ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ
ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Москва
1988

gost.e-ecolog.ru

П Р Е Д И С Л О В И Е

В последние годы лабораторией инженерной геологии и геофизики ЦНИИСа (руководитель канд.техн.наук А.М.Горелик) проведены полевые и лабораторные исследования, направленные на выяснение возможности использования метода вызванных потенциалов (ВП) для классификации песчано-глинистых пород в соответствии с их гранулометрической характеристикой. Эти работы подтвердили возможность применения метода ВП для дифференциации песчано-глинистых грунтов и целесообразность включения его в комплекс инженерно-геофизических методов при изысканиях дорог. В результате накопления практического опыта сфера применения метода должна постепенно расширяться.

Работа может служить руководством для геофизиков при проведении полевых исследований и обработке результатов наблюдений по методу ВП. Указания составлены канд.техн.наук В.А.Ряполовой и инж.А.Э.Липской. В экспериментальных работах наряду с авторами принимали участие инженеры Т.А.Богомазова, А.А.Постовалов и В.Я.Пригода; техники Г.О.Долгов и Т.Н.Дубинина.

Замечания и пожелания просим направлять по адресу: Москва, И-329, Игарский пр.2, Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства, Отделение изысканий и проектирования.

ЗАМ.ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА

(А.СМОЛЬЯНИНОВ)

ГЛАВА I. СУЩНОСТЬ МЕТОДА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ (ВП), СФЕРА ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ И РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

§ I. Основы метода и изучаемые параметры

Метод ВП основан на изучении вторичных электрических полей, источником которых являются физико-химические процессы, возбуждаемые в породе электрическим током. Природа этих процессов у горных пород, имеющих ионную проводимость, изучена еще недостаточно. Наиболее распространена точка зрения, что основная роль в образовании вызванной поляризации принадлежит в данном случае вторичным потенциалам диффузии. Подчиненная роль отводится вторичным потенциалам фильтрации. Если в породе имеются примеси минералов с электронной проводимостью, возможны также потенциалы, являющиеся следствием вторичных окислительно-восстановительных реакций.

Горные породы обладают разной способностью поляризоваться под действием электрического тока. Эта способность оценивается количественно безразмерным параметром, называемым поляризуемостью породы η.

Величины выражают в процентах:

$$\eta = \frac{\Delta U_{ВП}}{\Delta U_{ПР}} 100\% . \qquad (I)$$

Вторичный ток обычно имеет то же направление, что и поляризующий. Поэтому величина η, как правило, положительна.

Параметр η у пород с ионной проводимостью не зависит от плотности поляризующего тока j и приложенного напряжения в большом диапазоне изменения этих величин.

Реакции, возникающие в породе под действием проходящего тока, обратимы: после его выключения порода постепенно возвращается в исходное состояние. Соответственно убывают со временем и возбужденные в ней вторичные электродвижущие силы.

Величина вызванной поляризации зависит от времени прохождения тока через породу (времени зарядки). С увеличением времени зарядки она сначала быстро возрастает, а затем асимптотически стремится к своему предельному значению, которое для большинства пород практически достигается уже при двухминутной зарядке. Разрядка породы длится соответственно тем дольше, чем больше было время ее зарядки. После того как вызванные потенциалы достигнут предельной величины, скорость их спада остается неизменной при дальнейшем увеличении времени пропускания тока.

Таким образом, измеряемая величина η не является постоянной для данной породы, а существенно зависит от условий замера, момента ее определения t после выключения тока и продолжительности зарядки $t_{зар}$. Поэтому для сравнительной оценки поляризационных свойств раз-

личных горных пород необходимо пользоваться величинами поляризуемости, установленными для одних и тех же значений t и $t_{зар}$.

Обычно за искомый параметр η берут его максимальное значение, которое удается зафиксировать. При работе с современной серийной аппаратурой, служащей для измерения вызванной поляризации, первый отсчет $\Delta U_{ВП}$ получают через 0,5 сек после выключения тока. Время зарядки составляет в большинстве случаев 2 мин.

Функции $\Delta U_{ВП} = f(t)$ и $\eta = f(t)$ могут быть представлены в виде суммы экспоненциальных функций[x]:

$$\Delta U_{ВП} = \sum_{i=1} \Delta U_{ВП_{i_0}} e^{-t/\tau_i}$$

и

$$\eta = \sum_{i=1}^{n} \eta_{i_0} e^{-t/\tau_i} \qquad (2)$$

Каждая составляющая предположительно отвечает некоторому самостоятельному процессу, который отличается начальным значением вызванной разности потенциалов $\Delta U_{ВП_{i_0}}$, а следовательно, и поляризуемости η_{i_0}, и временем релаксации τ_i (время, за которое величина уменьшается в e раз). Параметры уравнений (2) также могут служить характеристиками изучаемой среды.

Для приближенной оценки скоростей убывания во времени вторичных электрических полей часто пользуются параметрами α, выражающими отношение двух величин – вызванной разности потенциалов $\Delta U_{ВП_{t_1}}$ и $\Delta U_{ВП_{t_2}}$, замеренных через промежутки времени t_1 и t_2 после выключения поляризующего тока. Чтобы облегчить сопоставление между собой быстроты спада вызванной поляризации у разных пород, в качестве параметра α рекомендуется принимать единое отношение:

$$\alpha = \frac{\Delta U_{ВП_{0,5''}}}{\Delta U_{ВП_{5''}}} .$$

Параметры η, α и τ, полученные при измерениях в неоднородной среде, по аналогии с принятой в электроразведке терминологией, называются кажущимися.

---

x) См. глава У, § 22.

§ 2. Задачи, решаемые методом ВП.

Метод ВП рекомендуется применять при изучении песчано-глинистых отложений, в особенности для разделения их на отдельные разности в соответствии с гранулометрической классификацией. Такого рода задачи часто возникают при исследовании трасс проектируемых дорог и различных строительных площадок, при поисках и разведке строительных, балластных материалов, источников водоснабжения, изучении оползневых и карстовых районов и т.д.

Постановка метода ВП особенно целесообразна тогда, когда метод сопротивлений не дает достаточно четкой дифференциации геологического разреза. Глубинность разведки методом ВП примерно такая же, как и у метода сопротивлений. Однако производство работ по методу ВП эффективно лишь при исследовании геологических разрезов на глубину не более 40-50 м.

Ограничением для применения метода ВП (при работе с прибором ЭСК-1) являются районы с интенсивными промышленными помехами.

ГЛАВА II. АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ

§ 3. Аппаратура для наземных исследований

Принципиальная особенность аппаратуры для измерений по методу ВП состоит в том, что наряду с обычными для метода сопротивлений измерениями она должна обеспечивать возможность измерений вызванной разности потенциалов после отключения поляризующего тока или в паузах между последовательными его включениями.

Исследования методом ВП на дорожных изысканиях могут выполняться или с помощью электроразведочного компенсатора ЭСК-1, снабженного специальной приставкой ВП, или со станцией ВПО-62, серийно выпускаемой промышленностью.

При работе с прибором ЭСК-1 рекомендуется приставка ВП, сконструированная в лаборатории инженерной геологии и геофизики ЦНИИСа (см. §4). Для применения этой приставки необходимо внести небольшие изменения во внутреннюю схему прибора. Приставка позволяет вести исследования в режиме длительной зарядки среды.

Станция ВПО-62 размещается на автомашине УАЗ-69. Аппаратура, входящая в комплект станции, разборная и приспособлена для ручной переноски. Общий вес ее около 90 кг. Станция ВПО-62 приспособлена для работы в двух режимах: с длительной зарядкой среды и в режиме кратковременных разнополярных импульсов.

Аппаратура ВПО-62 включает: бензоэлектрический агрегат, пульт управления и измерительный прибор.

Бензоэлектрический агрегат служит источником переменного напряжения, которое, поступая в пульт управления, преобразуется в постоянное и затем подается на питающие электроды. Максимальная величина постоянного напряжения составляет 560 в. Предельная мощность постоянного тока-0,5 квт. Наибольшая возможная сила поляризующего тока - 5 а.

В пульте управления находятся все устройства для управления зарядкой. При длительной зарядке среды пользуются ручным приспособлением, при разнополярной - автоматическим. В последнем случае аппаратура срабатывает таким образом, что токовый импульс длится 10 сек, а перерыв между импульсами - 5 сек. Полярность импульсов попеременно меняется.

Измерительный прибор предназначен для измерения приложенной и вызванной разностей потенциалов, снимаемых с приемных электродов. Отсчеты берут визуально по стрелочному прибору. Возможна также непрерывная запись наблюдаемых значений напряжения с помощью осциллографа типа ЭПО-7.

§ 4. Приставка к прибору ЭСК-1

Основной действующей частью приставки ВП, сконструированной в ГНИИСе, является реле марки КДР. Оно работает таким образом, что при включении токовой цепи одновременно с размыканием внешней измерительной цепи замыкается накоротко вход усилителя прибора ЭСК-1 на участке до компенсатора поляризации. При размыкании токовой цепи измерительная цепь замыкается и через компенсатор поляризации подключается к усилителю (рис. 1). Реле срабатывает от специального ключа, который замыкает цепь его обмотки, питаемую батареей БАС-80. Ключ включают и выключают вручную.

Если вход усилителя ЭСК-1 при разорванной измерительной цепи оставить разомкнутым, то в момент ее подключения к прибору на гальванометре часто наблюдаются броски стрелки вправо. Эти броски маскируют отклонение стрелки, обусловленное вызванной разностью потенциалов. Данное явление не имеет существенного значения при измерениях больших величин $\Delta U_{ВП}$, но при малых $\Delta U_{ВП}$, когда замеры производятся на низких пределах измерений прибора (3 и 1 мв), работа при таких условиях становится практически невозможной.

Внешняя измерительная цепь при данной схеме приставки должна быть все время разомкнута, пока замкнута токовая цепь. В противном случае в нее будет ответвляться зарядный ток, под влиянием которого измерительные электроды поляризуются. Электродная поляризация может в несколько раз превосходить по величине вызванную разность потенциалов. Вместе с внешней измерительной цепью обязательно должна размыкаться и цепь компенсатора поляризации, что вызывается следующей причиной.

Величина естественной разности потенциалов $\Delta U_{ПС}$ обычно значительно превышает $\Delta U_{ВП}$, и поэтому замер $\Delta U_{ВП}$ становится возможным только после предварительной компенсации $\Delta U_{ПС}$. Если же после компенсации $\Delta U_{ПС}$ одновременно с размыканием измерительной линии (в момент включения тока) замкнуть вход прибора на участке цепи после компенсатора поляризации, то компенсация сразу нарушится и стрелка гальванометра сместится с нулевого положения на величину разности потенциалов, введенной компенсатором. При подключении измерительной линии к прибору снова (в момент выключения тока) процесс восстановления компенсации $\Delta U_{ПС}$ завуалирует процесс изменения $\Delta U_{ВП}$.

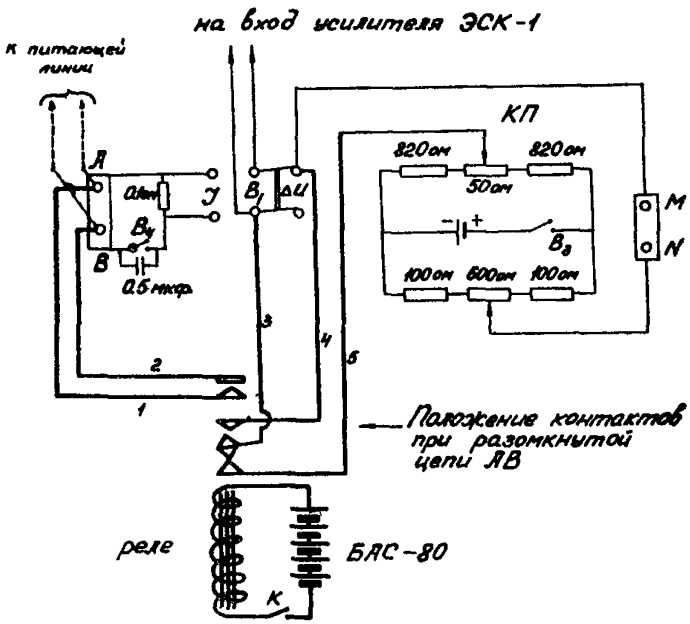


Рис. I. Схема приставки к прибору ЭСК-I для измерений по методу ВП:
B_1 - тумблер переключения $\Delta U - J$; B_3 - тумблер включения КП; B_4 - тумблер включения тока; КП - компенсатор поляризации; К - тумблер включения реле.
Жирной линией показана схема приставки, тонкой - элементы схемы ЭСК-I.
Нумерация тумблеров В соответствует нумерации заводской схемы, прилагаемой к прибору ЭСК-I

Монтаж описанной приставки показан на рис. I.

Одна пара контактов реле (или две пары, соединенные параллельно) используется для замыкания и размыкания питающей линии. К этой паре контактов присоединяют концы проводов I и 2. Противоположные концы

проводов подводят к штырям вилки, включаемой по обычной схеме в клеммы А и В прибора ЭСК-I. Переключения измерительной цепи осуществляются с помощью двух пар контактов. Подсоединение к ним проводов производят таким образом, чтобы провод 3 поочередно контактировал то с проводом 4 (при включенном токе), то с проводом 5 (при выключенном токе). Свободные концы проводов 3, 4 и 5 вводят внутрь прибора через отверстие в корпусе, предназначенное для крепежного винта, и подсоединяют к соответствующим участкам цепи.

§ 5. Оборудование для наземных исследований и подготовка его к работе

Для монтажа измерительных установок можно употреблять провода тех же марок, что и при работе методом сопротивлений. Однако для изготовления токовой линии предпочтительнее иметь провода большего поперечного сечения. Исследования по методу ВП проводят с относительно большими токами, поэтому к изоляции проводов предъявляют повышенные требования. На концах токовой линии для подключения электродов рекомендуется иметь колодку с надежно изолированными гнездами.

Электроды для питающей линии изготовляют, как и обычно, из прутковой стали диаметром 15–20 мм и длиной примерно 75 см. К каждому электроду заранее подсоединяют отрезок изолированного провода длиной около 75 см с вилкой на конце для подключения к токовой линии. Чтобы обеспечить необходимую величину поляризующего тока на всех разносах линии АВ, общее количество подготовленных к работе электродов должно быть не менее двадцати.

В качестве измерительных электродов применяют медные неполяризующие электроды заводского изготовления. Медные стержни этих электродов погружены в керамические сосуды, которые перед работой заполняют насыщенным раствором медного купороса. Для приготовления раствора желательно употреблять химически чистый купорос и чистую пресную воду, а еще лучше дистиллированную. При выезде в поле всегда необходимо иметь запасные пары неполяризующихся электродов.

Для сохранения стабильности собственной э.д.с. приемных электродов за ними должен быть специальный уход. Раствор в сосудах нужно обновлять примерно через трое суток. Перед тем как заливать свежий раствор, сосуды следует тщательно промыть чистой водой, а медные стержни очистить от образовавшегося налета. Если собственная э.д.с. электродов все же оказывается неустойчивой, рекомендуется попарно замкнуть их, когда они не работают, и погрузить в сосуд с насыщенным раствором медного купороса. Сосуд должен быть изготовлен из материала, не реагирующего с раствором (стеклянный, эмалированный и др.). При этом пары электродов надо подбирать с таким расчетом, чтобы величина собственной э.д.с. между ними была минимальной.

При работе с ЭСК-I источниками питания для токовой цепи служат

батареи типа ГРМЦ-69 или ГРМЦ-29. Количество батарей, необходимое для работы, зависит от характера геоэлектрического разреза и максимальной длины питающей линии. Для работы по методу зондирования с максимальной длиной АВ-220 м нужно иметь не менее 4-5 батарей типа ГРМЦ-69 или 8-10 батарей типа ГРМЦ-29. Вспомогательное оборудование остается таким же, как и при работе по методу сопротивлений.

§ 6. Аппаратура и оборудование для каротажных исследований

Скважинные исследования методом ВП можно выполнять с любыми видами каротажной аппаратуры (разборные каротажные установки, полуавтоматические каротажные станции типа ПКС и автоматические каротажные станции типа АЭКС).

Для измерений по методу ВП применяют специальный четырехэлектродный зонд А 0,04 М 0,04 A^1 2В с неполяризующимся измерительным электродом конструкции МИНХ и ГП.

Зонд монтируют на отрезке трехжильного шлангового кабеля типа КТШ-2 или КТШ-0,3, длиной 3,5-4 м. Электроды изготовляют из свинцовой проволоки или листового свинца. Электрод М устанавливают на зонде на расстоянии примерно I м от того конца, который идет к лебедке. На электрод надевают эбонитовую муфту - цилиндрическую трубку, утолщенную в средней части (рис. 2). Диаметр внутреннего отверстия трубки немного больше диаметра кабеля с закрепленным на нем измерительным электродом. Для осуществления контакта электрода М со скважинной жидкостью по цилиндрической поверхности утолщенной части муфты просверлены сквозные радиальные отверстия. Муфту надевают на зонд таким образом, чтобы отверстия оказались непосредственно над электродом М. На внешней стороне муфты размещают параллельно соединенные токовые электроды А и A^1 так, чтобы они располагались симметрично по обе стороны от измерительного электрода. Муфту прочно закрепляют на кабеле веревкой или изоляционной лентой. Второй токовой электрод В устанавливают на зонде на 2 м ниже электрода A^1.

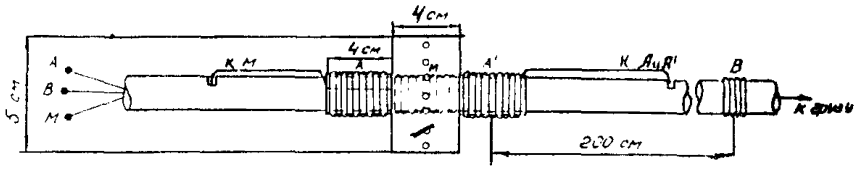


Рис. 2. Зонд для измерения ВП

Подобная конструкция зонда дает возможность, с одной стороны, максимально сблизить между собой питающий и измерительный электроды и,

следовательно, производить измерения в области наибольших плотностей тока, а с другой - не дает возможности электрическому току проходить через измерительный электрод M и оказывать на него поляризующее действие.

В остальном оборудование при каротаже ВП не отличается от оборудования для стандартного каротажа.

ГЛАВА III. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ НАЗЕМНЫХ РАБОТ

§ 7. Модификации метода ВП, установки для полевых работ и размещение точек наблюдений

Метод ВП применяют как в модификации вертикального электрического зондирования (ВЭЗ ВП), так и в модификации электропрофилирования. При инженерно-геологических исследованиях более эффективно его применять в модификации зондирования.

Вертикальные зондирования методом ВП дают возможность судить об изменении поляризационных параметров пород по вертикали и о глубине залегания объектов, характеризующихся разной поляризуемостью.

Чтобы не нарушать общепринятой для зондировании схемы работ, исследования методом ВЭЗ ВП рекомендуется выполнять с обычной установкой Шлюмберже, сохраняя стандартную сеть разносов питающей и приемной линий, хотя некоторые исследователи предпочитают установку Веннера. Предельная длина токовой линии, как правило, не превышает 220-300 м.

Порядок перехода с одного разноса MN на другой удобнее несколько изменить. Так, в целях повышения производительности работ, если расхождения между замерами для одних и тех же разносов AB на двух смежных линиях MN невелики, разрешается осуществлять переход с одной линии MN на другую при одном разносе AB. Измерения на разносе MN = 50 м предлагается начинать с $\frac{AB}{2}$ = 60 м, а не с $\frac{AB}{2}$ = 110 м, как это принято при изысканиях на транспорте [x].

При слабой поляризуемости пород целесообразно ввести в схему работ дополнительно одну промежуточную приемную линию MN = 5 м. Переход на нее следует осуществлять при $\frac{AB}{2}$ = 8 м.

Размещение и густота разведочных точек зависят от поставленной задачи. В большинстве случаев точки наблюдений располагают по отдельным профилям или по равномерной сетке.

Применение профилирования методом ВП ограничено относительно невысокой его производительностью по сравнению с профилированием другими

---

x) см. Горелик А.М., Ряполова В.А. Электроразведка при изысканиях источников железнодорожного водоснабжения. М., ЦНИИС Минтрансстроя, 1955.

методами инженерной электроразведки.

Для работы методом профилирования рекомендуются симметричные установки типа AMNB и AA'MNB'B. Другие установки (установка срединного градиента, дипольные установки и т.д.) нерентабельны, так как для работы с ними требуются слишком мощные источники тока. Выбор оптимальных разносов AB производят с учетом решаемой геологической задачи на основании рекогносцировочных зондирований. Наиболее экономична четырехполюсная установка AA'MNB'B с A'B'=3MN и AB=7MN при шаге, равном 2MN. Достоинство этой установки в том, что при каждом новом ее положении два прежних заземления A' и B могут быть использованы вторично уже соответственно в качестве заземлений A и B'. Это имеет большое практическое значение в сложных условиях заземления. Профили ориентируют вкрест простирания исследуемого объекта.

§ 8. Производство работ методом ВЭЗ ВП с прибором ЭСК-I

Вертикальные зондирования методом ВП (ВЭЗ ВП) выполняют совместно с вертикальными зондированиями методом сопротивлений (ВЭЗ $\rho_к$). Основные элементы схемы работ являются общими для обоих методов. Для измерений по методу ВП в схему дополнительно вводят лишь приставку ВП. Подготовительные операции остаются теми же, что и при измерениях по методу ВЭЗ $\rho_к$. Только особое внимание уделяют качеству заземлений приемных электродов, от состояния которых существенно зависит точность и быстрота измерений. Электроды помещают в свежевырытые лунки и сверху плотно утрамбовывают землей. Если почва сухая, землю в лунках слегка увлажняют.

Для получения всех необходимых данных на каждом разносе AB определяют вызванную разность потенциалов $\Delta U_{ВП}$ в разные моменты времени после отключения тока, приложенное напряжение $\Delta U_{ПР}$ и силу поляризующего тока J.

В первую очередь измеряют $\Delta U_{ВП}$. Перед началом замера на переключателе чувствительностей гальванометра прибора ЭСК-I устанавливают нужный предел измерений и компенсируют естественную разность потенциалов $\Delta U_{ПС}$. При первом разносе токовой линии для правильного выбора рабочей чувствительности производят пробное измерение $\Delta U_{ВП}$, чтобы установить примерный порядок ее величины. При последующих разносах порядок величины $\Delta U_{ВП}$ обычно легко предусмотреть, и в выборе предела измерений не возникает затруднений. Чаще всего измерения ведут на пределах 10 и 3 мв. Пользоваться пределом 1 мв рекомендуется лишь в крайнем случае.

При компенсации $\Delta U_{ПС}$ стрелку гальванометра следует выводить не на нуль, а на одно из ближайших к нулю целых делений шкалы (например 0,2; 0,5 и 1 мв на пределах измерений 1; 3 и 10 соответственно), которое условно принимается за нулевое и обозначается $\Delta U_0^н$. Это свя-

зано с тем, что даже при тщательном уходе за приемными электродами за время пропускания зарядного тока величина их собственной э.д.с. несколько меняется и в итоге имеет место сдвиг нуля отсчета. Практически запас порядка 0,5 мв можно считать достаточным, чтобы новое положение нуля оставалось в пределах шкалы гальванометра.

Как только $\Delta U_{ПС}$ скомпенсирована, включают ключ реле приставки (см. рис. I) и одновременно нажимают пусковую стрелку секундомера. Контакты токовой цепи замыкаются, и ток начинает поступать в землю.

Зарядка среды продолжается 2 мин. По истечении 2 мин ключ реле размыкают. Токовая цепь в этот момент разрывается, а измерительная - подключается к входу прибора ЭСК-I. Стрелка гальванометра под влиянием вызванной разности потенциалов резко отклоняется вправо до определенного деления, а затем, постепенно замедляя движение, возвращается к нулевому положению. Оператор отмечает положение стрелки, соответствующее ее максимальному отклонению, и потом периодически производит отсчеты n на шкале гальванометра по мере убывания разности потенциалов.

Второй отчет берут через 5 сек после разрыва токовой цепи, третий - через 15 сек. Далее отсчеты снимают последовательно, через каждые 15 сек, до полного успокоения стрелки. Момент остановки стрелки T фиксируют в журнале. Деление, на котором стрелка остановилась, принимают за новое значение нуля $\Delta U_0^к$. Для перехода от полученных данных к значениям $\Delta U_{ВП}$ величину нулевой разности потенциалов $\Delta U_0^к$ вычитают из всех отсчетов n, взятых оператором. Так как при работе с приставкой ВП время, прошедшее с момента выключения тока до первого отсчета, точно неизвестно, максимальную величину вызванной разности потенциалов в этом случае условно обозначают $\Delta U_{ВП_0}$.

При наблюдении за спадом $\Delta U_{ВП}$ следует избегать перехода с *одного предела измерений на другой. Если первоначальное отклонение* стрелки оказалось очень незначительным по сравнению с ожидаемым, то лучше снова полностью повторить замер, перейдя на меньший предел измерений.

Если сдвиг нуля превышает допустимый, но стрелка на новом нуле стоит устойчиво, сдвиг можно рассматривать как случайность, и замер повторяется. Но в ряде случаев собственная э.д.с. электродов оказывается неустойчивой, вследствие чего в процессе измерений нуль отсчета заметно сползает, что затрудняет его определение. Иногда устранить это явление можно замыканием накоротко приемной цепи во время подготовки к замеру на данном разносе (размотки токовой линии, забивки токовых электродов и т.д.). Если это не помогает, рекомендуется одновременно установить две приемные линии с разными парами неполяризующихся электродов и пользоваться ими попеременно. Однако при этом следует иметь в виду, что во время работы с одной из пар электродов другую пару ни в коем случае нельзя закорачивать во избежание прохождения через нее

большого поляризующего тока.

Если в результате принятых мер все же не удается полностью ликвидировать сползание нуля, то его находят приближенно, улавливая момент, когда стрелка перестает ощутимо замедлять свой ход и начинает передвигаться почти равномерно.

После измерения $\Delta U_{ВП}$ определяют $\Delta U_{ПР}$, применяя те же правила, что и при замере ΔU во время съемки ВЭЗ $\rho_к$. Ключ приставки при этом ставят в положение, соответствующее разомкнутой токовой цепи, а ток включают, как всегда, тумблером $В_4$ прибора ЭСК-1 (см. рис. 1). Затем измеряют силу тока.

Для повышения надежности замеров во всех сомнительных случаях, в особенности при неуверенном отсчете нуля, необходимо выполнять контрольные измерения, добиваясь, чтобы расхождения между полученными данными не превышали 10%.

На основе выполненных измерений для каждого разноса вычисляют значения $\rho_к$; $\eta_к = \frac{\Delta U_{ВП}}{\Delta U_{ПР}} 100\%$ и $\alpha_к = \frac{\Delta U_{ВП_0}}{\Delta U_{ВП_5}}$.

Построение и обработку кривых $\Delta U_{ВП} = f(t)$ производят в камеральных условиях.

После того как закончены все вычисления и результаты наблюдений нанесены на графики, оператор дает команду о переходе к следующему разносу АВ.

С увеличением длины АВ, до перехода на последующую линию MN, постепенно увеличивают число электродов в токовой цепи (от одного до десяти на каждом конце) и силу поляризующего тока (от нескольких са до 1,5-2 а).

§ 9. Производство работ по методу ВЭЗ ВП с аппаратурой ВПО-62

Применение аппаратуры ВПО-62 способствует значительному повышению производительности труда и в ряде случаев дает возможность получать надежные результаты даже в условиях заметных промышленных помех. Исследования оказываются особенно эффективными, когда измерения в режиме длительной (двухминутной) зарядки среды комбинируют с измерениями в режиме краткопериодных разнополярных импульсов. Рациональное сочетание двух видов зарядки позволяет получать практически такую же информацию о разрезе, что и при двухминутной зарядке, но с меньшей затратой времени.

Результаты исследований, проведенных в режиме разнополярной зарядки, используют для определения глубин залегания и мощностей отдельных слоев, но они не всегда дают полное представление о характере геоэлектрического разреза. Данные наблюдений, выполненных с длительной зарядкой, дополняют и уточняют эти сведения и дают возможность более уверенно судить о литологических свойствах горных пород.

Основной объем исследований выполняют в режиме кратковременных разнополярных импульсов. Для каждого разноса АВ находят $\rho_к$, а также $\eta_к$ и $\alpha_к$, соответствующие кратковременной зарядке, и строят графики зависимости каждого параметра от полуразноса питающей линии.

Исследования в режиме длительных однополярных импульсов приурочивают только к тем разносам, которые отвечают асимптотическим значениям $\eta_к$ или $\alpha_к$ или их характерным точкам, когда геоэлектрические горизонты имеют малую мощность. Для каждого из этих разносов дополнительно получают $\eta_к$ и $\alpha_к$ и полную кривую спада $\Delta U_{ВП}$, отвечающие $t_{зар}$ = 2 мин. Полученные данные экстраполируют на всю мощность горизонтов, выделенных по измерениям в режиме разнополярных импульсов.

Схема внешних цепей при производстве ВЭЗ ВП со станцией ВПО-62 остается такой же, что и с прибором ЭСК-I. Соединения между собой отдельных узлов аппаратуры, подготовка их к работе и все необходимые включения осуществляют в соответствии с инструкцией, прилагаемой к станции.

Если наблюдения проводят в режиме разнополярных импульсов, то за искомую величину вызванной разности потенциалов $\Delta U_{ВП}$ принимают среднее из двух отсчетов n, соответствующих токовым импульсам разной полярности. Чтобы найти $\alpha_к$, после каждого токового импульса определяют два значения $\Delta U_{ВП}$: $\Delta U_{ВП_{0,5"}}$ и $\Delta U_{ВП_{5"}}$. Первая величина отвечает максимальному отклонению стрелки гальванометра, а вторая - положению стрелки в момент размыкания измерительной цепи. Перед началом наблюдений обычно пропускают несколько токовых импульсов в ожидании стабилизации отсчетов.

При работе в режиме длительной зарядки съемка значений $\Delta U_{ВП}$ может производиться двумя путями: либо путем взятия отдельных отсчетов в процессе непрерывного наблюдения за спадом вызванной разности потенциалов, как и при работе с приставкой ВП, либо путем задержки и фиксации на гальванометре дискретных отсчетов $\Delta U_{ВП}$, приуроченных к определенным моментам времени. Кривую убывания $\Delta U_{ВП}$ во времени можно также записывать на фотобумаге осциллографом.

Определение $\Delta U_{ПР}$ с помощью аппаратуры ВПО-62 производится так же, как с прибором ЭСК-I. Величина J находится по стрелочному прибору в токовой цепи.

§ IO. Производство работ при профилировании методом ВП

При профилировании методом ВП технология работ и порядок измерений на точке сохраняются в основном такими же, как и при производстве ВЭЗ ВП, и зависят лишь от типа измерительной аппаратуры.

В результате исследований в каждом пункте получают три параметра: $\rho_к$, $\eta_к$ и $\alpha_к$.

Если профилирование ведется с помощью прибора ЭСК-I и приставки ВП, то для сокращения времени, необходимого для выполнения наблюдений

на точке, можно внести некоторые упрощения в процесс измерений. Прежде всего следует уменьшить время зарядки породы (до I мин или даже до 30 сек). Если после отклонения стрелка устойчиво возвращается в первоначальное положение (к нулю отсчетов), то можно ограничиться при измерениях лишь двумя первыми отсчетами и не дожидаться каждый раз возвращения стрелки гальванометра на нуль. Нуль отсчетов в данном случае удобно совмещать с нулем гальванометра. Устойчивость нуля необходимо периодически контролировать.

Когда при профилировании в качестве измерительной аппаратуры применяется станция ВПО-62, измерения рекомендуется проводить только в режиме разнополярных импульсов.

§ II. Оформление результатов наблюдений

Результаты наблюдений заносятся в полевые журналы: ВЭЗ ВП при исследованиях в режиме разнополярной зарядки среды; ВЭЗ ВП при исследованиях в режиме длительной зарядки среды; электропрофилирования ВП при работе в режиме длительной зарядки среды; электропрофилирования ВП при работе в режиме разнополярной зарядки среды.

ЖУРНАЛ ВЭЗ ВП

при исследованиях в режиме разнополярной зарядки среды

ВЭЗ №

Участок работ
Аппаратура
Погода
Поверхностный покров

Дата
Начало работ
Конец раоот
Оператор
Вычислитель

$\frac{AB}{2}$, м	MN, м	K	$\Delta U_{пр}$, мв	J, са	$\pm n_1$, мв	$\Delta U_{ВП_{0,5''}}$, мв	$\pm n_2$, мв	$\Delta U_{ВП_{5''}}$, мв	$\rho_к$, омм	$\eta_к$, %	$\alpha_к$	Примечание
3	I	2,75	800	I00	$\frac{I2,5}{II,5}$	I2	$\frac{4}{4}$	4	22	I,5	3	

ЖУРНАЛ ВЭЗ ВП

при исследованиях в режиме длительно. зарядки среды

ВЭЗ №

Участок работ
Аппаратура
Время зарядки
Погода
Поверхностный покров

Дата
Начало работ
Конец работ
Оператор
Вычислитель

АВ/2 м	MN, м	K	$\Delta U_{ПР}$, мв	J, са	$\Delta U_0^н$, мв	$\frac{n}{\Delta U_{ВП}}$	t 0,5"	5"	15"	30"	45"	60"	75"	90"	105"	120"	135"	150"	165"	180"	195"	210"	225"	240"	255"	270"	285"	300"	T сек.	$\Delta U_0^к$, мв	$\rho_к$, ом.м	$\eta_к$, %	$\alpha_к$	Примечание
						n	2,29	1,44																					195	0,49	69	0,27	2,52	
			250	10	0,5	$\Delta U_{ВП_t}$	2,3	1,35																										
		1,7				n																												
						$\Delta U_{ВП_t}$																												
						n																												
						$\Delta U_{ВП_t}$																												
	1	1,39				n																												
						$\Delta U_{ВП_t}$																												

ЖУРНАЛ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ВП
при работе в режиме длительной зарядки среды
Профиль №

Участок работ — Дата
Аппаратура — Начало работ
Схема установки — Конец работ
Шаг установки — Оператор
Время зарядки — Вычислитель
Погода
Поверхностный покров

A'B' =			MN =		K =			AB =			MN =		K =			Примечание
$\Delta U_{ПР}$, мв	J, са	$\Delta U_{ВП_0}$, мв	$\Delta U_{ВП_{5''}}$, мв	$\rho_к$, омм	$\eta_к$, %	$\alpha_к$	$\Delta U_{ПР}$, мв	J, са	$\Delta U_{ВП_0}$, мв	$\Delta U_{ВП_{5''}}$, мв	$\rho_к$, омм	$\eta_к$, %	$\alpha_к$	

ЖУРНАЛ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ВП
при работе в режиме разнополярной зарядки среды
Профиль №

Участок работ — Дата
Аппаратура — Начало работ
Схема установки — Конец работ
Шаг установки — Оператор
Погода — Вычислитель
Поверхностный покров

A'B' =				MN =		K =				AB =				MN =		K =				Примечание
$\Delta U_{ПР}$, мв	J, са	$\pm n_1$, мв	$\Delta U_{ВП_{0,5''}}$, мв	$\pm n_2$, мв	$\Delta U_{ВП_{5''}}$, мв	$\rho_к$, омм	$\eta_к$, %	$\alpha_к$	$\Delta U_{ПР}$, мв	J, са	$\pm n_1$, мв	$\Delta U_{ВП_{0,5''}}$, мв	$\pm n_2$, мв	$\Delta U_{ВП_{5''}}$, мв	$\rho_к$, омм	$\eta_к$, %	$\alpha_к$			

К журналам прилагаются графики $\rho_к$, $\eta_к$ и $\alpha_к$.

§ I2. Состав рабочей бригады

В состав бригады при работе по методу ВЭЗ ВП входят: оператор, вычислитель и трое рабочих. При профилировании число рабочих увеличивается до пяти.

Члены бригады имеют следующие обязанности. Оператор собирает схему работ и производит наблюдения с измерительной аппаратурой. Вычислитель ведет записи в журнале, делает вычисления и строит полевые графики. Рабочие обслуживают центр и концы питающей линии, устанавливают электроды, разматывают и сматывают провода и переносят оборудование с точки на точку. Производительность работ зависит от характера изучаемого геоэлектрического разреза, категории местности, условий заземлений, стабильности собственной э.д.с. приемных электродов, наличия промышленных помех, максимальной длины питающей линии и типа применяемой аппаратуры. В зависимости от изменения этих условий норма выработки ВЭЗ ВП колеблется от I,5 до 5 точек в смену.

§ I3. Правила техники безопасности

Исследования методом ВП проводятся с относительно большими токами (до I,5 - 2а), поэтому обслуживающий персонал должен соблюдать необходимые меры предосторожности в соответствии с действующими "Едиными правилами техники безопасности при геологоразведочных работах". Кроме того, начальник отряда перед началом работ должен провести инструктаж по технике безопасности и ознакомить персонал со спецификой работ по методу ВП.

Провода и приборы, через которые проходит электрический ток, должны иметь хорошую изоляцию. Все переходные соединения и контакты токовой цепи должны быть надежны во избежание случайного местного разрыва цепи на отдельных участках. Источники питания обязательно должны располагаться на резиновых ковриках. На верхнюю часть токовых электродов надеваются резиновые трубки.

При подсоединении электродов к токовой линии рабочие не должны касаться оголенных частей схемы.

Включение источника тока производится только после получения сообщения с концов питающей линии об окончании операций по осуществлению заземлений. Перед включением тока оператор дает сигнал, после чего рабочие должные отойти не менее чем на 2 м от заземлений. По окончании замера также дается сигнал на концы с указанием характера последующей операции. При больших разносах питающей линии, когда команда оператора уже не слышна, сигнализация осуществляется с помощью телефонов или мегафонов.

Посторонние лица во время измерений не допускаются к установке.

Персонал, обслуживающий концы питающей линии и ведающий включе-

нием источников питания и отдельных элементов токовой цепи, должен быть снабжен резиновыми перчатками, а в сырую погоду также резиновыми сапогами.

ГЛАВА IУ. МЕТОДИКА СКВАЖИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

§ I4. Производство работ с полуавтоматической каротажной аппаратурой

Метод ВП в скважинном варианте всегда применяется в комплексе с методами стандартного каротажа.

Схема измерений по методу ВП с полуавтоматической каротажной аппаратурой показана на рис. 3. Переключение токовой и измерительной цепей производится при помощи пульсатора. При вращении пульсатора в течение полуоборота его коллектора в токовую цепь поступает электрический ток. Измерительная цепь при этом разомкнута. Во время следующего полуоборота цепь тока размыкается, и измерительные электроды подключаются к потенциометру, спаренному с полуавтоматическим регистратором. Чтобы обеспечить мгновенный разрыв токовой цепи, искрогасящие конденсаторы предварительно отключают от пульсатора.

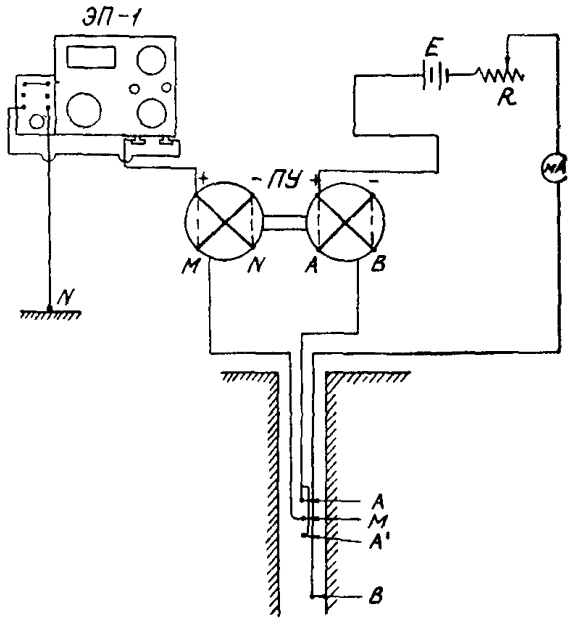


Рис.3. Схема измерений ВП в скважине

При движении зонда по скважине оператор регистрирует изменения разности потенциалов, снимаемой с приемных электродов. Естественная разность потенциалов $\Delta U_{ПС}$ не отделяется при измерениях от $\Delta U_{ВП}$. Поэтому на диаграмме фиксируют суммарную величину $\Delta U_{ВП} + \Delta U_{ПС}$. Хотя вариации $\Delta U_{ПС}$ в большинстве случаев бывают много меньше, чем вариации $\Delta U_{ВП}$, все же характер дифференциации диаграммы может быть неправильно истолкован без учета изменений $\Delta U_{ПС}$. Для исключения влия-

ния изменений $\Delta U_{ПС}$, а также в целях контроля обычно записывают две диаграммы. Первую диаграмму ($\Delta U_{ВП+} + \Delta U_{ПС}$) снимают, когда электрод А подсоединен к положительному полюсу источника тока, вторую ($\Delta U_{ВП-} + \Delta U_{ПС}$) – к отрицательному. Кроме того, регистрируют отдельно кривую $\Delta U_{ПС}$. Все три кривые, как правило, записывают в одном и том же масштабе 12,5 мв в 1 см.

Сила поляризующего тока выбирается в зависимости от характера геологического разреза и обычно находится в пределах от 100 до 500 ма

Для первых точек каждой диаграммы, когда зонд находится на забое, обязательно определяют значение начальной компенсации при выведенном компенсаторе поляризации. Затем карандаш регистратора сдвигают на середину диаграммной ленты, стрелку гальванометра с помощью компенсатора поляризации выводят на нуль и начинают подъем зонда с одновременной записью соответствующей кривой. Для конечной точки диаграммы находят величину конечной компенсации.

По окончании регистрации диаграмм для характерных интервалов разреза устанавливают зависимости $\Delta U_{ВП}$ от силы поляризующего тока J. Это осуществляют так: зонд спускают на нужную глубину, компенсируют $\Delta U_{ПС}$, включают ток и затем снимают с потенциометра значения $\Delta U_{ВП}$ при последовательном изменении тока от нуля до 250–500ма и в обратном направлении. Потом меняют полярность тока, и операции повторяют. Промежутки времени между замерами сохраняют постоянными.

§ 15. Производство работ с автоматической каротажной станцией АЭКС-900

При работе по методу ВП со станцией АЭКС-900 схема измерений остается той же, что и для полуавтоматической каротажной установки. Соответственно в схему внутренних соединений аппаратуры вносят некоторые изменения. Порядок измерений полностью сохраняется таким же. Подготовку станции к исследованиям, необходимые включения на аппаратурных стендах и установление выбранного масштаба записи производят в соответствии с инструкцией по эксплуатации станции АЭКС-900. Аппаратура АЭКС-900 позволяет дополнительно регистрировать в отдельных точках разреза изменения $\Delta U_{ВП}$ во времени в виде непрерывных кривых $\Delta U_{ВП}=f(t)$.

Способ непрерывной регистрации основан на использовании для движения бумаги лентопротяжного механизма при неподвижном зонде.

Порядок измерений следующий. Сначала устанавливают на пульте предел измерений, соответствующий выбранному масштабу записи. Затем при вращающемся пульсаторе карандаш регистратора выводят с помощью компенсатора поляризации в положение, близкое к нулю. Для фиксации этого положения, которое принимается условно за нулевое, дают небольшую протяжку бумаги. После включения тока, постепенно увеличивая его, добиваются смещения карандаша самописца в крайнее правое положение диаграм-

мы, чтобы получить максимально возможное значение $\Delta U_{ВП}$, которое можно зарегистрировать на ленте при данной чувствительности измерений. Для отметки этого положения включают лентопротяжный механизм и снова немного протягивают бумагу. Затем ток выключают, и карандаш самописца начинает записывать процесс изменения $\Delta U_{ВП}$ во времени.

Масштаб шкалы времени зависит от скорости движения бумаги, которая определяется выбором масштабной шестерни. При включении шестерни I/200 масштаб шкалы времени составляет 2 сек в I см.

Выключение тока следует осуществлять только путем непосредственного отсоединения от пульта управления одного из питающих проводов. При выключении выпрямителя регистрируемый график отражает по существу изменения в разрядном токе конденсаторов, установленных в выпрямительном блоке.

При проведении исследований методом ВП необходимо соблюдать те же правила безопасности, что и при выполнении обычных каротажных операций. Эти правила указаны в действующих "Единых правилах техники безопасности при геологоразведочных работах".

§ I6. Оформление результатов наблюдений

При каротажных исследованиях методом ВП первичным документом являются каротажные диаграммы.

Каждая диаграмма должна быть снабжена заголовком. В заголовке указываются: дата наблюдений, район исследований, № скважины, забой, глубина обсадки, диаметр скважины, зонд, масштаб записи, сила поляризующего тока, удельное сопротивление бурового раствора, начальная и конечная компенсации.

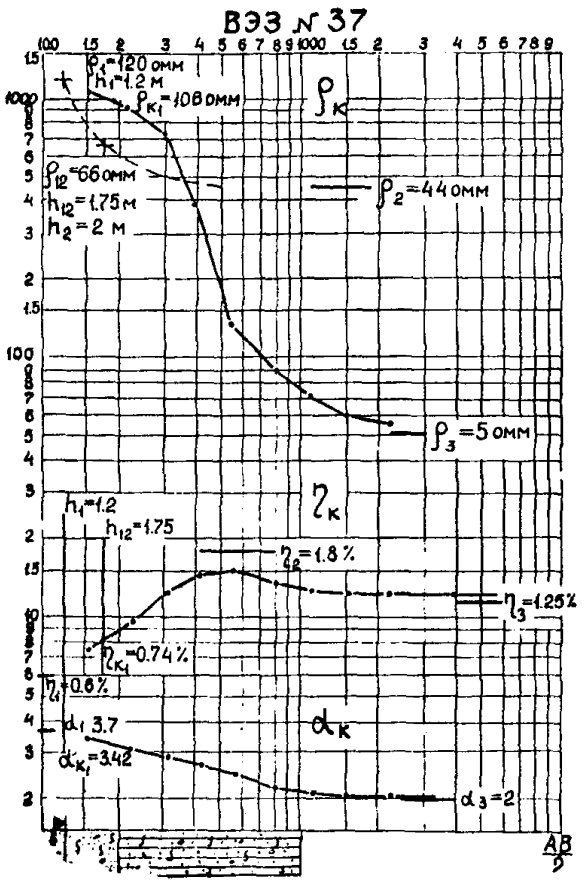
Результаты съемок кривых $\Delta U_{ВП} = f(J)$ и $\Delta U_{ВП} = f(t)$ заносят в специальные журналы. В первом случае в журнале записывают: дату, № скважины, глубину исследований и данные измерений. Во втором случае дату, № скважины, глубину исследований, предел измерений, силу поляризующего тока и масштаб шкалы времени.

ГЛАВА У. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

§ I7. Построение кривых $\eta_к$, $\alpha_к$, $\rho_к$ и $\Delta U_{ВП} = f(t)$ по данным исследований методом ВЭЗ ВП

Для каждой точки зондирования на логарифмических бланках вычерчивают графики зависимостей $\rho_к$, $\eta_к$ и $\alpha_к$ от полуразноса линии АВ. Все графики размещают на одном и том же бланке таким образом, чтобы ось полуразносов у них являлась общей. В расположении кривых на бланке придерживаются указанной последовательности (рис. 4).

Помимо этого, строят графики $\Delta U_{ВП} = f(t)$ либо для всех разносов АВ (при работе в режиме длительной зарядки среды), либо для отдельных разносов (при работе в комбинированном режиме зарядки).



Графики ρ_K, η_K и α_K:

- песок пылеватый;
- глина пылеватая;
- уровень грунтовых вод

Построение кривых $\Delta U_{ВП} = f(t)$ производится в полулогарифмическом масштабе. Шкалу оси времен представляют в арифметическом масштабе, равном 5 сек в 1 см, а ось ординат – в логарифмическом масштабе с модулем 6,25 см.

§ 18. Определение параметров η

Истолкование графиков η_K производится с помощью альбома палеток ВИТР (5). Альбом содержит 43 палетки (13 палеток для двухслойных сред и 30 – для трехслойных).

Характер кривых кажущейся поляризуемости при одном и том же распределении по разрезу истинных поляризуемостей η_i не сохраняется постоянным в случае изменения соотношений удельных сопротивлений слоев ρ_i. Вследствие этого теоретические кривые η_K сгруппированы таким образом, что каждой палетке соответствуют определенные значения модулей $\mu_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ и $\mu_3 = \frac{\rho_3}{\rho_1}$ (в случае трехслойного разреза), которые и служат индексами палеток[x]. Трехслойные палетки од-

x) На палетках указаны проводимости слоев $\sigma_i = \frac{1}{\rho_i}$.

ного и того же индекса делятся еще на подгруппы, отличающиеся разными модулями $\nu_2 = \frac{h_2}{h_1}$, где h_1 и h_2 – мощности первого и второго слоя. Количество трехслойных палеток ограничено. Они рассчитаны для разрезов $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$; $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ и $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ при $\frac{\rho_3}{\rho_1} = 1$ и $\frac{\eta_3}{\eta_1} = 1$. Только для разреза $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$ при $\nu_2 = 5$ в альбоме имеются палетки с разными значениями $\frac{\eta_3}{\eta_1}$.

Чтобы выбрать нужную палетку для расшифровки практической кривой $\eta_к$, необходимо прежде всего иметь данные об удельных сопротивлениях отдельных слоев разреза. Поэтому обработку полученных материалов всегда начинают с анализа кривой $\rho_к$. В зависимости от результатов анализа различают три возможных варианта:

1) распределение по разрезу сопротивлений удовлетворяет одному из индексов палеточных кривых; 2) дифференциация разреза по сопротивлению практически отсутствует и 3) разрез принадлежит к многослойным или соотношение сопротивлений между слоями не соответствует ни одному из индексов. В каждом из этих случаев поступают по-разному.

В первом случае интерпретация кривой $\eta_к$ сводится только к получению истинных значений η_i. Мощности слоев h_i устанавливают при интерпретации кривых $\rho_к$. По модулям μ и ν, найденным при истолковании кривой $\rho_к$, отыскивают нужную палетку ВП. На бланк с экспериментальной кривой $\eta_к$ наносят ось h_i. Бланк накладывают на выбранную палетку так, чтобы ось h_i совпадала с вертикальной осью палетки. Затем график $\eta_к$ двигают по вертикали, соблюдая совмещенность осей, и добиваются наилучшего совпадения интерпретируемого графика с одной из палеточных кривых. Величины η_1 и η_3 снимают с вертикальной шкалы бланка, а η_2 вычисляют по модулю кривой.

Во втором случае по кривым $\eta_к$ определяют не только поляризуемости, но и мощности слоев. При этом пользуются палетками ВП с индексом $\mu_2 = \mu_3 = 1$[x]. Руководствуясь формой практической кривой $\eta_к$, из данной серии выбирают наиболее подходящую палетку. Наложение кривой на палетку выполняют по тем же правилам, что и при интерпретации графиков $\rho_к$. Оценку параметров и мощностей слоев осуществляют обычным порядком.

Третий случай наиболее сложен. Для него предлагается следующий приближенный способ, основанный на совместном использовании двухслойных палеток ВП и вспомогательных палеток $\rho_к$.

Сначала экспериментальную кривую $\rho_к$ интерпретируют с помощью вспомогательных палеток соответствующего типа. В итоге получают значения ρ_i и h_i для каждого i-го слоя, а также мощности и сопротивления эквивалентных горизонтов. На бланке с практической кривой $\eta_к$ проводят ось h_i и из комплекта двухслойных палеток ВП берут такую, индекс которой наиболее близок к μ_2. Бланк с практическим графиком $\eta_к$ на-

---

[x] На палетках указано $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$

кладывают на палетку так же, как и в первом случае, и добиваются совмещения наибольшего числа точек левой ветви графика с начальной ветвью какой-либо двухслойной кривой $\eta_к$. По этой кривой находят η_1 и η_2, значения которых непосредственно считывают с бланков. Потом на графике проводят ось $h_{1,2}$ с абсциссой, отвечающей мощности фиктивного слоя, эквивалентного по сопротивлению двум первым. Путем деления ρ_3 на величину сопротивления фиктивного слоя ρ_{12} определяют модуль $\mu_2 = \frac{\rho_3}{\rho_{12}}$ и, следовательно, индекс следующей двухслойной палетки ВП. Теперь бланк накладывают на палетку так, чтобы с осью палетки совмещалась ось h_{12}. В таком положении его передвигают по вертикали, стремясь сопоставить участок практической кривой $\eta_к$, отвечающий третьему слою, уже с правой ветвью какой-либо теоретической кривой. Добившись совмещения кривых, по вертикальной шкале бланка устанавливают величину η_3. Если разрез многослойный, то операции продолжаются до получения поляризуемости нижнего слоя.

Пример определения η указанным способом показан на рис. 5.

По данным интерпретации графика ВЭЗ $\rho_к$ 37 (см. рис. 4) установлено, что разрез является трехслойным типа Q. Его параметры – ρ_1 = 120 омм, h_1 = 1,2 м, ρ_2 = 44 омм, h_2 = 2 м, ρ_3 = 5 омм. Параметры эквивалентной среды $\rho_{1,2}$ = 66 омм, $h_{1,2}$ = 1,75 м и $\mu_2 = \frac{5}{66}$. Для определения поляризуемостей двух первых слоев выбрана двухслойная палетка ВП с индексом $\mu_2 = \frac{1}{4}$. Путем расшифровки левой части кривой $\eta_к$ найдено, что η_1 = 0,6% и η_2 = 1,8% (см. рис.5а). Для оценки поляризуемости третьего слоя взята палетка ВП с индексом $\mu_2 = \frac{1}{19}$. По положению правой ветви экспериментальной кривой на этой палетке сделан вывод, что η_3 = 1,25% (см. рис. 5б).

Наиболее неблагоприятен разрез, когда границы слоев, различающихся по сопротивлению, не совпадают с границами слоев разной поляризуемости. Если нет уверенности в совпадении указанных границ, то в опорных скважинах необходимо ставить каротаж ВП. Данные каротажа используются для получения опорных геоэлектрических разрезов. Зная мощности h_i и сопротивления ρ_i отдельных пластов разреза, можно найти эквивалентные параметры ($\rho_э$ и $h_э$) толщи, покрывающей интересующий слой, и далее, пользуясь описанными выше правилами, оценить истинную поляризуемость слоя. Если геофизические свойства пород разреза достаточно выдержаны по площади, то вариации мощности слоя могут быть обнаружены методом сопоставлений.

§ 19. Определение параметров α

В настоящее время еще не разработаны точные приемы интерпретации графиков $\alpha_к$. Однако в силу того, что пределы изменения α у разных пород невелики, кривые $\alpha_к$, как правило, слабо дифференцированы, и истинные значения α мало отличаются от кажущихся. Это дает возмож-

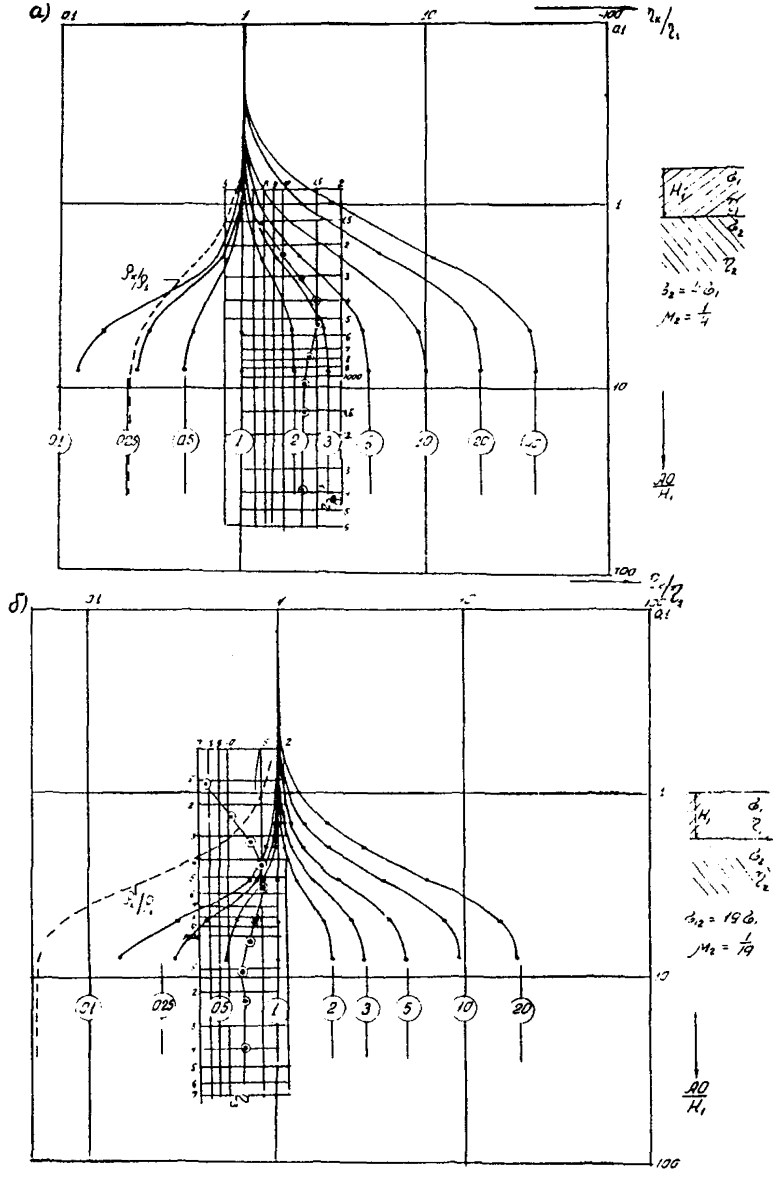
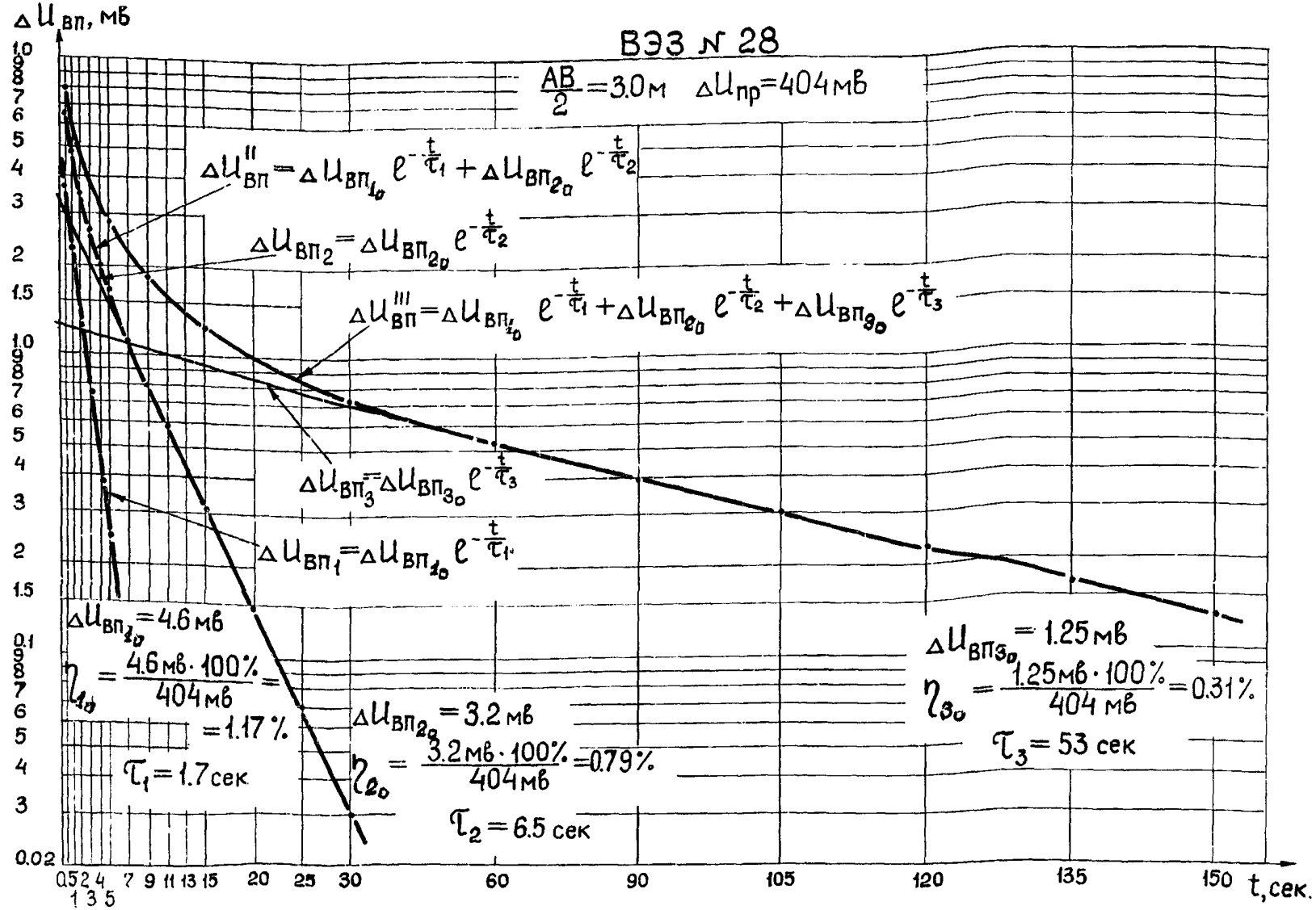


Рис. 5. Пример интерпретации графиков $\eta_к$ при помощи палеток: ② – η_2/η_1; ◉–◉–◉ экспериментальная кривая $\eta_к$



t, сек.	0.5	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	20	25	30
$\Delta U'''_{ВП} - \Delta U_{ВП3} = \Delta U''_{ВП}$	7.9	6.1	4.7	3.85	3.18	2.8	2.2	1.85	1.6	1.4	1.25	1.0	0.84	0.73
	1.23	1.22	1.21	1.18	1.16	1.13	1.1	1.05	1.01	0.98	0.94	0.86	0.77	0.7
	6.67	4.88	3.49	2.67	2.02	1.67	1.1	0.80	0.59	0.42	0.31	0.14	0.07	0.03
$\Delta U''_{ВП} - \Delta U_{ВП2} = \Delta U_{ВП1}$	6.67	4.88	3.49	2.67	2.02	1.67								
	2.90	2.60	2.24	1.92	1.64	1.42								
	3.77	2.28	1.25	0.75	0.38	0.25								

Рис.6. Пример графика $\Delta U_{ВП} = f(t)$ и разложение его на составляющие экспоненты

ность приближенно оценивать α непосредственно по графикам $\alpha_к$. Для установления более правильного соответствия найденных значений α определенным интервалам глубин графики $\alpha_к$ необходимо рассматривать в совокупности с графиками $\eta_к$ и $\rho_к$. При этом следует иметь в виду, что кривые $\alpha_к$ в условиях одного и того же разреза могут несколько раньше выходить на асимптоты, чем кривые $\eta_к$.

§ 20. Определение параметров τ и η_0

При разложении экспериментальной кривой $\Delta U_{ВП} = f(t) = \sum_{i=1}^{n} \Delta U_{ВП_{i_0}} e^{-t/\tau_i}$ на составляющие могут быть получены параметры, характеризующие каждую составляющую в отдельности: времена релаксации τ_i и начальные интенсивности $\Delta U_{ВП_{i_0}}$ каждого процесса.

Основой для разложения служит то, что любая экспоненциальная функция $A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$, представленная в полулогарифмическом масштабе, выражается прямой. Линейная связь между $\lg A(t)$ и t становится очевидной после логарифмирования функции, которая принимает вид: $\lg A(t) = \lg A_0 - \frac{t}{\tau} \lg e$. Наклон этой прямой определяет параметр τ (тангенс угла наклона прямой равен $\frac{\lg e}{\tau}$), а отрезок, отсекаемый ею на оси ординат ($\lg A_0$), - величину начального значения функции.

Так как практический график $\Delta U_{ВП} = f(t)$ составляет сумму нескольких экспоненциальных функций, то, будучи построен в полулогарифмическом масштабе, он должен иметь криволинейный характер (рис. 6), но конечная ветвь его, начиная с того момента, когда все составляющие, кроме одной, уже исчезли, будет прямолинейной. По положению и наклону прямолинейного отрезка судят о параметрах самой долгоживущей экспоненты. Вычитая найденную экспоненту из общей суммы, получают новую функцию, график которой в том же масштабе опять будет иметь прямолинейную конечную ветвь, соответствующую уже следующей составляющей. Таким образом, процесс разложения кривой $\Delta U_{ВП} = f(t)$ состоит в поочередном выделении из общей суммы по одной экспоненциальной функции, определении ее параметров и дальнейшем исключении ее из рассмотрения.

Для определения параметров практической кривой $\Delta U_{ВП} = f(t)$, в особенности τ_i, удобно пользоваться палеткой, предложенной А.Н.Пискуновым (рис. 7). Палетка представляет собой семейство прямых $\lg \frac{A(t)}{A_0} = \frac{t}{\tau} \lg e$, различающихся по величине τ (индекс прямых).

По оси абсцисс палетки отложено время t в масштабе 5 сек в 1 см, по оси ординат - отношения $\frac{A(t)}{A_0}$ в логарифмическом масштабе с модулем 5,25 см.

Планк с интерпретируемой кривой $\Delta U_{ВП} = f(t)$, построенной в том же масштабе, что и палетка, накладывают на последнюю таким образом, чтобы вертикальные оси кривой и палетки либо совпадали, либо были параллельны. Соблюдая это условие, планк передвигают в вертикальном направлении до тех пор, пока прямолинейная часть практической кривой,

описываемая уравнением $\Delta U_{ВП_n} = \Delta U_{ВП_{n0}} e^{-t/\tau_n}$, не совпадет с одной из прямых палетки. Значение τ_n снимают непосредственно с палетки, а $\Delta U_{ВП_{n0}}$ находят по ординате точки пересечения прямой с вертикальной осью бланка. Зная $\Delta U_{ПР}$, оценивают величину $\eta_{n_0} = \frac{\Delta U_{ВП_{n0}}}{\Delta U_{ПР}} \cdot 100\%$.

Опыт показывает, что у песчано-глинистых отложений функция $\Delta U_{ВП} = f(t)$ содержит три или, реже, две составляющие.

На рис. 6 приведен пример разложений трехкомпонентной кривой $\Delta U'''_{ВП} = f(t)$.

После того, как определены параметры третьей составляющей $\Delta U_{ВП_3}$, ее графически вычитают из экспериментальной функции. Для этого начальную часть оси абсцисс разбивают на небольшие интервалы, постепенно увеличивающиеся с ростом t, и через соответствующие точки проводят прямые линии, параллельные оси ординат (см. рис. 6). Они пересекают на своем пути прямую $\Delta U_{ВП_3}$ и график $\Delta U'''_{ВП} = f(t)$. Для каждой линии из суммарной ординаты $\Delta U'''_{ВП}$ вычитают ординату $\Delta U_{ВП_3}$. По полученным разностям на том же бланке строят кривую, представляющую собой сумму двух оставшихся экспонент $\Delta U''_{ВП} = \Delta U_{ВП_{1_0}} e^{-t/\tau_1} + \Delta U_{ВП_{2_0}} e^{-t/\tau_2}$. Далее описанным способом находят параметры второй по скорости спада составляющей, а затем первой. Однако на практике чаще ограничиваются только определением параметров последней экспоненты. Индекс "3" у τ в этом случае опускают.

В условиях неоднородной среды получают кажущиеся параметры $\tau_к$.

Если параметры $\tau_к$ найдены для достаточно большого числа разносов АВ, то рекомендуется строить графики $\tau_к = f\left(\frac{AB}{2}\right)$ в принятом логарифмическом масштабе на общем бланке с остальными кривыми. При малом количестве данных на бланк наносят отдельные значения $\tau_к$.

Для правильного определения τ весьма важно, чтобы величины $\Delta U_{ВП}$, по которым строится кривая $\Delta U_{ВП} = f(t)$, были замерены как можно точнее. Точность этих определений главным образом зависит от точности, с которой найден нуль отсчетов $\Delta U^к_0$. Если последний почему-либо не мог быть установлен уверенно при измерениях в поле, то его можно приближенно найти с помощью графического построения. Для этого кривую $\Delta U_{ВП} = f(t)$ строят предварительно в арифметическом масштабе и намечают примерное положение ее асимптоты. Ордината данной асимптоты соответствует значению $\Delta U^к_0$.

§ 21. Обработка результатов профилирования методом ВП

Данные профилирования представляются в виде графиков изменения по профилю кажущейся поляризуемости. Иногда к ним прилагают графики изменений $\alpha_к$. Аномальные участки на профилях выделяются по заметным на общем фоне максимумам или минимумам $\eta_к$ или $\alpha_к$. Вертикальный масштаб графиков определяется степенью дифференциации пород района по данному параметру и выбирается с таким расчетом, чтобы графики имели наи-

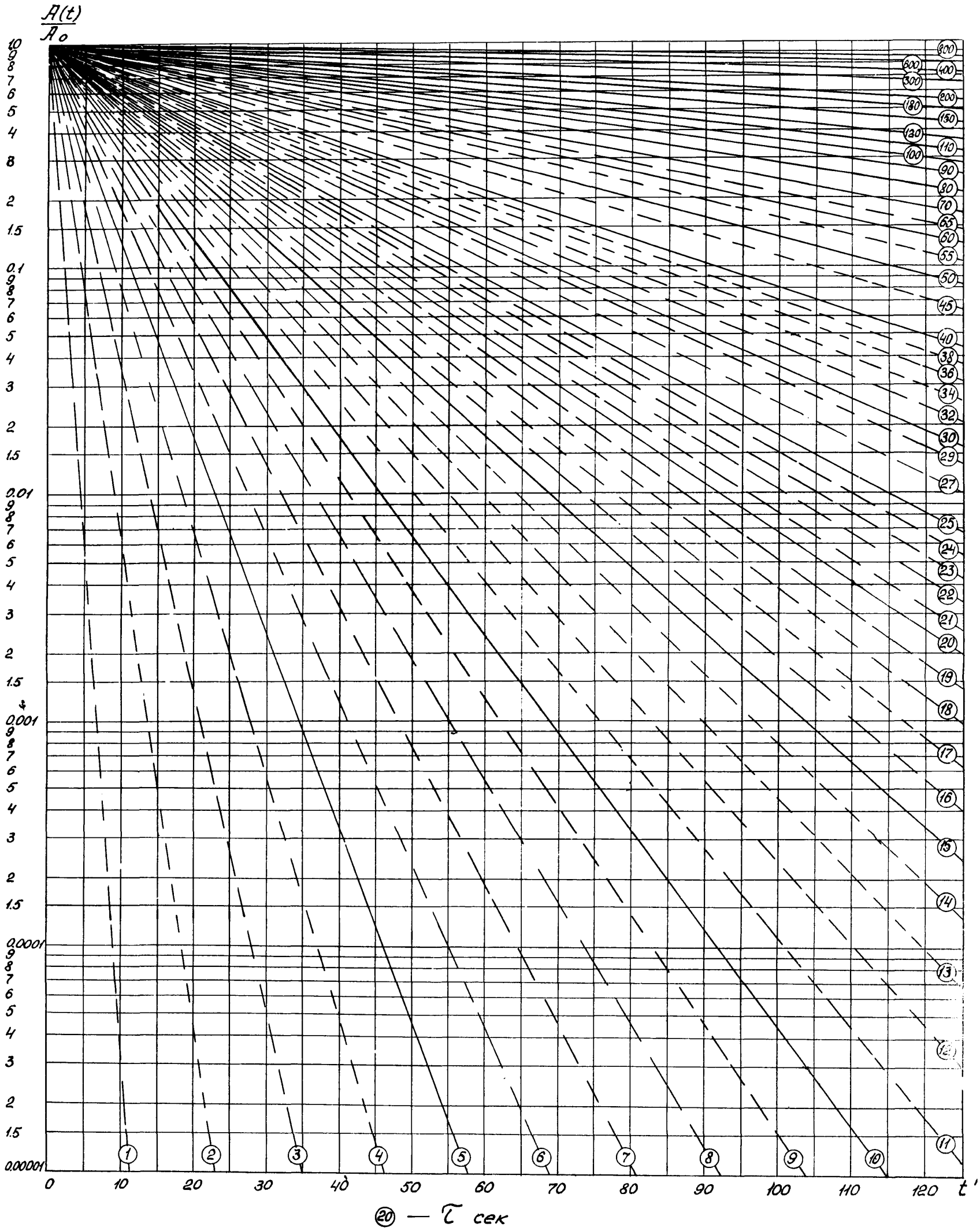


Рис.7. Палетка для определения значений τ
(по Л.И.Пискунову)

большую наглядность. Выбор горизонтального масштаба зависит от необходимой детальности исследований и шага измерений.

Графики $\eta_к$, $\alpha_к$ и $\rho_к$ вычерчивают на одном листе и интерпретируют совместно. При анализе материала и составлении заключения о характере геоэлектрического разреза следует иметь в виду, что упомянутые графики, будучи построенными для одного и того же разноса АВ, не всегда отвечают одной и той же глубине. Кроме того, при значительном изменении по профилю удельных сопротивлений отдельных слоев разреза можно ожидать, что на графиках $\eta_к$ будут наблюдаться вариации, даже если поляризуемости этих слоев будут оставаться неизменными. Поэтому для более уверенного истолкования графиков профилирования методом ВП необходимо учитывать данные зондирований ВП, поставленных на наиболее характерных участках профилей.

§ 22. Обработка каротажных материалов

Материалы каротажных исследований методом ВП представляются по каждой скважине в виде обобщенной диаграммы ВП, содержащей три кривые: $\Delta U_{ВП_+} + \Delta U_{ПС}$; $\Delta U_{ВП_-} + \Delta U_{ПС}$ и $\Delta U_{ПС}$ (рис. 8). Взаимное расположение кривых обусловливается их начальными компенсациями. Совмещение кривых на одной диаграмме позволяет учесть влияние $\Delta U_{ПС}$ на характер кривых $\Delta U_{ВП} + \Delta U_{ПС}$.

Интерпретация диаграмм ВП сводится к расчленению разреза на отдельные слои в соответствии с относительной величиной их поляризуемости. При этом границы пластов отбивают так же, как и по кривым $\Delta U_{ПС}$.

Графики $\Delta U_{ВП} = f(J)$ строят на миллиметровке в произвольном масштабе. Для песчано-глинистых пород в большинстве случаев они прямолинейны, но иногда наблюдается заметное выполаживание кривых при сравнительно больших значениях J (рис. 9). При обратном ходе кривые часто приобретают гистерезисный характер. Истолкование графиков $\Delta U_{ВП} = f(J)$ состоит в определении отношений $\frac{\Delta U_{ВП}}{J}$ при $J \to 0$, которые служат своеобразной характеристикой среды. Площадь гистерезисной петли является критерием длительности процесса спада $\Delta U_{ВП}$. Графики $\Delta U_{ВП} = f(t)$, снятые при работе со станцией АЭКС, расшифровывают по тем же правилам, как указано в § 20.

§ 23. Геологическая интерпретация результатов наблюдений

По найденным значениям ρ, η, α и τ составляют заключение о литологической характеристике каждой горной породы, выделенной в геологическом разрезе.

При изучении песчано-глинистых грунтов руководствуются следующими общими положениями, установленными в результате теоретических и экспериментальных исследований.

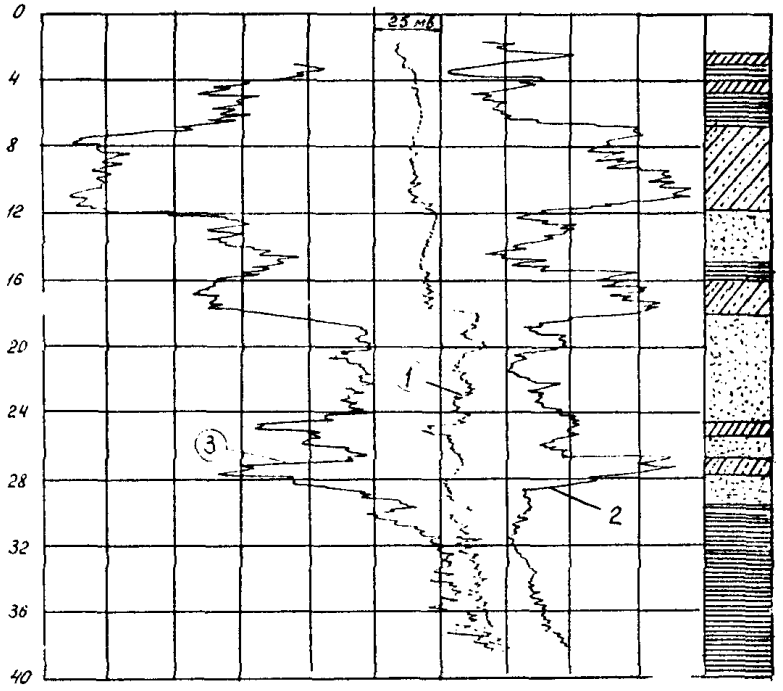


Рис. 8. Пример диаграммы ВП:

(I) $-\Delta U_{ПС}$; (2) $-\Delta U_{ВП_+} + \Delta U_{ПС}$; $J = 150$ ма; $d = 100$ мм;

(3) $-\Delta U_{ВП_-} + \Delta U_{ПС}$; зонд А 0.04 М 0.04 А' 2В; $\rho_c = 7{,}5$ омм

- песок; - суглинок;

- глина; - супесь

Параметр η у обломочных пород определяется главным образом строением порового пространства. Чем больше различаются по поперечному сечению отдельные поровые каналы породы, тем выше ее поляризуемость. Таким образом, породы, однородные по фракционному составу (хорошо отсортированные пески, жирные глины, пылеватые суглинки), будут иметь минимальные величины η. Наоборот, породы с примесью фракций, резко отличных по диаметру от основной массы частиц (супеси, легкие суглинки, пески с включением глинистого материала и др.), должны обладать относительно высокой поляризуемостью.

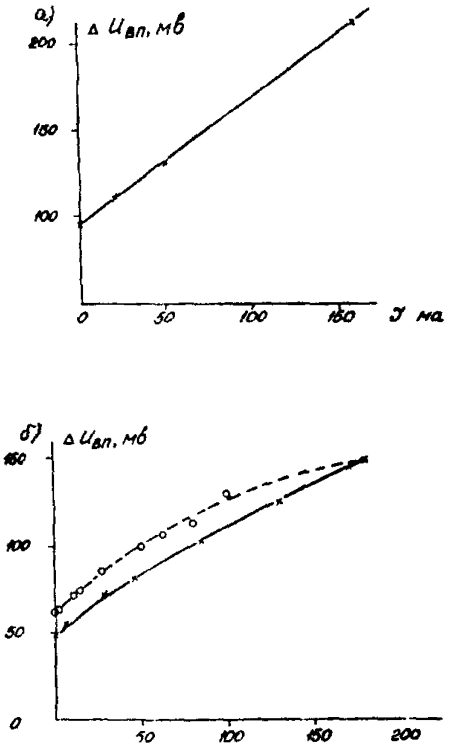


Рис. 9. Пример графиков $\Delta U_{ВП} = f(J)$:
а) Скв. № 29. Глубина 16,2 м. Глина с небольшим включением щебня;
б) Скв. № 43. Глубина 11 м. Суглинок с включением обломков кавернозного известняка

Поляризуемость резко уменьшается с увеличением концентрации растворов, насыщающих породу. Если минерализация превышает 10 г/л, вызванная поляризация почти полностью исчезает. На величине поляризуемости отражается также химический состав солей в растворе. С увеличением валентности господствующего в растворе катиона поляризуемость породы уменьшается. Кроме того, для пород с щелочными водами η обычно выше, чем для пород, насыщенных нейтральными растворами.

Сильное влияние на поляризуемость пород оказывает их влажность. Максимальные значения η от-

мечаются у пород с весовой влажностью порядка трех-пяти процентов. С изменением ее в одну или в другую сторону η уменьшается. Согласно лабораторным данным колебания влажности сказываются на поляризуемости, когда влажность меньше 12-13%. При большей влажности ее изменения не отражаются на величине поляризуемости.

Величина поляризуемости зависит также от минералогического состава породы. Так, отмечено, что монтмориллонитовые глины характеризуются значительно большей поляризуемостью, чем каолинитовые, а среди песков относительно более высокой поляризуемостью отличаются полевошпатовые разности.

Общий характер распределения η по величине для всех разновидностей песчано-глинистых грунтов показан на диаграмме (рис. 10), составленной по данным полевых экспериментальных работ. Из диаграммы видно, что максимальные значения η наблюдаются у пород, которые по инженерно-геологической классификации располагаются в интервале от мелких песков до легких суглинков. При этом самые большие значения η встречены у тяжелых супесей и легких суглинков. Низкие величины η типичны, с одной стороны, для водоносных крупнообломочных пород, а с другой для однородных глинистых грунтов. Особенно малые значения η обнаружены у пылеватых суглинков и некоторых видов жирных глин.

Поведение параметра α наиболее характерно для песчаных грунтов. Величина его обусловливается, в основном, гранулометрическим составом песка. С увеличением диаметра преобладающей в песке фракции величина α закономерно уменьшается. Таким образом, при переходе от мелкого песка к гравелистому, при прочих равных условиях, величина α падает. Только для крупнообломочных грунтов подмечен обратный ход зависимости от размера основной фракции.

Параметр α довольно устойчив для каждой разновидности песка и не зависит ни от концентрации солей в растворе, ни от их ионного состава. Заметно сказываются на величине α лишь изменения во влажности песка. Опыт показывает, что у маловлажных, практически безводных пород α в большинстве случаев выше, чем у водоносных.

Для глинистых грунтов одного и того же вида α может колебаться в значительных пределах. Установлено, что малые α чаще всего бывают связаны с наиболее высокими значениями η и, наоборот, большие величины α согласуются с относительно малыми η.

Характер изменения параметра τ особенно выразителен для глинистых грунтов. При постепенном переходе от супесей к жирным глинам величина τ уменьшается. Для грубых песчаных грунтов τ несколько понижается с увеличением размера основной фракции. Крупнообломочные грунты характеризуются обычно весьма низкими значениями τ. Параметр τ так же, как и α, не зависит от минерализации поровых вод.

Далее приводится табл. 1 с типичными значениями параметров ВП для различных категорий песчано-глинистых грунтов, составленная на основе

материалов, полученных лабораторией инженерной геологии и геофизики ШИИСа по шестнадцати объектам. Параметры η и α, данные в таблице, определялись при зарядке среды кратковременными разнополярными импульсами, а τ – при длительной зарядке. При измерениях в режиме длительной зарядки η будут несколько выше (в среднем в I,I-I,3 раза), а α, наоборот, ниже (примерно в I,5 раза).

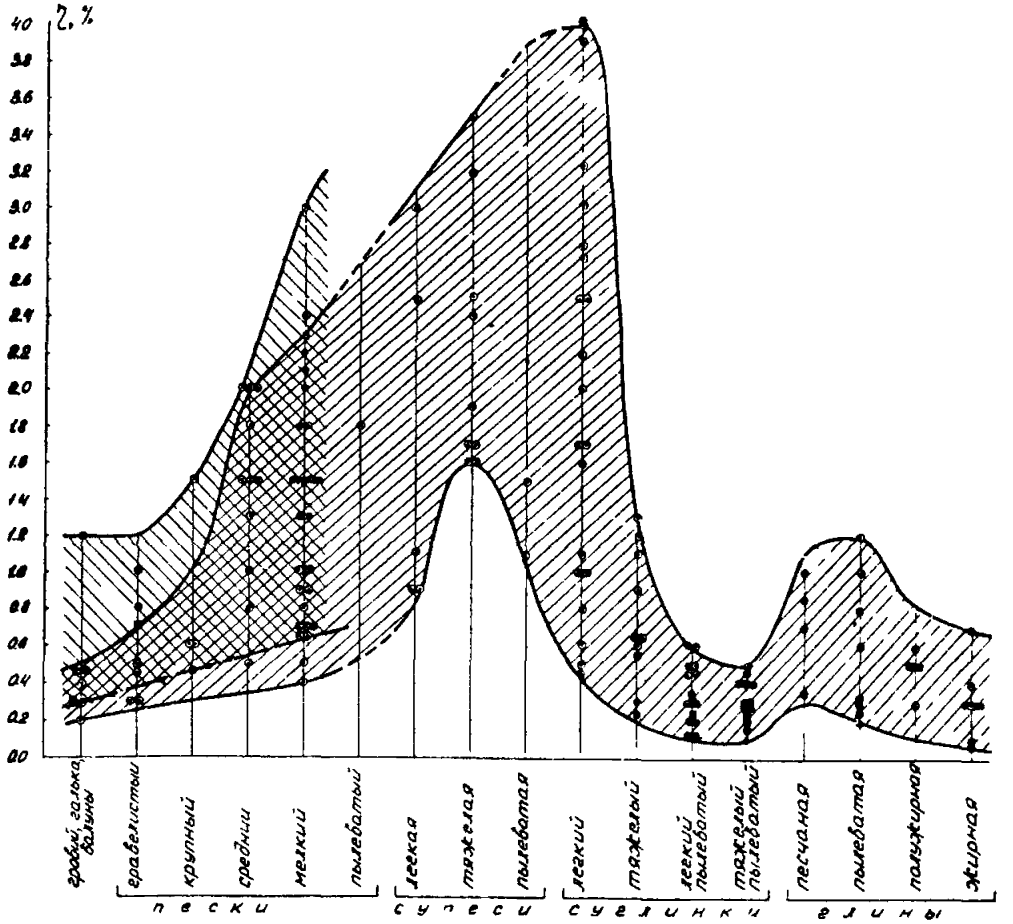


Рис. 10. Диаграмма значений η для песчано-глинистых грунтов:

⊙ – значения η для влажных и водонасыщенных грунтов;

⊗ – значения η для маловлажных песков;

– область значений η для влажных и водонасыщенных грунтов;

– область значений η для маловлажных песков

Таблица I

Наименование грунта				ρ, ом·м	η, %	α	τ, сек
I			2	3	4	5	6
Крупнообломочные и песчаные грунты		крупнообломочный грунт	водонасыщенный и очень влажный	>100	0,2-0,5	2,8-3,5	40
			маловлажный	>200-500	≤1,2	>3	15-40
	Песок	гравелистый	водонасыщенный и очень влажный	>100	0,25-0,7	2,2-2,5	~50-60
			маловлажный	>200-300	≤1,2	≤3,2	55-65
		крупный	водонасыщенный и очень влажный	70-220	0,3-1,0	2,2-2,8	60-80
			маловлажный	>200	≤1,5	≤3,2	-
		средний	водонасыщенный и очень влажный	40-200	0,35-2,0	2,2-3,2	~80-90
			маловлажный	>200	≤2,0	≤3,5	-
		мелкий	водонасыщенный и очень влажный	30-200	0,4-2,3	2,4-3,4	30-80
			маловлажный	>200	≤3	≤4	70-90
		пылеватый	водонасыщенный и очень влажный	<120	~0,5≈2,8	2,6-3,4	50-90
			маловлажный	-	-	-	-
Глинистые грунты	Супесь	легкая		30-70	0,8-3,1	2,4-3,5	70-100
		тяжелая		30-70	1,5-3,5	2,4-4	60-100
		пылеватая		30-40	1,0≈3,9	2,2-4,2	70-100
	Суглинок	легкий		30-110	0,4-4	2-4,5	80-110
		тяжелый		30-110	0,2-1,3	2-5	50-110
		легкий пылеватый		15-50	0,1-0,6	2-8	5-70
		тяжелый пылеватый		15-50	0,1-0,5	2-8	5-80
	Глина	песчаная		20-40	0,3-1,2	2-5	20-80
		пылеватая		7-35	0,2-1,2	2,4-4	5-40
		полужирная		15-30	0,1-0,8	2,6-3,2	15-50
		жирная		10-30	0,07-0,7	≥3	5-50

Наименования грунтов в таблице даны в соответствии с принятой инженерно-геологической классификацией.

При переходе из одного района в другой параметры ВП могут меняться по величине в пределах, указанных в таблице. Поэтому, перед тем как приступить к истолкованию результатов полевых работ, необходимо тщательно рассмотреть материалы параметрических измерений, выполненных около опорных скважин, и установить основные поисковые критерии для отдельных разновидностей грунта. Как правило, для одного и того же района хорошо сохраняются общие тенденции в изменении параметров ВП для разных пород в соответствии с приведенной таблицей. Отдельные примеры расчленения геологического разреза по данным метода ВП см. на рис. II-I5.

На рис. IIа представлен пример разделения по параметрам ВП разных типов водоносных аллювиальных песков: среднего, крупного и мелкого. Минерализация воды в песках одинакова и равна 315 мг/л. При этих условиях кривая $\rho_к$ мало выразительна. В то же время при совместном рассмотрении кривых $\rho_к$, $\eta_к$, $\alpha_к$ и $\tau_к$ разрез расчленяется достаточно уверенно. Пески характеризуются следующими параметрами:
средний песок (I,4-2,7 м) - $\rho \approx 80$ омм; $\eta \approx 0{,}9\%$; $\alpha = 2{,}7$
крупный песок (2,7-4,5 м) - $\rho \approx 80$ омм; $\eta \approx 0{,}35\%$; $\alpha = 2{,}4$
$\tau_з = 80$ сек,
мелкий песок (4,5-8 м) - $\rho \approx 80$ омм; $\eta \approx 0{,}7\%$; $\alpha = 2{,}8$; $\tau_з = 30$ сек.
Более низкая поляризуемость мелкозернистых песков по сравнению со средними, очевидно, объясняется их большей однородностью.

Пример расчленения по кривым $\rho_к$, $\eta_к$ и $\alpha_к$ сухих флювиогляциальных песчаных грунтов приведен на рис. IIб. Рассматривая в совокупности кривые $\rho_к$, $\eta_к$ и $\alpha_к$, можно разграничить песчаные грунты достаточно отчетливо. Переход от мелкого песка (I-4 м) к гравелистому (4-I0,4 м) выражается подъемом кривой $\rho_к$ (с 90 до I50 омм) и снижением $\eta_к$ (с I,5 до 0,95%) и $\alpha_к$ (с 4 до 3). Лежащие ниже гравийно-галечные отложения отмечаются небольшим повышением значений $\eta_к$ и $\alpha_к$. Кровля коренных пород, представленных мергелями, доломитами и глинами, наиболее четко устанавливается по спаду кривой $\rho_к$.

На рис. I2а дан пример дифференциации по η жирной (ВЗЗ 36) и пылеватой (ВЗЗ 37) глины. Кривые $\eta_к$ в обоих случаях принадлежат к трехслойному типу К. Первый слой соответствует почве и поверхностным суглинкам, второй - пескам, третий - глинам. Правые ветви кривых выходят на асимптоты, отвечающие истинным значениям поляризуемости глин. Для жирной глины $\eta = 0{,}8\%$, для пылеватой - $\eta = I{,}2\%$.

На рис. I2б можно проследить изменение характера кривой $\eta_к$ при переходе от песчаной глины к полужирной, когда одна непосредственно залегает над другой. Кривая $\rho_к$ в данном случае принадлежит к неясно выраженному трехслойному типу Q и трудно интерпретируется. Кривая $\eta_к$ относится к тому же типу, но граница между разными видами глин обнаруживается на ней более отчетливо. Первый спад кривой $\eta_к$ обус-

ловлен переходом от песков к песчаной глине, а второй - границей между глинами разного типа. Для песчаной глины $\eta \approx 0{,}8\%$, для полужирной - $\approx 0{,}3\%$. Переход к полужирной глине вызывает также резкое снижение $\tau_к$.

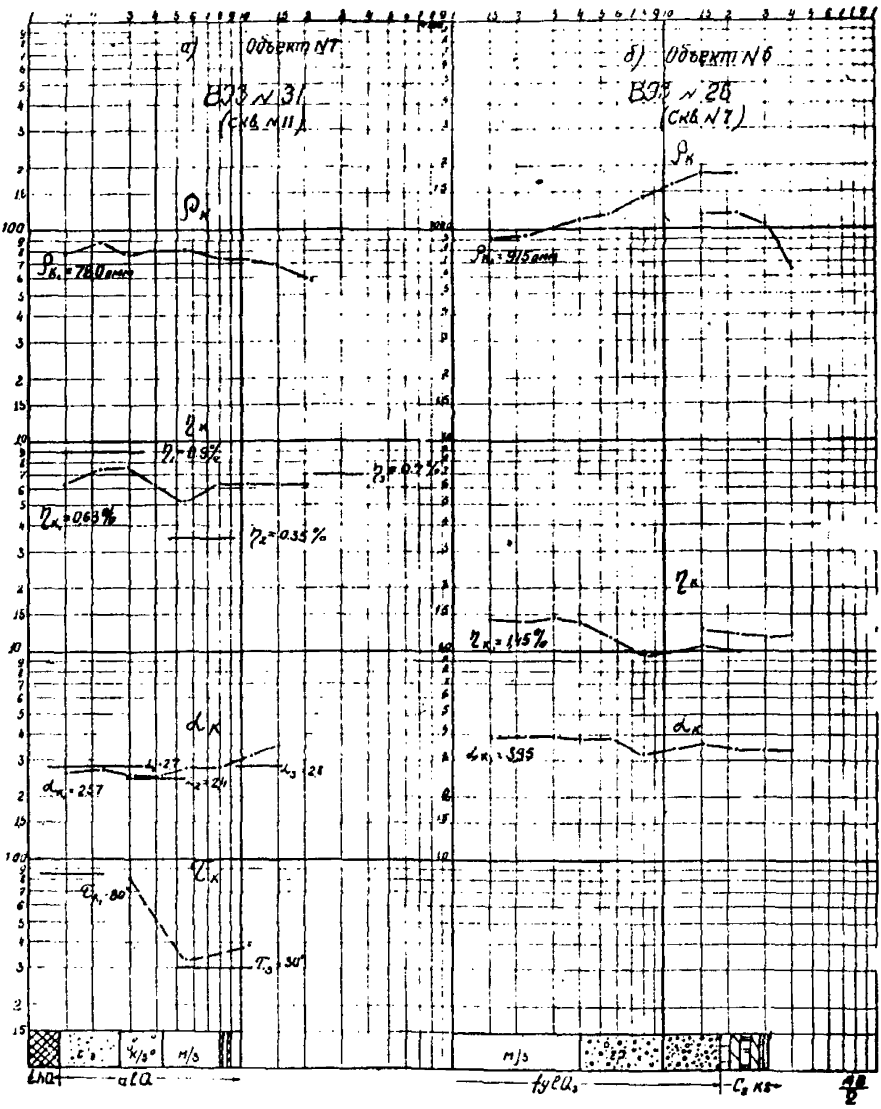


Рис. II. Примеры расчленения водонасыщенных и сухих песков (условные обозначения см. на рис. I4)

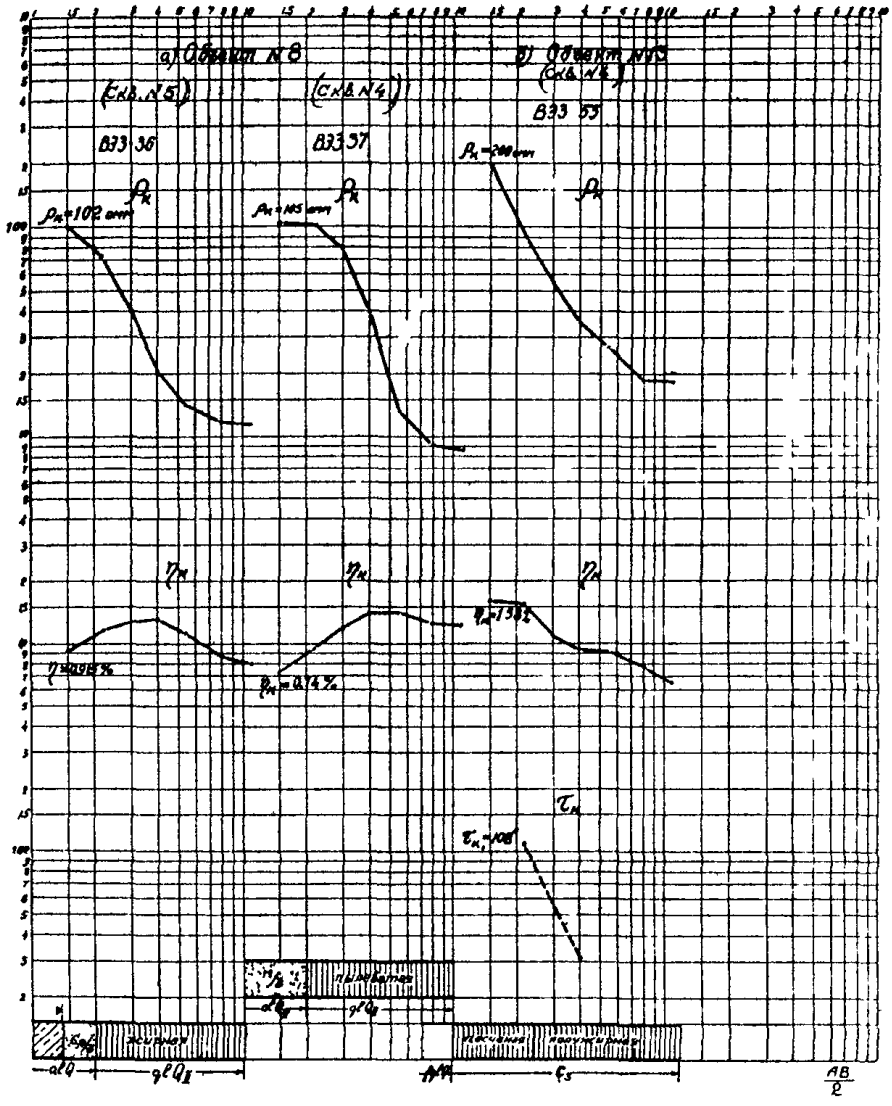


Рис. I2. Пример расчленения разных видов глин
(условные обозначения см. на рис. I4)

Рис. I3а иллюстрирует расчленение по параметрам ВП[x)] разреза, сложенного пылеватыми грунтами (легким и тяжелым суглинком и глиной).

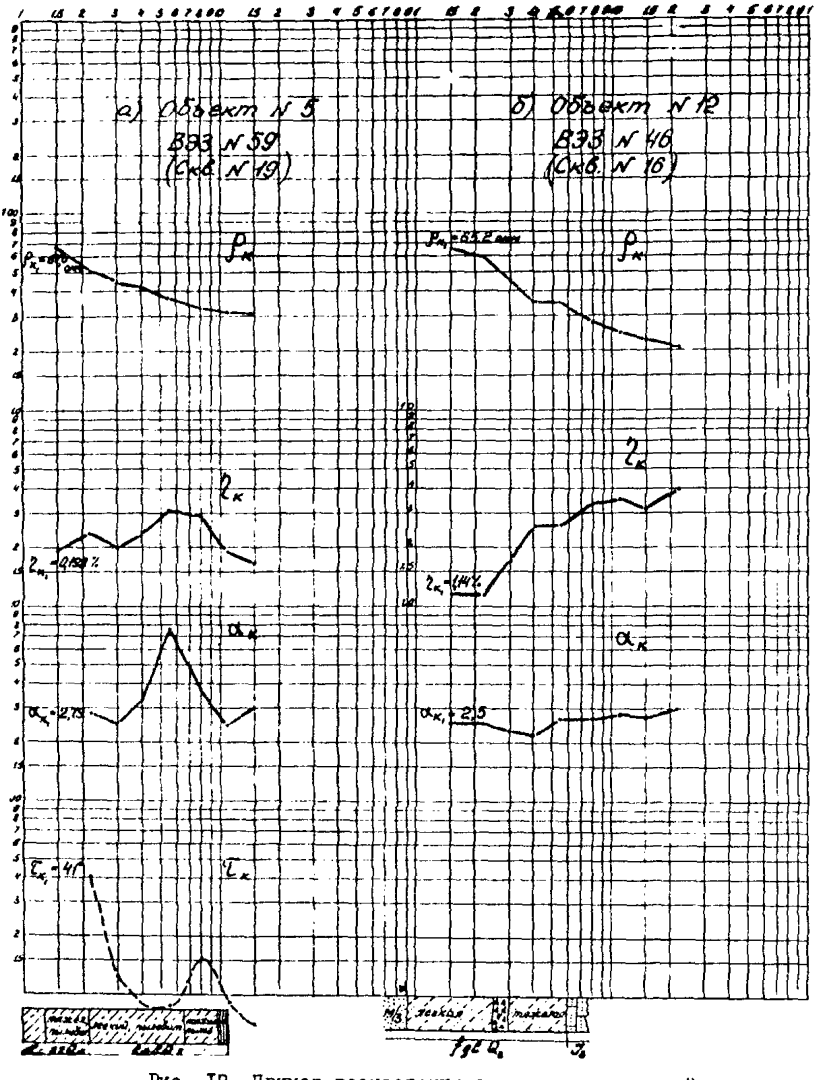


Рис. I8. Пример расчленения суглинков и супесей
(условные обозначения см. на рис. I4)

x) Данные получены при длительной зарядке среды.

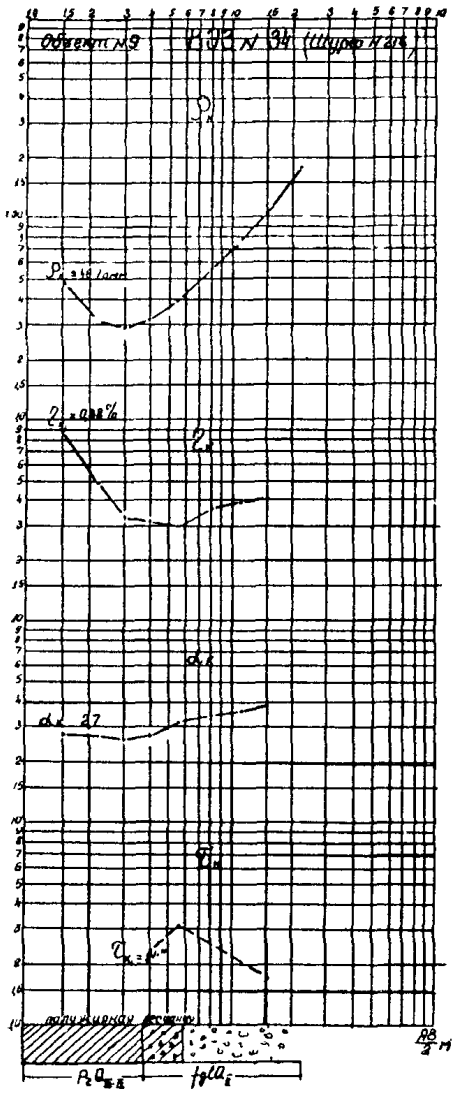
Глина близка по числу пластичности к тяжелому суглинку, но сильно отличается от него по гранулометрическому составу. Кривая $\rho_к$ в этих условиях слабо дифференцируется и показывает лишь общую тенденцию к снижению удельного сопротивления с глубиной. На кривых $\eta_к$, $\alpha_к$, и $\tau_к$ все слои разреза отмечаются очень четко.

На фоне низких $\eta_к$, характерных для пылеватых грунтов, кривая поляризуемости образует максимум ($\eta_к$ = 0,3%), который отвечает слою легкого суглинка. Тяжелый суглинок и глина проявляются на кривой весьма низкими значениями $\eta_к$. На участке кривой $\alpha_к$, приуроченном к легкому суглинку, наблюдается резкий максимум. Амплитуда максимума достигает семи. Для тяжелых суглинков значения $\alpha_к$ падают до 2,5. Переход от тяжелых суглинков к глинам сопровождается снова небольшим подъемом кривой $\alpha_к'$. Особенно выразительна для данного разреза кривая $\tau_к$. При переходе от тяжелых суглинков к легким значения $\tau_к$ падают с 40 до 9 сек. Для нижнего слоя тяжелых суглинков они снова поднимаются и затем резко падают до 7 сек при переходе к пылеватым глинам.

На рис. I3б показан пример разделения по кривым $\eta_к$ и $\alpha_к$ легкой и тяжелой супеси. Последние расчленены между собой полуметровым гравийно-галечным слоем и залегают на юрских песчаниках. Кривая $\rho_к$ для этого разреза постепенно снижается с увеличением АВ, образуя лишь небольшой перегиб в средней части, отражающий появление гравийно-галечных отложений. По кривой $\eta_к$ супеси разграничиваются отчетливо. Для легкой супеси $\eta_к \approx$ I,I%, $\alpha_к$ = 2,5; для тяжелой - $\eta_к \approx$ 3%, а $\alpha_к$ = 2,7. На кривой $\alpha_к$ слой гравийно-галечных отложений отмечается по минимуму. Переход от тяжелой супеси к песчаникам определяется по дальнейшему повышению $\eta_к$.

На рис. I4 дан пример определения по данным метода ВП кровли сухих песчано-гравийных отложений, залегающих под слоем песчаной глины с включением дресвы. На кривой $\rho_к$, имеющей четырехслойный характер типа НА, отчетливо проявляются лишь верхние слои разреза. Подошва слоя песчаной глины по ней выделяется с трудом. Между тем на кривой $\eta_к$ переход от песчаной глины к гравийно-песчаной массе выражается характерным подъемом, за которым следует уверенный выход на асимптоту при $\eta_к \approx$ 0,45%. По значению α песчано-гравийные отложения также заметно отличаются от вышележащих пород. Для первых оно близко к 3,5, а для вторых - лежит в пределах 2,6-3. Весьма отчетливо расчленяется разрез по параметру $\tau_к$. Для полужирной глины $\tau_к$ = 23 сек, для песчаной глины - 30 сек и для песчано-гравийной массы - I7 сек.

В работе не рассматриваются вопросы интерпретации результатов метода ВП для разрезов, содержащих другие разновидности пород, кроме приведенных в табл. I. В этих случаях до накопления опыта следует опираться на данные параметрических измерений у скважин. Известно лишь, что для карбонатных пород (известняки, мергели, доломиты) η в большинстве случаев составляет 0,8-I%, α колеблется около двух, а τ



- насыпной грунт;
- песок К/з - крупный; С/з - средний; М/з - мелкий;
- песок гравелистый;
- гравий и галька, валуны;
- супесь;
- суглинок;
- глина четвертичная;
- глина;
- мергель;
- доломит;
- известняк;
- трещиноватость;
- дресва;
- уровень грунтовых вод

Рис. I4. Пример расчленения моренных отложений

равняется примерно 100–150 сек. По величинам τ и α можно разделять между собой разные категории карбонатных пород. Например, доломиты в сравнении с известняками выделяются обычно по относительно высоким τ и низким α.

Результаты исследований позволяют заключить, что переход от рыхлых отложений к скальным часто более отчетливо фиксируется по кривым параметров ВП, чем по кривой $\rho_к$ см.рис.15[x]. Здесь коренные породы, вскрытые на глубине 21 м, представлены переслаиванием известняков, доломитов и мергелей карбона. С 40 м в разрезе преобладают глины. На коренных породах залегают ледниковые отложения разного состава от суглинка до крупнообломочного материала. Уровень грунтовых вод совпадает с кровлей коренных пород. При совместном рассмотрении кривых $\rho_к$, $\eta_к$, $\alpha_к$ и $\tau_к$ можно видеть, что верхняя граница коренных пород отмечается наиболее уверенно по резкому возрастанию параметра $\tau_к$ (с 50 до 90 сек). Переход к толще глин фиксируется по заметному уменьшению значений $\rho_к$, $\tau_к$ и $\eta_к$. По величине $\tau_к$ хорошо расчленяются также моренные отложения. Левая ветвь кривой $\tau_к$ постепенно снижается с 90 до 25 сек, отражая смену мелкого песка гравелистым и затем крупнообломочным материалом, подошва которого выражается на кривой началом ступеньки, отвечающей нижележащим слоям мелкого песка и суглинка.

В приведенных примерах геологический разрез часто слабо дифференцируется по удельному сопротивлению. Однако из этого не следует, что постановка метода сопротивлений не всегда обязательна. Знание соотношений сопротивлений слоев в разрезе необходимо для правильного истолкования кривых кажущейся поляризуемости. Кроме того, следует иметь в виду, что наиболее полное освещение геологического разреза может быть получено лишь при комплексном использовании четырех геофизических параметров (ρ, η, α и τ), а роль каждого из них в зависимости от конкретной обстановки может быть большей или меньшей.

ГЛАВА VI. ПРИМЕРЫ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

§ 24. Объект I

Исследования проводились в Московской области на оползневом косогоре трассы автомобильной дороги (объект Союздорпроекта). Цель работ – выяснение возможности использования метода ВП для изучения геологического строения оползневых районов, когда они сложены преимущественно глинистыми грунтами.

---

[x] Приведенные данные получены при длительной зарядке среды.

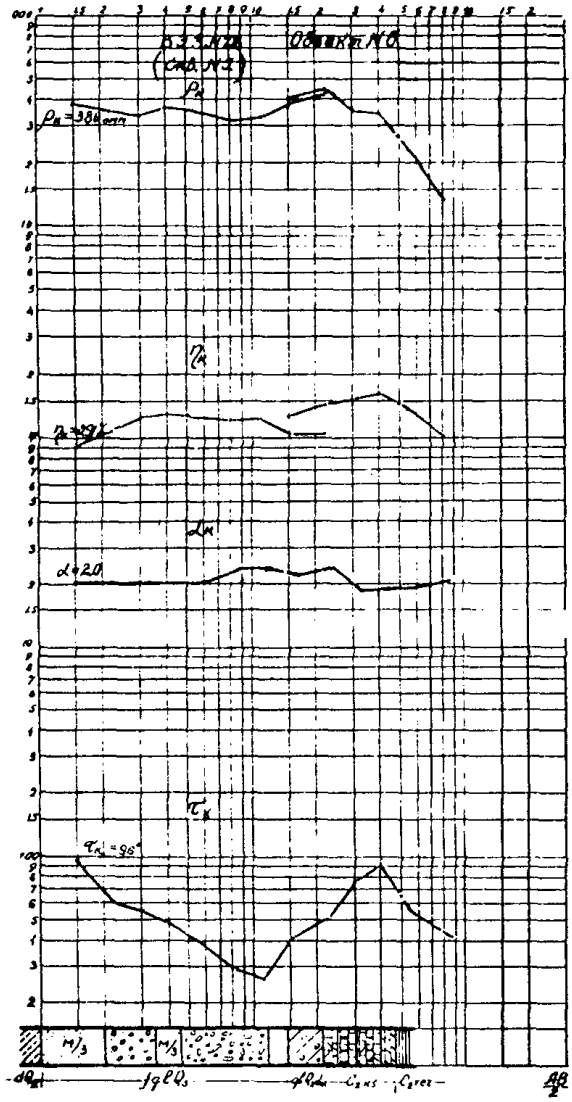
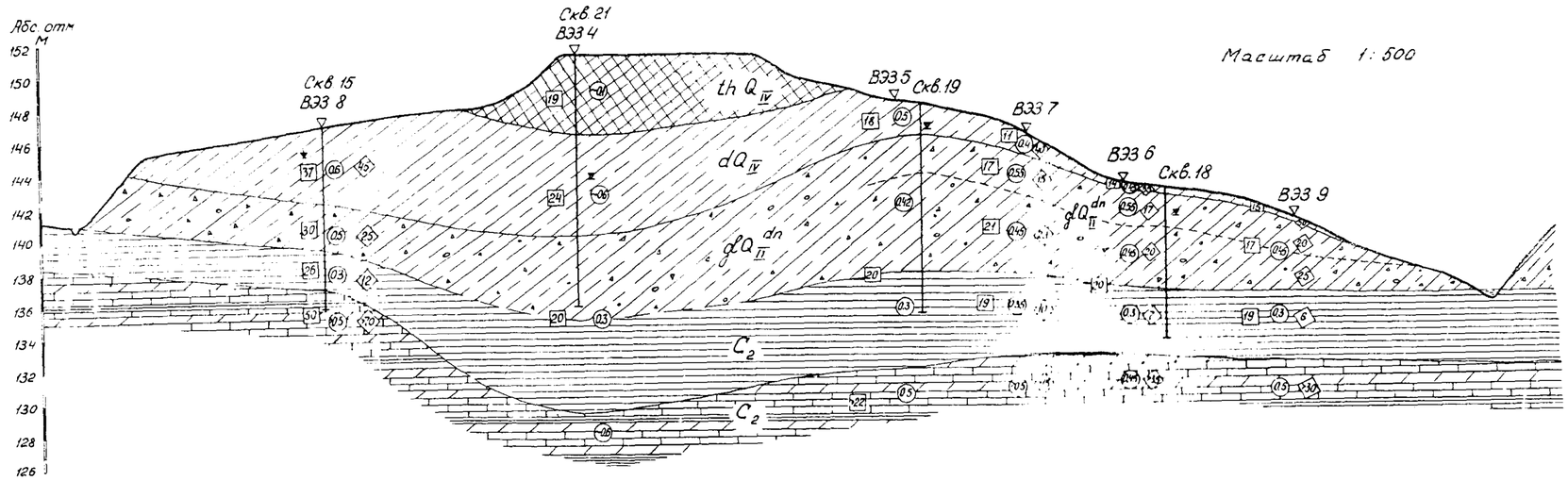


Рис. I5. Пример разделения маловлажных рыхлых отложений и скальных пород

(условные обозначения см. на рис. I4)



Условные обозначения

- $th\,Q_{IV}$ — Насыпной грунт
- dQ_{IV} — Суглинки легкие
- $gl\,Q_{II}^{dn}$ — Суглинки тяжелые с включением щебня и гальки.
- C_2 — Глины жирные
- C_2 — Переслаивание известняков, мергелей, глин.
- 20 — Значения ρ в омм.
- 0.5 — Значения η в %.
- 40 — Значения τ в сек.
- Уровень грунтовых вод
- Точка вертикального электрического зондирования
- ---- Граница между верхней и нижней мореной.
- Буровая скважина.

Таблица электрических параметров слоев геологического разреза по данным ВЭЗ.

Наименование параметра		ρ						η						τ					
N N ВЭЗ		8	4	5	7	6	9	8	4	5	7	6	9	8	4	5	7	6	9
$th\,Q_{IV}$	Насыпной грунт		19						0.05-0.3										
dQ_{IV}	Суглинки легкие	37	24	18	11	14	15	0.6	0.6	0.5	0.4	0.45		45	не		40	35	50
$gl\,Q_{IV}^{dn}$	Суглинки тяжелые, пылеватые	30			21		17	0.5		0.4	0.55	0.55	0.45	25	замерялся		15	17	20
	Суглинки тяжелые		20	20		20			0.3		0.45	0.45					23	20	25
C_2	Глины жирные	26			19		19	0.3		0.3	0.35	0.3	0.3	12			10	7	6
	Переслаивание известняков, мергелей, глин	50		>22				>0.5	0.6	0.5	>0.5	0.45	0.5	>70			>15	>35	>30

Рис.16. Геоэлектрический разрез по объекту I

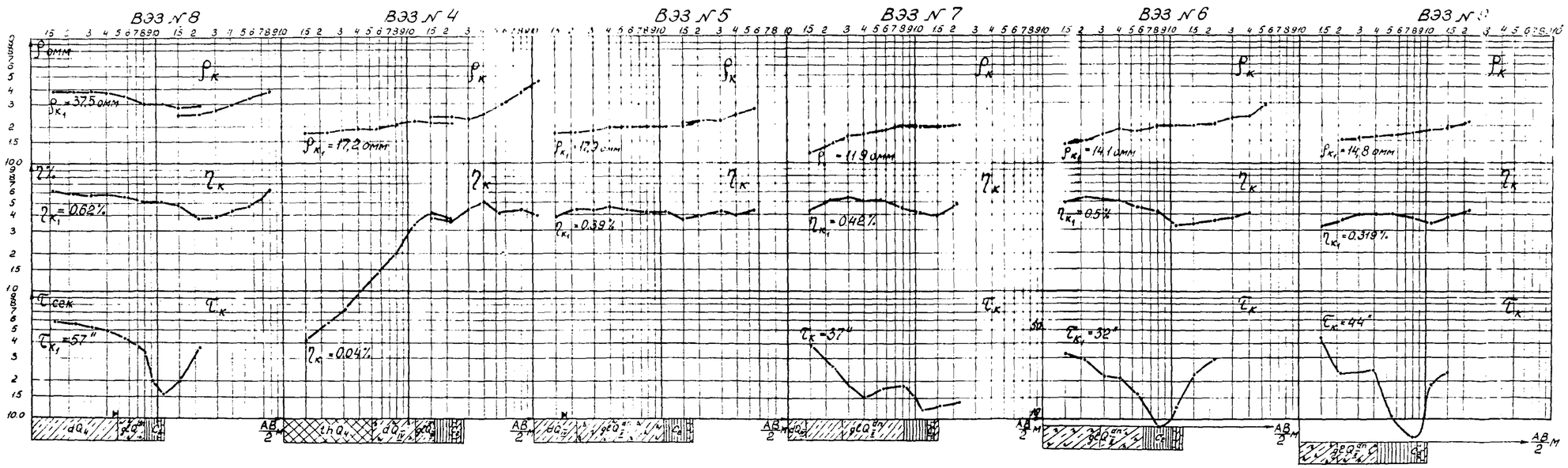


Рис.17. Кривые $\rho_к$, $\eta_к$ и $\tau_к$ по объекту I

Геологический разрез исследованного участка представлен в нижней части породами среднего карбона - известняками, мергелями и пестроцветными глинами. Мощность глин колеблется от 2 до 6 м. На глинах залегают водоупорные тяжелые моренные суглинки, местами в верхней части (верхняя морена) пылеватые. Мощность их меняется по участку от 3 до 9 м, частично они перекрыты легкими делювиальными суглинками мощностью до 6 м. Подземные воды вскрыты в делювиальных суглинках и моренных мергелях.

Результаты исследований приведены на рис. I6 и I7. При рассмотрении кривых $\rho_к$ видно, что разрез слабо расчленяется по удельному сопротивлению (см. рис. I7). В большинстве случаев по кривым $\rho_к$ совершенно не разделяются моренные суглинки и каменноугольные глины.

Кривые $\eta_к$ в основном многослойны, но тоже не резко дифференцированы. Тем не менее по значениям η хорошо различаются моренные суглинки, каменноугольные глины и скальные коренные породы благодаря тому, что их поляризуемость мало меняется при переходе от точки к точке (см. рис. I6).

Наиболее отчетливо разрез расчленяется по кривым $\tau_к$. По ним уверенно определяются все литологические границы, включая границу между верхней и нижней мореной на том участке, где первая представлена пылеватыми суглинками. Пользуясь методом сопоставлений, с помощью кривых $\tau_к$ можно найти положение границ между всеми горизонтами разреза.

По кривым ВЭЗ, снятым у скважин, установлено соответствие между отдельными геоэлектрическими горизонтами и литологическими разностями пород.

В табл. 2 приводятся значения геоэлектрических параметров, соответствующих каждой разновидности пород, встреченных в районе.

Таблица 2

Наименование породы	ρ, ом·м	η, %	τ, сек
Насыпной грунт	I9	0,0÷0,3	
Суглинок делювиальный	II-37	0,4-0,6	45-60
Суглинок моренный верхняя морена	I7-30	0,45-0,6	30-45
Суглинок моренный нижняя морена		0,45	20-25
Глина каменноугольная	I9-26	0,3	6-I2
Известняк и мергель	>20÷50	>0,5÷0,6	>30÷70

Таким образом, результаты исследований показали целесообразность применения метода ВП в подобных геологических условиях, для более де-

тального расчленения рыхлых отложений и определения кровли коренных глин и подстилающих их скальных пород.

§ 25. Объект 2

Объект 2 расположен в Ростовской области. Район работ приурочен к водораздельному участку и долинам рек Дона и Сала.

В геологическом строении района принимают участие третичные и четвертичные отложения общей мощностью от 50 до 200 м. Третичные отложения представлены чередованием глин, песков и промежуточных между ними разностей. Они не выдержаны ни по площади, ни по глубине. Четвертичные отложения выражены глинами и суглинками. Мощность их варьирует от 3 до 40 м. Минерализация подземных вод колеблется в больших пределах. Наряду с пресными водами встречаются солоноватые и соленые.

Работы должны были выявить геофизические критерии для расчленения пород разреза в условиях пестрой минерализации подземных вод. Они проводились в комплексе наземного и скважинного вариантов. Для исследований были выбраны участки с хорошо изученной геологией. Результаты работ отражены на рис. 18.

Для каждой точки ВЭЗ приведены графики $\rho_к$ и $\eta_к$ [x], а также геологические колонки скважин, составленные по данным бурения. Для тех точек, которые освещены каротажом ВП, здесь же, для наглядности, схематично нанесены диаграммы ВП и КС, оси глубин которых даны в логарифмическом масштабе.

При совместном рассмотрении графиков $\rho_к$ и $\eta_к$ обращает внимание несоответствие их характеров для одних и тех же точек. Среди графиков $\rho_к$ преобладают кривые типа К, НК и НАК. Максимумы на кривых $\rho_к$ приурочены к водоносным пескам. Амплитуда их тем больше, чем меньше минерализация подземных вод. Спад правых ветвей кривых $\rho_к$ отвечает либо переходу к глинам, либо постепенному повышению минерализации поровых вод с глубиной. Формирование левых ветвей кривых $\rho_к$ обусловливается поверхностными суглинками. Иногда они проявляются слабым подъемом кривой перед переходом к максимуму, что затрудняет определение точного положения кровли водоносных песков (ВЭЗ 2 и 4).

Графики $\eta_к$ более дифференцированы, чем графики $\rho_к$, и имеют в основном пятислойный характер. Это служит показателем большей чувствительности метода ВП к литологическим изменениям в разрезе по сравнению с методом сопротивлений. Из-за большой неоднородности геологических условий при переходе от одного участка к другому графики $\eta_к$ не сохраняют своего типа.

При сопоставлении данных метода ВЭЗ с данными каротажа по методу ВП было установлено, что максимальной поляризуемостью в районе работ

---

[x] Величины $\eta_к$ определялись при длительной зарядке среды.

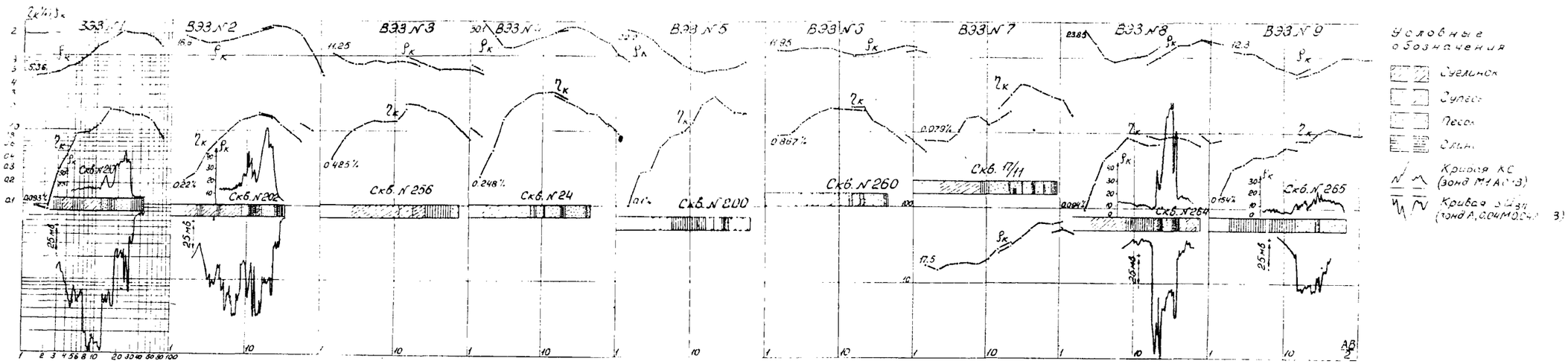


Рис. 18. Кривые $\rho_к$ и $\eta_к$ по объекту 2

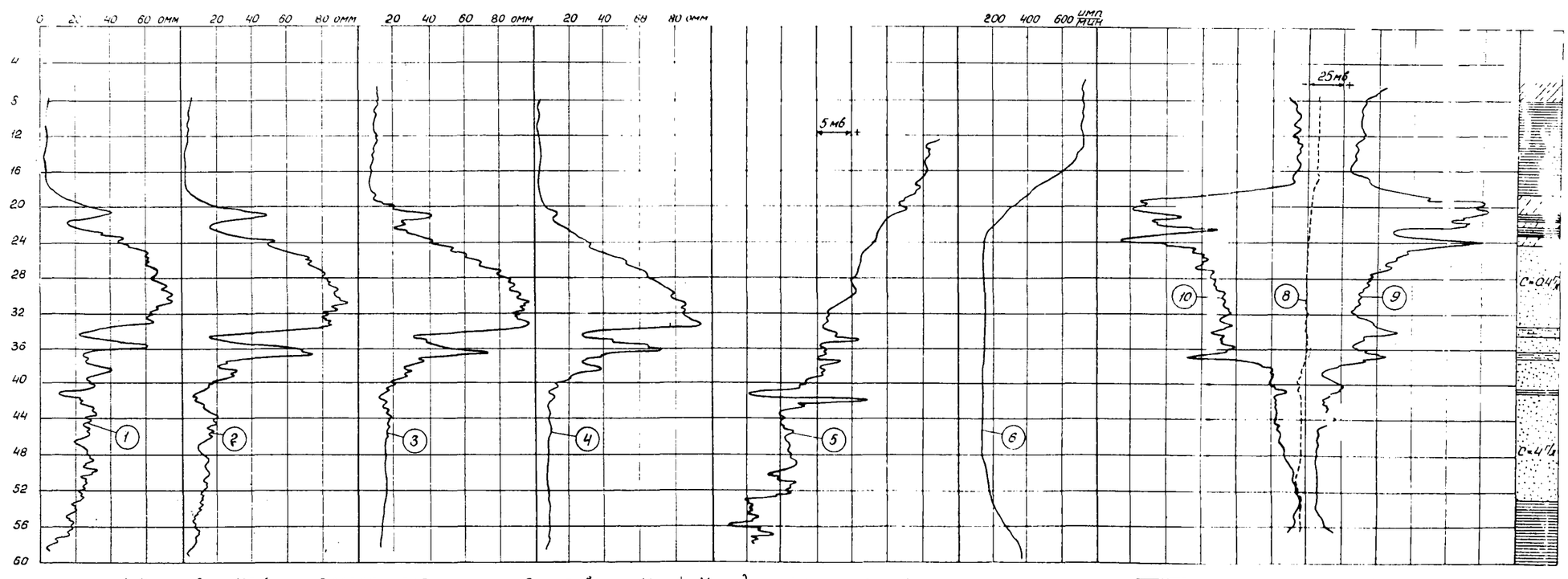


Рис. 19. Каротажные кривые скважины № 264

характеризуются суглинки и супеси. Суглинки почти повсеместно залегают под почвенным слоем до глубины 5÷9 м и прослеживаются на всех точках ВЭЗ, за исключением ВЭЗ 9. В точках ВЭЗ 3 и ВЭЗ 5 они встречаются также и глубже в виде отдельных прослоев. Суглинки, слагающие верхнюю часть разреза, вызывают резкий подъем левых ветвей кривых $\eta_к$. Отдельные маломощные прослои суглинков отражаются на кривых $\eta_к$ в виде узколокализованных максимумов (ВЭЗ 5). Супеси имеют меньшее распространение в районе работ, чем суглинки, и встречаются только в виде прослоев небольшой мощности. На графиках $\eta_к$ и диаграммах $\Delta U_{ВП}$ они проявляются примерно так же, как и суглинки (ВЭЗ I,3 и 5).

Минимальными значениями η отличаются глины. Мощный слой глин обнаружен в точке ВЭЗ 9, где он залегает прямо от поверхности земли до глубины I4,> м. Глинам соответствует левая затянутая ветвь графика $\eta_к$, расположенная в области весьма низких значений данного параметра ($\eta_к \approx 0{,}5\%$). Глины, залегающие в нижней части разреза, обусловливают крутое снижение правых ветвей кривых $\eta_к$ (ВЭЗ I и 7). Прослои глин, даже сравнительно небольшой мощности, выделяются в разрезе по заметным понижениям или перегибам кривых $\eta_к$ (ВЭЗ I, 5, 7 и 8).

Поляризуемость песков изменяется в широких пределах в зависимости от их состава и минерализации насыщающей их воды. Мелкозернистые пески, неоднородные по гранулометрическому составу, приближаются по поляризуемости к суглинкам (ВЭЗ 2; 4 и 7). Пески с минерализованной водой не отличаются по поляризуемости от глин (ВЭЗ 3; 6 и 8).

На рис. I9 приведены типичные результаты скважинных исследований методом ВП.

Сравнивая диаграмму ВП с диаграммами стандартных методов каротажа, можно убедиться, что аномалии $\Delta U_{ВП}$ в большинстве случаев не совпадают с аномалиями других параметров. Наиболее высокими значениями $\Delta U_{ВП}$ (до I50 мв) обладают суглинки и супеси. Глины, слагающие верхнюю и нижнюю части разреза, проявляются в сближении двух кривых $\Delta U_{ВП}$, снятых при токах разной полярности. Величина $\Delta U_{ВП}$ для песков определяется главным образом минерализацией пластовых вод. В скважине имеются два разобщенных водоносных горизонта. В верхнем горизонте (24,2 - 33,2 м) минерализация воды равна 0,4 г/л, в нижнем (40,8 - 52,7 м) - 4 г/л. Соответственно этому при переходе от верхнего горизонта к нижнему $\Delta U_{ВП}$ падает с 60 до I0 мв и становится практически равной величине $\Delta U_{ВП}$, наблюдаемой против глин. На участке диаграммы ВП, отвечающей пескам, наблюдаются отдельные "пики" $\Delta U_{ВП}$, связанные с прослоями мелкозернистого глинистого песка.

На основании полученных материалов были установлены общие критерии для расчленения песчано-глинистых отложений района, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика породы		ρ, омм	η, %	J, интенсивность гамма-излучения имп/мин
Песок с пресной водой	крупный и средний	>20	I,2-2	низкая
	мелкий и глинистый	>20	I,5-4	низкая
Песок с минерализованной водой		<20	<I	низкая
Суглинок и супесь		<20	2-5	средняя
Глина		<I5	~0,5	высокая

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Добрынин В.М., Латышова М.Г., Лепарская Н.Д. Исследование скважин методом потенциалов вызванной поляризации. М., ГОСИНТИ, I958.

2. Иоффе Л.М., Комаров В.А. Инструктивные указания по электроразведке методом вызванной поляризации. Сб. "Обмен опытом", вып. 58, Л., ВИТР, I962.

3. Комаров В.А. О природе электрических полей вызванной поляризации и возможностях их использования при поисках рудных месторождений. Л., вест. ЛГУ, № 6, серия геологии и географии, вып. I, I957.

4. Комаров В.А., Иоффе Л.М., Хлопонина Л.С., Семенов М.В. Вызванная поляризация горных пород и руд и использование ее в электроразведке. Труды ВИТР, сб. № I, Л., Гостоптехиздат, I958.

5. Комаров В.А., Пишпарева Н.А., Семенов М.В., Хлопонина Л.С. Вопросы теории метода вызванной поляризации, инф.,сб. № 30. Л., ВИТР, I96I.

6. Комаров В.А., Пишпарева Н.А., Семенов М.В. и Хлопонина Л.С. Теоретические основы интерпретации наблюдений в методе вызванной поляризации. М., "Недра", I966.

7. Кузьмина Э.Н. Некоторые результаты изучения связи вызванной поляризации образцов карбонатных пород с их плотностными и водно-коллекторскими свойствами. М., вестн. МГУ, серия IУ, геология, № 5, I964.

8. Кузьмина Э.Н. К вопросу о знаке потенциала вызванной поляризации ионопроводящих пород. Геофизические исследования сб.№I, М., изд. МГУ, I964.

9. Кузьмина Э.Н. О возможности использования метода вызванных потенциалов для изучения грунтовых вод. Разведочная геофизика, № 9, М., 1965.
10. Нечаева Г.П. О некоторых результатах измерений поляризуемости образцов горных пород. Геофизические исследования, сб. № 1. М., изд. МГУ, 1964.
11. Нечаева Г.П. Зависимость вызванной поляризации от времени пропускания тока как характеристика среды. М., вестн. МГУ, серия 4, геология, № 3, 1965.
12. Постельников А.Ф. К вопросу о природе вызванной поляризации в осадочных горных породах. Известия высших учебных заведений, геология и разведка, № 2. Л., 1959.
13. Постельников А.Ф. К расчету полей вызванной поляризации. Труды ЦНИИГРИ, вып. 59. Л., 1964.
14. Фридрихсберг Д.А. Исследование связи явления вызванной поляризации с электрокинетическими свойствами капилярных систем. Л., вестн. ЛГУ, № 4, серия физики и химии, вып. 1, 1961.
15. Ярославцев А.М. Интерпретация графиков $\eta_к$ ВЭЗ и ВП. Разведка и охрана недр, № 11. М., 1965.

gost.e-ecolog.ru