

СПОСОБ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ С ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ УСТАНОВКОЙ

Федорова О.И. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Предложен новый способ зондирования с комбинированной трехэлектродной установкой. Рассмотрен теоретический пример электроразведки с данной установкой над шаром в однородной среде. Показано преимущество нового способа над известным методом вертикальных зондирования с симметричной четырехэлектродной установкой, которое состоит в более четком выделении границ геоэлектрической неоднородности. Экспериментальный пример подтверждает перспективность новой методики зондирования в изучении горизонтально-неоднородных сред.

Электрические зондирования, трехэлектродная установка, геоэлектрическая неоднородность.

NEW METHOD OF ELECTRICAL SOUNDINGS WITH THREE-ELECTRODE PLANTING

Fedorova O.I. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The new method of soundings with the combined three-electrode planting are tendered. The theoretical instance electrical soundings with the given planting above a sphere in the homogeneous environment are considered. Advantage of the new method above known method of vertical soundings with the symmetric four-electrode planting which consists in more precise allocation of boundary geoelectric inhomogeneity are shown. The experimental example confirms perspective of new technique of soundings in studying of the horizontal-non-uniform environment.

Electrical sounding, a three-electrode planting, geoelectric inhomogeneity.

Введение

Электрические зондирования в методе сопротивлений выполняются в разных модификациях, зависящих от типа применяемых установок. В основном используют симметричную четырехэлектродную установку, реже трехэлектродную. В процессе проведения работ измеряется разность потенциалов между двумя приемными электродами, которые фиксируются на точке наблюдений, а зондирование осуществляется за счет увеличения разности, т. е. расстояния между питающими (или питающим) и приемными электродами. Такие электрические зондирования принято называть вертикальными, поскольку изучается геоэлектрический разрез среды от дневной поверхности до некоторой глубины. Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) в основном применяются на слоистых средах с небольшими углами падения, где можно определить мощность и удельное сопротивление слоев.

Геологический разрез чаще всего не удовлетворяет модели горизонтально-

слоистой среды, особенно его верхняя часть (первые десятки метров), которая изобилует геоэлектрическими неоднородностями. При электроразведке неоднородности будут влиять на результат интерпретации. В некоторых случаях они являются помехами. Так, приповерхностные неоднородности трансформируют кривую зондирования на больших разностях и вносят неверное представление о более глубинном строении среды. Если исследуются объекты на малых глубинах, то достаточно сложно определить их размер из-за появления краевых эффектов от самих искомых объектов. Краевые эффекты также будут искажать общую структуру геоэлектрического разреза.

Анализ искажений от неоднородностей в методе ВЭЗ проводился многими исследователями (Яковлев, 1989; Электрическое..., 1992; Электроразведка..., 1994; Modin et al., 1994). Основное искажающее влияние зависит от типа элемента установки: подвижный (питающий) или неподвижный (приемный), проходящего над неодно-

родностью, и от точки записи измеренного значения разности потенциалов (Бобачев и др., 1995).

В МГУ разработана методика сплошных электрических зондирований (СЭЗ), в которой много общего с томографией электросопротивления среды. В основе всех этих методик лежат измерения с двухсторонней трехэлектродной установкой. Отличительной особенностью СЭЗ является выделение анализа искажений от неоднородностей в отдельный этап с последующей 1D и 2D интерпретацией (там же).

В настоящее время основной упор развития методов электрических зондирований на постоянном токе делается на совершенствование подходов интерпретации. Существуют программы 1D, 2D и даже 3D инверсии обработки полученных данных, которые сужают рамки эквивалентности решения обратной задачи при интерпретации. Но, тем не менее, в сложных средах добиться однозначности решения невозможно.

Другим путем уменьшения искажающего влияния неоднородностей на результат электрозондирований может являться применение новых установок и методик измерений. В работе рассматривается способ электрических зондирований с трехэлектродной установкой.

Установка и методика работ

В электроразведке используется трехэлектродная установка AMN, в которой на одной линии размещаются один питающий (A) и два приемных электрода (MN), измеряющие разность потенциалов. Второй питающий электрод (C) относится в практическую бесконечность. При электрических зондированиях питающий электрод перемещается от центра приемной линии (MN) на заданные расстояния – разносы (r) и на каждом разносе выполняется измерение. Как правило, трехэлектродная установка применяется в комбинированном варианте, когда добавляется еще один питающий электрод (B) с другой стороны приемной линии и выполняются двухсторонние электрические зондирования с установками AMN и MNB (рис. 1). Анализируются результаты, полученные как с отдельными установками, так и осредненные, которые равны измерениям с симметричной установкой AMNB. Такая методика измерений чаще всего применяется в электрической томографии среды.

Точка записи в вертикальных зондированиях всегда относится к центру приемной линии (MN). В не горизонтально-слоистой среде между питающими электродами A или B и приемной линией могут располагаться геологические неоднородности, которые влияют на структуру поля, а фиксируются эти изменения в стороне от аномальных объектов. Эта одна из причин появления искажений на кривой зондирования. Вторая немало важная причина в том, что приемная линия много меньше разноса и приповерхностные неоднородности, имеющие больший размер, чем линия MN, будут являться экраном для прохождения тока и искажать электрическое поле на некоторой глубине ниже неоднородности.

Для уменьшения искажающих эффектов от геоэлектрических неоднородностей предлагается новая методика электрических зондирований. Измерения проводятся трехэлектродной установкой Гуммеля AMN, в которой электроды (A) и (N) находятся на равном расстоянии от центрального электрода (M), подключенного к клемме

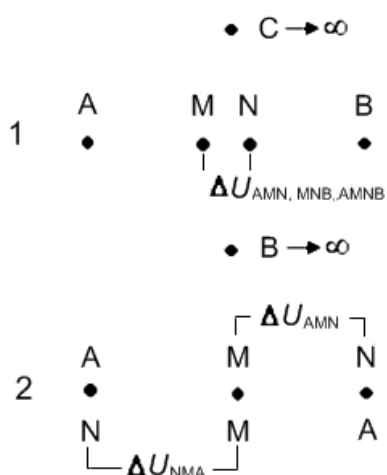


Рис. 1. Схема установок:
 1 – трехэлектродной AMN, $C \rightarrow \infty$;
 комбинированной AMN+MNB $C \rightarrow \infty$;
 четырехэлектродной симметричной AMNB;
 2 – комбинированной AMN+NMA $B \rightarrow \infty$

(М) измерителя. Второй питающий электрод (В) относится в бесконечность. Отметим, что установка Гуммеля применялась только для профилирования. Предлагается выполнять двойные зондирования комбинированным способом АМN+NMA. Крайние электроды при втором измерении меняются местами, т. е. питающий электрод (А) подключается к клемме (N) приемника, а приемный (N), соответственно, в клемме (А) генератора тока. Зондирование осуществляется за счет перемещения крайних электродов на одинаковое расстояние от электрода (М). На каждом разносе проводятся двойные измерения.

Полученные данные обрабатываются путем расчета среднего кажущегося сопротивления $\rho_k^{cp} = (\rho_k^{AMN} + \rho_k^{NMA})/2$ на каждом разносе и значения относятся к центральному электроду (М). Результат визуализируется разрезом кажущихся сопротивлений.

Теоретические разрезы кажущихся сопротивлений над шаром в способе зондирования с трехэлектродной установкой и в методе ВЭЗ

Для сравнения результатов комбинированных электроразведочных зондирований с трехэлектродной установкой АМN+NMA $B \rightarrow \infty$ и известного метода ВЭЗ с симметричной четырехэлектродной установкой АМNB выполнили математическое моделирование зондирования над шаром в однородном полупространстве. Используя приближенное выражение для потенциала точечного источника на дневной поверхности при наличии погруженного шара (Заборовский, 1943), получили выражения разности потенциалов ΔU_{AMN} , ΔU_{NMA} , $\Delta U_{ВЭЗ}$ и, соответственно, выражения кажущегося сопротивления ρ_k^{AMN} , ρ_k^{NMA} , ρ_k^{cp} , $\rho_k^{ВЭЗ}$.

Расчеты провели для проводящего шара: $\rho_2/\rho_1 = 0,1$; $h = 1,5b$, где ρ_1 , ρ_2 , b , h – удельное сопротивление среды и шара, радиус шара и глубина его залегания, соответственно. Все линейные размеры приведены к радиусу шара. Разрезы кажущегося сопротивления построены в новом методе зондирования от полуразноса $r/b = AM/b$, а в методе ВЭЗ от $r/b = AB/2b$.

На разрезах изолиниями ρ_k/ρ_1 четко выделяется верхняя граница шара и вмещающей среды для обеих установок (рис. 2, цветная вкладка). Краевые эффекты слева и справа от шара, также схожи. Отличительная особенность в поведении изолиний наблюдается в районе шара и ниже. На разрезе, полученном при зондировании с трехэлектродной установкой (рис. 2а, цветная вкладка), изолинии сопротивлений, начиная с 0,8 и меньше, концентрируются внутри шара, они замкнуты и ниже шара сопротивление близко к значению сопротивления вмещающей среды. На разрезе ВЭЗ (рис. 2б, цветная вкладка) изолинии не замкнутые и вытянуты вниз, создавая ложный аномальный эффект.

Таким образом, новый способ зондирования дает возможность более четко оконтуривать локальные объекты по сравнению с известным методом вертикальных электрических зондирования.

Результаты экспериментальных исследований

Для натурального эксперимента выбрали участок, где на глубине не менее трех метров проложены водопроводные трубы. Электроразведочные зондирования провели с комбинированной установкой АМN+NMA $B \rightarrow \infty$ и АМNB (ВЭЗ). Профиль работ пересекал коммуникации. Точки наблюдений располагались через два метра. Максимальный полуразнос зондирования составлял 10 м, бесконечность протянули на 100 м. Измерения выполняли электроразведочной аппаратурой ЭРА-ЗНАК.

На рис. 3 (цветная вкладка) представлены разрезы кажущихся сопротивлений для комбинированных зондирования от разноса $r = AM$ и для вертикальных электрических зондирования от полуразноса $r = AB/2$. Известно, что верхняя часть разреза (первые десятки метров) изобилует геологическими неоднородностями за счет неравномерного распределения глинистых и песчаных фракций в рыхлых осадочных отложениях и в разной степени переработанной коры выветривания. Это отражается на результатах электроразведочных зондирования. В нашем экспериментальном примере на

обоих разрезах наблюдаются геоэлектрические неоднородности как повышенного, так и пониженного электросопротивления. Но разрезы достаточно отличаются по структуре. В комбинированных зондированиях неоднородности более локализованные, чем на разрезе ВЭЗ, где результаты измерений дают интегральную характеристику среды за счет чего структура разреза преимущественно блочная. Водопроводные трубы находятся на пикете 2. На обоих разрезах в этом месте имеется проводящая область на глубине около трех метров, что может соответствовать наличию техногенного объекта. Хотя по ВЭЗ эта область на разносах 3–4 м более контрастна ($\rho_k < 14 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), чем по комбинированным зондированиям ($\rho_k < 18 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), но в целом проводящая аномалия не локализуется вертикальными электрическими зондированиями, а вытягивается на глубину. На пикете 4 и 5 тоже выявлена проводящая зона, а на пикете 3 менее проводящая область по сравнению с вмещающей средой. По ВЭЗ проводящая зона также имеет меньшее кажущееся сопротивление, но менее локализована, чем по зондированиям с комбинированной установкой. Данные аномалии связаны с геологическими неоднородностями среды.

Заключение

Предложен способ зондирований с комбинированной установкой AMN + NMA $B \rightarrow \infty$. Рассмотренный теоретический пример электрозондирований с данной установкой над локальной неоднородностью (шаром) показывает основное преимущество способа над известным и широко распространенным методом вертикаль-

ных зондирований с симметричной четырехэлектродной установкой (ВЭЗ), которое состоит в более четком оконтуривании геоэлектрической неоднородности особенно ее нижней границы. Экспериментальный пример подтверждает перспективность новой методики зондирований в изучении горизонтально-неоднородных сред.

Литература

- Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред // Физика Земли. 1995. № 12. С. 79–90.
- Заборовский А.И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1943. 444 с.
- Электрическое зондирование геологической среды / Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. Ч. 2. Интерпретация и практическое применение. М.: МГУ, 1992. 200 с.
- Электроразведка методом сопротивлений / Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. М.: МГУ, 1994. 160 с.
- Яковлев А.Г. Влияние геоэлектрических неоднородностей на результат электромагнитных зондирований: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: МГУ, 1989.
- Modin I.N., Pervago E.V., Shevnin V.A., Bobatchev A.A., Marchenko M.N., Lubchikova A.V. Distortions of VES data, caused by subsurface inhomogeneities // Report, presented at EAEG 56th Annual Meeting. Austria, Vienna, 1994. P. 129.

К статье Федоровой О.И. – «Способ комбинированных электрических зондирований с трехэлектродной установкой»

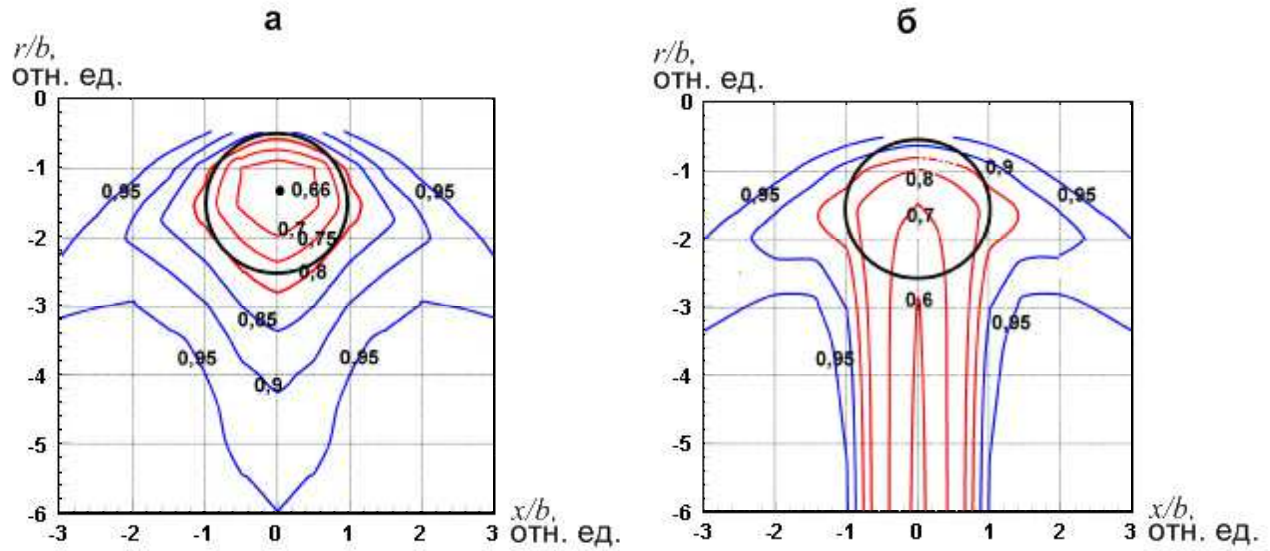


Рис. 2. Теоретические разрезы кажущихся сопротивлений ρ_k/ρ_1 при электроразведках:
 а – с комбинированной установкой AMN+NMA $B \rightarrow \infty$;
 б – с установкой AMNB (ВЭЗ)

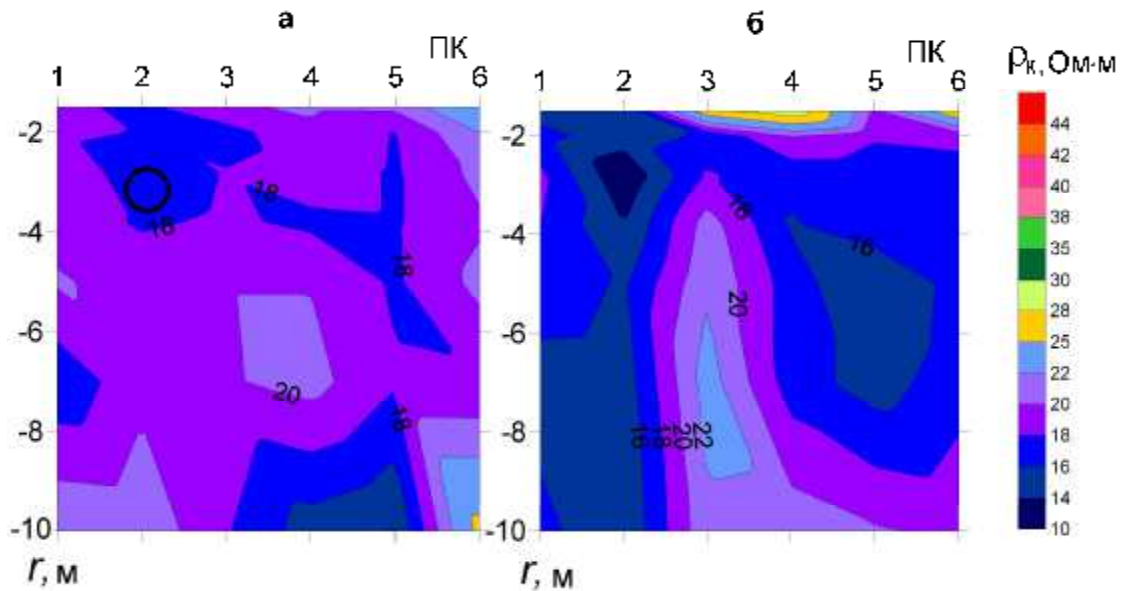


Рис. 3. Результаты электроразведок над водопроводом.
 Разрезы ρ_k : а – установка AMN+NMA $B \rightarrow \infty$;
 б – установка AMNB.
 О – проекция водовода