

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОЗОНДИРОВАНИИ НАД ЛОКАЛЬНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Улитин Р.В., Федорова О.И. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. С целью выяснения возможностей кондуктивного метода зондирования с дифференциальной установкой для изучения геологического строения верхней части разреза, рассмотрены результаты расчётов распределения электрического поля на моделях погруженной в полупространство сферы и вертикального бесконечного пласта. По установленным особенностям распределения разности потенциалов в разрезе при изменении размеров установки выделяются положения контактов пласта с вмещающей средой, а также приближенно определяется глубина до центра сферы. Обсуждается качественный подход к интерпретации результатов метода дифференциального электроразведочного зондирования.

Электропроводность, геологическая неоднородность, зондирование, дифференциальная установка.

FEATURES OF DISTRIBUTION ELECTRICAL FIELDS AT DIFFERENTIAL ELECTRO SOUNDING ABOVE LOCAL INHOMOGENEITIES

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

Abstract. With the purpose of ascertainment of opportunities of conductivity method of sounding with differential array for studying a geological structure of a upper part of a cut, calculations of an electric field distribution on models shipped in half-space sphere and a vertical infinite layer are considered. On the established features of potential difference distribution in a cut with the change of the array size positions of contacts of a layer with the containing environment are allocated, and also approximate depth to the center of the sphere is defined. The qualitative interpretation approach of differential electro sounding method is discussed.

Electrical conductivity, geological inhomogeneity, sounding, differential array.

Близповерхностная область геологического разреза (от единиц до тридцати-сорока метров от земной поверхности) является существенно неоднородной. Это затрудняет интерпретацию результатов электроразведочных методов, ориентированных на поиски глубоко залегающих (несколько сотен метров) рудных месторождений.

В последние годы перед геоэлектрикой возникли новые проблемы, обусловленные необходимостью получения информации об электрофизическом состоянии верхней части геологического разреза. Одной из таких проблем является загрязнение окружающей среды. Неоднородность геологического строения верхней части разреза, бывшая помехой для разведочной глубинной электроразведки, становится объектом исследований. Близповерхностные геоло-

гические объекты, такие как осадочные песчано-глинистые породы, тектонические нарушения, зоны разуплотнения и т.д. становятся каналами миграции токсичных производственных стоков, сбрасываемых промышленными предприятиями в окружающую среду. Жидкие промышленные отходы обогащены химическими ингредиентами. Мигрируя в геологической среде, они повышают электропроводность отложений верхней части разреза. Возникают локальные участки повышенной проводимости горных пород. Для организации природоохранных мероприятий требуется оценка их объемного распределения. Эта задача может решаться способами геоэлектрики.

Теоретически и экспериментально изучена эффективность нескольких электроразведочных способов контроля состояния

верхней части разреза (Улитин и др., 2000). Установлено, что наиболее перспективным является применение дифференциальной установки (MAN). Этот метод был предложен в конце пятидесятых годов (Тархов, 1958). В нем на профиле наблюдений в пункте измерений размещается первое питающее заземление (А), второе (В) – относится в практическую «бесконечность». Приемные заземления (М и N) располагаются на одинаковом расстоянии от питающего (А). При перемещении указанной установки по профилю наблюдений фиксируются лишь локальные неоднородности, а над однородной и горизонтально-слоистой средой разность потенциалов между приемными электродами равна нулю. Исходя из этих физических предпосылок, новый способ геоэлектрики с дифференциальной установкой, названный методом «MAN», является одним из немногих методов «чистых аномалий» в электроразведке постоянным током. Электропрофилирование с дифференциальной установкой успешно опробовано на различных геоэкологических полигонах (Улитин, Федорова, 1999).

Но дифференциальное электропрофилирование позволяет лишь выявить аномальную неоднородность. Для полной геоэлектрической характеристики нужна информация о распределении электрического поля на глубине. Это достигается изменением расстояния (разноса) между приемными заземлениями (MN) на точке измерений (А) при заданном количестве разносов, то есть зондированием. Качественно представить распределение электрического поля с глубиной и исследовать его особенности над локальной неоднородностью можно путем построения кажущегося разреза разности потенциалов поля (ΔU) от полуразноса (MN/2).

Надо отметить, что метод «MAN» не нашел широкого применения в электроразведке, так как изучение глубинных объектов (рудных тел), для которого, собственно, он предлагался, затруднялось влиянием близкоповерхностных геологических объектов. Поэтому теоретически метод был слабо проработан. По литературным данным

расчеты были сделаны лишь для электропрофилирования над вертикальным контактом двух сред (Блох, 1971).

В работе представляются теоретические оценки поля для дифференциальной установки (MAN) в варианте зондирования, выполненные на примере погруженной сферы и вертикального пласта.

Погруженная сфера

Рассмотрим распределение электрического поля при зондировании с дифференциальной установкой MAN над погруженной сферой (рис. 1). Сфера радиуса b , сложенная породами с удельным электросопротивлением ρ_2 , находится в однородной вмещающей среде, имеющей сопротивление ρ_1 . На профиле, проходящем над центром сферы, размещена дифференциальная установка. Расстояние от центра сферы до заземлений М, А, N обозначим через r_2 , d , r_1 , соответственно. Размер установки: $MA=AN=l$.

Используя приближенное выражение для потенциала точечного источника на дневной поверхности при наличии погруженной сферы (Заборовский, 1943), получим для точечного питающего заземления (А) следующие выражения для потенциалов U_N и U_M в точках (М и N).

$$U_N(r_1, \vartheta_1) = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{l} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} p_n \frac{b^{2n+1}}{d^{n+1} r_1^{n+1}} P_n(\cos \theta_1) \right],$$

$$U_M(r_2, \vartheta_2) = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{l} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} p_n \frac{b^{2n+1}}{d^{n+1} r_1^{n+1}} P_n(\cos \theta_1) \right],$$

где $p_n = \frac{n(\rho_2 - \rho_1)}{n\rho_1 + (n+1)\rho_2}$;

I – ток, стекающий с питающего заземления.

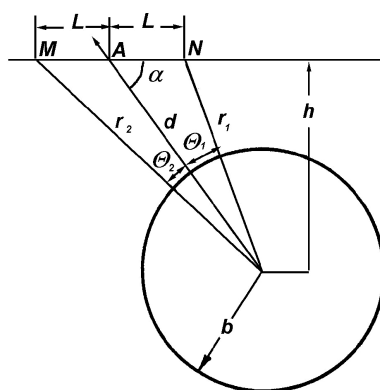


Рис. 1. К расчету разности потенциалов (ΔU) при дифференциальном зондировании над погруженной сферой (пояснения в тексте)

Вычисление разности потенциалов $\Delta U = U_N - U_M$ выполнено по соотношению

$$\Delta U = \frac{I\rho_1}{\pi} \times \left[\sum_{n=0}^{\infty} P_n \frac{b^{2n+1}}{d^{n+1} r_1^{n+1}} P_N(\cos\theta_1) - \sum_{n=0}^{\infty} P_n \frac{b^{2n+1}}{d^{n+1} r_2^{n+1}} P_N(\cos\theta_2) \right]$$

для проводящей сферы ($b=1\text{ м}$; $\rho_2/\rho_1=0,1$), залегающей на разных глубинах (рис. 2).

Полученные результаты расчетов представлены в виде разрезов изолиний равных значений отношений $\Delta U/|U_{\max}|$, где ΔU – значение разности электрических потенциалов в любой точке расчета, а $|U_{\max}|$ – значение электрического потенциала в экстремуме (рис. 2).

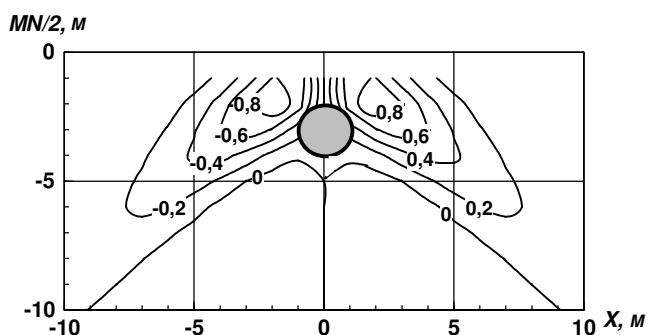
Результаты расчетов выполнены для десяти вариантов h/b , изменяющихся от 2 до 11. На рис. 2 приводятся разрезы для

значений $h/b=3$ и $h/b=8$. Над погруженной сферой установлены следующие особенности распределения поля. Во вмещающей среде за пределами сферы фиксируются два знакопеременных экстремума значения падения напряжения с переходом через ноль над центром сферы. Определено, что при значениях отношения глубины залегания сферы к ее радиусу $2 \leq h/b \leq 3$ положение экстремумов близко к полуразносу установки ($MN/2$), равному расстоянию от дневной поверхности до верхней кромки сферы (рис. 2а). При всех рассмотренных вариантах расстояние между отрицательным и положительным экстремумами приближенно равно глубине залегания до центра сферы (h) (рис. 1). При увеличении глубины залегания сферы аномальный эффект пространственно расширяется (рис. 2б).

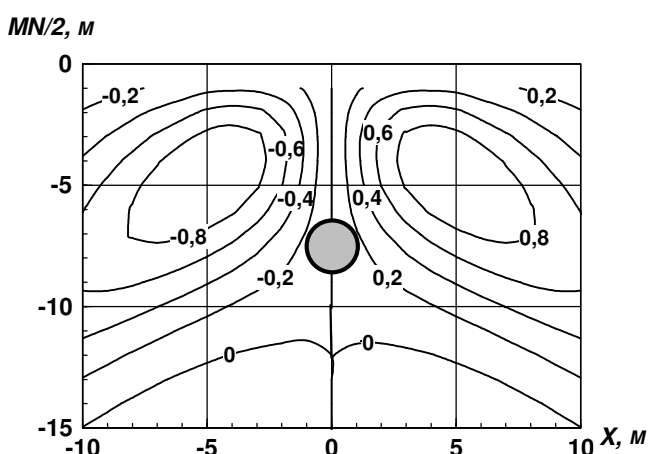
Вертикальный пласт

Примем, что удельное сопротивление вмещающей среды слева от пласта имеет значение ρ_1 , а справа – ρ_3 ; удельное сопротивление пласта – ρ_2 . Соориентируем ось X (положение профиля) перпендикулярно пласту. Введем следующие обозначения: расстояние от токового заземления (A) до первого по ходу движения установки контакта – d ; мощность пласта – h ; расстояние от заземления (A) до приемного заземления N – x_1 ; заземления (M) – x_2 ; $x_1=x_2=x$.

Известны выражения потенциала электрического поля точечного источника, расположенного на дневной поверхности при наличии двух вертикальных контактов (Хмелевской, 1970). Для дифференциальной установки в зависимости от соотношения размера установки $AN=AM=l$ и мощности пласта h получены десять различных вариантов расчетных выражений для вычислений значений $\Delta U = U_N - U_M$ при зондировании над пластами, исчерпывающих все возможные соотношения l и h . Семь случаев (I-VII) характеризуют распределение поля при $h > 2l$; один – при $l < h < 2l$; два – при $l > h$ (рис. 3). Выражения для разности потенциалов ΔU для всех указанных вариантов из-за громоздкости в статье не приводятся.



а



б

Рис. 2. Теоретические разрезы $\Delta U/\Delta U_{\max}$ над сферой при дифференциальном зондировании: $\rho_2/\rho_1=0,1$; $h=3$ м (а); $h=8$ м (б). По оси Z отложены полуразносы установки, по оси X – координаты точек зондирования (A)

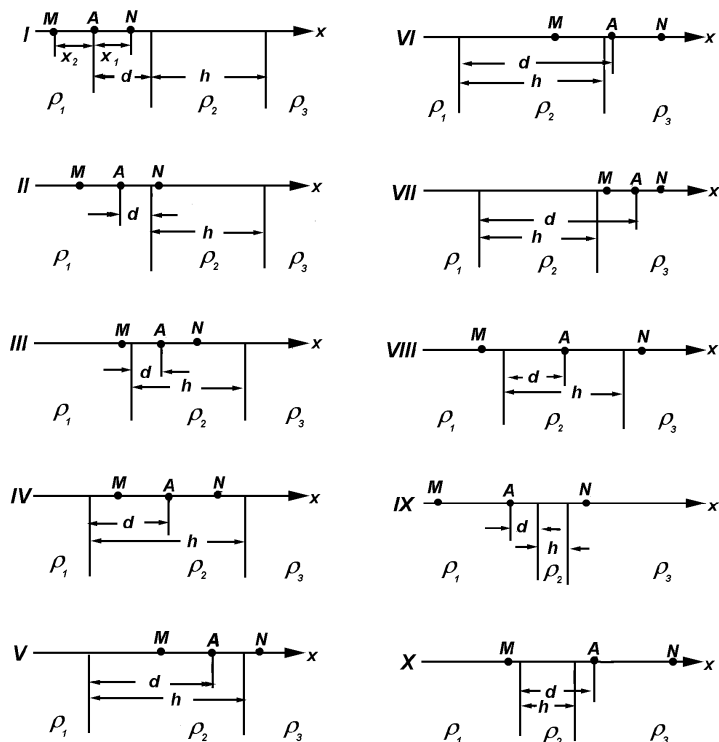


Рис. 3. Варианты расположения дифференциальной установки при зондировании над протяженным вертикальным пластом (пояснения в тексте)

Расчеты проводились для случая $\rho_1 = \rho_3$, $h = 8$ м, то есть вертикальный пласт с электросопротивлением ρ_2 залегает во вмещающей среде с электросопротивлением ρ_1 . При вычислении разности потенциалов использовали выражения для схем установок (I-IV) и (VIII-X).

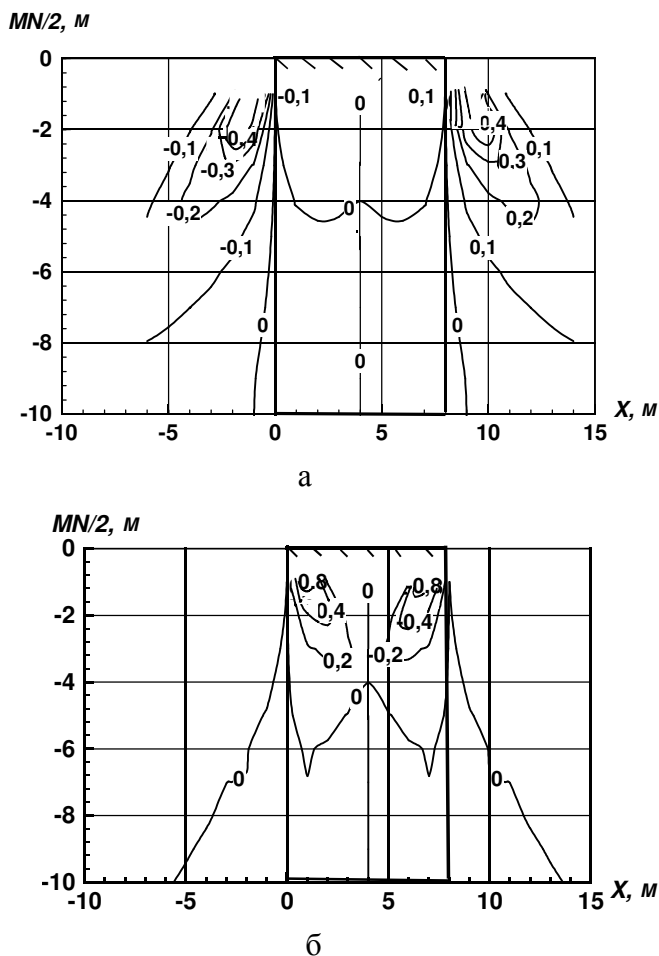


Рис. 4. Теоретические разрезы $\Delta U / \Delta U_{\max}$ дифференциального зондирования над вертикальным пластом: а – $\rho_2 / \rho_1 = 1/9$; б – $\rho_2 / \rho_1 = 9$. По оси Z отложены полуразносы установки, по оси X – координаты точек зондирования (A)

При дифференциальном зондировании по профилю над вертикальным пластом также наблюдаются экстремальные значения падения напряжения. Если пласт обладает повышенной проводимостью по сравнению с вмещающей средой, то первый экстремум (отрицательные значения ΔU) фиксируется в среде на расстоянии AN от контакта (рис. 4а). Непосредственно над пластом значения ΔU близки к нулю. Для пласта повышенной электросопротивления, во-первых, экстремумы фиксируются над пластом; во-вторых, значения ΔU для первого по ходу движения установки экстремума положительные, а для второго – отрицательные (рис. 4б).

Экстремальные значения ΔU фиксируются при малых разносах ($MN/2$) дифференциальной установки, с увеличением разносов аномалия затухает быстрее для пласта с пониженной проводимостью (рис. 4.б).

Анализируя особенности распределения разностей потенциалов в разрезе от увеличения полуразноса установки, сформулируем следующие выводы:

1. В геологической среде локальные неоднородности определяются дифференциальной установкой по появлению на ка-

жущихся разрезах экстремальных значений разности потенциалов (ΔU). Экстремальные значения являются знакопеременными. Для изометричных тел и тел с субвертикальными границами переход через ноль приурочен к местоположению срединной части объекта.

2. Экстремальные значения ΔU для вертикально вытянутых объектов, аппроксимирующих тектонические нарушения, зоны распространения жидких отходов производства в геологической среде и др., на кажущихся разрезах располагаются в среде с повышенным удельным сопротивлением.

3. Зоны контакта субвертикальных объектов с вмещающей средой в разрезе отмечаются нулевой изолинией ΔU (особенно это характерно для вертикальной неоднородности повышенной проводимости по сравнению с вмещающей средой).

4. Экстремальные значения ΔU для изометричных объектов (например, карсты, полости) в зависимости от глубины залегания и их размеров располагаются вблизи или выше верхней кромки объекта.

5. Для погруженной сферы, аппроксимирующей локальные объекты, расстояние между положительным и отрицательным экстремумами приближенно равно глубине до центра сферы (объекта).

Таким образом в рамках рассмотренных моделей предложен качественный подход к интерпретации экспериментальных данных, полученных в результате гео-

электрических исследований с дифференциальной установкой.

Высокая чувствительность рассмотренного метода электроразведки к изменению электрофизических характеристик геологической среды обуславливает его перспективность в изучении верхней части разреза при инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях.

Литература

Блох И.М. Электропрофилирование методом сорпротивлений. Изд. 2-е. М.: Недра, 1971. 216 с.

Заборовский А.И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1943. 444 с.

Тархов А.Г. Об электроразведочных методах чистой аномалии. Изв. АН СССР. Сер. геофизическая. 1957. №8. С. 979-989.

Улитин Р.В., Федорова О.И. Кондуктивное дифференциальное электропрофилирование при решении инженерных и геоэкологических задач / Депонирована в ВИНТИ. № 2474-В 99. 15 с.

Улитин Р.В., Гаврилова И.Э., Петухова Ю.Б., Федорова О.И., Харус Р.Л. Геоэлектрика при решении геоэкологических и инженерно-геологических задач // Теория и практика геоэлектрических исследований. Сб. науч. трудов. Вып. 2. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 84-98.

Хмелевской В.К. Основы курса электроразведки. М.: МГУ, 1970. 245 с.