

ВЛИЯНИЕ НЕОСЕВОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИЕМНОЙ И ПИТАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО- НОРМИРОВАННОГО МЕТОДА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Е.В. Агеенков, Ю.А. Давыденко, В.А. Фомицкий

*ООО «Сибирская геофизическая научно-производственная компания»,
664050, Иркутск, ул. Байкальская, 291, Россия*

При зондированиях дифференциально-нормированным методом электроразведки (ДНМЭ) источником и приемником являются заземленные линии. Для изучения проводящих и поляризационных свойств разреза регистрируют разность потенциалов ($\Delta U(t)$) и вторую разность потенциалов ($\Delta^2 U(t)$), последняя характеризует пространственную неоднородность электромагнитного поля. На измерения $\Delta^2 U(t)$ значительное влияние оказывают трехмерные неоднородности, находящиеся внутри приемной установки. Для уменьшения этого влияния измерения производятся с двумя положениями питающей линии относительно приемной, слева и справа, с последующим осреднением измеренных данных. При полевых работах, зачастую, питающая и приемная линии расположены под углом друг к другу, а использование двух источников при измерениях приводит к необходимости при численном одномерном моделировании полевых данных определять обобщенный источник для решения прямой задачи.

На основании натурального и численного эксперимента исследуется влияние неосевого (диагонального) расположения питающей и приемной электрических линий на данные электромагнитных импульсных зондирований и их инверсию в рамках одномерной проводящей поляризуемой среды. При моделировании эффект вызванной поляризации (ВП) учитывается введением частотной дисперсии сопротивления (формула Коула-Коула). Оценивается правильность расчета обобщенного источника для решения одномерной прямой задачи при инверсии полевых диагональных измерений. Посредством решения 3D прямой задачи для проводящей поляризуемой среды оценивается влияние трехмерных объектов на результаты измерений с описанной выше системой наблюдений.

Электромагнитные зондирования, заземленные линии, дифференциально-нормированный метод электроразведки, зондирования проводящих поляризуемых сред, модель Коула-Коула, 3D прямая задача для проводящей поляризуемой среды.

INFLUENCE OF THE OFF-AXIS POSITION OF THE TRANSMITTER AND RECEIVER CIRCUITS ON THE RESULTS OF DIFFERENTIALLY NORMALIZED ELECTROMAGNETIC SOUNDING

E.V. Ageenkov, Yu.A. Davydenko, and V.A. Fomitskii

In the differentially normalized method of electromagnetic sounding (DNME), the transmitter and receiver are grounded electrical circuits. The conduction and polarization properties of a section are studied by measuring the electrical potential difference ($\Delta U(t)$) and the second potential difference ($\Delta U^2(t)$); the latter characterizes the spatial inhomogeneity of the electromagnetic field. Measurements of $\Delta U^2(t)$ are strongly influenced by three-dimensional inhomogeneities within the receiver spread. To reduce this effect, measurements are made in two positions (left and right) of the transmitter circuit relative to receiver with subsequent averaging of the measured data. Often in field studies, the transmitter and receiver circuits are at an angle to each other, and the use of two transmitters in measurements leads to the need to determine a generalized transmitter for one-dimensional forward numerical modeling of field data.

The effect of the off-axis (diagonal) position of the transmitter and receiver circuits on the data of electromagnetic pulse sounding and their inversion for a one-dimensional polarizable conducting medium have been studied in real and numerical experiments. In modeling, the effect of induced polarization (IP) is taken into account by introducing the resistivity frequency dispersion (Cole-Cole equation). Validity of the calculation of the generalized transmitter is estimated for the solution of the one-dimensional forward problem with the inversion of field diagonal measurements. The effect of three-dimensional objects on the results of measurements using the above observation system is estimated by solving the 3D forward problem for a polarizable conducting medium.

Electromagnetic sounding, grounded circuit, differentially normalized electromagnetic method, sounding of polarizable conducting media, Cole-Cole model, 3D forward modeling for polarizable conducting medium

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривается влияние неосевого расположения приемных и питающих заземленных электрических линий на результаты импульсных электромагнитных зондирований применительно к ДНМЭ [Легайдо, 1998], хорошо зарекомендовавшего себя при поисках залежей углеводородов (УВ). Регистрация наряду с полем становления $\Delta U(t)$ еще и его пространственной неоднородности $\Delta^2 U(t)$ позволяет повысить количество информации о поляризационных свойствах разреза и выделять аномалии ВП, наблюдаемые над месторождениями нефти и газа. Вместе с тем регистрация второй разности потенциалов связана с необходимостью уменьшения влияния локальных неоднородностей на результаты измерений. Для этого регистрация электромагнитного отклика производится при двух положениях питающей линии — слева и справа от приемной с последующим осреднением измеренных данных.

Первоначально измерения проводились только по прямолинейным профилям, что создавало трудности при полевых работах: пропадали информативные участки на изгибах профилей; в местах с затрудненным подъездом автомобиля-лаборатории к точке записи для подключения электродов к измерителю применялись длинные кондукторы, повышающие уровень помех на приемной линии. Поскольку сильно страдала производительность работ и, зачастую, качество измерений, стали применяться неосевые (диагональные) установки. При 1D численном моделировании полевых измерений это потребовало нахождения обобщенного источника взамен двух, расположенных под разными углами к регистрирующей линии. В публикации приводится схема такого преобразования. Помимо расчета обобщенного источника, при численном моделировании стала рассчитываться радиальная компонента электромагнитного поля (E_r), определяемая осевой (E_x) и ортогональной составляющими (E_y).

В данной работе используются результаты натуральных измерений, проведенных в Среднем Поволжье на Прикаспийской низменности с целью изучения зависимости результатов инверсии полевых кривых от геометрии установки.

С помощью решения 3D прямой задачи для проводящей поляризующейся среды [Моисеев и др., 1999] изучены изменения дифференциально-нормированных параметров (ДНП) в зависимости от угла между осями приемной и питающей линий при различном положении трехмерного объекта.

МЕТОДИКА НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Зондирования ДНМЭ производятся двухсторонней дипольной установкой (рис. 1, *a*), которая подавляет отклик от локальных приповерхностных неоднородностей, находящихся в пределах приемной линии [Легайдо и др., 1996; Легайдо, 1998; Патент..., 2007]. Такой эффект достигается записью ДНП приемной линией при последовательной работе двух источников, расположенных слева и справа от нее, условно называемых «прямой» и «обратной» установками. Затем записи от прямого и обратного положения источника осредняются.

Для регистрации сигнала используется аналого-цифровой преобразователь, подключенный к трехточечной приемной линии MON . В землю с питающей линии AB поступает последовательность прямоугольных разнополярных импульсов тока.

Импульсы тока возбуждают в земле переходные процессы, вызывающие появление разности потенциалов в приемной установке MON . Если для переходного процесса разность потенциалов между электродами M и O обозначить через $\Delta U_1(t)$, а между электродами O и N — через $\Delta U_2(t)$, то разность потенциалов между электродами M и N будет равна $\Delta U(t) = \Delta U_1(t) + \Delta U_2(t)$, а разность второго поряд-

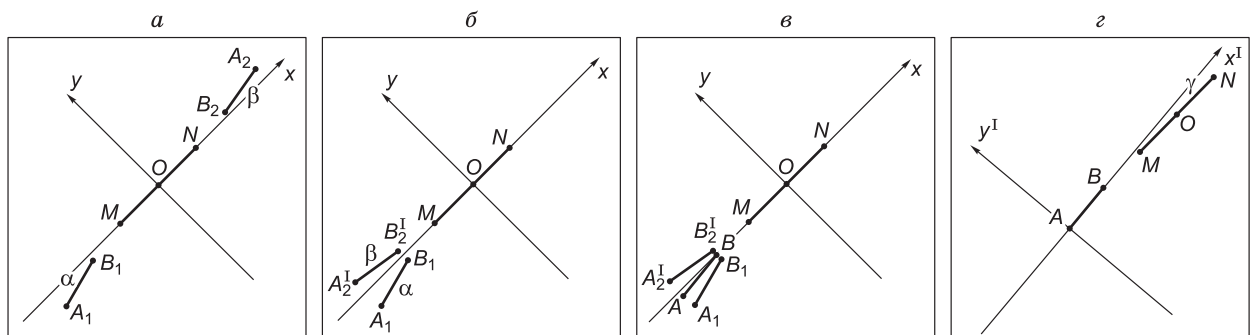


Рис. 1. Преобразование двухсторонней диагональной установки ДНМЭ в одну сторону для расчета прямой задачи:

a — двухсторонняя дипольная диагональная установка ДНМЭ, *b* — зеркальное отображение одной из питающих линий относительно оси y , *c* — нахождение обобщенного источника, *d* — одна сторона установка ДНМЭ.

ка — $\Delta^2 U(t) = \Delta U_1(t) - \Delta U_2(t)$. Значения измеряются как во время переходного процесса ($\Delta U(t)$ и $\Delta^2 U(t)$), так и в момент пропускания тока (ΔU_0 и $\Delta^2 U_0$), затем программно формируются следующие ДНП [Легейдо, 1998; Патент..., 2007]:

$$DU(t) = \Delta U(t)/\Delta U_0, D2U(t) = \Delta^2 U(t)/\Delta U_0,$$

$$P1(t) = \Delta^2 U(t)/\Delta U(t), Ps(t) = (\Delta^2 U(t) - \Delta^2 U_0)/(\Delta U(t) - \Delta U_0).$$

Посредством численного дифференцирования находятся производные по времени $d(\Delta U(t))/dt$ и $d(\Delta^2 U(t))/dt$, их отношение необходимо для формирования дифференциально-нормированного параметра $D\varphi(t)$:

$$D\varphi(t) = \frac{d(\Delta^2 U(t))/dt}{d(\Delta U(t))/dt} - P1(t).$$

ДНП по-разному зависят от проводящих и поляризационных свойств среды и их совместная инверсия позволяет определить распределение с глубиной как удельного электрического сопротивления, так и поляризационных характеристик геоэлектрического разреза. К тому же по графикам параметров $P1(t)$ и $D\varphi(t)$ нетрудно оценить временной диапазон, в котором регистрируемый сигнал определяется преимущественно электромагнитной индукцией, а затем ВП.

Инверсия осуществляется для осредненных ДНП, записанных при работе генераторных станций с разных сторон от приемной установки. Прямая же задача рассчитывается для односторонней дипольной установки. Поэтому двухсторонняя установка с двумя питающими линиями пересчитывается в одностороннюю по следующей схеме. Первоначально начало координат совмещается с электродом O , а ось x имеет направление, совпадающее с приемным диполем MON . В этом случае одна из питающих линий располагается в полупространстве положительных значений x , другая — отрицательных, под углами α и β к оси x (см. рис. 1, а).

Затем одна из питающих линий зеркально отображается в другое полупространство относительно оси y , т.е. оба источника оказываются в одном полупространстве относительно этой оси (см. рис. 1, б). Далее находим обобщенный источник AB , осреднением координат дальних (A_1 и A_2) и ближних (B_1 и B_2), относительно приемника, заземлений питающих линий (см. рис. 1, в). После этого начало координат совмещаем с заземлением A найденного таким образом источника, а направление оси x совмещаем с направлением линии AB , при этом координаты приемной линии пересчитываются с учетом этих изменений. Теперь приемная линия располагается под углом γ по отношению к оси x (см. рис. 1, г). Поэтому при решении прямой задачи рассчитываются E_x и E_y компоненты электрической составляющей электромагнитного поля.

Инверсия полевых кривых проводится в рамках горизонтально-слоистой проводящей поляризующейся модели. Частотная дисперсия проводимости учитывается с помощью модели Коула-Коула:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left(1 - \frac{\eta(i\omega\tau)^c}{1 + (i\omega\tau)^c} \right), \quad (1)$$

где ρ_0 — удельное электрическое сопротивление на постоянном токе (Ом·м); η — коэффициент поляризуемости (доли ед.); τ — постоянная времени (с); c — показатель степени; ω — круговая частота (с⁻¹).

На рис. 2 показана схема полевого эксперимента. Геометрия установки менялась путем переноса дальних питающих заземлений A_1 и A_2 . Приемная линия не меняла положение, как и ближние к ней заземления генераторных линий B_1 и B_2 . Длина генераторных линий оставалась неизменной. Угол поворота питающей линии относительно направления приемной линии для обоих положений (прямого и обратного) составлял -30° , -15° , 0° , 15° и 30°

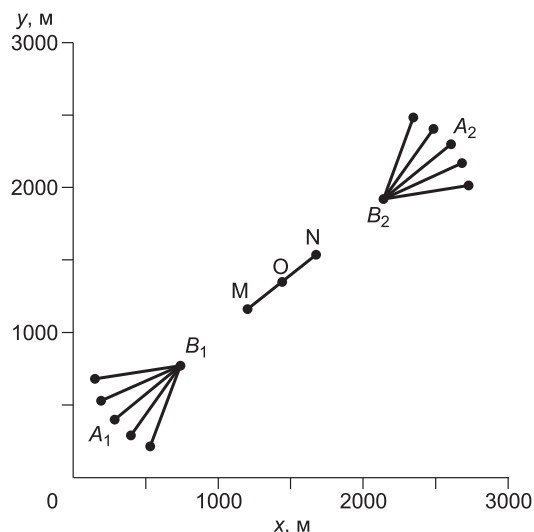


Рис. 2. Схема расположения приемной (MON) и питающих (A_1B_1 , A_2B_2) линий при проведении натурного эксперимента.

Таблица 1. Соответствие между углами (α и β) генераторных линий двусторонней установки и углом пересчитанной приемной линии (γ) и длиной обобщенной генераторной линии (AB)

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
α , град	-30	-30	-15	-30	0	-15	-30	15	-15	0	30	15	0	-15	-30	0	15	30	-15	15	0	30	15	30	30	
β , град	-30	-15	-30	0	-30	-15	15	-30	0	30	-30	-15	0	15	30	15	0	-15	30	15	30	0	30	15	30	
γ , град	-30	-22.5	-22.5	-15	-15	-15	-7.5	-7.5	-7.5	-7.5	0	0	0	0	0	7.5	7.5	7.5	7.5	15	15	15	22.5	22.5	30	
AB , м	600	595	595	580	580	600	555	555	595	595	520	580	600	580	520	595	595	555	555	600	580	580	595	595	595	600

Примечание. 1—25 — номера зондирований.

(табл. 1). Измерения выполнялись установкой с параметрами: длина питающих линий A_1B_1 и A_2B_2 составляла 600 м, расстояние между ближайшими приемным и питающим заземлениями B_1M и NB_2 — 600 м, длина приемных линий MO и ON — 300 м. Такая установка является традиционной для данного региона. Было выполнено по 5 измерений для прямой и обратной установок с различным положением питающей линии. Осреднение данных, измеренных при прямом и обратном положениях, каждого с каждым позволило получить $5 \times 5 = 25$ зондирований с различным положением прямой и обратной питающих линий. Эти данные использовались при решении обратной задачи.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ИНВЕРСИЯ ПОЛЕВЫХ ДАННЫХ В РАМКАХ 1D ПРОВОДЯЩЕЙ ПОЛЯРИЗУЮЩЕЙСЯ СРЕДЫ

Анализ полевых данных показал, что геоэлектрический разрез осложнен трехмерными неоднородностями, проявляющимися в различии уровня кривых ДНП для прямой и обратной установок. Были рассчитаны среднеквадратические отклонения (невязки) между кривыми ДНП, записанными осевой установкой (зондирование № 13 в табл. 1), и остальными (диагональными). Значения невязок в зависимости от угла поворота приемной линии относительно оси осредненной питающей линии (γ) приведены на рис. 3.

При инверсии полевых данных первоначально была подобрана модель геоэлектрического разреза для осевой установки. С использованием данной модели для каждой геометрии были рассчитаны теоретические кривые ДНП. Затем между модельными кривыми, полученными для осевой установки и рассчитанными для установок других геометрий, были вычислены невязки. На графике (см. рис. 3) показаны экспериментальные и теоретические невязки кривых по отношению к записанным с осевой геометрией. Этот график подтверждает корректность измерений и расчетов для неосевых установок, а также иллюстрирует отличие геоэлектрической среды, над которой проводился эксперимент, от горизонтально-слоистой. Основным признаком отличия является асимметрия распределения невязки сигналов, измеренных с осевой установкой по отношению к измеренным с неосевой. При одинаковых углах γ невязка измерений в некоторых случаях различна, так как меняется длина обобщенной линии AB (см. табл. 1). График экспериментальных невязок несимметричен относительно нулевого угла, но его вид близок к таковому для теоретических.

Априорная информация о распределении сопротивления по разрезу была взята из каротажных данных по скважине, пробуренной поблизости от участка опытных работ. Разрез, типичный для данного региона, состоит из переслаивающихся проводящих и высокоомных слоев. Результаты предыдущих работ на смежных площадях использовались в качестве априорной информации о поляризационных свойствах среды.

Полевые кривые были промоделированы в рамках 1D проводящей поляризуемой модели с ограничениями. Для такого рода модели в процессе инверсии изменяются только определенные интерпретатором (информативные) геоэлектрические параметры, другие же закреплены. Закрепление части геоэлектрических характеристик необходимо для уменьшения проявлений их эквивалентных связей, роль которых в проводящей поляризуемой модели повышается по сравнению с моделью, учитывающей только проводящие свойства разреза [Агеенков, 2004; Агеенков и др., 2009; Иванов, 2009]. В геоэлектрической модели изменялись сопротивление слоев с 1-го по 8-й за исключением 7-го, который был закреплен (50 Ом·м). Поляризуемость изменялась для 1-го и 3-го слоев, для других она была нулевой. Время релаксации для 1-го и 3-го слоев было принято 2 с, показатель степени для этих слоев 0.3 и 0.5. Выбор

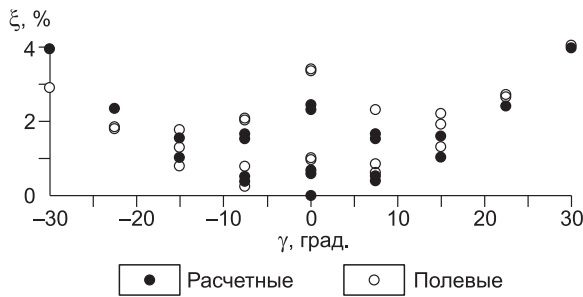


Рис. 3. Среднеквадратическое расхождение (ξ) между параметром DU осевой установки и диагональной в зависимости от угла γ .

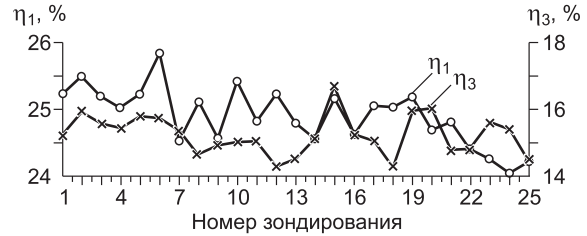


Рис. 4. Графики изменения коэффициента поляризуемости первого и третьего слоя для различных геометрий установки (№ 13 соответствует осевой установке).

закрепляемых геоэлектрических параметров производился на основе анализа корреляционно-ковариационной матрицы для типичной (для данного региона) слоистой модели, а также на основании опыта предыдущих работ на этой территории.

Проводя моделирование в рамках 1D модели, мы отдавали себе отчет в том, что реальная среда трехмерна. Поэтому, проводя зондирования диагональными установками, меняя угол между приемником и источником, мы изучали разные объемы геологической среды, т.е. аппроксимирующая геологический разрез одномерная модель должна была изменяться. Нашей задачей было с помощью инверсии данных, записанных диагональными установками, определить вариации геоэлектрических параметров полученных моделей (рис. 4) и сравнить их с погрешностью, геоэлектрических параметров 1D модели, найденной инверсией измерений осевой установки. Такая погрешность определяется диагональными членами корреляционно-ковариационной матрицы, являющихся дисперсиями (ψ) геоэлектрических параметров 1D модели. Чем это значение ближе к единице, тем меньше погрешность его определения.

В табл. 2 представлены вариации геоэлектрических параметров одномерных моделей. В колонках P_{\min} и P_{\max} приведены минимальное и максимальное значения геоэлектрического параметра, получившиеся в результате инверсии данных, записанных диагональными установками. Эти интервалы сравниваются с погрешностью инверсии данных, записанных осевой установкой (колонки P_{xx}/ψ и $P_{xx} \cdot \psi$). Из сравнения видно, что некоторые геоэлектрические характеристики моделей, найденных для диагональных установок, выходят за пределы погрешности их определения для осевой установки. Это означает, что в результатах инверсии зондирований, сделанных диагональными установками, может содержаться информация, отличающаяся от той, которая была бы получена при измерениях осевой установкой. Однако эти отличия незначительны и не могут вызывать ложные или затушевывать реальные аномалии.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

После проведения натурного эксперимента по изучению влияния угла приемного и питающего диполей на процесс становления были получены среднеквадратические отклонения ДНП для диагональ-

Таблица 2. Пределы изменения и погрешность определения геоэлектрических параметров 1D моделей

Параметр 1D P-модели	P_{xx} -модели для осевой установки	ψ	P_{xx}/ψ	$P_{xx} \cdot \psi$	P-модели для диагональных установок	
					min	max
η_1	24.3	1.05	23.1	25.5	24.1	25.4
η_3	15.6	1.05	14.9	16.4	14.1	17.7
ρ_1	3.69	1.12	3.3	4.1	3.6	3.9
ρ_2	24.23	1.05	23.1	25.4	22.4	24.5
ρ_3	11.9	1.11	10.7	13.2	10.8	15.3
ρ_4	54.8	1.02	53.7	55.9	50	54.8
ρ_5	10	1.72	5.8	17.2	10	10.7
ρ_6	2.87	6.38	0.4	18.3	2.3	4.3
ρ_8	3.08	117.4	0.03	361.6	2.1	5

ных установок от измеренных осевой установкой. Поскольку распределение несимметрично относительно нулевого угла, было сделано предположение, что эта несимметричность вызвана влиянием трехмерной неоднородности. Следующий шаг наших исследований заключался в проведении численного эксперимента на основе решения 3D прямой задачи для проводящей поляризующейся среды.

Программа [Моисеев и др., 1999а,б; Персова и др., 2009] позволяет моделировать процессы вызванной поляризации и становления электромагнитного поля, возбуждаемые электрической линией в горизонтально-слоистых средах с трехмерными объектами в форме параллелепипеда. Временные зависимости спада ВП могут быть описаны формулой В.В. Кормильцева, нелинейной экспоненциальной функцией и формулой В.А. Комарова. Для наших расчетов использовалась формула В.В. Кормильцева [1980]:

$$\beta(t) = \exp\left(\frac{t}{T_0 \sqrt{\pi}}\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{t}{T_0 \sqrt{\pi}}}\right),$$

где t — время (с), T_0 — постоянная времени, связанная с τ в формуле (1) соотношением $T_0 = \frac{\tau}{\sqrt{\pi}}$.

Моделировалось распределение невязок кривых, рассчитанных для диагональных установок, относительно рассчитанных для осевой в присутствии трехмерного объекта. Использовалась следующая модель среды: в 4-й слой типичного для данной площади горизонтально-слоистого разреза (табл. 3) был помещен проводящий поляризующийся прямоугольный параллелепипед с удельным сопротивлением 1 Ом·м и поляризуемостью 15%. Размеры трехмерного объекта были таковы: высота 300 м, длина по оси x (параллельно генераторной линии) — 1000 м, по оси y (перпендикулярно генераторной линии) — 500 м. Такая неоднородность горизонтально-слоистой среды ассоциируется с пиритизированными осадочными породами. Подобные изменения осадков могут произойти под воздействием залежей УВ, находящихся глубже [Березкин и др., 1983].

Полностью повторить полевую схему наблюдений при решении трехмерной прямой задачи не удалось, так как в использовавшейся программе генераторная линия задается только параллельно оси x , а в случае натурного эксперимента именно источник поворачивался на определенный угол по отношению к оси приемной линии. Для того чтобы выполнить сравнение с результатами полевых измерений, нужно было найти общие моменты в изменении геометрии установки в случае натурного и численного экспериментов. И в том, и в другом случае изменялся угол и расстояние между центрами приемной и питающей линии. Поэтому были рассчитаны расстояния между центрами приемной и питающей линий (r) и углы отрезков, соединяющих их центры, относительно оси приемной линии (φ). Те же самые величины r и φ были заданы при расчете 3D прямой задачи, хотя питающие линии в случае численного эксперимента были параллельны приемной. Таким образом, схема наблюдений при расчете трехмерной прямой задачи выглядела, как показано на рис. 5.

Были заданы 3 трехмерные модели с различным положением объекта относительно оси приемной линии. В модели 1 объект находился симметрично по отношению к оси приемной линии (см. рис. 5, объект 1), но только часть приемной линии (MO) находилась над

Таблица 3. Типичный горизонтально-слоистый разрез в районе полевого эксперимента

№ слоя	Сопротивление (ρ), Ом·м	Поляризуемость (η), %	Мощность (h), м
1	5	5	50
2	30	5	300
3	10	5	150
4	100	5	300
5	15	0	600
6	1.5	0	350
7	50	0	300
8	1.5	0	175
9	1000	0	∞

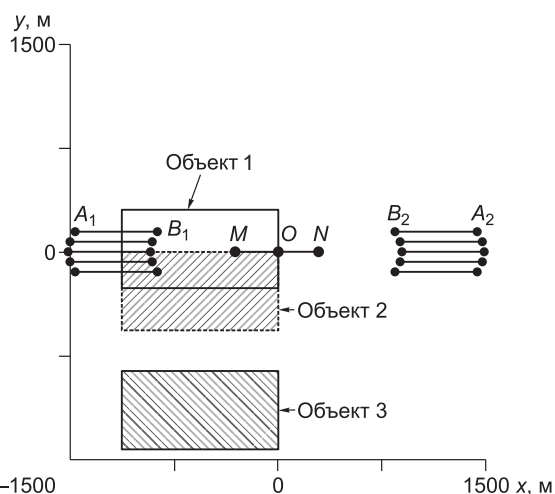


Рис. 5. Схема расположения приемной (MON) и питающих (A_1B_1, A_2B_2) линий при проведении численного эксперимента и положение (в плане) трехмерных объектов.

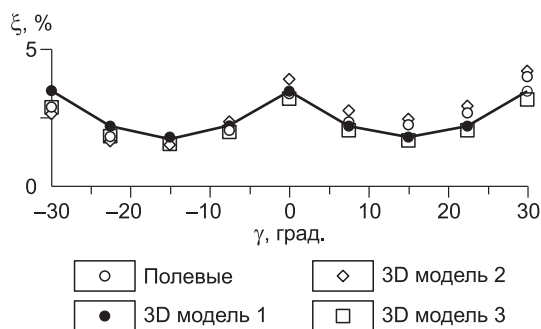


Рис. 6. Максимальное среднеквадратическое расхождение (ξ) между параметром DU осевой и диагональной установкой, для полевых кривых и рассчитанных трехмерными моделями.

дальше смещен в том же направлении (см. рис. 5, объект 3), так что линия MO уже не попадала в его контур и не находилась над его границами.

Для каждой трехмерной модели рассчитывались ДНП при пяти положениях генераторной линии слева от приемной и при пяти положениях справа (аналогично полевым измерениям). Как и для полевых наблюдений, попарное осреднение ДНП дало их значения для пересчитанной односторонней установки. Невязки рассчитывались между ДНП, полученными для осевой установки, и 24 диагональными, полученными для пересчитанных односторонних установок. Распределения невязок для трех трехмерных моделей представлены на рис. 6.

Для модели 1 среднеквадратические расхождения распределились симметрично относительно нулевого угла γ . Наибольшая асимметрия среднеквадратических отклонений наблюдается для модели 2. Для модели 3 среднеквадратические отклонения распределились асимметрично, но при этом асимметрия оказалась меньше, чем для модели 2.

Сопоставление результатов 3D моделирования и полевых данных дает основание предположить, что полевые измерения искажены присутствием трехмерного объекта, смещенного относительно оси приемной линии.

ВЫВОДЫ

Результаты полевых измерений и инверсии полевого материала свидетельствуют о правомерности применения диагональных установок на практике и правильности схемы пересчета координат двусторонних диагональных установок в односторонние при решении прямой задачи. Невязки экспериментальных и теоретических кривых ДНП, записанных осевой и диагональными установками, отличаются незначительно. Вариации параметров геоэлектрических моделей, полученных в результате решения обратной задачи для диагональных установок, не могут создавать ложные и затушевывать реальные аномалии. Поскольку существуют регионы, где геолого-геофизический разрез намного сложнее, в перспективе необходимо провести подобные эксперименты и в этих регионах.

Численное моделирование электромагнитного отклика в присутствии проводящей поляризующейся среды показало, что в полевых данных проявляется присутствие трехмерного объекта, смещенного относительно оси приемной линии.

Авторы выражают благодарность полевому отряду, выполнившему опытные работы летом 2006 г. (начальник отряда А.В. Костин, старший геофизик-оператор С.В. Яковлев, старший топограф Д.К. Крылов). Авторы признательны П.Ю. Легейдо за разработку идеи применения неосевых линий при зондированиях ДНМЭ и Н.О. Кожевникову за ценные рекомендации и научные консультации во время работы над публикацией и рецензию с конструктивной критикой. Авторы благодарят второго рецензента за рекомендации по улучшению статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Агеенков Е.В. Исследование эквивалентностей горизонтально-слоистых поляризующихся сред в дифференциально-нормированном методе электроразведки: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Иркутск, ИрГТУ, 2004, 18 с.

Агеенков Е.В., Иванов С.А., Пестерев И.Ю. Нахождение информативных параметров горизонтально-слоистой поляризующейся модели применительно к импульсным зондированиям многогранной заземленной установкой // Десятая Уральская молодежная научная школа по геофизике: сборник докладов, Пермь, 2009, с. 9—14.

Березкин В.М., Грибов Н.А., Хавкина Д.Б. Эффективность работ по проблеме прямых поисков залежей нефти и газа геофизическими методами. М., ВИЭМС, 1983, 215 с.

Иванов С.А. Разработка и применение методики геологической интерпретации данных дифференциально-нормированного метода электроразведки для поисков месторождений нефти и газа: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Иркутск, 2009, 22 с.

Кормильцев В.В. Переходные процессы при вызванной поляризации. М., Недра, 1980, 130 с.

Легейдо П.Ю. Теория и технология дифференциально-нормированной геоэлектроразведки для изучения поляризующихся разрезов в нефтегазовой геофизике: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Иркутск, ИрГТУ, 1998, 44 с.

Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М., Рыхлинский Н.И. Дифференциально-нормированные методы электроразведки. Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 1996, 145 с.

Моисеев В.С., Рояк М.Э., Соловейчик Ю.Г., Персова М.Г., Токарева М.Г. Математическое моделирование при разработке технологий для метода вызванной поляризации // Сибирский журнал индустриальной математики, 1999а, т. 2, № 2, с. 135—146.

Моисеев В.С., Рояк М.Э., Соловейчик Ю.Г. Математическое моделирование процессов вызванной поляризации в сложных средах для токовой линии с заземленными электродами // Сибирский журнал индустриальной математики, 1999б, т. 2, № 1, с. 79—93.

Патент 2301431 РФ, МПК G01V3/38, G01V306. Способ электроразведки с использованием пространственного дифференцирования поля становления на нескольких разносках / Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М., Пестерев И.Ю., Агеенков Е.В., Алаев В.Н., Давыденко Ю.А., Иванов С.А., Владимиров В.В., Мальцев С.Х., Лисицын Е.Д., Петров А.А., Кяспер В.Э. (РФ). — № 2005108185; опубл. 20.06.07; приоритет 24.03.05.

Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Абрамов М.В. Конечноэлементное моделирование геоэлектромагнитных полей, возбуждаемых горизонтальной электрической линией // Сибирский журнал индустриальной математики, 2009, т. 4 (40), с. 106—119.

*Рекомендована к печати 5 апреля 2011 г.
М.И. Эповым*

*Поступила в редакцию 29 апреля 2010 г.,
после доработки — 1 февраля 2011 г.*