

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТКЛИКА ПОЛЯРИЗОВАННОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА ОТ КОНФИГУРАЦИИ ЗОНДИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Шейн Александр Николаевич, м.н.с.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
630090, Новосибирск, Проспект Академика Коптюга 3

Телефон/факс: (383) 333 25 13

E-mail: shalex@emf.net

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Антонов Евгений Юрьевич

При зондировании среды гальваническими установками в регистрируемом сигнале часто обнаруживается влияние процесса вызванной поляризации (ВП). ВП – сложные процессы электрофизической и электрохимической природы, возникающие при прохождении электрического тока через среду. В практике математического моделирования процессов ВП возобладал феноменологический подход, основанный на решении краевых задач для уравнений Максвелла с частотно-зависимыми электромагнитными параметрами среды. При описании низкочастотной дисперсии (НЧД) сопротивления наиболее часто используется формула Коул-Коул, имеющая вид [Pelton et al., 1978]:

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

Здесь ρ_0 - удельное сопротивление на постоянном токе, ω - круговая частота, η - стационарная поляризуемость, τ - время релаксации, c - параметр частотной зависимости. Введение комплексного удельного сопротивления приводит к возрастанию количества параметров определяющих решение прямой задачи с двух (ρ, h) до пяти (ρ, h, η, τ, c) , что влечет существенное

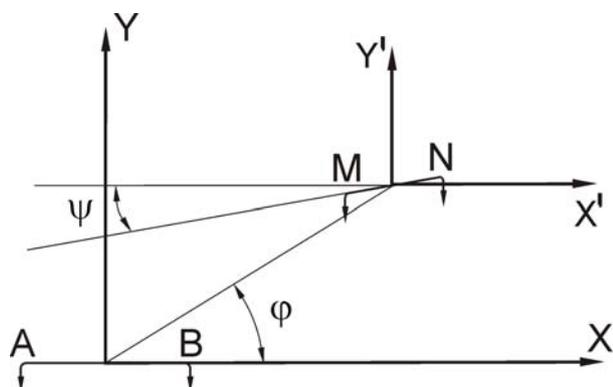


Рис. 1 Схема гальванической системы измерений (AB-MN)

расширение области эквивалентности получаемых решений. Возможность «независимого» поиска неполяризуемой модели (ρ, h) и последующего определения параметров ВП (η, τ, c) может существенно повысить качество интерпретации. Т.о. разделение процесса становления и эффекта ВП, или другими словами уменьшение количества искомых параметров, при

решении обратной задачи чрезвычайно актуально.

На рисунке 1 представлена система координат и схема измерений, на которой приведены углы: азимутальный φ и угол между линиями ψ . В работе

[1] средствами математического моделирования установлено и подтверждено рядом полевых экспериментов, что для параллельной ($\psi = 0$) гальванической установки существуют определенные положения приемной линии (разнос и азимутальный угол φ), характеризующиеся ослабленным проявлением ВП. Логическим продолжением поиска специального расположения элементов гальванической системы измерения (Рис. 1) будет изучение влияния непараллельности ($\psi \neq 0$) линий на измеряемый сигнал: во-первых – это поведение сигнала при значениях углах ψ близких к нулю, что соответствует ошибкам, допускаемым при измерении; во-вторых – изменение сигнала при вращении приемной линии MN ($\psi \geq 10$). Также исследуется возможность привлечения данных индукционных зондирований с целью разделения индукционной и поляризационной части сигнала.

Изучение индукционных и гальванических переходных характеристик сопровождалось моделированием электромагнитного поля в горизонтально-слоистой среде с использованием НЧД удельного электрического сопротивления (УЭС). Поле любого источника/приемника можно рассчитать интегрированием полей дипольных установок, распределенных вдоль источников/приемников. Алгоритмы и их численная реализация подробно описанные в книгах [Табаровский, 1975, 1979].

При решении обратной задачи параметры геоэлектрического разреза находятся путем минимизации методом Нелдера-Мида функционала невязки, характеризующего среднеквадратичное отклонение экспериментальных $f^{экспер.}(t)$ и теоретических $f^{модел.}(t)$ данных:

$$СКО = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{f^{экспер.}(t_i) - f^{модел.}(t_i)}{f^{экспер.}(t_i)} \right)^2}.$$

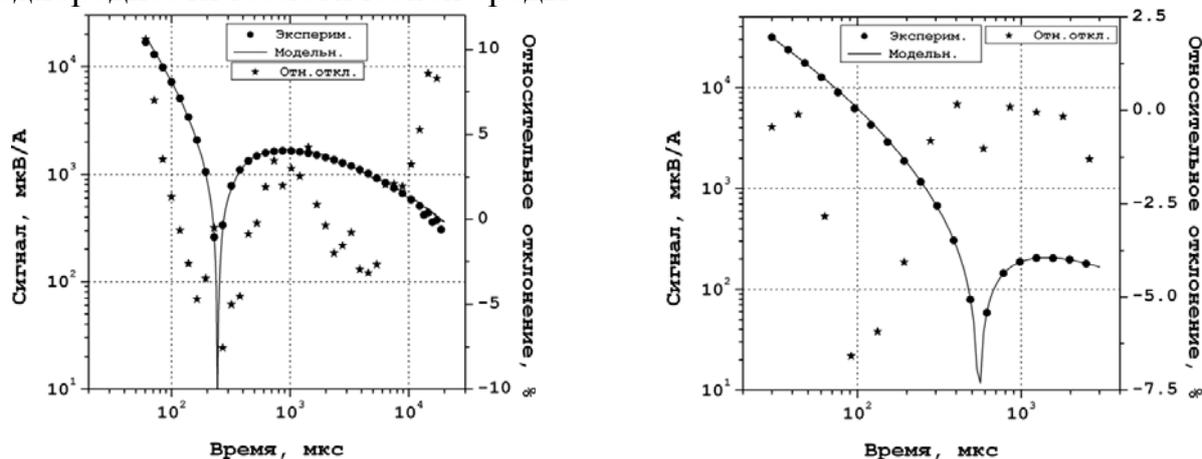
Переходя непосредственно к исследованию, стоит отметить, что индукционные и гальванические системы измерения обладают различной чувствительностью к процессам ВП. При изучении медленных процессов ВП индукционный способ возбуждения и измерения полей менее эффективен по сравнению с гальваническим. Длительность процесса индукционной «зарядки» среды значительно короче воздействия, производимого электрической линией. Можно сказать, что индукционная и гальваническая ВП имеют разную временную шкалу. Очевидно, данное свойство может быть использовано для повышения достоверности интерпретации данных гальванических измерений, осложнённых присутствием ВП.

Для проверки высказанного положения были выполнены полевые эксперименты. Измерения проводились на двух объектах: 1) рядом с глиняным карьером в 10 км от северо-восточной окраины Новосибирска; 2) на берегу Обского водохранилища в 5 км от пос. Верх-Ирмень (Новосибирская область, Ордынский район). Измерения были выполнены следующими установками: совмещенная петлевая (100 м × 100 м), соосная петлевая (генератор -

100 м × 100 м, преемник - 50 м × 50 м), параллельная гальваническая (питающая линия - 100 м, приёмная линия - 50 м).

1. Глиняный карьер. В результате интерпретации данных, полученных соосной петлевой установкой, в рамках горизонтально-слоистой проводящей модели был получен геоэлектрический разрез (СКО = 0.04), который использовался для обработки измерений экваториальной электрической установкой: разнос между центрами линий – 25 м, азимут (φ) – 90°. Фиксация параметров УЭС привела к ухудшению качества интерпретации, в терминах среднеквадратичного отклонения (СКО = 0.3). Т.о. потребовалось одновременное варьирование сопротивления и параметров поляризации. В результате была получена модель с существенно меньшим СКО = 0.07 (рис. 2а).

В расхождении моделей, полученных в итоге, нет большого противоречия, потому что данные зондирования индуктивной и гальванической установками, отражают различную чувствительностью этих систем наблюдения как к анизотропии УЭС, так и к пространственной неоднородности геологической среды.



а) экваториальная гальваническая установка; б) экваториальная гальваническая установка.
Глиняный карьер. Пос. Верх-Ирмень.

Рис. 2

2. Пос. Верх-Ирмень. Сначала были выполнены зондирования совмещённой и соосной петлевыми установками, после интерпретации которых были получены модели – начальные приближения при интерпретации сигналов, измеренных гальванической установкой: разнос – 75 м, азимутальный угол φ – 30°. После инверсии данных гальванических зондирований (см. рис. 2б) была получена модель хорошего качества (СКО = 0.03), несмотря на то, что в инверсии были задействованы все параметры разреза.

Таблица 2.

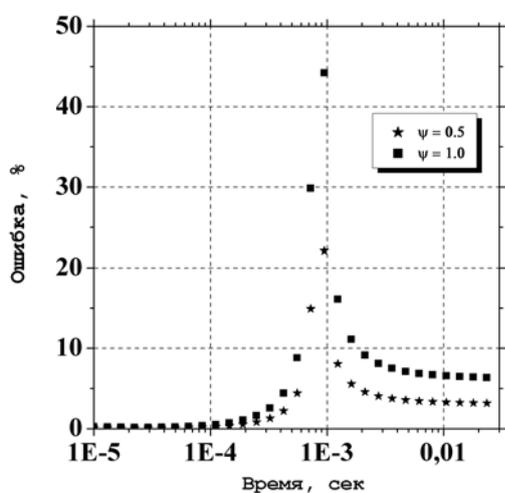
Результат инверсии данных зондирований гальванической установкой.

№ слоя	$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$h, \text{ м}$	η	τ	c
1	67.	23.	0.044	1.0×10^{-5}	0.5
2	230.	22.			
3	63.	23.	0.058	1.4×10^{-3}	0.52
4	4800.	∞			
СКО=0.03					

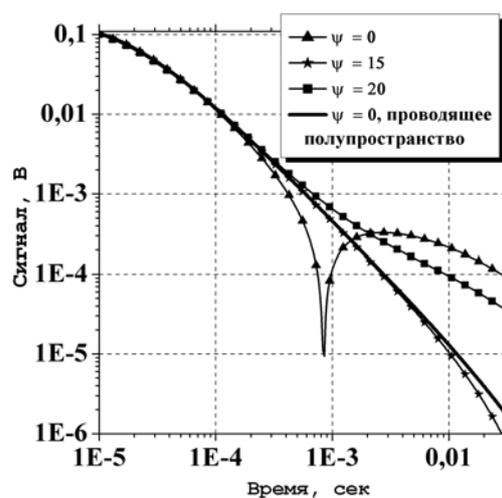
Т.о. можно сделать заключение, что использование данных индуктивных зондирований может существенно повысить качество интерпретации данных нестационарных электромагнитных зондирований.

Кроме возможности комплексной интерпретации индуктивных и гальванических измерений, исследовалось влияние угла ψ на сигнал гальванической системы измерения (Рис. 1). Измерение параллельной установкой требует строгого выдерживания нулевого угла между линиями ($\psi = 0$), что тяжело сделать на практике. Поэтому мы изучили влияние возможных ошибок положения приемной линии ($\psi \approx 0$) на измеряемый сигнал. Также, для полноты картины, исследовалось поведение отклика, при вращении приемной линии ($\psi \geq 10$).

Для моделирования была выбрана следующая система: $AB = 100\text{ м}$, $MN = 50\text{ м}$, $r = 72\text{ м}$, $\varphi = 45^\circ$. На рис. 3а представлены ошибки (относительно установки, где $\psi = 0$), возникающие в смоделированном отклике при незначительном отклонении от параллельности линий в поляризуемом полупространстве: $\rho = 50\text{ Ом}$; $\eta = 0.05$; $\tau = 0.01$; $c = 0.5$. Видно, что при зондировании поляризуемых пород, не соблюдение параллельности линий может привести к значительным ошибкам (рис. 3а), что не скажешь о проводящей среде: $\rho = 50\text{ Ом}$. Поэтому при измерениях подобными системами, обязательно строгое соблюдение параллельности линий. И наоборот, при интерпретации стоит учитывать, что ошибки в построении параллельных систем могут возникнуть с большой вероятностью. Т.о. введение поправки на ψ может привести к значительному улучшению качества интерпретации и наоборот, не учет этого факта – к «мнимому» ухудшению качества (СКО) при подборе параметров поляризации (здесь имеется в виду второй этап интерпретации в комплексе с индукционными измерениями).



а) ошибки, возникающие при незначительном отклонении ψ ;



б) изменение измеряемого сигнала при вращении приемной линии.

Рис. 3

При моделировании непараллельных установок над поляризуемым полупространством с вышеприведенными параметрами ($\psi \geq 10^\circ$) был замечен интересный факт: при некотором угле ψ сигнал повторяет отклик от проводящего (без ВП) полупространства (рис. 3б). В купе с тем, что при гальванических измерениях существуют точки пространства (положение приемной линии) с ослабленным влиянием ВП [1], знание этого факта может облегчить построение гальванической системы измерения нечувствительной к параметрам поляризации, которая позволит разделять процесс становления и эффект ВП без привлечения индукционных зондирований. Данный факт дает основание для более детального изучения влияния угла ψ на сигнал в различных ситуациях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Эффективность интерпретации данных зондирований гальванической установкой с учётом ВП, может быть увеличена использованием данных индуктивных зондирований при построении стартовой модели для проводящего неполяризуемого разреза;
- Качество интерпретации данных зондирования гальванической установкой может быть повышено введение поправки на угол ψ между приемными линиями;
- При зондировании поляризуемого полупространства гальванической системой существует угол ψ между линиями с ослабленным влиянием ВП.

В работе использовались программы $\langle \text{FwPr_LL} \rangle$, $\langle \text{Unv_QQ} \rangle$ и $\langle \text{Inv_QQ} \rangle$, $\langle \text{Inv_LL} \rangle$ (авт. Антонов Е.Ю.) для расчёта нестационарных полей в установках линия-линия, петля-петля и при сопоставлении результатов индукционных и гальванических зондирований.

Работа выполнена в лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН. Необходимо отметить неоценимую помощь руководителя работы Е.Ю. Антонова за постоянное внимание и всестороннюю поддержку. Автор выражает искреннюю признательность сотруднику НПП ГА «Луч» А.Е. Плотникову за помощь, оказанную при выполнении экспериментальной части данной работы.

Литература

1. Шеин А.Н., Антонов Е.Ю. Повышение геологической информативности метода переходных процессов в условиях поляризующихся сред. // VIII уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2007. стр. 276-281.
2. Кормильцев В.В. Переходные процессы при вызванной поляризации: Теория и применение в геофизике. // М.: Наука, 1980.- 112 с.
3. Светов Б.С., Агеев В.В., Лебедева Н.А. Поляризуемость горных пород и феномен высокоразрешающей электроразведки. Геофизика, 1996, №4, с.42-52.