

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ
НА РЕЗУЛЬТАТЫ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ**

A.N. Shein

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk

**OPTIMIZATION OF GALVANIC SYSTEM GEOMETRY
TO DECREASE OF EFFECT OF INDUCED POLARIZATION
ON TRANSIENT ELECTROMAGNETIC DATA**

Abstract

The method for construction of galvanic TEM-system is proposed. This system provides decreasing effect of induced polarization and allows to discriminate IP and induction parts of TEM-signals. It was established with use of mathematical modeling that for galvanic TEM-system exist location of receiver, where effect of IP essentially reduced. The results of mathematical modeling are confirmed by field experiments.

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. При решении электродинамических задач учет влияния ВП осуществляется введением частотно зависимого комплексного сопротивления, для чего 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. Использование комплексного удельного сопротивления увеличивает количество параметров определяющих решение прямой задачи с двух (ρ, h) до пяти (ρ, h, η, τ, c) , что влечет существенное расширение области эквивалентности получаемых решений. Возможность «независимого» поиска неполяризующейся 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. В данной работе рассмотрен способ решения поставленной задачи с помощью специального расположения элементов зондирующей установки.

На рисунке 1 представлена система координат и конфигурация установки, на которой приведены углы: азимутальный φ и угол между линиями ψ . В работе [1] средствами математического моделирования установлено, что для параллельной ($\psi = 0$) гальванической установки существуют определенные положения приемной линии (разнос и азимутальный угол φ), характеризующиеся ослабленным проявлением ВП. Сделанные предположения подтверждены ря-

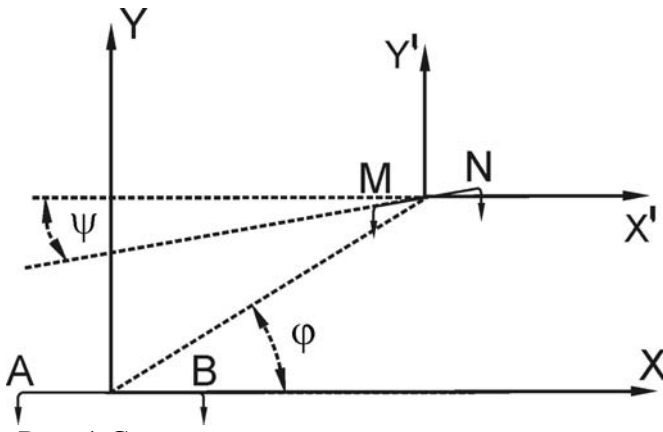


Рис. 1 Схема гальванической системы измерений (AB-MN)

дом полевых экспериментов. Логическим продолжением исследования будет являться изучение влияния угла между линиями ψ на измеряемый сигнал и поиск возможности его использования для восстановления параметров проводящего разреза. Следует отметить возможность возникновения ошибок при раскладке зондирующих систем, т.е. небольшие отклонения углов φ и ψ от запланированных значений. Данный момент также исследовался в данной работе.

Переходя непосредственно к исследованию, стоит отметить, что в однородном неполяризуемом изотропном полупространстве нестационарное электрическое поле не зависит от углов φ и ψ . В поляризуемом полупространстве это не так. Частотная характеристика $E_{\parallel}(\omega)$ и $E_{\perp}(\omega)$, описываются выражениями [Вешев А.В., 1980]:

$$E_{\parallel}(\omega) = \frac{I_x dl}{2\pi r^3} \rho(\omega) \left[(3 \cos^2 \varphi - 2) + (1 + kr) e^{-kr} \right],$$

$$E_{\perp}(\omega) = \frac{3I_x dl}{2\pi r^3} \rho(\omega) \cos \varphi \sin \varphi$$

где: $k^2 = -i\omega\mu_0 / \rho(\omega) = -i\omega\mu_0\sigma(\omega)$. Для того чтобы исследовать влияние углов φ и ψ на чувствительность гальванической системы к ВП, рассматривалось низкочастотное разложение для мнимой части выражения $E(\omega) = E_{\parallel}(\omega) \cos \psi + E_{\perp}(\omega) \sin \psi$, из которого было получено следующее уравнение $(3 \cos^2 \varphi - 1) \cos \psi + 3 \sin \varphi \cos \varphi \sin \psi = 0$. Находя его частное решение, можно определить комбинацию углов гальванической зондирующей системы, при которой влияние ВП минимально. В частности для параллельной установки при $\psi = 0$ $\varphi = \arccos \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 54.736^\circ$. Для часто используемого на практике азимутального угла $\varphi = 45^\circ$, получаем $\psi = -\arctg \frac{1}{3} = -18,435^\circ$.

Установленное свойство отклика поляризуемого полупространства определяется в большей степени взаимным расположением питающего и приёмного диполей, нежели значениями параметров ВП и сопротивления. При работе же с реальной измерительной установкой размеры установки влияют на значение углов φ и ψ , но принципиально важно существование таких комбинаций.

Доказав существование комбинации углов, которая позволяет существенно понизить влияние ВП, перейдем непосредственно к исследованию влияния ошибок построения зондирующих систем на измеряемый сигнал. Изучение пе-

редходных характеристик осуществлялось средствами математического моделирования электромагнитного поля в горизонтально-слоистой среде с учетом частотной дисперсии УЭС. Алгоритмы и их численная реализация подробно описаны в работах [Табаровский, 1975, 1979].

Для моделирования была выбрана дипольная зондирующая система с разном $r=100.m$ для двух комбинаций углов ($\varphi=54.7^\circ, \psi=0^\circ$); ($\varphi=45^\circ, \psi=-18.5^\circ$), при которых сигнал от поляризующегося полупространства ($\rho=100.Om \cdot m, \eta=0.05, \tau=0.1 c, c=0.5$) наиболее точно повторяет отклик от проводящего полупространства ($\rho=100.Om \cdot m$). Выяснилось, что при одинаковых отклонениях того или иного угла (ψ, φ) от оптимальных значений, сигнал изменяется по-разному: малые изменения азимутального угла сильнее сказываются на поздних временах, нежели отклонения угла между линиями ψ . На рис. 2 представлены кривые становления над однородным поляризующимся полупространством для отклонений азимутального φ (слева) и угла ψ (справа) от оптимального положения на $\pm 0.5^\circ$. Видно, что для обеих пар углов ($\varphi=54.7^\circ, \psi=0^\circ$) и ($\varphi=45^\circ, \psi=-18.5^\circ$) отклонение от оптимального положения приемной линии даже на пол градуса существенно нарушает подавление ВП.

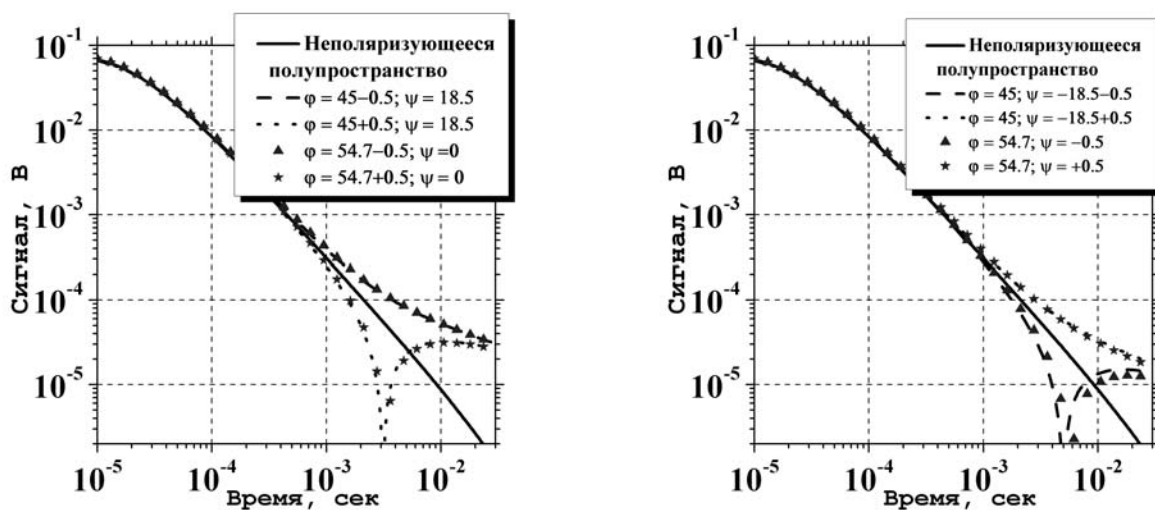


Рис. 2 Изменение сигнала при отклонении приемной линии от оптимального положения: слева – азимутальное отклонение $\pm 0.5^\circ$, справа – отклонение угла между линиями $\psi \pm 0.5^\circ$

При изменении азимутального угла φ возникающая ошибка больше, чем при таком же изменении угла между линиями ψ . Расчеты показали, что величина этого отклонения слабо зависит от выбора азимута измеряющей системы, т.е. не зависит от угла φ . Все утверждения верны и в случае, когда моделируются установки конечных размеров.

Т.о. можно сделать вывод, что при раскладке гальванической зондирующей системы крайне необходимо выдерживать заданные углы. Несмотря на то, что такие системы чрезвычайно чувствительны к геометрии, для нас является принципиальным существование точек с ослабленным влиянием ВП.

Следующим этапом нашего исследования было изучение поведения сигнала гальванической системы при вращении приемной линии. Это поможет понять, почему поворачивая приемную линию можно добиться поведения сигнала идентичного отклику от неполяризуемого полупространства с тем же значением сопротивления. Для этого был проведен ряд численных экспериментов, а именно построение изолиний при различных углах между линиями измерительной системы ψ . Для расчетов использовалась модель поляризуемого полупространства с параметрами $\rho = 100. \text{Ом} \cdot \text{м}$, $\eta = 0.05$, $\tau = 0.1 \text{ с}$, $c = 0.5$. Одна из карт приведена на рисунке 3. I – это область знакопеременного поведения сигнала, где измеряемый отклик меняет знак, а II – область, где кривая становится знакостоянна. Г – граница областей, и кривая соответствующая ослабленному влиянию ВП. Как видно рис. 3, при вращении приемной линии картина становится несимметричной, в отличие от случая параллельной установки. Используя это свойство можно «повернуть» область знакопеременных сигналов в нужную нам сторону, т.е. в сторону центра приемной линии MN. А совпадение центра приемной линии с точкой на кривой Г позволяет нам получить необходимое поведение сигнала, что в свою очередь дает возможность «независимого» от ВП восстановления параметров неполяризуемого разреза.

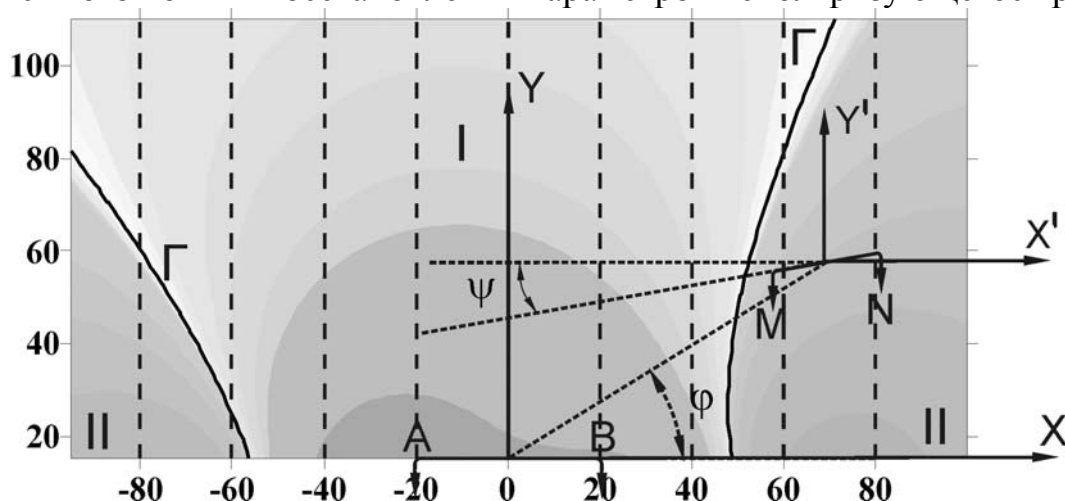


Рис. 3 Карта изолиний гальванической установки с углом между линиями $\psi = 15^\circ$, $t = 0.03$. I – знакопеременного и II – области монотонного поведения сигналов (Г – граница областей) для модели поляризуемого полупространства: $\rho = 100. \text{Ом} \cdot \text{м}$, $\eta = 0.05$, $\tau = 0.1 \text{ с}$, $c = 0.5$.

Т.о. мы получили еще один способ поиска оптимальной гальванической системы измерений, что дает дополнительную возможность уменьшить начальное количество искомых параметров разреза. Это в свою очередь приводит к сужению области эквивалентности искомых решений и повышению качества интерпретации полученных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Качество интерпретации данных зондирования гальванической установкой может быть повышено введением поправки на углы ψ и φ между приемными линиями и азимутальным соответственно;
- Использование гальванических систем зондирования для изучения поляризуемых сред предъявляет повышенные требования к точности их пространственного расположения;

- Существует комбинация углов φ и ψ , которая позволяет построить гальваническую измерительную систему с максимально ослабленным влиянием ВП.

Работа выполнена в лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН. Необходимо отметить неоценимую помощь руководителя работы Е.Ю. Антонова за постоянное внимание и всестороннюю поддержку.

В работе использовались программа $\langle \text{FwPr_LL} \rangle$ и $\langle \text{Isol_LL} \rangle$ (авт. Антонов Е.Ю.) для расчёта нестационарных полей в установках линия-линия и при построении изолиний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Е.Ю., Шеин А.Н. Разделение эффекта становления и явления вызванной поляризации при зондировании поляризующихся сред методом переходных процессов. // Сборник материалов международного научного конгресса «Гео-Сибирь-2007», 25-27 апреля 2007г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. с.231-218.
2. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. // Л.: Недра, 1980. – 391с.
3. Pelton W.H., Ward S.H., Hallof P.G., Still W.R., Nelson P.H. Mineral discrimination and removal inductive coupling with multifrequency IP. Geophysics, vol. 43, NO3 (april 1978).
4. Кормильцев В.В. Переходные процессы при вызванной поляризации: Теория и применение в геофизике. // М.: Наука, 1980.- 112 с.
5. Светов Б.С., Агеев В.В., Лебедева Н.А. Поляризуемость горных пород и феномен высокоразрешающей электроразведки. Геофизика, 1996, №4, с.42-52.
6. Табаровский Л.А. Применение метода интегральных уравнений в задачах геоэлектрики. Новосибирск: Наука, 1975.- 142 с.
7. Табаровский Л.А. Электромагнитные поля поперечно-электрического и поперечно-магнитного типа в многослойных средах // Электромагнитные методы исследования скважин. – Новосибирск: Наука, 1979, с. 225-233.