

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕРСИИ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ
В УСЛОВИЯХ ПОЛЯРИЗУЮЩИХСЯ СРЕД**

A.N. Shein, E.Yu. Antonov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk

IMPROVING INVERSION QUALITY FOR IP-AFFECTED MULTICOMONENT TEM-DATA

Two-step inversion algorithm for IP-affected multicomponent TEM-data is considered in the work. Algorithm is based on different sensitivity magnetic and electric components to IP effect. First step is joint inversion all components of derivatives magnetic induction $(\dot{B}_x, \dot{B}_y, \dot{B}_z)$. Second step is definition of IP parameters by joint inversion of electrical components (E_x, E_y) . Initial model for second step is result of first step.

Использование площадных многокомпонентных зондирований – является заметной тенденцией в современной электроразведке. Это позволяет восстанавливать более адекватный геоэлектрический разрез и оперировать объемными интерпретационными моделями изучаемых объектов. Вместе с тем, наиболее часто применяемая модель в интерпретации электромагнитных данных – это одномерная горизонтально-слоистая изотропная модель с частотной дисперсией (ЧД) сопротивления. Одномерная интерпретация может служить достаточно надежной стартовой моделью объемных задач. Одной из трудностей существующих методов количественной интерпретации данных электроразведки является учет вызванной поляризации (ВП) среды. Различная чувствительность индукционных и гальванических измерений к вызванной поляризации позволяет повысить достоверность геологической интерпретации данных. Другим способом повышения качества инверсии является совместная обработка данных, т.е. одновременная инверсия нескольких компонент поля на одном пикете. В данной работе описана инверсия данных многокомпонентных нестационарных зондирований, осуществлявшаяся в два этапа. Первый этап - совместная инверсия полного вектора производных магнитной индукции $(\dot{B}_x, \dot{B}_y, \dot{B}_z)$, что позволило восстановить параметры проводящего разреза без учета влияния ВП. Второй этап - восстановление параметров поляризации по электрическим компонентам (E_x, E_y) на основе модели, полученной после интерпретации магнитных компонент. Совместная инверсия была выполнена с помощью программной системы разработанной в ИНГГ СО РАН (авторы Антонов Е.Ю., Шеин А.Н.). Для тестирования созданной системы использовались синтетические данные, а также экспериментальные записи, полученные на Крестищенском месторождении (Харьковская область, Украина).

Рассматриваемая нами установка состоит из питающей заземленной электрической линии и приемников – индукционных датчиков, позволяющих регистрировать компоненты полного вектора производных магнитной индукции $(\dot{B}_x, \dot{B}_y, \dot{B}_z)$ и заземленных линий, позволяющих регистрировать

составляющие электрического поля (E_x, E_y) . Рассматриваемая в данной работе схема измерения является аналогом установки LOTEM (Long-Offset Electromagnetic Method), впервые использованной в 1986 году в комплексе с сейсмическими исследованиями в Западной Германии (автор Strack K.-M.). С помощью заземленной электрической линии в земле возбуждаются вихревые токи, которые распространяются по горизонтали и по вертикали с течением времени. В приемниках записываются отклики среды после выключения тока в источнике. Амплитуда регистрируемых сигналов содержат информацию о распределении проводимости в земной толще [1].

Традиционная модель среды, всесторонне исследованная в литературе, - это совокупность разделенных плоско-параллельными границами пластов, в пределах каждого из которых удельное электрическое сопротивление (УЭС) $\rho_1, \dots, \rho_i, \dots, \rho_N$ постоянно. Координаты плоских границ в декартовой системе координат XYZ (ось z направлена вниз) - $z_1, \dots, z_i, \dots, z_N$. Для учета вызванной поляризации мы использовали наиболее распространенную и часто применяемую на практике при решении электродинамических задач частотную зависимость комплексного сопротивления (формула Коул-Коул) [2]. При построении вычислительных процедур использовались рекуррентные формулы и алгоритмы, приведенные в [3, 4]. Решение обратной задачи ищем, минимизируя функционал среднеквадратичного отклонения экспериментальных и теоретических данных методом Нелдера-Мида.

Первым этапом нашей работы было исследование чувствительности вектора производных магнитной индукции к ВП. Как известно, магнитные компонент поля слабо чувствительные к ВП, но все же некоторые моменты

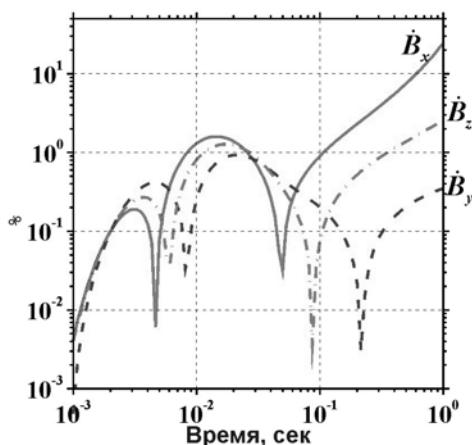


Рис. 1 Отклонение отклика от поляризующейся среды (Модель №1) относительно сигнала для модели без ВП для производных магнитной индукции

стоит исследовать. Для решения этой задачи были рассчитаны сигналы полного вектора производных магнитной индукции, как в присутствии ВП так и без, с теми же параметрами сопротивления и мощности слоев для основных типов моделей с постоянным УЭС фундамента: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$, $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$, $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$, $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$. Относительная ошибка откликов от среды с вызванной поляризацией и в отсутствии ВП показывает влияние частотной дисперсии сопротивления на каждую из компонент.

На Рис. 1 представлен пример относительных ошибок всех компонент производных вектора магнитной индукции рассчитанных для Модели №1.

Расчеты показали, что величина относительной ошибки восстановления модельных параметров (без учета ВП) для рассмотренных моделей остается в пределах погрешности измерения для производных магнитных компонент $\dot{B}_y$ и $\dot{B}_z$, а для $\dot{B}_x$ – может достигать 10% на поздних временах становления поля. Это следует учитывать при совместной инверсии по полному вектору магнитных откликов от поляризующихся сред.

Для подтверждения необходимости использования совместной инверсии было сгенерировано несколько наборов синтетических данных, на примере одного из которых (Модель №2) проиллюстрируем полученные результаты.

Модель №1

	$\rho, \text{Омм}$	$h, \text{м}$	η	τ	c
1 Слой	45	500			
2 Слой	20	300	0.05	0.02	0.55
3 Слой	10	650			
4 Слой	2000	∞			

Модель №2

	$\rho, \text{Омм}$	$h, \text{м}$	η	τ	c
1 Слой	10	170	0.01	0.01	0.64
2 Слой	40	580	0.02	0.2	0.35
3 Слой	15	640			
4 Слой	2000	∞			

На Рис. 2 представлены относительные ошибки подбора продольной проводимости $S_i = \sigma_i h_i$ для разных стартовых моделей. По оси X отложено начальное отклонения искомых параметров модели от истинных значений, относительная ошибка найденной продольной проводимости от истинной в результате инверсии по одной, двум и трем компонентам. Для каждого стартового приближения проведена инверсия для различных комбинаций трех магнитных компонент. Контурами показана область ошибок при инверсии по

одной ($\dot{B}_x, \dot{B}_y, \dot{B}_z$), паре ($\dot{B}_x, \dot{B}_y, \dot{B}_x, \dot{B}_z$, $\dot{B}_y, \dot{B}_z$) и тройке $\dot{B}_x, \dot{B}_y, \dot{B}_z$ компонент. Как видно эта область уменьшается, за исключением нескольких допустимых ошибок: ошибка стартовой модели достигает 25% и последовательно убывает с увеличением количества компонент. Т.о. можно считать, что качество подбора продольной проводимости повышается с увеличением количества используемых компонент производных магнитной индукции в совместной инверсии.

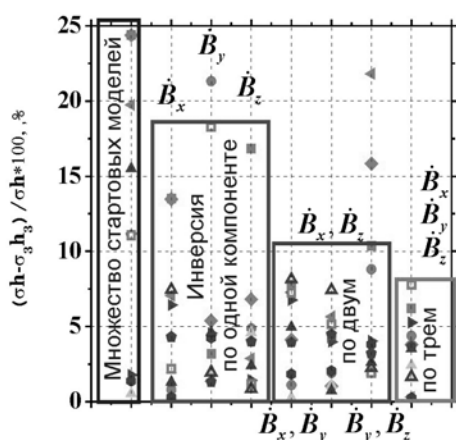


Рис. 2 Ошибки подбора параметров третьего слоя для инверсии по разному количеству компонент: одна, две, три.

Следующим этапом было исследование чувствительности электрических компонент

к параметрам ВП. Для этого мы изучили относительное отклонение отклика в модели с учетом ВП и без него. Результаты моделирования показали, что относительная ошибка мала на ранних временах (до 0.001 сек), а начиная с 0.001 секунды ошибка начинает стремительно расти, что хорошо видно на представленном Рис. 3. Это дало возможность предположить, что электрические компоненты могут быть использованы для подбора параметров ЧД УЭС. При этом в качестве стартового приближения модели (без учета ВП) можно использовать результаты совместной инверсии вектора производных магнитной индукции.

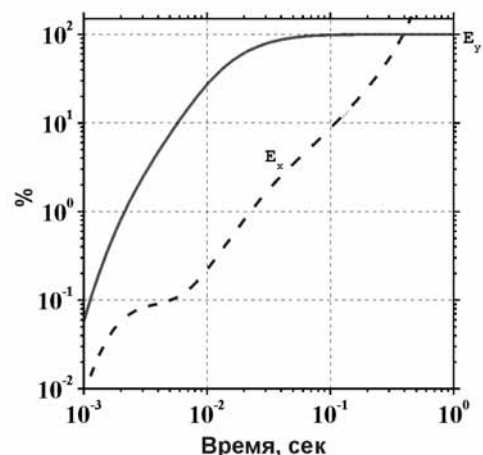


Рис. 3 Отклонение отклика от поляризующей среды относительно, не осложненного ВП сигнала для электрических компонент

Для проверки этого предположения было выполнено моделирование сигналов от поляризующей среды и последующее восстановление всех параметров геоэлектрического разреза. Синтетические данные рассчитывались для среды заданной моделью №3. Отклонение стартовой модели составляло не менее 10% для каждого из параметров. В результате совместной инверсии полного вектора производных магнитной индукции мы получили хорошее совпадение сопротивления и мощности с истинными значениями (Модель №4).

Модель №3

	$\rho, \text{Омм}$	$h, \text{м}$	η	τ	c
1 Слой	9.5	145			
2 Слой	15.7	475	0.01	0.03	0.45
3 Слой	36.6	570			
4 Слой	2000	∞			

Модель №4

	$\rho, \text{Омм}$	$h, \text{м}$
1 Слой	9.548	151.203
2 Слой	15.702	463.325
3 Слой	36.013	531.351
4 Слой	2000.0	∞

Теперь, когда мы знаем сопротивление и мощность слоев, используя совместную инверсию электрических компонент можно восстановить параметры поляризации.

Для начального приближения мы использовали характерные значения параметров $\eta = 0.05$; $\tau = 0.05$, $c = 0.5$. В результате подбора была получена непротиворечивая модель $\eta = 0.007$; $\tau = 0.09$, $c = 0.49$. С учетом некорректности решаемой задачи, такой результат можно считать успешным. Это позволяет утверждать, что совместная инверсия и знания о чувствительности компонент электромагнитного поля к различным процессам (в нашем случае – это ВП и процесс становления) повышает точность восстановления параметров искомого геоэлектрического разреза.

Помимо тестирования методики на синтетических данных, с использованием созданной программной системы, была проведена инверсия

полевых измерений полученных на Крестищенском месторождении Харьковской области, Украина.

Используя в качестве априорных геологические данные Крестищенского района, была проведена покомпонентная инверсия, которая продемонстрировала достаточно хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных, что дает нам стартовую модель для совместной инверсии. В результате совместной инверсии вектора производных магнитной индукции получен геоэлектрический разрез достаточно хорошо отвечающий геологическим данным. Это подтверждает состоятельность совместной инверсии многокомпонентных нестационарных ЭМ зондирований для повышения информативности интерпретации данных зондирований.

В заключении можно сделать следующие выводы:

✓ На синтетических данных показано, что с увеличением количества компонент вектора производных магнитной индукции, используемых при инверсии, качество восстановления параметров геоэлектрического разреза возрастает. Это подтверждает высокую эффективность совместной инверсии многокомпонентных электромагнитных измерений.

✓ Использование различной чувствительности индукционных и гальванических измерений к вызванной поляризации, а также совместная инверсия многокомпонентных нестационарных зондирований позволят повысить качество интерпретации электромагнитных измерений.

✓ С использованием экспериментальных данных полученных на Крестищенском месторождении (Украина) получен геоэлектрический разрез хорошо коррелирующий с геологическими данными данного района. Это еще раз подтверждает важность проведения многокомпонентных измерений и их совместной инверсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Strack K.-M. Long-offset transient electromagnetic (LOTEM) depth soundings applied to crustal studies in the Black Forest and Swebian Alb, Federal Republic of Germany [Text] / K.-M. Strack, E. Luschen, A.W. Kotz // Geophysics. – 1990. – vol.55 №55. – P. 834-842.
2. Pelton W.H. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP [Text] / W.H. Pelton, S.H. Ward, P.G. Hallof, W.R. Sill, P.H. Nelson // Geophysics. – 1978. – vol.63 №3. – P.588-600.
3. Табаровский Л.А. Применение метода интегральных уравнений в задачах геоэлектрики [Текст] / Л.А. Табаровский – Новосибирск: Наука, 1975. – 142 с.
4. Табаровский Л.А. Программа расчета нестационарного поля дипольных источников в горизонтально-слоистой среде (Алекс) [Текст] / Л.А. Табаровский, В.П. Соколов // Электромагнитные методы геофизических исследований: Сб. научных трудов. – Новосибирск. – 1982.
5. Кожевников Н.О. Оценка возможностей метода переходных процессов при изучении верхней части геологического разреза [Текст] / Н.О Кожевников, А.Е. Плотников // Геофизика. – 2004. – №6. – С. 33-38