

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СОВМЕСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ С УЧЁТОМ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Михаил Александрович Корсаков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, младший научный сотрудник, тел. (383)333-28-16, e-mail: KorsakovMA@ipgg.sbras.ru

Евгений Юрьевич Антонов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, тел. (383)333-28-16, заведующий лабораторией, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

Николай Олегович Кожевников

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, главный научный сотрудник, тел. (383)333-28-16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.sbras.ru

В статье описана научно-исследовательская версия программно-алгоритмической системы для совместной инверсии данных импульсных индукционных зондирований геологических сред с учётом низкочастотной дисперсии электрической проводимости.

Ключевые слова: инверсия, импульсные зондирования, индукционно-вызванная поляризация.

GEOPHYSICAL MODELLING AND JOINT INTERPRETATION SYSTEM FOR TIME-DOMAIN ELECTROMAGNETIC SOUNDINGS IN CONDUCTIVE POLARIZABLE MEDIUM

Mikhail A. Korsakov

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Prosp. Acad. Koptuyuga, post-graduate, tel. (383) 333-28-16, e-mail: KorsakovMA@ipgg.sbras.ru

Evgeny Yu. Antonov

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Prosp. Acad. Koptuyuga, head of laboratory, tel. (383) 333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

Nikolai O. Kozhevnikov

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Prosp. Acad. Koptuyuga, general researcher, tel. (383) 333-28-16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.sbras.ru

The paper discusses computer system for joint inversion transient electromagnetic data in conductive and polarizable geological medium.

Key words: inverse problem, transient electromagnetics, inductively induced polarization.

Первые автоматизированные системы для интерпретации данных импульсной индуктивной электроразведки появились в конце 80-х годов прошлого века. Наиболее известными из них были GRENDL [McAllister, Raiche, 1986], TEMIX [Stoyer, 1988], ЭРА [Табаровский и др., 1989; Эпов и др., 1990] и ПОД-

БОР [Могилатов, Злобинский, 1995]. В связи с широким внедрением персональных компьютеров, эти системы получили распространение и в течение многих лет служили и служат рабочими инструментами в геофизических исследованиях. Упомянутые отечественные и зарубежные программные комплексы предназначены для инверсии данных зондирований становлением поля в рамках модели горизонтально-слоистой проводящей среды.

К настоящему времени в России и за рубежом разработаны программные пакеты для интерпретации данных наземных импульсных электромагнитных зондирований. Наиболее известными среди них являются следующие.

EMS (*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*). Современная версия программы ЭРА для интерпретации данных площадных импульсных индукционных зондирований. В новой версии существенно развит пользовательский интерфейс и графическая визуализация данных и результатов интерпретации, инверсия данных выполняется в рамках модели слоистой проводящей среды.

ПОДБОР (*СНИИГГиМС, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск*) Система ПОДБОР использует быстрое решение прямой задачи импульсной индукционной электроразведки во временной области А.Н. Тихонова. Инверсия реализует возможность использования четырёх методов: Левенберга-Марквардта, Ньютона, линейной инверсии (локальный ряд Тейлора), минимизации с использованием линеаризованной прямой задачи.

EM Vision (*Encot, Австралия*). Комплекс обработки данных электромагнитных зондирований с возможностью учета эффектов индукционно-вызванной поляризации (ВПИ). Интерфейс программы позволяет обрабатывать результаты измерений, представленных в форматах известных марок зарубежной аппаратуры электромагнитных зондирований (Artemis, Geonics, Sirotem, Zonge Engineering, Airborne GEOTEM и др.)

EMIGMA (*PetRos EiKon Incorporated, Канада*). В программном комплексе реализован набор функций, основными из которых являются обработка данных как аэро-, так и наземных импульсных электромагнитных зондирований (наземные измерения осуществляются установками с совмещёнными и разнесёнными петлями). Инверсия данных измерений осуществляется с помощью алгоритмов Оккама и Марквардта в рамках горизонтально-слоистой модели среды. Кроме этого, программный комплекс содержит пакет для моделирования электромагнитных полей в трёхмерных средах. Большим достоинством комплекса является развитый графический интерфейс, сопоставимый по уровню со специализированными системами визуализации.

TEM-RESEARCHER (*Applied ElectroMagnetic Research (AEMR), Голландия*). Продукт входит в многоцелевую геофизическую систему TEM-FAST 48HPC. С помощью этой программы можно проводить инверсию данных в рамках горизонтально-слоистых и градиентных моделей. Предусмотрена возможность моделирования с учётом ВПИ и магнитной вязкости. Для визуализации результатов инверсии строятся 2D- и/или 3D-изображения геоэлектрических разрезов. Для данных ЗСБ и ВЭЗ реализован алгоритм совместной инверсии.

STEMINV (*Zonge International Inc., США*). Система интерпретации данных электромагнитных зондирований, ориентированная на аппаратуру фирмы-производителя геофизической аппаратуры Zonge. Программная система состоит из нескольких независимых модулей: **TEM1D** – для моделирования электромагнитных откликов индукционной петлевой системы; **TCINV** – для инверсии данных в рамках горизонтально-слоистой модели среды. Для инверсии данных используются итерационные алгоритмы линейной минимизации.

SiTEM/SeMDI (*Aarhus Geophysics, Дания*). Состоит из двух программных продуктов, предназначенных для обработки (SiTEM) и инверсии (SeMDI) данных импульсной индуктивной электроразведки. SeMDI можно также использовать для инверсии данных метода сопротивлений. Возможна совместная инверсия данных импульсной индуктивной электроразведки и ВЭЗ.

Анализ перечисленных выше наиболее известных программных средств позволяет сделать выводы о тенденциях развития программного обеспечения для методов импульсной индуктивной электроразведки и сформулировать основные требования к разрабатываемому авторами программному пакету. На рис. 1 представлен общий вид основного рабочего окна программы.

С начала 70-х годов прошлого века в публикациях о результатах съёмок индукционным методом переходных процессов (МПП) появляются сообщения о регистрации немонотонных неустановившихся сигналов. Как выяснилось, причиной их появления является индукционно вызванная поляризация (ВПИ) геологической среды. Явление вызванной электрической поляризации (ВП) давно используется при решении геологических задач. Наиболее полно изучена и широко применяется вызванная поляризация, измеряемая при помощи заземлённых электрических линий для возбуждения и приёма поля; для такого типа ВП характерны большие времена релаксации, поэтому зачастую влиянием индукционных процессов можно пренебречь. Что касается быстропротекающей вызванной поляризации (БВП), проявляющейся при индукционном возбуждении и регистрации переходных процессов, то данное явление обычно рассматривается как геологическая помеха. Это обусловлено как слабой изученностью самих процессов БВП, так и тем, что на ранних временах преобладают индукционные эффекты. Вместе с тем показано, что *совместная* инверсия результатов индукционных зондирований (для установок разной геометрии и/или размера) с учётом частотной дисперсии электропроводности позволяет оценивать параметры БВП даже в условиях сильного проявления индукционных эффектов [Кожевников, Антонов, 2009а, 2009б].

Сказанное выше послужило основанием для дальнейшего развития первой версии научно-исследовательской программно-алгоритмической системы [Антонов и др., 2010] за счёт обеспечения возможности *совместной* интерпретации данных импульсных индукционных зондирований. Как и в первой версии, для учёта поляризуемости среды используется комплексная частотно-зависимая электропроводность, описываемая формулой Коул-Коул.

Для научно-исследовательской версии системы интерпретации данных импульсной индуктивной электроразведки важна возможность импорта и экспорта данных, соответствующих разным типам измерительной аппаратуры или

систем интерпретации. Это позволяет экономить время при работе с данными, которые были получены в разное время и/или на разной аппаратуре. Экспорт данных в разные форматы способствует их удобной передаче для обработки и интерпретации в других программных пакетах.

В последние годы в результате электроразведочных работ получают массивы данных всё большего объёма, что делает актуальной разработку интерфейса для 2D- и 3D-визуализации поля и его трансформаций в виде кажущегося сопротивления $\rho_r(t)$ или продольной проводимости $S_r(H_r)$, а также экспорта данных и результатов инверсии в виде, удобном для использования в специальных графических программах.

По-прежнему актуальной задачей остаётся создание быстрых алгоритмов решения прямой задачи. Разработанная система предусматривает: ускорение за счёт использования разных подходов и решений в зависимости от постановки («обычная» проводящая или поляризуемая среда); набор прямых задач, обладающих разной скоростью и точностью решения, а также возможность простого переключения между ними; параллельные алгоритмы. Всего в интерпретационной системе могут использоваться четыре алгоритма решения прямой задачи.

При исследовании поляризующихся сред предусмотрена возможность учёта параметров установки, режимов токового импульса (время выключения, продолжительность импульса, влияние предшествующих импульсов), а также выбора критериев, используемых при минимизации целевой функции.

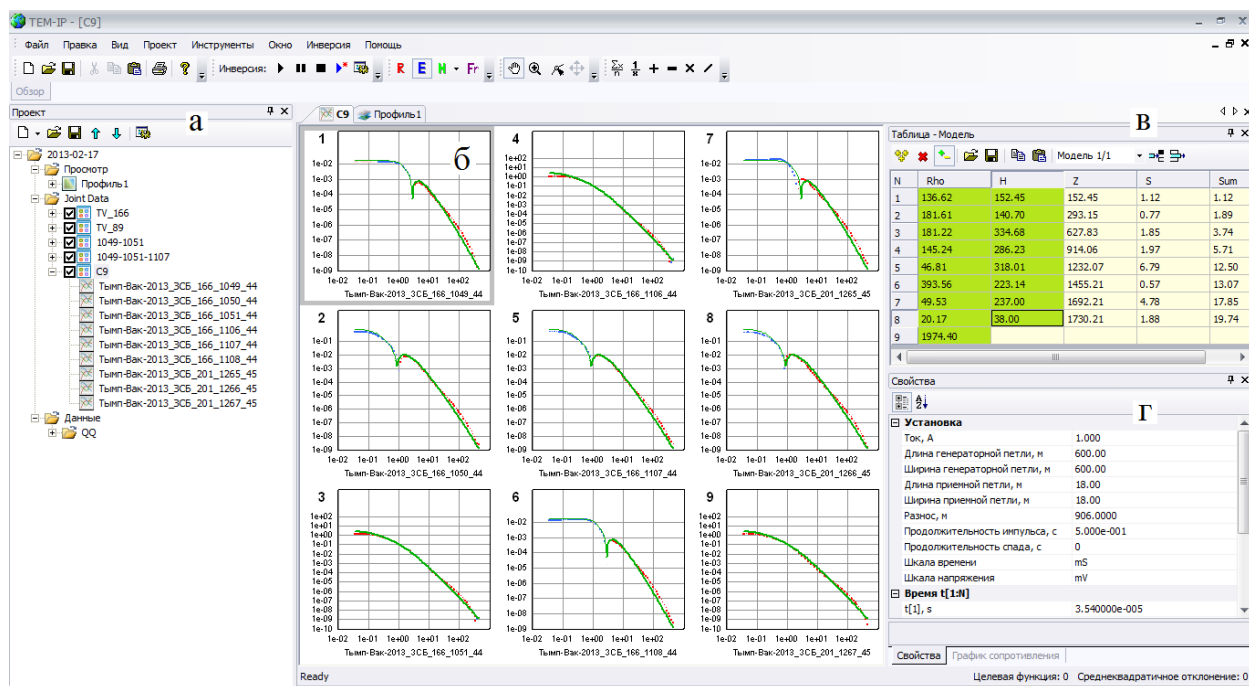


Рис. 1. Основное рабочее окно программы TEM-IP: а – панель данных, б – графическое окно, в – модель, г – параметры генераторно-приёмных установок

Система интерпретации данных нестационарных индукционных зондирований показала высокую эффективность при поисках таликовых зон в районе Пякяхинского нефтегазового месторождения, а также совместной инверсии переходных характеристик, измеренных при нефтепоисковых работах в Восточ-

ной Сибири и Западной Якутии. Во всех перечисленных случаях интерпретация проводилась в рамках модели поляризующейся среды.

Выводы

Разработан программно-алгоритмический комплекс для интерпретации данных индукционных импульсных зондирований, в том числе с учётом индукционно-вызванной поляризации. Возможность совместной инверсии данных, измеренных установками разной геометрии, позволяет более уверенно определять параметры поляризующихся геологических сред.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А. «ТЕМ-IP» – Система для интерпретации данных индукционных импульсных зондирований поляризующихся сред [Электронный ресурс] // Первая международная научно-практическая конференция по электромагнитным методам исследования «ГЕОБАЙКАЛ-2010», Иркутск, 2010. – 2с.

Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Совместная инверсия данных МПП с учетом индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. – 2009а. - т. 50. - №2. - с. 181-190.

Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Импульсная индуктивная электроразведка поляризующихся сред // Геофизический журнал. – 2009б. - т. 31. - № 4. - с. 104-118.

Могилатов В.С., Злобинский А.В. Программа для ЭВМ ПОДБОР // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 950272, РосАПО, заявка № 950200, дата регистрации 02.08.1995 г.

Табаровский Л.А., Эпов М.И., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н Система автоматизированной интерпретации результатов электромагнитных зондирований «ЭРА» // Всесоюзный семинар «Нетрадиционные методы геофизических исследований неоднородностей в земной коре», Звенигород, 14-16 декабря 1989 г. М.: 1989. – с. 43-44.

Эпов М.И., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н. Автоматизированная интерпретация электромагнитных зондирований // (Препринт / ИГиГ СО АН СССР; № 3). - Новосибирск, 1990. - 29 с.

McAllister, K. and Raiche, A.P., 1986, Program GRENDL – Manual prepared for AMIRA by the Mathematical Geophysics Group, CSIRO Division of Exploration Geoscience.

© М.А. Корсаков, Е.Ю. Антонов, Н.О. Кожевников, 2013