

Система интерпретации данных и основные направления применения нестационарных электромагнитных исследований на юге Сибирской платформы

Агафонов Ю.А., Поспеев А.В., Суров Л.В., ФГУНПП «Иркутскгеофизика», г. Иркутск

В настоящее время большое внимание уделяется повышению разрешающей способности нестационарных электромагнитных зондирований. Создание новой многоканальной регистрирующей аппаратуры и оригинальных способов обработки сигналов дало возможность повысить пространственно-временную плотность наблюдений. Стала возможной эффективная организация густой сети наблюдений на профилях и площадях. Увеличилась временная плотность сигналов за счет регистрации с арифметическим шагом дискретизации. Одновременно с этим сложились благоприятные условия для развития алгоритмов интерпретации результатов зондирований.

Процесс интерпретации данных ЗСБ проходит в два этапа. На первом этапе осуществляется качественный анализ данных (Imaging) - просмотр кривых в разных трансформациях, построение разрезов кажущихся сопротивлений и проводимостей. Как правило, проведение экспрессной качественной интерпретации играет важную роль в процессе обработки результатов и может отразиться на правильности их геологического истолкования. Качественный анализ данных не требует трудоемких вычислений, может выполняться непосредственно в полевых условиях. Второй этап обработки результатов работ подразумевает проведение количественной интерпретации, т.е. решение обратной задачи путем итерационного моделирования (Inversion). Как показывает опыт, затраты времени на этом этапе гораздо больше, чем при качественной интерпретации и поэтому подбор геоэлектрической модели обычно проводится в камеральных условиях.



Рис. 1. Схема блока интерпретации в программном комплексе станции «Пикет».

При разработке интерпретационного модуля в программном комплексе телеметрической электроразведочной станции «Пикет» (см. стр. 36) была поставлена задача - создание специализированной системы обработки и интерпретации, которая сочетает в себе мощные современные математические алгоритмы, средства визуализации и доступный унифицированный интерфейс пользователя. Было принято решение классифицировать решаемые задачи и разделить блок на две программы. Место этих программ в комплексе отображено на рис. 1.

Программа PROFILE

Программа качественной интерпретации и

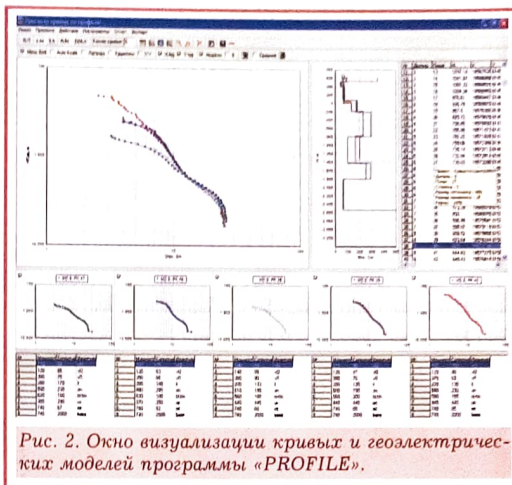


Рис. 2. Окно визуализации кривых и геоэлектрических моделей программы «PROFILE».

визуализации «PROFILE» позволяет проводить экспрессную качественную интерпретацию результатов, решает следующие задачи:

- просмотр геоэлектрических моделей и трансформаций сигнала в профильном представлении (рис. 2);
- экспрессная визуализация диаграмм, разрезов и карт (рис. 3);
- расчет дифференциальной и аномальной проводимостей;
- построение гистограмм распределения проводимости;
- подготовка файлов для визуализации в специализированных программах.

Схема расчета дифференциальных трансформаций может быть представлена в следующем виде: ЭДС с частым арифметическим шагом дискретизации по времени $\rightarrow$ расчет трансформанты кажущейся проводимости $S_t(H_t) \rightarrow$ дифференцирование проводимости, расчет дифференциальной электропроводности ΔS с различным шагом по глубине:

$$\Delta S_i = \frac{(S_{i+1} - S_{i-1})}{(H_{i+1} - H_{i-1})}$$

Методика построения дифференциальных разрезов кажущейся электропроводности применяется в программном комплексе станции «ПИКЕТ» наряду с классическими геоэлектрическими разрезами, построенными по результатам инверсии.

Изучение аномальной части поля в трансформации $S_t(H_t)$ также представляет большой интерес при изучении геоэлектрического строения осадочного чехла. На основе кривых в трансформации $S_t(H_t)$ возможно эффективное применение методики аномальных остатков сигналов, когда из практических кривых $S_t(H_t)$ с частым арифметическим шагом вычитается теоретическая кривая, которая соответствует некоторой референтной модели среды: $S_A = S_H - S_0$, где S_A - аномальный остаток сигнала, S_H - практическая кривая в трансформации $S_t(H_t)$, S_0 - фоно-

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

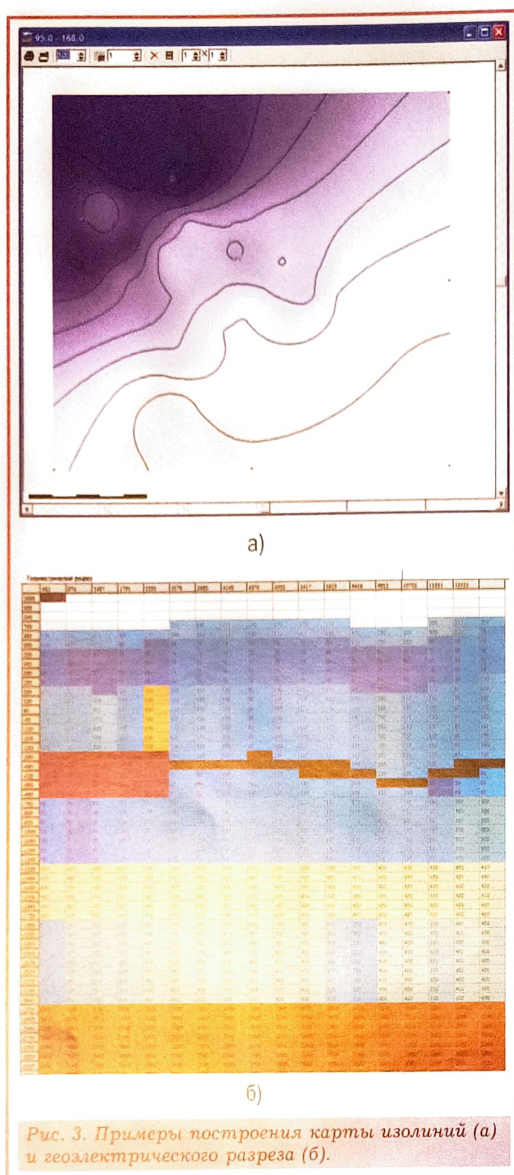


Рис. 3. Примеры построения карты изолиний (а) и геоэлектрического разреза (б).

вая кривая $S_d(H_i)$. При расчете кривые интерполируются на единую временную сетку глубин с арифметическим шагом. В качестве фоновой кривой может быть использована также и практическая кривая, зарегистрированная на ранее изученном участке. Выявление аномалий повышенной или пониженной проводимости по отношению к фоновой позволяет выделять электрические горизонты и неоднородности. Анализ аномальных остатков сигналов позволяет сделать выводы об изменении или неизменности геоэлектрической ситуации в пределах профиля или площади. Для более четкой детализации геоэлектрической среды и определения положения осей проводимости в разрезе может быть применено дифференцирование аномальных остатков S_A по глубине, расчет ΔS_A :

$$\Delta S_A = \frac{(S_{A(i+1)} - S_{A(i-1)}))}{(H_{i+1} - H_{i-1})}$$

Информативность сигнала в представлении ΔS_A дополняет результаты расчетов $S_d(H_i)$, ΔS и S_A . В некоторых ситуациях позволяет выделять слабоконтрастные горизонты с повышенной или пониженной проводимостью.

Программа MODEL

Программа MODEL предоставляет возмож-

ности для решения задач по двум направлениям: 1 - количественная интерпретации результатов нестационарных электромагнитных зондирований, 2 - математическое моделирование электромагнитных откликов. Программа реализована на основе алгоритмов расчета прямых и обратных задач разработанных в Институте геофизики СО РАН (Эпов М.И., Антонов Е.Ю., Могилатов В.С.). Среди особенностей можно выделить использование высокоточных математических алгоритмов и эффективную систему представления данных в площадном и профильном представлении (карт и разрезов), геоэлектрических моделей и кривых зондирований в различных трансформациях (рис.4).



Рис. 4. Интерфейс программы количественной интерпретации «MODEL».

Одномерные прямые задачи для установок «петля-петля», «петля-линия» и «линия-петля» составляют основу модуля для расчета сигналов от заданных геоэлектрических моделей при интерпретации и моделировании. Для установки «петля-петля» реализована автоматическая одномерная обратная задача, которая позволяет производить подбор геоэлектрических параметров, как для единичного зондирования, так и для группы приемных петель, зарегистрированных при одном положении источника.

Количественная интерпретация данных ЗСБ проводится, как правило, в рамках одномерной инверсии с закреплением глубин целевых горизонтов разреза по данным сейсморазведки и бурения. Это обеспечивает минимизацию влияния принципа эквивалентности и позволяет оценивать геоэлектрические параметры с погрешностью не более 2 - 3%.

Возможности процедуры расчета сигналов для установки «петля-петля» позволяют одновременно рассчитывать первые производные по параметрам одномерной модели: проводимостям и глубинам залегания границ слоев. Данный алгоритм является основой для построения информационной матрицы, расчета доверительных интервалов, исследования модельной эквивалентности и решения обратной задачи.

Реализовано интерактивное представление геоэлектрических моделей по линии профиля в виде цветных геоэлектрических разрезов и их динамическое обновление при изменении сопротивления или мощности слоев. В данном окне осуществляется выбор одного или группы пикетов для редактирования, просмотра сигнала и интерпретации.

Площадное представление установок зондирования осуществляется при помощи географической информационной системы. Программа

предоставляет возможность создания модельных сетей наблюдений для массового расчета теоретических сигналов. При этом возможно создать виртуальную профильную или площадную расстановку с любыми параметрами (размер, тип приемника и источника - линия или петля, взаимное расположение).

Реализован расчет сигналов для моделей сложнопостроенных сред с учетом 3D неоднородностей для установки «петля-петля» (вычислительный модуль Cupol, Антонов Е.Ю., Эпов М.И.). Геологические объекты представляются в виде формализованных 3D моделей: купол, конус, усеченный купол, пластина, симметрично выклинивающаяся вставка, пластина или выклинивающийся пласт. Данный набор объемных геометрических объектов позволяет качественно описать реальные геологические образования. Система работы с массивами модельных сигналов позволяет эффективно производить массовые расчеты и сохранять результаты для большого числа приемников и источников поля.

Разработана программа расчета нестационарной ЭДС для установок «петля-петля» и «петля-линия» в горизонтально-слоистой среде с учетом поляризационных свойств разреза. Комплексное сопротивление среды описывается моделью Cole-Cole (σ , η , t , c).

Создана система задания и записи в базу данных стратиграфических идентификаторов слоев геоэлектрических моделей для корректного анализа и визуализации результатов интерпретации в профильном и площадном представлении. Порядковый номер слоя не является опорным признаком и может меняться на разных пунктах наблюдения, поэтому применение уникальных идентификаторов слоев позволяет существенно оптимизировать процесс интерпретации и визуализации.

Результаты работ методом ЗСБ при изучении геоэлектрического строения юга Сибирской платформы.

Предприятие «Иркутскгеофизика» имеет весьма значительный опыт решения различных геологических задач методами электромагнитных зондирований. Геоэлектрическое строение осадочного чехла юга Сибирской платформы характеризуется как весьма благоприятное для изучения методами нестационарных зондирований. Высокое электрическое сопротивление плотных вмещающих пород осадочного чехла значительно отличается от сопротивления горизонтов-коллекторов. Насыщение коллекторов высокоминерализованными флюидами обуславливает четкую корреляцию электрических свойств горизонтов и их емкостных параметров, а также позволяет оценивать тип флюида.

В настоящее время можно выделить три базовых направления электроразведочных работ методом ЗСБ на юге Сибирской платформы:

1. Методика профильных зондирований. Основная задача - изучение строения осадочного чехла на этапе регионального прогнозирования зон коллекторов, разведка участков перспективных на углеводородное сырье (рис. 5). Анализ характера распределения аномальных зон повышенной или пониженной электропроводности в осадочном чехле позволяет выделять горизонты с улучшенными коллекторскими свойствами. Статистическая обработка результатов интерпретации при исследованиях месторождений дает возможность вероятностного прогноза

параметров пластов-коллекторов. По сравнению с электроразведочными станциями предыдущих поколений, телеметрическая аппаратура, оснащенная GPS-приемниками в комплексе с эффективными программными средствами, реализованными на базе географических информационных систем, позволяет вести профильные работы с частым шагом наблюдения, не снижая производительности. К существенным достоинствам метода в данной модификации добавляется относительно низкая стоимость работ и экспрессность получения качественных результатов.

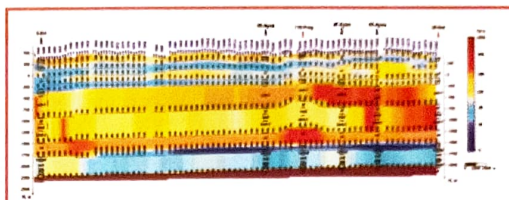


Рис. 5. Фрагмент геоэлектрического разреза на Присяно-Ленском опорном профиле.

2. Площадные системы наблюдения. Применение площадных зондирований весьма актуально при изучении объектов со значительной изменчивостью свойств по латерали, оконтуривании локальных неоднородностей, поисках зон структурных нарушений, картировании границ выклинивания коллекторов. В геоэлектрическом строении осадочного чехла юга Сибирской платформы локальные ограниченные по простиранию горизонты распространены повсеместно. Часто с такими объектами связаны коллекторы в галогенно-карбонатных отложениях с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). В данной ситуации качественный результат зондирований не может быть получен без организации площадных наблюдений с различным расположением источников и приемников поля. Примером успешного решения геологических задач при

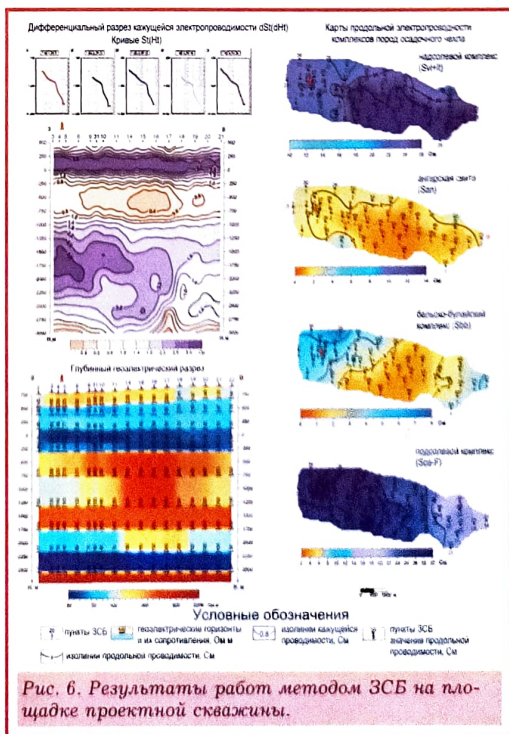


Рис. 6. Результаты работ методом ЗСБ на площадке проектной скважины.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ