

Аппаратурный комплекс импульсной электроразведки АИЭ-2

Бытенский Л. И., Пищик В. В., Тарасов А. В., Тарасов В. А.,
ЗАО Научно-производственный центр "Солитон-НТТ", г. Санкт-Петербург

Методы импульсной электроразведки, к которым относится метод переходных процессов МПП (называемый также методом зондирования ста новлением поля - ЗС) и импульсный вариант метода вызванной поляризации ВП, - одни из наиболее эффективных методов поисково-разведочной геофизики [1, 2]. Они находят широкое применение при поисках рудных и нефтегазовых месторождений, а также при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

Отличаясь спецификой изучаемых физических явлений и методических приемов, оба метода основаны на импульсном возбуждении первичного поля. Это обуславливает сходство общих принципов построения измерительных и генераторных устройств МПП и ВП и позволяет объединить их в единый аппаратный комплекс импульсной электроразведки. Целесообразность разработки такого комплекса подтверждается также опытом совместного применения МПП и ВП при решении различных геологических задач.

Аппаратурный комплекс импульсной электроразведки АИЭ-2 был разработан в НПП "Солитон-НТТ". В его состав входят устройства возбуждения, приема и регистрации электромагнитных и поляризационных переходных процессов, программное обеспечение измерений и обработки сигналов в реальном времени, а также программное обеспечение предварительной обработки, графического представления и интерпретации данных.

Аппаратурный комплекс АИЭ-2 включает (рис.1):

- 1) измеритель МПП-ВП (1);
- 2) генератор МПП-1000 (2);
- 3) генератор ВП-1000 (3);
- 4) генератор ВП-60 (4);
- 5) ПК для обработки и интерпретации данных;
- 6) дополнительное оборудование;
- 7) Шкаф электроразведочный измеритель МПП-ВП предназначен для измерения ЭДС переходных процессов. Приемниками сигнала являются датчики индукционного датчик при измерениях МПП и соединенная линия с неполяризующимися электродами в методе ВП. Измеритель содержит микропроцессор МПП и сигнальный процессор фирмы Analog Devices, которые обеспечивают помехоустойчивое аналого-цифровое преобразование входного напряжения и предварительную обработ-

ку сигнала в реальном времени. Управление работой измерителя осуществляется с помощью миникомпьютера или переносного компьютера типа Note Book. Код программ для сигнального процессора загружается из управляющего компьютера, в него же передаются полученные данные, сохраняемые в виде файлов. Программа управления измерениями позволяет выбрать оптимальные параметры измерений, графически отобразить результаты измерений на экране компьютера для оценки их качества и сохранить их в виде файлов в энергонезависимой памяти управляющего компьютера. Основные технические характеристики измерителя приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры измерителя МПП-ВП.

Наименование параметра	Номинальное значение
Максимальное измеряемое напряжение, В	± 10
Собственные шумы в полосе 1 Гц, не более, нВ	100
Диапазон времен измерений:	• в режиме МПП 5мс - 10 с • в режиме ВП 1мс - 64 с
Относительная приведенная погрешность измерений, %, не более	1
Компенсация ЕП, В	$\pm 2,5$
Синхронизация с генераторами:	• в режиме МПП проводная • в режиме ВП проводная или автономная (по перепадам входного напряжения)
Время непрерывной работы, ч, не менее	8
Масса (без управляющего компьютера), кг	4,0

Генераторы обеспечивают возбуждение последовательности прямоугольных разнополярных импульсов тока в нагрузку. Генератор МПП-1000 используется при работах методом переходных процессов и нагружается на незаземленную петлю со стороной от 20 до 1000 м. Генераторы ВП-1000 и ВП-60 нагружаются на заземленную линию и предназначены для работ методами ВП и сопротивлений. Отличительной особенностью генераторов ВП является стабилизация амплитуды выходного тока в широком диапазоне сопротивлений нагрузки. Все три генератора имеют микропроцессорное управление и снабжены жидкокристаллическими индикаторами для отображения текущего режима работы. Их основные технические характеристики приведены в таблице 2.

Программно-математическое обеспечение комплекса АИЭ-2 включает программы обработки и интерпретации данных МПП и ВП.

Программы МПП

В ходе первичной обработки данных МПП с помощью программы "TEMBIN" выполняется сортировка измерений, осреднение повторных измерений, оценка погрешности наблюдения переходного процесса. Затем программа из отдельных двоичных файлов создает единый текстовый файл данных по профилю или площади.

Для улучшения качества данных предназначена программа "SMTEM", которая выполняет устойчивую фильтрацию сигнала и удаляет высокочастотные помехи и одиночные высокоамплитудные выбросы.

Программа "TEMIMAGE" предназначена для

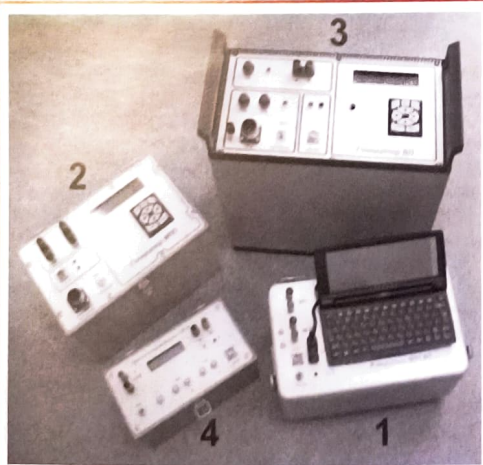


Рис. 1. Аппаратурный комплекс АИЭ-2.

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

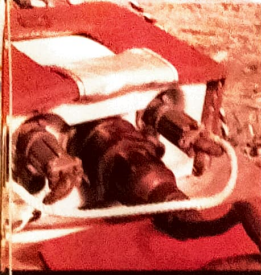


Таблица 2. Параметры генераторов.

Наименование параметра генератора	Генератор МПП -1000	Генератор ВП -1000	Генератор ВП - 60
Максимальная выходная мощность	1 кВт	1 кВт	60 Вт
Амплитуда выходного тока	0,2 - 10 А	0,01 - 2 А	10 - 200 мА
Выходное напряжение	12 - 100 В	50 - 600 В	0 - 300 В
Форма выходного тока	Разнополярные прямоугольные импульсы со скважностью, задаваемой измерителем	Разнополярные прямоугольные импульсы со скважностью 2	Разнополярные прямоугольные импульсы со скважностью 2
Длительность импульсов выходного тока	задается измерителем	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 с	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 с
Диапазон сопротивлений нагрузки, в котором обеспечивается стабилизация тока	-	50 Ом - 60 кОм	0 Ом - 30 кОм
Длительность выключения тока	10 мкс на петле 100 × 100 м	менее 1 мс на линии АВ 1 км	менее 1 мс на линии АВ 1 км
Питание	12-100 В (внешние аккумуляторы)	220 В, 50 Гц (бензоагрегат)	12 В (внешний аккумулятор)
Масса	5 кг	10 кг	2,5 кг

изображения, анализа и интерпретации данных МПП. Программа позволяет обрабатывать данные, полученные с различными измерительными установками: однопетлевая, совмещенные петли, фиксированная прямоугольная петля с компонентным индукционным датчиком.

В программе реализованы четыре группы алгоритмов моделирования и решения обратной задачи:

- трансформации переходного процесса в кажущиеся геоэлектрические параметры одномерной среды, позволяющие провести быструю полуквантитативную интерпретацию полей наблюдений [3, 4];
- алгоритмы решения обратной задачи в рамках горизонтально-слоистой модели среды, которые разделены на алгоритмы формальной инверсии (томографическая постановка без учета априорных данных) и полной инверсии с учетом поляризационных свойств слоев и априорных представлений о разрезе [5];
- быстрые приближенные алгоритмы решения обратной задачи, учитывающие двухмерное распределение электропроводности на фоне горизонтально-слоистой модели - при 2D инверсии используется быстрое приближенное решение прямой задачи, основанное на квазианалитической аппроксимации решения объемных интегральных уравнений [6];
- алгоритмы моделирования переходного процесса трехмерных локальных проводников в непроводящей среде (рудная задача), - для 3D моделирования используется приближенный подход, основанный на аппроксимации поля в ранней стадии переходного процесса полем магнитных диполей, распределенных на поверхности проводника [7].

Широкий набор методов решения прямой и обратной задачи сочетается с удобным графическим интерфейсом для отображения наблюдаемых и модельных данных в виде геоэлектрических разрезов, карт изолиний и карт графиков.

Для ввода и вывода данных в программе используется удобный текстовый формат, что облегчает обмен данными с другими программами.

Программы ВП

Программа первичной обработки данных "IPBIN" позволяет сформировать журнал, произвести сортировку наблюдений, разбраковку и осреднение повторных наблюдений, рассчитать значения кажущегося сопротивления ρ_a и поляризуемости на разных временных задержках $\eta(t)$. На выходе программа формирует единый текстовый

файл данных из двоичных файлов с результатами отдельных измерений.

Программа "IPVISION" предназначена для построения, анализа и интерпретации данных профильных и площадных съемок ВП.

Построение данных выполняется в виде многоканальных графиков профилирования, пространственно-временных разрезов, псевдоразрезов, карт изолиний и карт графиков.

Для анализа временных характеристик ВП программа трансформирует наблюдаемый спад ВП в дифференциальную поляризуемость, которая определяется как производная переходной характеристики ВП по логарифму времени [2]. Вычисляется также ряд дополнительных параметров:

- стационарная поляризуемость η_0 (поляризуемость, измеренная непосредственно после выключения бесконечно долгого токового импульса);

$$\bullet \text{заряжаемость } m = \frac{1}{T} \int_0^T \eta(t) dt,$$

где T - длительность паузы;

$$\bullet \text{металл-фактор } MF = \frac{m}{\log \rho_k}.$$

Кроме того, наблюдаемый спад ВП может быть аппроксимирован с помощью известной эмпирической модели Cole-Cole, описывающей частотную дисперсию удельного электрического сопротивления [8]. Модель определяется тремя параметрами, которые связаны со структурными особенностями породы и рудной минерализации. Для оценки параметров модели Cole-Cole во временной области решается оптимизационная задача методом Маркварда [9]. При этом расчет спада поляризуемости от серии импульсов для модели Cole-Cole выполняется с помощью численного косинус-преобразования из частотной области. Процедура преобразования основана на методе цифровой фильтрации [10].

Для получения геоэлектрического разреза предусмотрено подключение модуля решения прямой задачи в рамках двумерно неоднородной геоэлектрической модели. Двухмерная модель строится из полигональных элементов с постоянными значениями сопротивления, поляризуемости и параметров модели Cole-Cole.

Интерпретация данных ВЭЗ-ВП выполняется с помощью программы "ZONDIPID", которая позволяет оценить параметры геоэлектрического разреза в рамках горизонтально-слоистой модели.

Комплекс АНЭ-2 успешно используется в различных геологических предприятиях и научных центрах России для решения самых разнообразных геологических задач: при поиске медно-никелевых, медно-колчеданных, золоторудных и редкометалльных месторождений, кимберлитовых трубок и месторождений подземных вод, а также при геоэкологических исследованиях. В качестве примера, приведем результаты применения комплекса АНЭ-2 на золоторудном месторождении в Оренбургской области и при поисках подземных вод на острове Сахалин.

Работы МПП и ВП на золоторудном месторождении были проведены совместно с геофизиками предприятия "Оренбург-георесурс" (ныне ОАО «Компания восток»). Залежи жильково-вкрапленных золото-сульфидных руд и золотосодержащие коры выветривания связаны с грабенном, заполненным углеродсодержащими отложениями. Основные поисковые критерии месторождения: низкое удельное электрическое сопротивление глинистых отложений коры выветривания и рудоносных углеродисто-глинистых сланцев с сульфидной минерализацией (единицы и доли Ом-м) и повышенная поляризуемость пород с сульфидной вкрапленностью. Комплекс геофизических методов включал МПП в однопетлевом варианте с петлей размером 100х100 м и ВП с установками срединного градиента и многообразного симметричного профилирования.

В верхней части разреза на глубине до 25-30 м по всему профилю зафиксирован слой хорошо проводящих отложений с низкой поляризуемостью, которые соответствуют глинистой коре выветривания (рис. 2). Ниже по разрезу в центральной части профиля отмечена зона пород с сопротивлением менее 30-40 Ом-м, связанная с углеродисто-терридной толщей. В ее пределах выделены два хорошо проводящих объекта на глубинах соответственно около 70 и 150 м (1 и 2), первый из которых связан с не разведанной зоной жильково-вкрапленных сульфидной минерализации, а второй - с более глубоким залегающим рудным телом впервые выявленным по данным МПП. Локальные аномалии повышенной поляризуемости до 8-9 % приурочены преимущественно к верхним частям рудных тел и связанных с ними аномалий повышенной проводимости. Одна из аномалий совпадает с небольшим приповерхностным рудным телом (3).

Поисковые работы на воду на Сахалине прово-

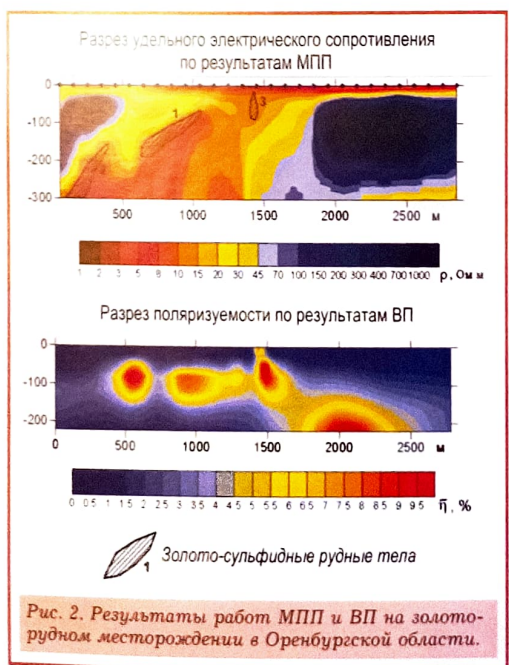


Рис. 2. Результаты работ МПП и ВП на золоторудном месторождении в Оренбургской области.

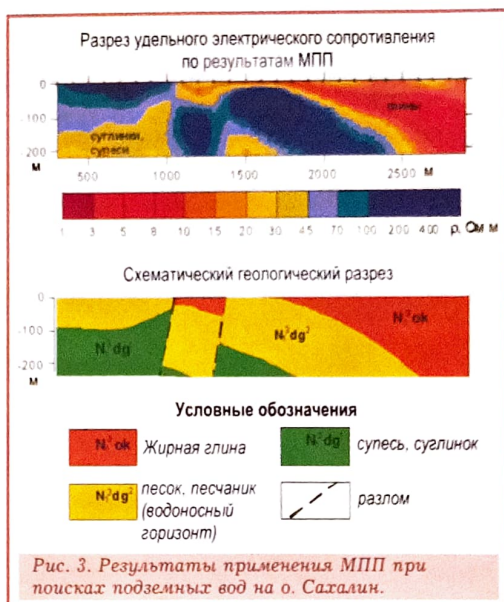


Рис. 3. Результаты применения МПП при поисках подземных вод на о. Сахалин.

длись совместно с геофизическим предприятием "Электра". Геологический разрез участка работ (рис. 3) представлен песчано-глинистыми отложениями неогена. В строении участка сочетаются элементы горизонтально-слоистого, пологого и тектонически дислоцированного залегания пород. Стратиграфически выше залегают жирные глины, которые подстилаются песками и песчано-глинистыми отложениями. Наибольший интерес при поисках воды представляют пески с более высокими фильтрационными свойствами. С помощью электроразведки необходимо было решить следующие задачи: уточнить геологическое строение участка на глубинах до 200 м и выделить наиболее водообильные зоны, сложенные песками.

На участке были выполнены зондирования МПП с установкой совмещенных петель размером 50х50 м. Результаты зондирований отражают достаточно сложное геоэлектрическое строение участка (рис. 3). Породы сильно неоднородны по удельному электрическому сопротивлению, что отражает их литологическую изменчивость: сопротивление жирных глин - единицы Ом-м, песков и песчаников - сотни Ом-м, супесей и суглинков - десятки Ом-м. Наибольший интерес представляют участки выдержанных по простиранию песков и песчаников повышенной мощности, где и было рекомендовано задать поисковые гидрогеологические скважины.

Литература

1. Каменецкий Ф.М. Электромагнитные геофизические исследования методом переходных процессов. М.: ГЕОС, 1997, 162 с.
2. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., Недра, 1980, 392 с.
3. Каменецкий Ф.М., Новиков П.В., Тимофеев В.М. Использование дифференциальных трансформаций для качественной интерпретации данных метода переходных процессов. Физика Земли. 1993. № 7. С. 91-96.
4. Москвитин Л.Ф. Одномерная инверсия становления магнитного поля с нормировкой по интегральной S - проводимости, Геофизика. 2000. № 2. С. 45-47.
5. Могилов В.С. Импульсная электроразведка: Учеб. Пособие/Новосиб. Гос. Ун-т. Новосибирск, 2002. 208с.
6. Zhdanov M.S., Dmitriev V.I., Fang, S. and Hursan G., Quasi-analytical approximations and series in electromagnetic modeling. Geophysics. 2000. vol. 65, no. 6, p. 17461757.
7. Liu E.H., Lamotagne Y. Geophysical application of new surface integral equation method for EM modeling. Geophysics. 1998. vol. 63, no. 2, p. 411-423.
8. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics // Journal of Chemical Physics, 1941, V.9. №4, p. 341-351.
9. Marquardt D.W. 1963, An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters // J. Soc. Ind. Appl. Math., vol 11, p. 431-441.
10. Guptasarma D., 1982, Computation of the time-domain response of polarizable ground // Geophys., 47, 1574-1576.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ