

Телеметрическое электроразведочное оборудование серии «Импульс» для 3D электроразведки на плотных пространственно-временных сетях наблюдений

Тригубович Г.М., Персова М.Г., ФГУП «СНИИГиМС», г. Новосибирск;
Балыбердин А.Л., ООО «Сибгеотех» г. Новосибирск

1. Аппаратура. В настоящее время в инженерной компании «Сибгеотех» разработана сканирующая аппаратура «Импульс-Д» для высокопроизводительных измерений электромагнитного поля от контролируемого источника для решения задач геологии, гидрогеологии, экологии и инженерно-геологических изысканий методами зондирования становлением поля. При этом глубинность исследований составляет от 0,5 м до 300 м и определяется размерами и геометрией приемно-генераторной конструкции, мощностью коммутаторов тока $P=(0,2; 1; 20)$ кВА, частотными характеристиками и магнитным моментом приемных датчиков. В процессе разработки аппаратуры применена современная элементная база, позволившая существенно уменьшить габариты оборудования и увеличить производительность геофизических исследований. Регистрация переходного процесса ведется в равномерной арифметической шкале с шагом дискретизации 100 нс, с записью всех единичных реализаций и цифровым преобразованием в реальном времени. Аппаратура сертифицирована Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии РФ. Получен сертификат об утверждении средств измерений (pattern approval certificate of measuring instruments) RU.C.29.007.A № 19682, зарегистрированный в государственном реестре под № 28482-04. Комплект «Импульс-Д» показан на рис. 1.

Для малоглубинных поисково-оценочных и

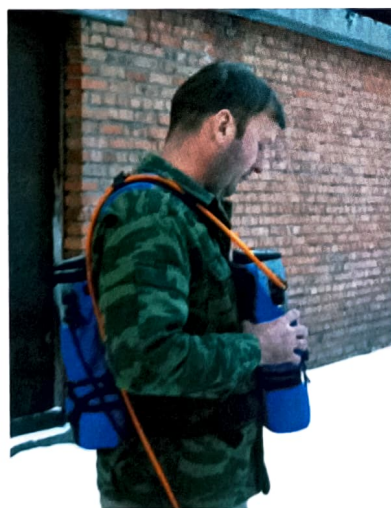


Рис. 1. «Импульс-Д» комплект: генератор, измеритель и антенный блок.



Рис. 2. Пневматическая приемно-генераторная установка для съемки в движении.

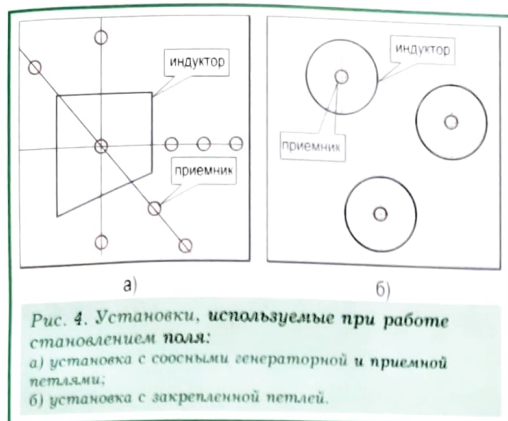
инженерных изысканий применяется профильно-площадные зондирования с фиксацией антенн, а также непрерывное сканирование в движении с высоким пространственно-временным разрешением на скорости 0,5 - 5 м/с. В качестве арматуры для приемно-генераторных антенн используются пневматические каркасы высокого давления и стеклопластиковые конструкции. Одна из приемно-генераторных установок показана на рис. 2.



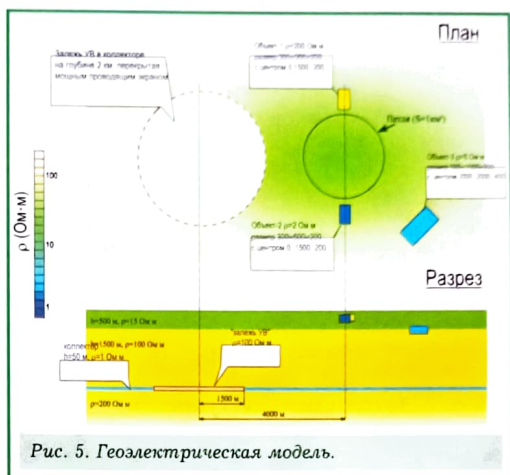
Рис. 3. Генератор 10 кВт и измерительный комплект «Импульс-Д» для больших глубин.

Для глубинных исследований наиболее эффективной является технология зондирования от закрепленного источника. В качестве источника электромагнитного поля используются незаземленный контур, либо заземленная линия. Необходимый уровень тока обеспечивается с помощью мощного генераторного модуля. Синхронизация генераторного и измерительного модулей осуществляется GPS-приемниками. Для измерений используются компактные активные датчики (рис. 3).

2. Технологические аспекты площадных и профильных измерений при работе становлением поля. При проведении электромагнитных зондирований становлением поля традиционно



Основной идеей технологии при работе в этих условиях является разделение влияния глубинного целевого объекта и «объектов-помех» за счет временной дифференциации. Продемонстрируем это на примере четырехкредной среды типа КН ($h_1=500$ м, $\rho_1=15$ Ом м, $h_2=1500$ м, $\rho_2=100$ Ом м, $h_3=50$ м, $\rho_3=1$ Ом м, $h_4=\infty$, $\rho_4=200$ Ом м), вмещающей дискообразную модель залежи углеводородов с радиусом $R=1500$ м, $\rho=100$ Ом м, $h=50$ м в интервале глубин 2000-2050 метров. В верхней части разреза находятся два низкоомных и один высокоомный объекты, имитирующие трещинные формации как геологические помехи. Эта геоэлектрическая модель залежи УВ соответствует условиям Восточной Сибири. План и разрез показаны на рис. 5.

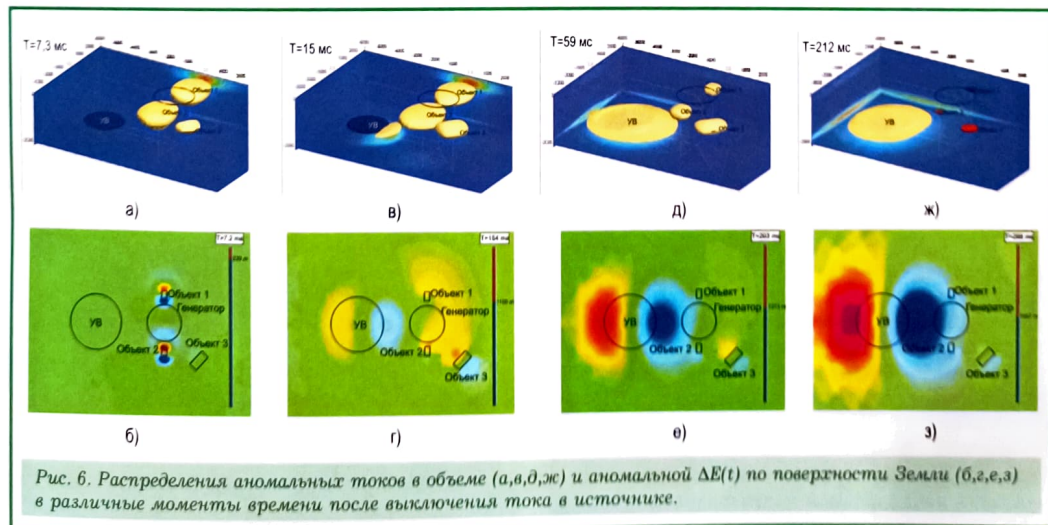


используется установка с соосными или «связанными» генераторной и приемной петлями, перемещаемыми по площади или отдельным профилям. Однако, как показала теория и практика, технология с закрепленным источником и перемещаемым приемным датчиком гораздо экономичнее и обладает меньшей разрешающей способностью.

Конфигурация источника может быть произвольной и определяться конкретной полевой ситуацией. Учет геометрии приемно-генераторной конструкции, а также форма импульсов тока выполняется на этапе интерпретации.

Внедрению площадной технологии съемки от закрепленного источника препятствовали в основном трудности, связанные с телеметрическим сбором площадной информации и интерпретацией удаленных от источника характеристик электромагнитного поля. В настоящее время эти проблемы преодолены. Попытки же использовать простые трансформации в виде кажущихся сопротивлений для многоразностных зондирований не позволяют локализовать поисковые объекты из-за несоответствия аномалий сопротивления в исследуемой среде аномалиям измеренных на дневной поверхности значений сигнала $E(t)$, как по месту их расположения в плане, так и по знаку аномалии.

Как известно, одной из проблем при электромагнитных зондированиях является неоднородность верхней части разреза, когда целевой объект перекрыт геологическими «объектами-помехами».



ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

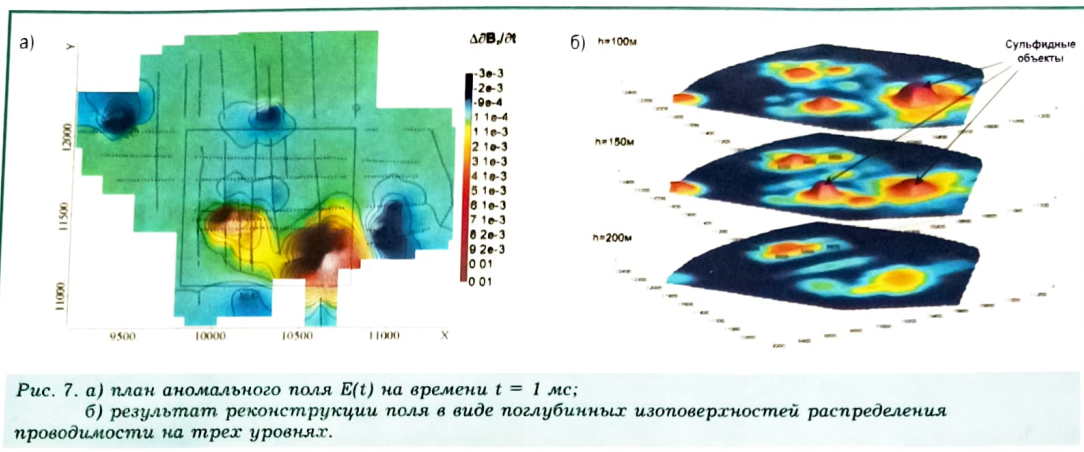


Рис. 7. а) план аномального поля $E(t)$ на времени $t = 1$ мс;
б) результат реконструкции поля в виде поглубинных изоповерхностей распределения проводимости на трех уровнях.

целевой объект. В этом случае наблюдается некоторое суммарное поле, по которому, на первый взгляд, невозможно определить наличие глубинного объекта. Возможность выявления поискового объекта в такой ситуации может дать полный цикл учета влияния верхней части разреза на основе построения ее цифровой модели и расчета вклада в суммарный процесс во всем информативном диапазоне времен.

Для более точного определения параметров верхней части разреза следует применить трехмерную интерпретацию [1,2]. Несомненно 3D-интерперетация является достаточно трудоемкой и трудно формализуемой, однако дает необходимый по точности результат в виде параметров неоднородной ВЧР и позволяет «увидеть» глубинные поисковые объекты.

Трехмерная интерпретация основана на высокоточном и быстром конечно-элементном моделировании нестационарных электромагнитных полей в средах, содержащих трехмерные объекты произвольной формы. Высокая точность и скорость прямого расчета достигается за счет предложенных авторами специальных вариационных постановок и вычислительных схем, основанных на разделении осесимметричной и трехмерной частей рассчитываемого поля [3], и использования нерегулярных (многоузловых) параллелепипедональных, призматических и шестигранных конечных элементов в зависимости от формы трехмерных объектов [4].

К настоящему моменту расчет одной трехмерной задачи занимает примерно 10 мин при погрешности в суммарном поле около 5%, а расчет одной осесимметричной задачи (все объекты являются соосными с источником поля) занимает 3-5 с при погрешности в суммарном поле около 2%. Самый последний уровень точности позволяет обеспечить расчет с погрешностью ниже 1%. При этом требуемое время счета одной трехмерной задачи будет составлять около 3-4 часов, а осесимметричной - порядка 1 мин. Эта точность расчетов может потребоваться в заключительной фазе интерпретации.

Заметим, что использование трехмерного подхода весьма необходимо не только для площадных зондирований. При профильных зондированиях в сложнопостроенных средах без применения трехмерной интерпретации можно пропустить поисковый объект или выделить ложный. Пример трехмерной интерпретации в условиях неоднородной части разреза приведен

на рис. 9.

3. Трехмерная интерпретация площадных зондирований. На одном из участков Бирюсинского золоторудного района в Восточных Саянах был проведен поиск с одновременной разведкой залежей сульфидных руд и зон золото-сульфидной минерализации. Плотная сеть наблюдений в условиях горной местности обеспечивалась телеметрическими зондированиями от закрепленного источника (1000×1000) м.

В результате были выявлены аномалии повышенной проводимости, рис. 7(а). Трехмерная инверсия площадных данных позволила построить объемное распределение проводимости в исследуемом объеме, рис. 7(б) и выделить крупные сульфидные тела, положение которых подтвердилось последующим бурением.

На рис. 8 представлены результаты трехмерной инверсии площадных данных, полученных (ЯНИГП ЦНИГРИ, «Сибгеотех») при поисково-оценочных исследованиях на кимберлиты в республике Якутия (Саха).

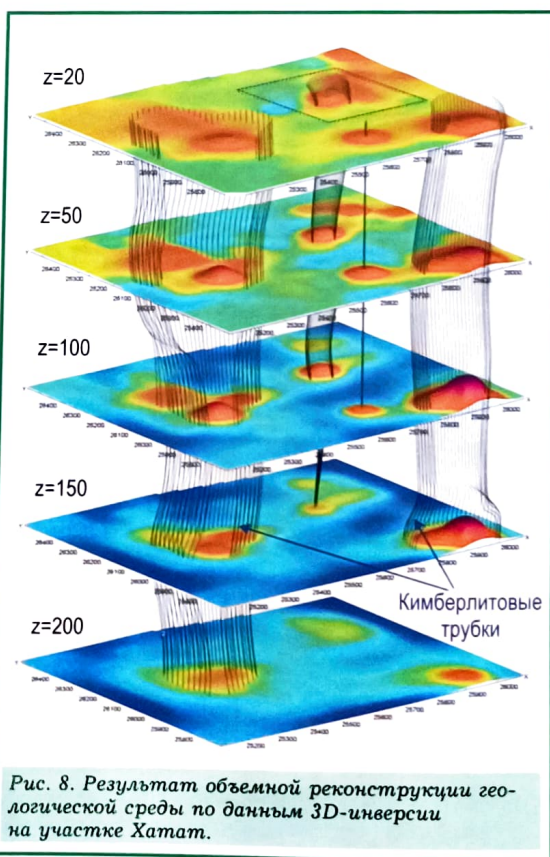


Рис. 8. Результат объемной реконструкции геологической среды по данным 3D-инверсии на участке Хатат.

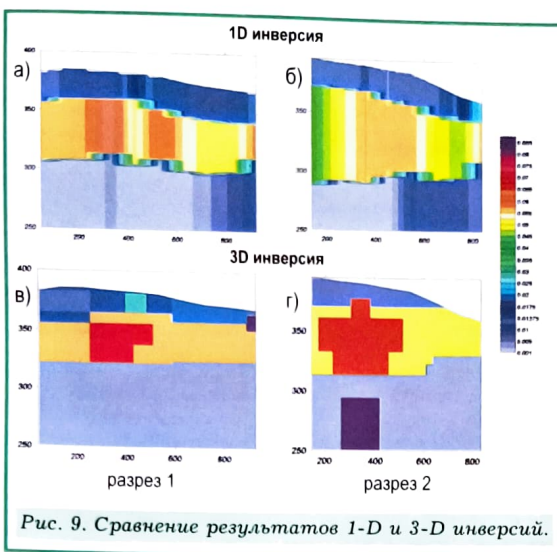


Рис. 9. Сравнение результатов 1-D и 3-D инверсий.

4. Трехмерная интерпретация профильных зондирований. Если в технологии профильных зондирований с закрепленным источником необходимость 3D интерпретации очевидна и является неотъемлемой частью технологии, то для профильной съемки традиционной и самодостаточной является интерпретация на основе одномерных моделей горизонтально-слоистых сред. Однако, как уже отмечалось выше, задача обнаружения объекта возможна лишь в случае его высокого контраста. Параметризация выделенного таким образом объекта не может считаться удовлетворительной.

В качестве примера такой ситуации покажем два поисковых участка, где решалась задача локализации слабоконтрастного объекта, под проводящим слоем-экраном. Результаты 1D интерпретации на рис. 9 (а) и рис. 9 (б) в виде двух разрезов сопротивлений показывают изменение сопротивления в самом экране. Однако после применения объемной 3D интерпретации на рис. 9 (в) и рис. 9 (г), было получено, что на разрезе 1, рис. 9 (в) действительно нет целевых подэкранных объектов и все изменения связаны только с неоднородностями в верхней части разреза, а на разрезе 2, рис. 9, (б), есть целевой подэкранный

объект, который одномерная интерпретация не обнаруживает.

5. Наземная сканирующая система наблюдений с движущейся приемно-генераторной конструкцией. Экспериментальные исследования ВЧР с использованием сканирующей технологии показали свою эффективность и производительность, в десятки раз превышающую известные аналоги. Анализ пространственно-временного распределения поля в движении дает надежную основу в рамках существующих электрофизических предпосылок для локализации поисковых объектов и решения структурных задач.

Скорость сканирования 0,5-5 м/с, пространственная плотность не менее 0,1 м, глубинность опознания: со связанной приемно-генераторной установкой - 100 м, от закрепленного источника - до 1000 м. Предназначена для проведения детальных площадных исследований территорий средних размеров, где возможно непрерывное перемещение несущей пневмоконструкции шириной до 4 м (вездеход, снегоход). Исследования могут также быть выполнены по сейсмическим профилям и гидросети. Внешний вид системы и результаты сканирования показаны на рис. 10.

Выводы:

- Телеметрическое оборудование серии «Импульс» позволяет эффективно организовать сбор площадной информации для систем наблюдений с закрепленным источником, «связанных» приемно-генераторных конструкций и сканирующих исследований при непрерывном измерении в движении.
- Использование трехмерных инверсий данных становления поля обеспечивает решение фундаментальной задачи реконструкции площадного распределения поля в объемное распределение проводимой среды и позволяет решать сложные поисково-оценочные задачи, повышает достоверность геофизического прогноза.
- Использование плотных пространственно-временных систем наблюдений в электро-разведке становлением поля открывает перспективы для решения широкого круга задач, в том числе нефтепоисковых задач, задач мониторинга резервуаров, детального изучения морфологии рудных узлов, кимберлитовых полей, инженерно-геологических задач и др.

Литература

1. G. Trigubovich, M. Royak, Y. Soloveichik, A. Chernyshev and M. Persova. 3D procedure of conductivity reconstruction using transient electromagnetic sounding data system. // Extended abstracts of 65th EAGE Conference & Technical Exhibition - Stavanger, Norway, P155, 2-5 June 2003.
2. G. Trigubovich, M. Persova, Y. Soloveichik, A. Chernyshev, M. Royak "Estimation of 3D TEM Sounding Possibilities in Search of Local Objects" // Extended abstracts of 66th EAGE Conference & Technical Exhibition - Madrid, Spain, P208, 13-16 June 2005.
3. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э., Моисеев В.С., Тригубович Г.М. Моделирование нестационарных электромагнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов // Физика Земли, 1998. - № 10. - С. 78-84.
4. Persova M. G., Soloveichik Y. G., Shilak D. V., Trigubovich G. M., Abramov M. V. "Software for solution of 3D problems of electrical survey by transient electromagnetic field using finite elements method" // Proceedings of 9th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology (KORUS-2005). - Novosibirsk, June 26-July 2, 2005, Russia. - P. 93-96.

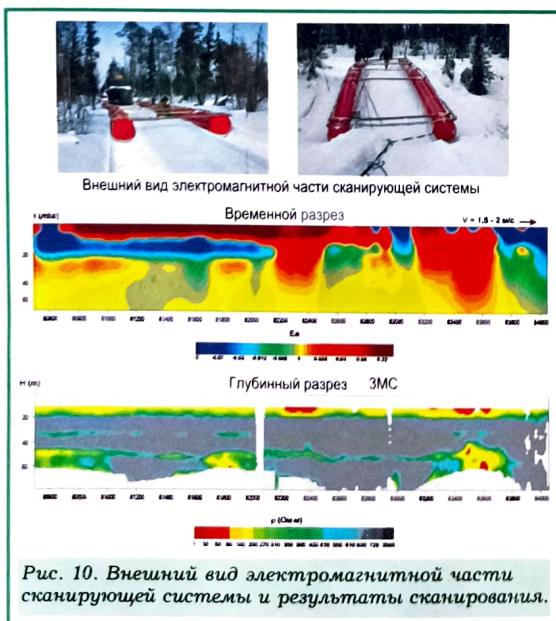


Рис. 10. Внешний вид электромагнитной части сканирующей системы и результаты сканирования.