

Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap. Эффективность и опыт использования

Шарлов М.В., Агафонов Ю.А., ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие», г. Иркутск, www.ierp.ru;
Степаненко С.М., ООО НПК «СибГеоСистемы», г. Новосибирск, www.sibgeosystems.ru

Введение

Электроманнитные методы исследований занимают все более заметное место в комплексе геофизических работ, направленных на изучение строения осадочного чехла при решении глубинных, структурных и нефтегазопромысловых задач, а также на решение инженерных, гидрогеологических, рудных и других задач при изучении верхней части разреза. Особого внимания заслуживает метод нестационарных электромагнитных зондирований в ближней зоне (ЗСБ), который доказал свою высокую эффективность при решении сложных геологических задач, когда применение исключительно методов сейсморазведки не гарантирует получение надежного результата.

Возросшая в последнее время популярность исследований методом ЗСБ (в России, и особенно в Восточной Сибири) напрямую связана с новыми возможностями, появившимися благодаря современной электроразведочной аппаратуре, значительно продвинувшейся вперед в техническом и математико-алгоритмическом аспектах.

В данной статье рассмотрены цифровые телеметрические электроразведочные системы SGS-TEM и FastSnap (г. Новосибирск, г. Иркутск, 1998-2009 гг.), являющиеся, по мнению авторов, примерами электроразведочных программно-аппаратных комплексов, в полной мере отвечающих современным техническим требованиям.

Факторы, определяющие требования к измерительной системе.

Рассматривая в качестве примера метод ЗСБ, можно выделить основные факторы, определяющие современные требования к аппаратно-программным измерительным средствам:

- Широкий диапазон измеряемого сигнала в приемном датчике: от единиц вольт в момент отключения тока в источнике поля, до долей микровольта на поздних стадиях становления поля;
- Возможность проведения работ в урбанизированных и промышленных районах, определяющаяся степенью помехозащищенности инструмента и наличием эффективных математических средств фильтрации гармонических и импульсных электромагнитных помех;
- Высокая производительность и технологичность выполнения работ. Таким образом, актуальным является применение многоканальной портативной аппаратуры, предоставляющей широкие возможности для организации профильных и площадных сетей наблюдений с повышенной пространственно-временной плотностью и сложными зондирующими установками;
- Надежность и простота эксплуатации аппаратуры при работе с большим количеством измерительных каналов в сложных природно-климатических условиях;
- Невысокие требования к качеству линий связи при сохранении приемлемой в многоканальном варианте скорости передачи данных.

С учетом данных факторов были разработаны и продолжают развитие электроразведочные системы SGS-TEM и FastSnap.

Область применения электроразведочных станций SGS-TEM и FastSnap

Электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap предназначены для регистрации сигналов электромагнитного поля при проведении работ методом ЗСБ, либо другими методами электромагнитных исследований.

Принцип устройства обеих станций схож и основан на применении многоканальной архитектуры, реализуемой независимыми телеметрическими измерителями, которые соединяются последовательно в цепочку посредством цифровых линий связи и централизованно управляются оператором с бортового компьютера. Данная архитектура позволяет осуществлять одновременную регистрацию сигналов от одного источника с нескольких пространственно-отдаленных приемников поля, что дает возможность организовывать сложные зондирующие системы с повышенной пространственно-временной плотностью. Расположение телеметрических измерителей непосредственно у датчиков поля (отсутствие аналоговых кондукторов для передачи сигнала) и арифметический шаг регистрации сигналов (широкие возможности математической фильтрации) позволяют значительно повысить помехозащищенность аппаратуры и обеспечивают высокое качество исходных данных, даже при работе в урбанизированных и промышленных районах с значительным уровнем импульсных и гармонических помех с промышленной частотой 50 Гц.



Рисунок 1. Полевой измеритель (вверху) и коммутатор тока с пультом управления (внизу) станции FastSnap.

Программное обеспечение станций унифицировано и поддерживает полный производственный цикл работ методом ЗСБ (топо- и картографическое обеспечение, регистрация, хранение и обработка сигналов с помощью современных технологий баз данных, качественная и количественная интерпретация, предварительная и финальная визуализация материала и др.). Оператор имеет возможность одновременно контролировать и тестировать рабочие параметры всех включенных измерителей, видеть регистрируемые и накопленные сигналы в реальном времени, выполнять экспрессную оценку качества записываемого материала по информативным трансформантам поля $dU(t) - \rho, (t) \text{ и } S, (H)$.

Станции SGS-TEM и FastSnap предназначены для различных областей применения и, соответственно, имеют существенно отличающиеся технические параметры измерителей и силовой части (коммутаторов тока).

Скоростная цифровая телеметрическая электроразведочная станция FastSnap (2005-2009 г.г.) предназначена для выполнения мало- и среднеглубинных исследований при решении рудных, инженерных, гидрогеологических, геоэкологических и других задач (рисунк 1). Глубинность исследований методом ЗСБ – от первых метров

(4-5) до 1000 метров и более и определяется размерами применяемой установки и геоэлектрическими параметрами верхней части разреза. Станция позволяет осуществлять регистрацию в одно- и двухканальном вариантах.

Многоканальная телеметрическая станция SGS-TEM (1998-2009 г.г.) предназначена, в основном, для решения структурных, нефтегазописковых работ, изучения осадочных бассейнов, геологического картирования, глубинного электромагнитного мониторинга и др., и может применяться для производства электроразведочных работ различными методами – ЗСБ, ВП, ЧЗ, методами постоянного тока (рисунк 2). Глубинность исследований, в зависимости от применяемого метода и геологического строения разреза, может достигать 4 – 6 км. Станция обладает широкими возможностями по организации сложных сетей наблюдения и позволяет осуществлять подключение и одновременную регистрацию с числом каналов до 63.

Технические параметры станции FastSnap

Станция состоит из одного или двух телеметрических мобильных измерителей (вес со встроенным аккумулятором около 2 кг) и коммутатора тока (вес 3 кг). Измерители подключаются к портативному компьютеру либо посредством проводных линий связи, либо через бес-

проводной интерфейс Wi-Fi. Схема подключения станции приведена на рисунке 3.

Основными отличительными особенностями станции FastSnap являются:

Измерители FastSnap

- Применение в измерительном тракте двух АЦП («скоростной» - 14 разрядов, «стандартный» - 24 разряда) обеспечивает начальное время измерения от 25 наносекунд и временной интервал записи сигналов до 3 секунд.
- Входное сопротивление – 10 кОм, при коммутации буферного каскада – не менее 1.5 МОм;
- Возможность регистрации сигналов от приемников поля любого типа – петля, линия, активный датчик и др.;
- Арифметический шаг дискретизации регистрируемого сигнала – 25, 100, 800 наносекунд, 6.4, 25.6, 204.8 микросекунд;
- Двухкаскадный предварительный усилитель с коэффициентом усиления 1 – 130;
- Высоточная система синхронизации на основе GPS с точностью не хуже ± 90 нс, проводная синхронизации при отсутствии сигнала GPS;
- Цифровые линии связи (витая пара) дают возможность работы на значительном удалении от бортового компьютера (до 500 метров) и позволяют организовывать сложные системы наблюдений (сооснащенные, площадные, с перекрытием и др.);
- Беспроводной интерфейс Wi-Fi обеспечивает повышенную мобильность станции при работе в «пешеходном» варианте. Радиус действия 50 - 100 метров. Беспроводной интерфейс позволяет

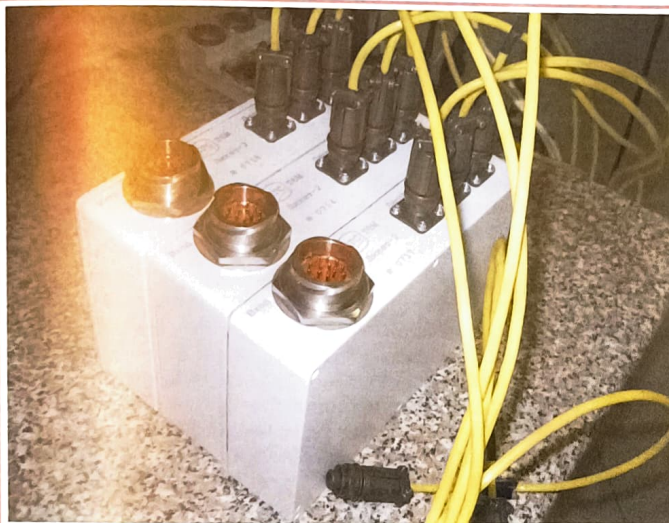


Рисунок 2. Внешний вид полевых измерителей многоканальной телеметрической станции SGS-TEM.

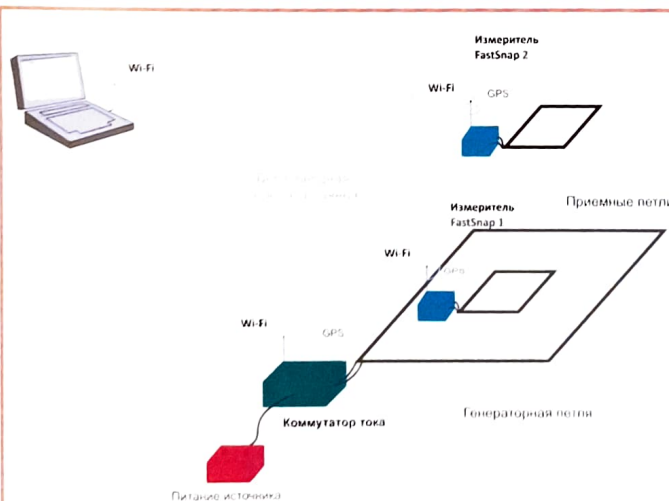


Рисунок 3. Схема программно-аппаратного комплекса FastSnap в беспроводном варианте передачи данных через Wi-Fi.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



одновременно осуществлять регистрацию сигналов от двух измерителей и управлять коммутатором тока.

Коммутатор тока FastSnap

- Управление с бортового компьютера посредством проводной линии связи, беспроводного интерфейса Wi-Fi, либо портативного пульта управления;
- Входное напряжение для питания источника поля 12 – 400 В;
- Максимальный ток – 10 А;
- Задаваемый период следования (20 мс – 1 с) при скважности токовых импульсов (1:1, 3:1, без паузы);
- Применение в качестве источника поля петли или заземленной линии;
- Время отключения тока для петли 100 Ч 100 м – 10 мкс, 25 Ч 25 – 2 мкс.

Технические параметры станции SGS-TEM

Основными компонентами станции являются бортовой модуль в составе: персональный компьютер и адаптер линий связи, телеметрические измерители (полевые модули), устройство синхронизации и управления коммутатором тока, коммутатор тока. Количество одновременно подключаемых каналов – до 63, в среднем 5 – 10.

Измерители SGS-TEM

- Два коммутируемых входа для подключения датчиков поля;
- Вход сигнала – симметричный (дифференциальный);
- Входное сопротивление – 700 кОм. При подключении буферного каскада – до 10 МОм;
- Аналого-цифровой преобразователь – 24 разряда (со знаком);
- Максимальный измеряемый входной сигнал – не менее 5,5 В;
- Шаг дискретизации сигнала арифметический – 31, 250, 500 мкс; 1, 4, 16 мс;
- Максимальное количество отсчетов на одну реализацию сигнала – 14000;
- Временной интервал регистрации – от 31 мкс до 3 минут;
- Предварительный усилитель с коэффициентами усиления 1 – 512;
- Динамический диапазон измеряемого сигнала – не менее 160 дБ;
- Подключение шунтирующего резистора для борьбы с паразитным колебательным процессом («звоном петли»);
- Цифровые линии связи длиной до 1 км.

Устройство синхронизации и измерения тока SGS-US и коммутатор тока CT-2

- Высокоточная система GPS синхронизации (точность не хуже 10 мкс);
- Внешняя проводная синхронизация по синхроимпульсу;
- Периоды следования токовых импульсов – 500 мс, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 секунды;
- Входное напряжение – 100 – 600 В;
- Максимальный коммутируемый ток – 200 А;
- Погрешность измерения тока – не хуже 1 %;

Программный комплекс станций SGS-TEM и FastSnap

Программное обеспечение станций SGS-TEM и FastSnap развивается с 1999 года (г. Иркутск, г. Новосибирск). На сегодняшний день программный комплекс позволяет с успехом решать круг задач, связанных с проектированием

сети наблюдений, регистрацией электромагнитных сигналов, обработкой, интерпретацией и визуализацией электромагнитных данных.

В основе комплекса лежит универсальная программная архитектура, которая позволяет сравнительно простым способом добавлять поддержку нового аппаратного обеспечения (в данный момент программный комплекс работает с аппаратурой SGS-TEM, FastSnap, SGS-E, SGD-EMT). Поддержка аппаратной части основана на применении трехзвенной архитектуры – драйвера команд, реализующего обмен с конкретным типом аппаратуры; интерфейсного объекта, организующего стандартный программный интерфейс ввода/вывода команд и данных; объектов хранения и представления данных, полученных от аппаратуры. Такой подход позволяет унифицированным способом (со стороны программы регистрации сигналов) работать с аппаратурой различных типов. При этом модули программы, отвечающие за расчеты, визуализацию и сохранение получаемых данных в БД, остаются одними и теми же.

Архитектура программного комплекса является открытой и расширяемой на любом этапе поступления/обработки данных. Это дает возможность организовать поддержку импорта и экспорта данных в форматах сторонних электро-разведочных станций – ТЭС-24, Цикл, Phoenix, ЛЭМИ.

Ядром комплекса является база данных, предназначенная для хранения и организации доступа к электроразведочной информации (рисунок 4). Универсальная структура БД обеспечивает хранение следующих основных видов информации – всех реализаций исходных сигналов, полученных от измерителей с арифметическим шагом; параметров работы измерителей и других аппаратных настроек (дискретизация, усиление, период импульсов тока, длительность регистрации и т.п.); пространственной информации о геометрии установок (типы источников/приемников и координаты петель/заземлений); финальной обработанной и проинтерпретированной информации (кривые зондирования в различных трансформациях, подобранные геоэлектрические модели среды и т.п.). Доступ к БД осуществляется через технологию ADO, используемая СУБД может быть любой, поддерживаемой в ОС Windows (MS SQL Server, MySQL, MS Access и др.).

Приведем краткое описание основных программ комплекса:

Программа «Project Manager 3» предназначена для организации доступа и управления



единой базой данных комплекса, а именно - для создания, редактирования и удаления геофизической и пространственной информации. Программа позволяет осуществлять импорт/экспорт из базы данных в сторонние форматы. Поддерживается работа с пространственной информацией с помощью встроенной геоинформационной системы «GeoMap» – отображение картографической информации, проектирование профильных и площадных систем наблюдений, прием и передача координатной информации от портативных GPS-приемников, преобразование координат между системами СК42 и WGS84. Запрограммированные точки наблюдений и геометрия установок сохраняется в БД.

Процесс регистрации электромагнитных сигналов происходит с помощью программы «TEM-Registration» для глубинных зондирования и «FastEM» для малоглубинных. Программы управляют параметрами измерителей (дискретизация, усиление и др.), регистрацией и визуализацией сигналов, сохранением всех реализаций сигналов в БД с арифметическим шагом. Производится экспрессная обработка сигналов, расчет трансформант поля непосредственно в момент регистрации. В программах отображается реальная сеть наблюдений (координаты приемных точек поступают от встроенных в измерители GPS-приемников). В программах имеется возможность создавать набор режимов регистрации («пресеты»), в которых последовательно перечисляются различные параметры работы измерителей и записи сигналов (указывается дискретизация, усиление, количество отсчетов и др.). Регистрация сигналов при наличии подобного «пресета» осуществляется автоматически, путем последовательного применения параметров из списка к измерителям и сохранения получаемых сигналов в БД. Таким образом, однократно созданный оператором «пресет», подходящий для определенного участка работ, исключает ошибочный «человеческий фактор» и гарантирует наличие количества накопленных сигнала, необходимого для получения качественного результата. Встроенные в программы модули для тестирования и контроля работоспособности аппаратуры позволяют выполнять ежеднев-

ные проверки параметров работы измерителей и датчиков и оперативно выявлять те из них, которые вышли из строя. Тестирование аппаратуры документируется в БД, после чего возможно автоматическое формирование отчета по параметрам работы аппаратуры.

Этап углубленной обработки электромагнитных сигналов осуществляется в программе «TEM-Processing». В программе реализован широкий набор алгоритмов минимизации помех и обработки данных (гармонические фильтры, робастные и статистические процедуры фильтрации, интерполяционные и сглаживающие алгоритмы). Сигналы для просмотра и обработки загружаются из БД в специализированный программный контейнер обработки. Далее, записи могут быть обработаны вручную, либо автоматически с помощью выбранного «графа обработки» (в графе выбирается способ фильтрации и суммирования записей, пересчет сигнала на заданную сетку, получение финальной кривой и др.). Оценить качество работы алгоритмов фильтрации и выбрать наилучший можно в специальном окне, где рассчитывается отношение сигнал/помеха для каждого способа фильтрации. Одним из достоинств программы является наличие мощного визуализатора, позволяющего просматривать и детально исследовать сигналы в различных масштабах и трансформациях, а также оценивать спектр сигналов. Кроме того, программа обладает открытым программным интерфейсом, позволяющим загружать внешние динамически подключаемые библиотеки (DLL), реализующие цифровые фильтры. Таким образом, возможности программы по обработке и фильтрации данных не ограничиваются запрограммированным набором функций. При необходимости, можно реализовать и подключить внешний цифровой фильтр, реализующий необходимую функциональность.

Этапы качественной и количественной интерпретации в программном комплексе представлены программами «Profile 3.1» и «Model 3». Количественная интерпретация основывается на решении прямых и обратных задач, разработанных в Институте Геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Е.Ю. Антонов и др.). Программы имеют

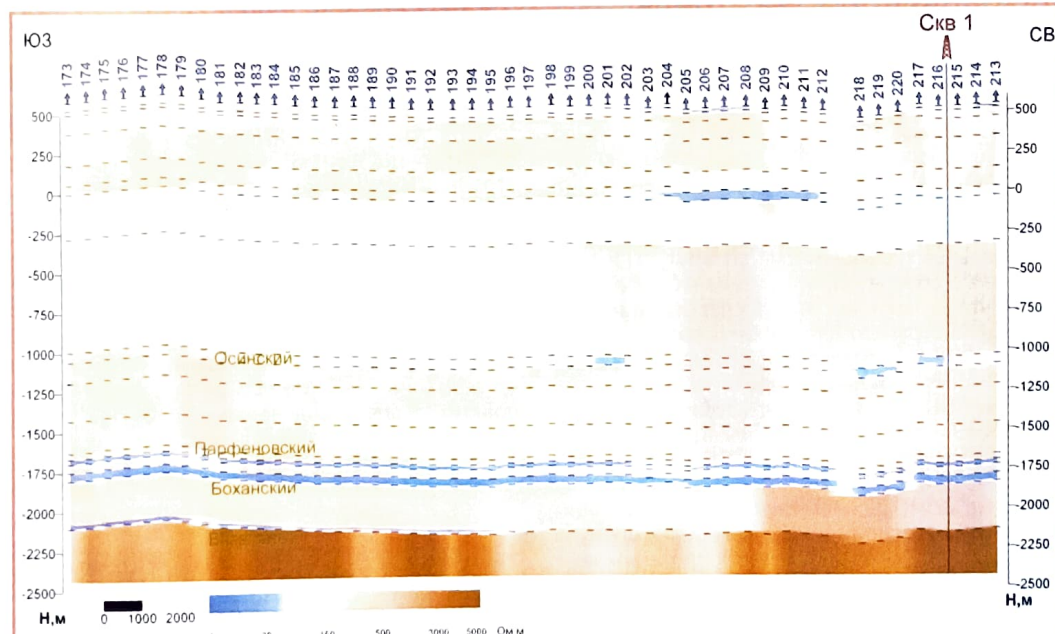
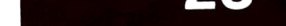


Рисунок 5. Геоэлектрический разрез, полученный в рамках «тонкослойной» модели.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

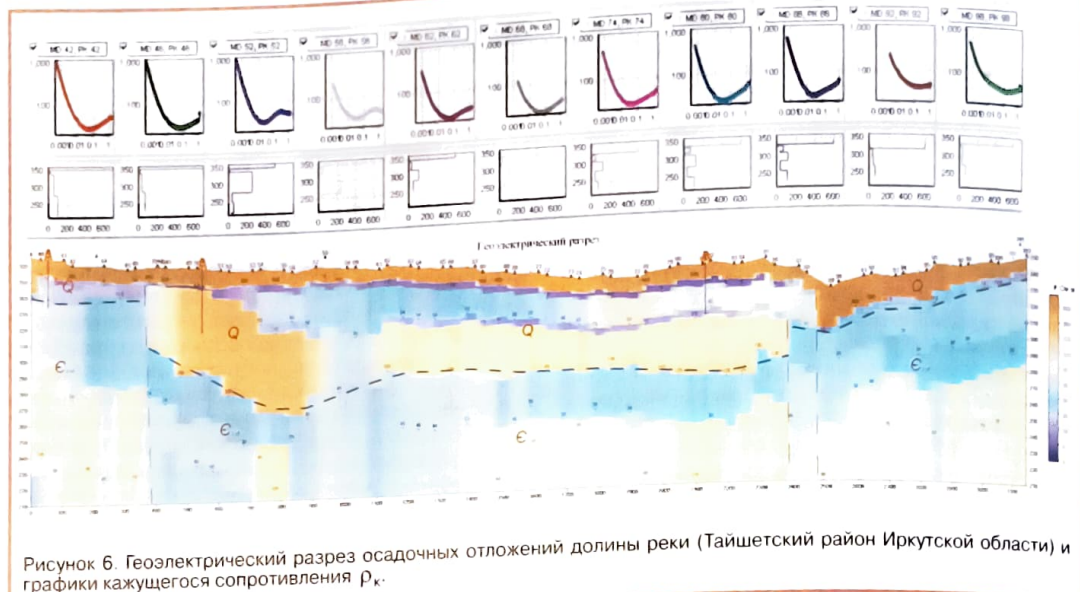


Рисунок 6. Геоэлектрический разрез осадочных отложений долины реки (Тайшетский район Иркутской области) и графики кажущегося сопротивления ρ_k .

эффективные средства визуализации данных в виде графиков, планов графиков, разрезов, карт. Для обеспечения работы с точками наблюдений применяется геоинформационная система «GeoMap», облегчающая интерактивный выбор пикетов для просмотра и обработки. Визуализатор программы «Profile» позволяет не только отображать на экране различную графическую информацию, но и печатать графические приложения на бумаге. Для построения разрезов и карт в программе реализованы различные алгоритмы интерполяции, в том числе крайгинг.

В программе «Model 3.0» можно осуществлять подбор моделей для наблюдаемых сигналов (выполнять инверсию данных), рассчитывать модельные сети наблюдений, задавая геоэлектрические параметры слоев и различные трехмерные неоднородности, а также рассчитывать электромагнитные отклики от них. Реализованы расчеты задач для различных типов приемников, в том числе и с учетом индукционно-вызванной поляризации. Внедрен модуль решения обратных 1-D / 3-D задач с подбором мощностей и сопротивлений в интервалах, определенных пользователем.

Опыт использования

С момента создания первого поколения станции SGS-TEM в 1998 г. силами только иркутских электроразведчиков в Восточной Сибири было выполнено более 15000 зондирований становлением поля. При разработке новых поколений станции (в 2010 году выходит уже 4-е поколение аппаратуры) были учтены замечания и пожелания реальных пользователей аппаратуры и программного обеспечения – специалистов-геофизиков, что позволило создать еще более точный и гибкий инструмент для решения геологических задач методами электромагнитных исследований. Высокую эффективность и надежность станции SGS-TEM могут подтвердить и новосибирские специалисты, выполняющие производственные работы методом ЗСБ (ЗАО НППГА «Луч»).

Вслед за улучшением технических характеристик измерительной аппаратуры вперед шагнула и технология обработки и интерпретации данных. Так, высокое качество получаемого полевого материала позволило специалистам Иркутского электроразведочного предприятия (Поспеев А.В., Буддо И.В. и др.) разработать и внедрить программное обеспечение, позволяю-

щее разделять геоэлектрический разрез более чем на 20 слоев на основе априорных данных сейсморазведки и бурения. Такой подход («тонкослоистая» интерпретация) позволяет с высокой точностью выделять в разрезе пласты-коллекторы и дает возможность прогнозирования возможных осложнений в процессе проходки скважин (рисунок 5). Данная методика была с успехом опробована на ряде площадей юга Сибирской платформы. Ее эффективность подтверждена результатами бурения.

Несмотря на относительную «молодость» (первая версия разработана в 2005 г.), малоглубинная электроразведочная станция FastSnap получила признание и нашла широкое применение в различных регионах России. География использования аппаратуры достаточно широка – города Иркутск, Новосибирск, Москва, республика Бурятия. За время эксплуатации аппаратуры в Иркутском электроразведочном предприятии было решено множество интересных производственных и научных задач. Среди них такие, как изучение верхней части разреза на предмет наличия разрывных нарушений по трассе трубопровода «Ковыкта-Иркутск», изучение погребенных долин (алмазы) в Тайшетском районе Иркутской области (рисунок 6), рудные работы на уран в Бурятии.

Отдельного упоминания заслуживают работы, имеющие научное направление – изучение строения Патомского кратера и Приольхонья (оз. Байкал), которые проводятся совместно с учеными из Сибирского Отделения РАН. Преподаватели и студенты Иркутского государственного технического университета и Новосибирского государственного университета оценили высокую наглядность и удобство использования аппаратурно-программного комплекса FastSnap для организации учебного процесса и студенческих практик по электроразведке.

Список литературы

1. Агафонов Ю.А., Поспеев А.В. Программно-измерительный комплекс для работ методом ЗСБ // Геофизический вестник, 2001, №10, с 8 – 11.
2. Шарлов М.В., Поспеев А.В., Агафонов Ю.А. Информационное обеспечение современной телеметрической станции для электромагнитных зондирований // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2007, №2, Ч.1, с. 39 – 41.