УДК 550.837.211:550.812.1

А.И.ИНГЕРОВ
Компания «Феникс Джеофизикс Лтд»
Торонто, Онтарио, Канада

ПРИМЕНЕНИЕ 2D МТЗ ДЛЯ ПОИСКОВ НЕФТИ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ САНТА КЛЕЭ (ЮГО-ВОСТОК ПРОВИНЦИИ ОНТАРИО, КАНАДА)

Профильная магнитотеллурическая съемка (2D МТЗ) с измерением преимущественно горизонтальных компонент магнитотеллурического (МТ) поля, выполненная компанией «Феникс Джеофизикс» в 2000 г. на одной из перспективных площадей в юго-восточной части провинции Онтарио, показала, что метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) позволяет фиксировать области улучшения коллекторских свойств в силурийских известняках, которые связаны с зонами доломитизации по глубинным разломам. Предсказанное по данным МТЗ поведение зоны доломитизации было подтверждено дальнейшим бурением. Переобработка данных в 2006 г. с помощью новой версии программного обеспечения позволила существенно улучшить качество кривых МТЗ. Выполненное моделирование конкретной геологической ситуации показало, что наиболее информативными в данном случае являются данные измерения вертикальной магнитной компоненты МТ-поля. Однако ключевыми вопросами являются точность установки датчика для измерения вертикальной компоненты МТ-поля и термостабилизация всех трех датчиков. Специальные устройства (треноги), которые были изготовлены по заказу компании, адекватно решают оба вопроса.

2D magnetotelluric surveying with measurements of horizontal component of magnetotelluric (MT) field was carried out by «Phoenix Geophysics» company on 2000 at a prospect in south-east part of Ontario province. The investigations evidences, that MTS data could locate areas of improvement of Silurian limestone reservoir features, which are associated with dolomitization zones along deep faults. Characteristic features of the dolomitization zones, predicted from MTS data, were confirmed by following drilling. Re-treatment of the MT date on 2006 with the use of the latest version of software provided significantly improvement of MTS curves. Results of the concrete geological structure modeling demonstrated, that vertical component data of MT field are more informative to the problem being studied. The key problems are accuracy of setting of MT vertical component data measurement sensor and thermo stabilization of every three sensors. Special equipments (tripods) manufactured under the «Phoenix Geophysics» company contract, provide the both problems adequate solving.

Введение. Целью выполненной в 2000 г. 2D МТЗ-съемки было изучение возможности обнаружения коллекторов в силурийских известняках, связанных с зонами доломитизации вдоль глубинных разломов. Обычно для решения этой задачи использовалась сейсморазведка или электроразведка SCAMT. Сейсморазведка является относительно дорогим методом, тем более в густонаселенном сельскохозяйственном районе. Электроразведка CSAMT базируется на использовании мощного генератора искусственного электромагнитного (ЭМ) поля, которое создает серьезные проблемы для телефонных компаний. Появление нового (пятого) поколения МТЗ-аппаратуры позволило значительно снизить себестоимость работ, поднять производительность полевых работ, а также повысить точность вычисляемых по результатам полевых записей функций отклика. Таким образом, появились технические и экономические предпосылки применения МТЗ для решения задачи картирования приразломных зон доломитизации, хорошие коллекторские свойства которых, при наличии вышележащей хорошей по-

крышки, делают их весьма перспективными для поисков залежей углеводородов*.

Некоторые особенности геологического строения района работ. Исследуемая площадь находится в северной части Аппалачского бассейна, где как на суше, так на акватории озера Эри открыто и находится в разработке изрядное количество нефтяных и газовых месторождений. Близость коммуникаций и потребителей делает здесь рентабельным разработку даже относительно мелких месторождений. Территориально исследуемая площадь расположена в пределах юго-западной части провинции Онтарио (Канада), вблизи границы с США.

Докембрийский кристаллический фундамент в данном районе залегает на глубине 1000-1200 м. Породы осадочного чехла расположены полого (углы наклона 1-3°) и представлены чередованием терригенных и карбонатных отложений кембрия, ордовика, силура и девона. Интервалы нефтегазоносности выявлены в песчаных породах кембрия, карбонатных отложениях среднего ордовика и среднего силура, а также среднего девона. Пологое залегание осадочных пород способствует применению в ходе интерпретации одномерной модели.

Технология полевых работ. В 2000 г. компания «Феникс Джеофизикс» выполнила 2D МТЗ-съемку по двум субпараллельным профилям, пересекающим известную аномальную (по данным сейсморазведки) площадь на восточном берегу озера Санта Клеэ. Шаг точек МТЗ по профилям составил 100 м. При этом применялась комбинированная технология полевых работ: пятикомпонентные точки располагались с шагом 1 км, а двухкомпонентные (два горизонтальных электрических канала) – через 100 м. Такая технология значительно повышает производительность полевых работ при сохранении большей части полезной информации. В съемке использованы 15 приборов MTU системы SSMT-2000. Частотный диапазон наблюдений 320-0,0001 Гц.

Съемка производилась с использованием удаленной базовой точки, расположенной в 50 км от площади работ и суперудаленной базовой точки (примерно 1600 км), расположенной в районе г.Винипег, провинция Манитоба. На этой точке, работавшей в непрерывном автоматическом режиме (24 ч в сутки), питание осуществлялось от обычных и солнечных батарей. В дневное время солнечные батареи питали прибор и подзаряжали обычные батареи; последние осуществляли питание прибора в темное время суток. Одновременно с регистрацией МТ-поля прибор, используя встроенный модем, передавал зарегистрированные данные четырехчасовыми интервалами.

Обработка полевых данных. Обработка данных выполнялась с использованием преобразований Фурье, отбора решений на основе когерентности электромагнитного поля на рядовой и базовой точках. Плотность на кривой МТЗ составляла 7 точек на декаду. Лучшие результаты получены на ближней базовой точке (удаление 50 км); для удаленной базовой точки хорошая когерентность наблюдалась только на периодах более 300 с. Оперативная обработка (один день отставания от полевых работ) позволяла производить детализацию аномальных интервалов в ходе съемки. Типичные амплитудные и фазовые кривые МТЗ располагались в частотном интервале выше 30 с. Кривые, ориентированные под углом 60° (параллельно оси Аппалачского бассейна), располагаются ниже ортогональных им кривым и на периодах 100-1000 с. Исключением из отмеченной выше закономерности являются несколько кривых МТЗ, расположенных вблизи выходящих к поверхности разломов.

Интерпретация данных МТЗ. Анализ данных проводился с использованием пакета программ ВинГЛинк (производитель компания «Джеосистем», Италия). В ходе

---

* *Spector Allan.* Application of HRAM surveying to Cambrian exploration in the Appalachian basin / Allan Spector, Alan Leaver // Canadian Journal of exploration Geophysics. Vol.34. NOS 1&2 (December 1998). P.67-82.

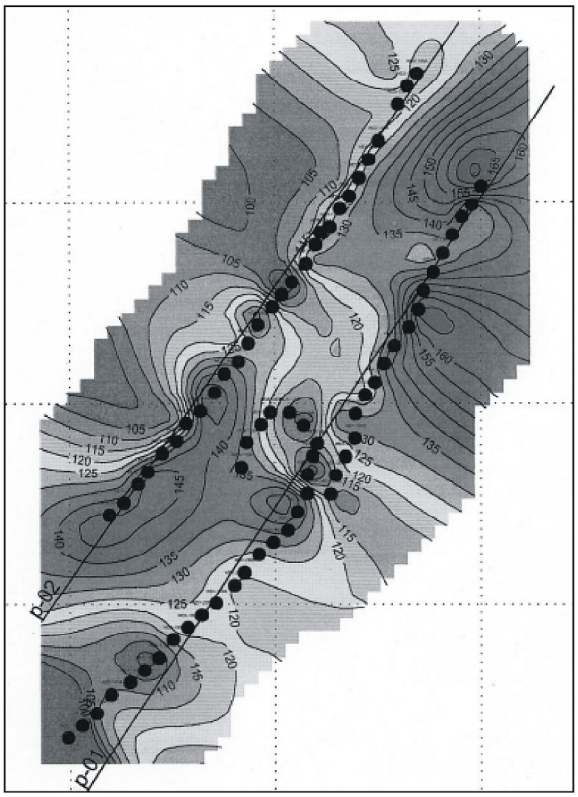
Ингеров А.И. Применение электроразведочных методов при поиске залежей углеводородов // Зап. Горного института. 2005. Т.162. С.15-25.

интерпретации строились псевдоразрезы амплитуды и фазы по профилям, карты амплитуды кажущегося сопротивления и фазы импеданса на различных периодах. Количественная интерпретация исправленных за влияние статического эффекта амплитудных кривых производилась совместно с фазовыми, как в варианте сглаженной модели (OCCAM-45 слоев), так и варианте слоистой модели (8 слоев).

Результаты работ. На картах кривых МТЗ четко видна область пониженного сопротивления в центральной и северо-западной части профилей, имеющая весьма сложную конфигурацию (см. рисунок). Последующее бурение подтвердило наличие коллектора в выделенной по данным МТЗ аномальной области, а также был получен приток газа. Таким образом, МТЗ с измерением горизонтальных компонент поля в состоянии картировать зоны доломитизации в известняках, являющихся коллектором в данном районе. Однако амплитуда аномалий сопротивления, связанных с зонами доломитизации, вызывает определенные сомнения, так как значения ее относительно малы (5-15 %) и надежная фиксация тесно связана с точностью учета статического эффекта.

С целью определения наиболее чувствительного к наличию доломитизированной зоны элемента кривых МТЗ было выполнено моделирование поведения пяти компонент электромагнитного поля над моделью двух доломитизированных зон, связанных с разломами. Уровень аномалий на амплитудных и фазовых кривых, как и предполагалось заранее, не превысил 15 %, в то же время аномалии Типпера оказались значительно более яркими.

Как известно, в определении Типпера ведущую роль играет вертикальная магнитная компонента *HZ*. Точность ее измерения напрямую связана с точностью установки вертикального магнитного датчика. Это обусловлено тем, что в условиях горизонтально-слоистого разреза горизонтальные магнитные компоненты превосходят вертикальную на несколько порядков. Ошибки в



Карта кривых МТЗ

ориентации вертикального магнитного датчика в 1-3° могут привести к тому, что вертикальный датчик будет измерять часть мощного горизонтального поля, что, конечно, неприемлемо.

Традиционная технология установки вертикального датчика предусматривает бурение с помощью ручного или механического бура скважины, в которую помещается вертикальный датчик, ориентируется с помощью торцевого уровня и закрепляется в скважине. Погрешности такой установки составляют как раз упоминаемые выше 1-3°.

Чтобы решить эту проблему, компания «Феникс» в содружестве с компаниями-поставщиками элементов оборудования разработала серию треног как для трехкомпонентных магнитных датчиков, так и для одного вертикального датчика. Все виды треног изготавливаются из прочных немагнитных и непроводящих материалов. При использовании треног и цифровых уровней точность установки датчиков может быть доведена до 0,01°, при этом все датчики на-

ходятся в одинаковых температурных условиях, что также оказывает влияние на точность вычисления функций отклика. Повышается и производительность труда, так как треноги легко и быстро переводятся из походного положения в рабочее.

Выводы. В условиях Аппалачского бассейна метод МТЗ может быть эффективно использован для поисков зон доломитизации известняков по разломам. Оптимальная технология заключается в преимущественно трехканальных измерениях (две горизонтальные электрические и одна вертикальная магнитная компонента) с шагом измерений 40-100 м. Кроме того, проводится умеренное число пятикомпонентных измерений (примерно 10 % от числа трехкомпонентных измерений).