УДК 550.837.211:550.8.02:550.84.08

Ю.И.МАТВЕЕВ, Ю.В.РОСЛОВ
ФГУ НПП «Севморгео», Санкт-Петербург, Россия
А.ЗЕРИЛЛ
Центр электромагнитных исследований фирмы «Шлюмберже», Сан-Франциско, США

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МОРСКИХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматривается технология проведения высокоразрешающих морских магнитотеллурических зондирований на базе автономных донных станций совместно с сейсмическими работами и построения достоверной скоростной модели верхней части разреза (до 4000 м) для ее использования в процедуре глубинной миграции. Инновационным подходом является интегрирование инверсии электромагнитных данных с нелинейной сейсмической томографией и использование априорных соотношений скорости и сопротивления с целью качественного улучшения достоверности и разрешенности получаемой скоростной модели верхней части разреза (ВЧР) с учетом любых особенностей батиметрии. Технология успешно опробована в наиболее важных и сложных районах континентального шельфа и Мирового океана: Мексиканском заливе, Северном море, Баренцевом море и других районах.

A novel ocean bottom high-resolution magnetotellurics station is integrated with advanced nonlinear seismic tomography to build a high resolution, geologically accurate upper crust model characterized by a high level of spatial resolution. The integrated model provides the degree of accuracy needed by depth migration to properly image under highly variable covers and severe topography/bathymetry. The resolution of the final depth migration shows the potential of the proposed strategy to increase the value of seismic data and de-risk complex plays exploration programs. Technology has been successfully applied in Gulf of Mexico, North Sea Barents Sea and other oil and gas offshore provinces.

Введение. В России магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) долгое время успешно применяется на суше в комплексе с другими геофизическими методами, в частности, при работах на опорных геофизических профилях. Советские (российские) ученые стояли у истоков этого метода исследований и доказали его состоятельность в сравнении с другими методами. До последнего времени не удавалось расширить сферу приложения МТЗ на морские акватории, так как такие исследования требовали разработки специального оборудования и технологии его применения. К сожалению, а может быть к счастью, западные специалисты обратили внимание на морское МТЗ и стали активно развивать его. Технология успешно опробована в наиболее важных и сложных районах континентального шельфа и Мирового океана: Мексиканском заливе, Северном море и др. Благодаря кооперации между ФГУ НПП «Севморгео» и компании «Шлюмберже» (Schlumberger) в октябре 2004 г. удалось провести опытно-методические работы МТЗ на участке опорного профиля 3-АР в Печорском море. Особый интерес представлял тот факт, что были выполнены измерения в районе известного нефтяного месторождения Северо-Гуляевской площади.

Оборудование. Магнитотеллурическое зондирование выполнялось с использованием комплекса донных магнитотеллурических станций MT 24 System S/N: MMT24-101 – MMT24-108 производства Центра электромагнитных технологий (EMI Technology

Center) компании «Schlumberger». Станция ММТ-24 (рис.1) состоит из следующих основных компонентов:

– датчики электрического поля;
– датчики магнитного поля;
– система сбора данных;
– набортная акустическая система;
– несущая рама;
– акустическая система для управления отделением якоря.

Несущая рама служит для компоновки измерительных модулей, а также якоря, устройства для его отделения, блоков плавучести, концов для обеспечения спускоподъемных операций и дополнительных элементов для визуального обнаружения станции.

Основные характеристики станции:

Рабочая глубина, м	10-6000
Рабочая температура, °С	От +25 до –4
Максимальная общая масса на воздухе, кг	140
Диапазон частот, Гц	100-0,0001
Количество каналов	6 с разрешением 24 бита

Самовсплывающая магнитотеллурическая станция устанавливается на морское дно и пассивно регистрирует естественное электромагнитное поле Земли. Глубинность исследований зависит от времени регистрации, регионального уровня сигналов, уровня естественных сигналов. Станция всплывает по команде, передающейся с судна по акустическому каналу благодаря отсоединению якоря-груза (бетонной плиты).

Методика выполнения работ. В районе Северо-Гуляевской площади на участке длиной 50 км было выставлено семь станций с шагом 10 и 5 км. Средняя глубина постановки 26,7 м. Время регистрации 6 суток, в течение четырех из них волнение моря было 3-5 баллов. Ввиду малой глубины постановок станций волнение моря оказало сильное влияние на качество материала, так как оно приводило в движение датчики станции, что, в свою очередь, вызывало появление наведенного шума с базовой частотой 0,1 Гц. Тем не менее, в течение двух спокойных дней были получены полевые данные высокого качества. При последующей обработке сигналов удалось качественно улучшить и зашумленную часть материалов.

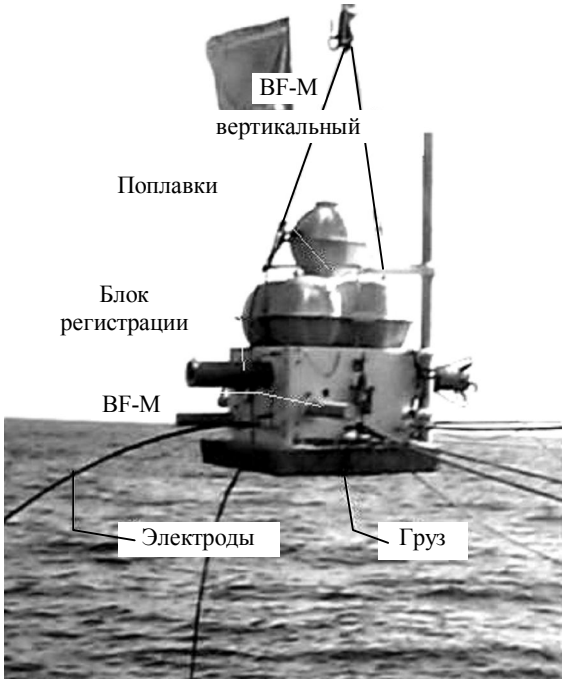


Рис.1. Донная магнитотеллурическая станция

Результаты обработки и предварительная интерпретация материалов. Обработка и интерпретация материалов МТЗ базировалась на моделировании двухмерного разреза, решении прямых задач и коррекции модели разреза с целью уменьшения невязок между наблюденными и теоретическими полями. Для получения более корректного и устойчивого решения были привлечены общие сведения о геологии региона и результаты выполненного на опорном профиле 3-АР сейсмотомографического восстановления скоростного разреза, полученного по материалам работ МПВ-ГСЗ с автономными донными сейсмическими станциями. На первом этапе разрез сопротивлений восстанавливался без каких-либо ограничений на возможные вариации значений сопротивлений. Полученный разрез сопротивлений (рис.2) показывает низкое сопротивление (3 Ом·м) от поверхности до глубины приблизительно 800 м на юго-западном крае профиля и 700 м на северо-востоке профиля. Этот разрез подстилается слоем с более высоким сопротивлением (около 10 Ом·м). Мощность данного слоя по разрезу достаточно выдержана и составляет около 1000 м. Ниже находится слой с более

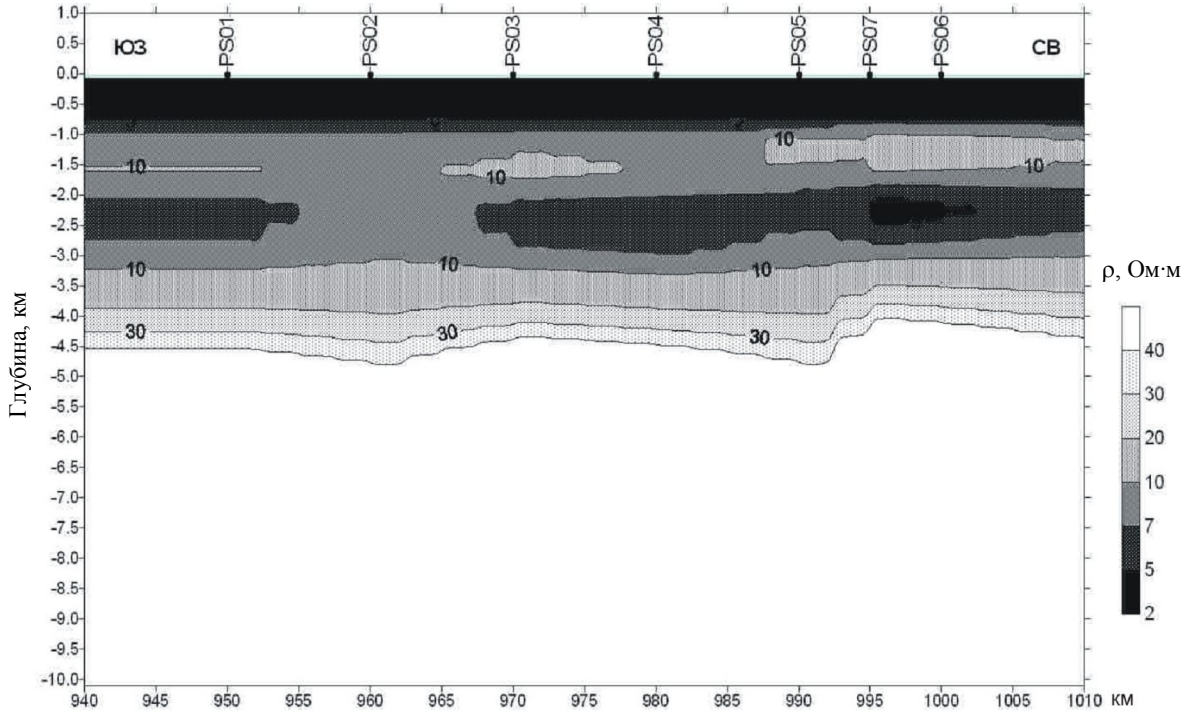


Рис.2. Разрез сопротивлений по участку профиля 3-АР в районе Северо-Гуляевской скважины

низким сопротивлением мощностью в среднем 700 м. Изображение этого слоя становится наиболее четким к северо-восточному концу профиля и может рассматриваться как коллектор Северо-Гуляевского месторождения. В свою очередь, данный слой подстилается слоем с более высоким сопротивлением (приблизительно 10 Ом·м). Мощность его составляет по разрезу менее 1000 м. Электрический фундамент прослеживается на глубине около 3700 м на юго-западе и на глубине 3300 м на северо-востоке профиля. Определение электрического фундамента осуществлялось как контакт слоев с меньшим сопротивлением со слоями с большим сопротивлением. Два крупных разлома определяются по резким изменениям в инфраструктуре разреза. Заметим, что разрешение положения разломов ограничивается расстоянием между точками МТЗ.

Полученные результаты были сопоставлены с материалами каротажа на скважине Северо-Гуляевской. Справедливости ради нужно отметить, что скважина находится в 7 км от линии профиля, тем не менее, получено хорошее качественное и количественное соответствие материалов МТЗ с данными каротажа. На следующем этапе обработки и интерпретации планируется провести восстановление разреза сопротивлений с ограничениями на возможные вариации их значений в соответствии с данными по Северо-Гуляевской скважине.

На рис.2 разрез сопротивлений представлен до глубины 10 км со средней разрешенностью порядка 100 м, что отвечает требованиям к проведению работ на опорных профилях. За рамками данного разреза остался «низкочастотный» результат данных исследований. Благодаря большой длительности регистрации удалось обнаружить объекты, находящиеся за сотни километров от профиля, а именно: контакт между Тимано-Печорской плитой и Пайхой-Новоземельским коллизионным поясом, который выразился в анизотропии данных по Печорскому морю, и высокопроводящий слой на глубине 120 км, который может быть интерпретирован как астеносфера.

Интегрирование сейсмических и магнитотеллурических данных. Дальнейшее развитие работ состоит в более плотном интегрировании сейсмических и магнитотеллурических данных, направленном на

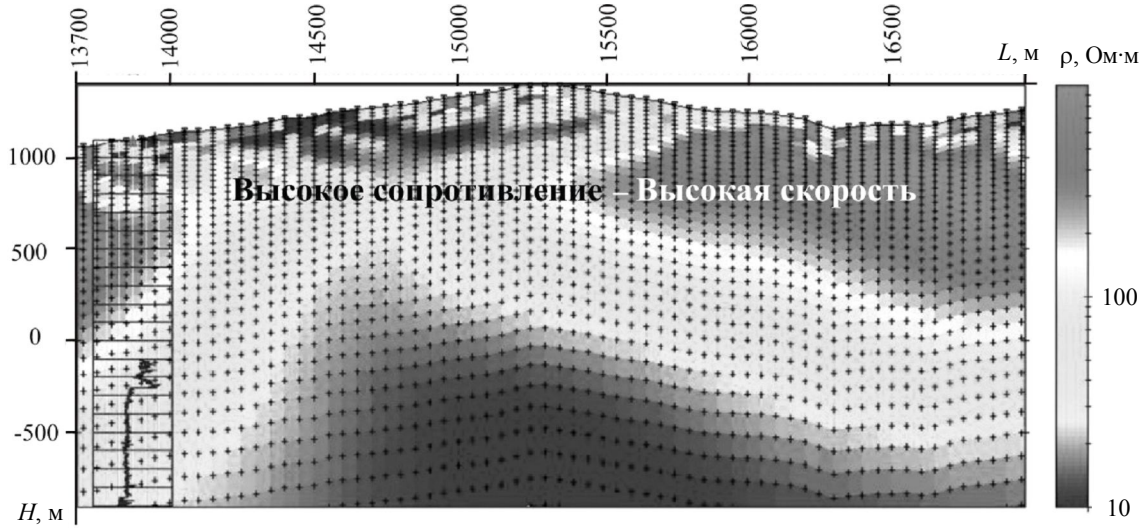


Рис.3. Интегрированная сейсмическая и магнитотеллурическая модель

построение более достоверных геологических моделей и, соответственно, на снижение геологических рисков при проведении поискового бурения. Фундаментальное предположение на этом этапе состоит в том, что низкие значения сопротивления ассоциируются с низкими значениями скорости упругих волн и, соответственно, высокие значения сопротивления – с высокими значениями скорости волн. Определение скорости сейсмических волн проводится методом нелинейной сейсмической томографии, в рамках которой возможно контролировать и оценивать точность получаемых результатов. Качество корреляции скоростных параметров среды и значений электрического сопротивления может быть проверено и откоррелировано по имеющимся скважинным данным. Интегрированная сейсмическая и магнитотеллурическая модель обеспечивает уровень точности, необходимой для проведения глубинной миграции, при котором минимизированные ошибки определения скоростного строения среды не приводят к появлению ложных аномалий.

Пример построения интегрированной модели в таком сложном геологическом районе, как южные Апеннины представлен на рис.3. Какие-либо ограничения на применение данной технологии в других районах суши или моря отсутствуют.

Выводы

1. Впервые в России в производственном режиме были проведены морские магнитотеллурические зондирования с самовсплывающими донными станциями и получены материалы высокого качества.

2. Обработка и интерпретация магнитотеллурических данных проводилась в комплексе с априорными геологическими, сейсмическими, скважинными материалами, что позволило принципиально улучшить качество полученных результатов.

3. Предлагаемая методика комплексирования данных морских МТЗ с сейсмическими материалами позволит качественно улучшить изучение структур нефтегазовых месторождений российского шельфа.