

Современная технология поисков и разведки залежей СВН на основе комплекса геофизических методов

■ И.А. Титаренко, И.П. Соколова, А.В. Титаренко, АО Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, г. Саратов

В последние годы состояние минерально-сырьевой базы углеводородов характеризуется существенным снижением разведанных запасов и крайне низкими темпами их прироста. Перспективы добычи нефти и дальнейшего развития ТЭК как в России, так и за рубежом, связываются с разработкой трудноизвлекаемых запасов, в том числе сверхвязких нефтей (СВН), которые могут рассматриваться как комплексное сырье, используемое в медицине, биотехнологиях, химических технологиях, микроэлектронике и других областях народного хозяйства.

На территории Российской Федерации основные перспективы поисков залежей СВН и природных битумов связаны с отложениями пермского возраста в центральной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (ВУНГП). Благоприятными условиями для постановки здесь соответствующих геологоразведочных работ являются малые глубины залегания битумоносных и нефтесодержащих пермских толщ, наличие горнодобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов, развитая транспортная инфраструктура и др.

Доминирующим геофизическим методом поисковых работ на нефть и газ традиционно считается сейсморазведка МОГТ, призванная решать задачи по выделению в разрезе локальных структурных и литолого-фациальных неоднородностей, предопределивших формирование ловушек УВ различных генетических типов.

Однако, в деле изучения потенциально продуктивных верхнепермских отло-

жений она, по мнению большинства специалистов, неэффективна. Основная проблема здесь заключается в малых глубинах залегания верхнепермских отложений, требующих от сейсморазведки МОГТ получение геологически информативной сейсмической записи практически на начальных временах регистрации отражений, что само по себе сопряжено с определенными техническими трудностями.

Информативная запись на традиционных разрезах МОГТ, направленных на освещение перспективного девонско-каменноугольного интервала осадочного чехла, в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции начинается, как правило, на временах регистрации T_0 равных 200-300 мс и более. В тоже время, отражение от кровли вмещающих природные битумы на Аверьяновском месторождении Республики Татарстан казанских отложений теоретически может быть зарегистрировано на временах T_0 не превышающих 30-40 мс. То есть, для получения информации о геологическом строении битумонасыщенных песчаников Аверьяновского месторождения по сейсмическим данным, необходимо, чтобы эти данные имели достаточную степень кратности профилирования и информативную запись уже на временах $T_0 \leq 20-30$ мс, что является недостижимым для глубинно ориентированных систем наблюдения МОГТ, даже в случае целенаправленной переобработки этих материалов на уровне верхней части разреза с использованием самых современных методико-технологических возможностей (Рис. 1).

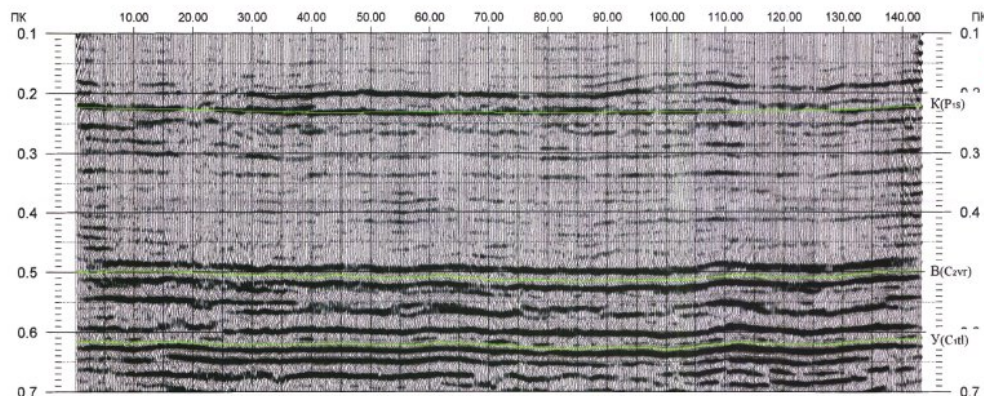


Рис. 1. Суммарный временной разрез по профилю 151012 (ОАО «Татнефте-геофизика»).

В рамках поиска оптимального решения данной проблемы в 2015 году по заказу Департамента по недропользованию по Приволжскому федеральному округу специалистами АО «НВНИИГГ» на территории двух небольших участков в западном секторе Республики Татарстан (на территории Мелекесской впадины) были проведены комплексные опытно-методические работы в объеме 100 пог. км в составе: малоглубинная модификация МОГТ-2D и электротомография.

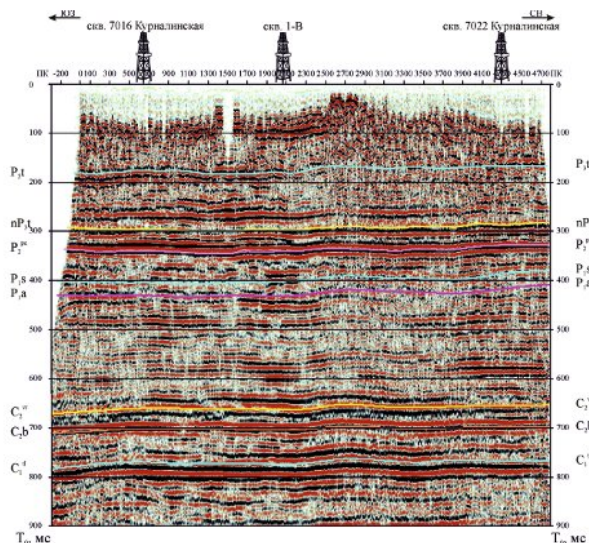
На этих участках в качестве полевой расстановки была использована центрально-симметричная система наблюдений со 120-ти кратным профилированием. Расстояние между пунктами возбуждения было выбрано равным 10 м, между пунктами приема – 5 м. Минимальное удаление «взрыв-прибор» составляло 10 м, максимальное – 1200 м. Возбуждение сейсмических колебаний осуществлялось электромагнитным импульсным источником «Енисей КЭМ-4» с напряжением заряда – 850 В. Для сбора данных использовалась бескабельная система SCOUT с 481 активным каналом. Регистрация сигналов проводилась одиночными сейсмоприемниками GS-One. Длительность регистрации составляла 2 с с шагом дискретизации записи равным 1 мс. Параллельно с работами МОГТ осуществлялось изучение скоростных неоднородностей в верхней части разреза методом прелом-

ленных волн (МПВ), на основе результатов которого впоследствии вычислялись значения априорных статических поправок в сейсмотрассы ОГТ.

Цифровая обработка полученных в поле сейсморазведочных данных выполнялась в обрабатывающем комплексе ECHOS/FOCUS 2D/3D компании Paradigm. При этом в целях максимального сохранения информации на уровне верхней части сейсмической записи, отвечающей отложениям послекунгурского возраста, включая потенциально насыщенные на территории Мелекесской впадины СВН и битумами приказанскую и пещищенскую толщи казанского яруса средней перми, к наблюдаемым в поле временам регистрации сигналов было прибавлена постоянная величина равная 200 мс. В результате этого отражения от целевых толщ на суммарных временных разрезах МОГТ по отработанным профилям стали фиксироваться на 200 мс ниже своего истинного положения, зато кратность суммирования сейсмической записи на их уровне составила 80 и более трасс.

Итогом такого нетрадиционного подхода к проведению сейсморазведочных работ МОГТ явилось получение таких временных разрезов, которые обеспечили надежное выделение и прослеживание отражающих границ не только в девонско-каменноугольном, но и в пермском интервале сейсмической записи, включая внутриформационные

отражения на уровне приказанской и пещищенской толщ (Рис. 2).



▲ Рис. 2. Суммарный временной разрез МОГТ по профилю 174-14-15 в пределах восточного участка опытно-методических работ.

Получение таких разрезов позволило осуществить полноценное решение структурной задачи на участках отработанных профилей и выполнить динамическую интерпретацию сейсмической записи в интервале пермских отложений по авторской технологии «Вероятностно литологического прогноза» (УВЛП) [1]. По линиям профилей были подготовлены прогнозные литолого-скоростные разрезы, отражающих характер распределения мощностей, литологических и стратигра-

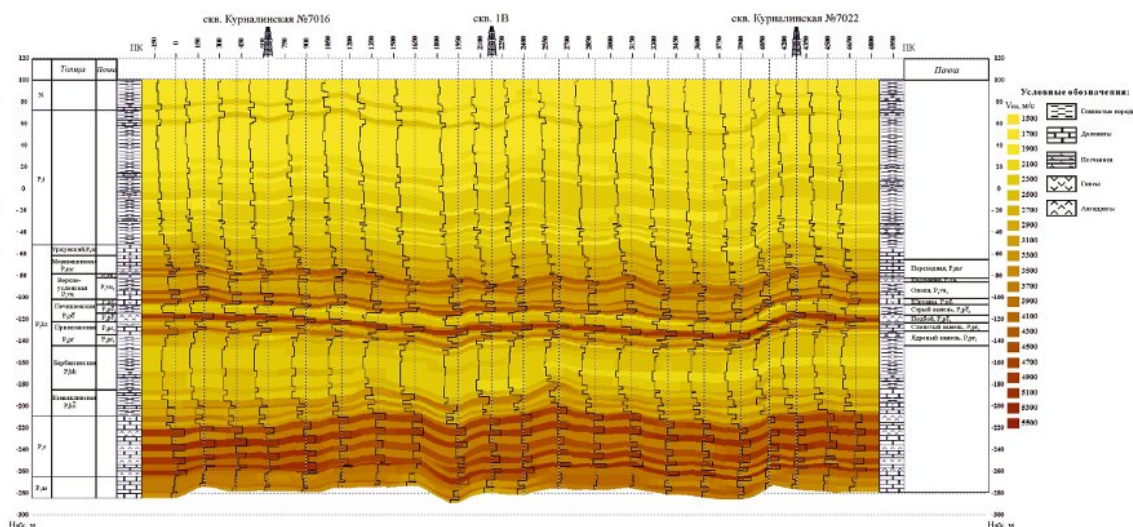
фических соотношений в соответствующей части осадочного чехла (Рис. 3).

Данная информация была использована на этапе комплексирования сейсморазведочных материалов с материалами электроразведки в едином координатном пространстве.

Электроразведка, как известно, является на сегодняшний день чуть ли не единственным наземным геофизическим методом, позволяющим с довольно высокой степенью успешности регистрировать эффекты от залежей углеводородов. Поскольку залежи СВН и битумов в отложениях пермской системы залегают на сравнительно небольших глубинах и сосредоточены в маломощных пластах, для выработки максимально надежных комплексных геофизических критериев их выявления электроразведочные работы проводились методом «электротомографии» по линиям сейсмических профилей МОГТ-2D.

Электротомография (Electrical resistivity tomography, resistivity imaging) – современное направление электроразведки методом сопротивлений. В отличие от классических методик вертикальных электрозондирований, в электротомографии за счет использования более плотных систем наблюдения осуществляется своеобразная «подсветка» геологических

► Рис. 3. Результат сейсмической динамической инверсии методом ©ВЛП по профилю 174-14-15 в пределах восточного участка опытно-методических работ.



объектов в земной коре с разных позиций источника и проецирование измененного объектом сигнала на приемные линии. Эта методика дает возможность значительно увеличить детальность и достоверность получаемой информации о характере распределения физических неоднородностей на уровне залегания отложений в верхней части разреза.

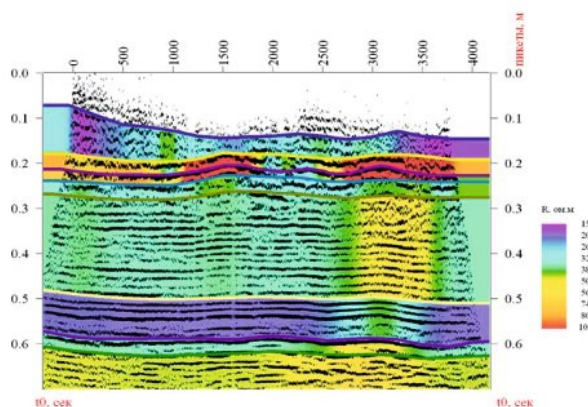
Существуют строгие физические предпосылки для решения задачи по прямому прогнозированию залежей УВ методами электроразведки. Залежь углеводородов можно рассматривать как аномальный по сопротивлению локальный объект, расположенный внутри нормального разреза сопротивлений. Характерные особенности электрических свойств пород в области расположения залежи вызываются целым рядом причин:

- изменением петрофизических свойств пород коллекторов;
- минерализацией подземных вод (ее резкое увеличение в приконтактных зонах газонефтяных залежей);
- непосредственным влиянием самой залежи, как локального высокоомного объекта;
- изменением физических свойств вмещающих пород под действием мигрирующих флюидов, в частности, образованием ореолов кальцитизации и пиритизации;
- наличием статической системы зарядов в области залежи и в приконтактных зонах.

Следует отметить, что изменения геоэлектрических параметров могут быть связаны не только с нефтеносностью, но и с другими физико-геологическими причинами. Поэтому для уменьшения степени неоднозначности прогнозных оценок интерпретация электроразведочных параметров проводится только в комплексе с данными сейсморазведки.

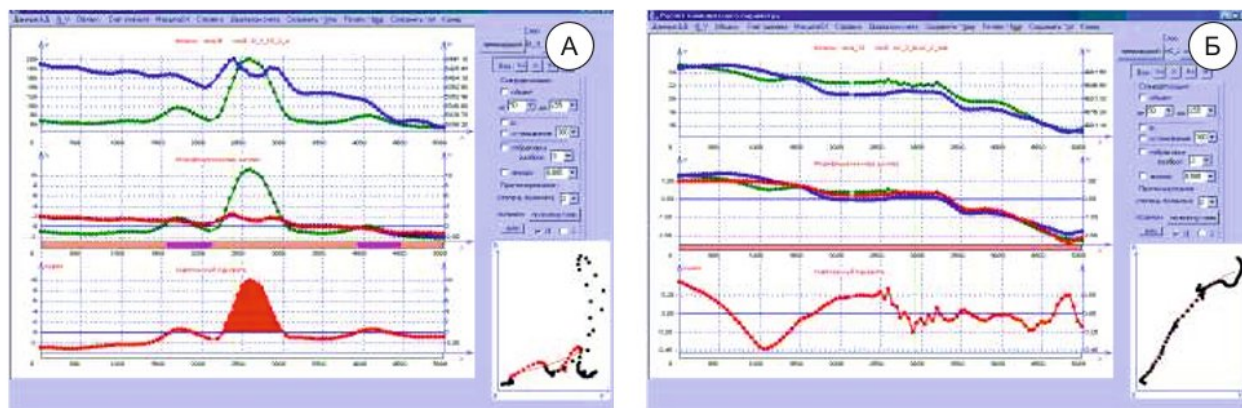
Эффективность такого подхода неоднократно доказана при поиске скоплений УВ в различных регионах ВУНГП. Комплексирование осуществляется уже на начальном этапе интерпретации путем перевода электроразведочных данных в масштаб временного сейсмического разреза и совместного анализа материалов двух независимых методов [2]. Результатом такого комплексирования является согласованная в двух геофизических полях модель изучаемого разреза.

В рамках этой модели среды осуществляется расчет продольного электрического сопротивления и прогнозных значений интервальной скорости, которые используются на этапе прогнозирования участков скопления углеводородов (Рис. 4).



▲ Рис. 4. Распределение интервального сопротивления на сейсмическом разрезе.

Авторская методика прогноза нефтегазоносности основана на различной чувствительности интервальной скорости и сопротивления к петрофизическим свойствам отложений и характеру их флюидонасыщения [3]. При отсутствии в разрезе залежи углеводородов графики интервальных скоростей и продольного сопротивления для определенного стратиграфического интервала разреза ведут себя синхронно, реагируя, в основном, на литолого-фациальную изменчивость отложений (Рис. 5А). В продуктивных интервалах разреза отмечается



▲ Рис. 5. Пример изменения интервальных параметров и КП в непродуктивном (А) и продуктивном (Б) интервалах разреза.

рассинхронизация графиков продольного сопротивления и интервальных скоростей: уменьшение значений интервальных скоростей, обусловленное разуплотнением пород (улучшением их коллекторских свойств), и увеличение значений кажущегося продольного сопротивления, связанного с присутствием в разрезе флюида (нефти или газа) с аномально высоким сопротивлением (см. Рис. 5Б).

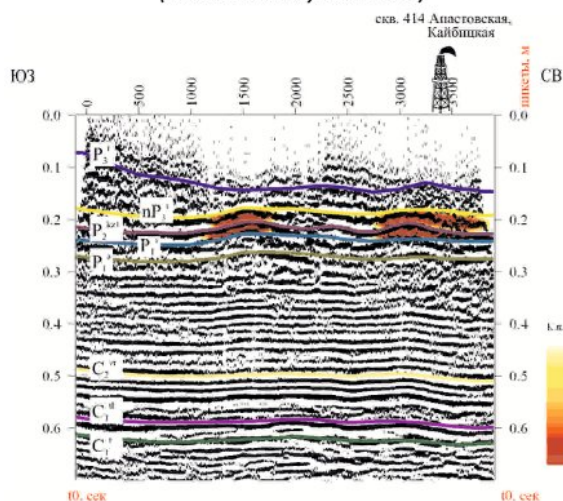
Это обстоятельство положено в основу способа, позволяющего учесть «литологическую» составляющую продольного сопротивления и изучать ту его часть, которая отражает характер флюидонасыщения. Эта составляющая названа авторами комплексным сейсмоэлектрораз-

вечным параметром (КП), положительные значения которого, превышающие фоновые в 2-5 раз, считаются аномальными, и указывают на возможное присутствие в разрезе высокоомных флюидов – углеводородов.

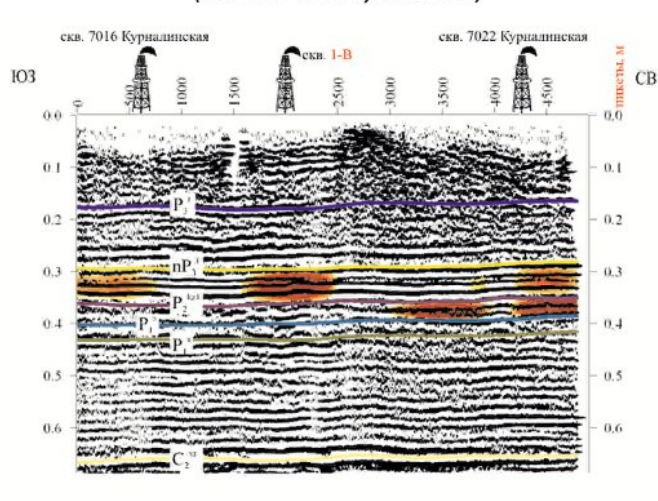
Проведенные в пределах опытных участков на территории Республики Татарстан опытно-методические работы показали хорошее соответствие аномалий комплексного сейсмоэлектроразвечного параметра продуктивным интервалам разреза. По итогам комплексных работ были намечены локальные участки, перспективные на вскрытие битумосодержащих пород пермского возраста (Рис. 6).

▼ Рис. 6. Аномалии КП на сейсмических временных разрезах по опытным профилям МОГТ.

Профиль № 174-14-03
(Западный участок)



Профиль № 174-14-15
(Восточный участок)



В целом, применение на опытных площадях Республики Татарстан разработанной в АО «НВНИИГГ» комплексной сейсмоэлектроразведочной технологии, включающей новые методические приемы проведения полевых работ и авторские наработки интерпретации полученных результатов, позволило получить доказательную базу возможностей ее успешного использования для решения задач поиска и разведки залежей УВ в пермском комплексе отложений. По итогам работ в отложениях пермского возраста спрогнозированы локальные участки, наиболее перспективные на обнаружение залежей СВН, продуктивность которых была подтверждена последующим бурением структурных скважин.

Литература

1. Скорнякова Е.Г., Титаренко И.А. Сейсмопетрофизическое прогнозирование методом ВЛП. «Геофизика, Технологии сейсморазведки II», специальный выпуск, 2003г.
2. Смилевцев Н.П., Соколова И.П.. Патент на изобретение №2155977 Способ геофизической разведки. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации, г. Москва, 10 сентября 2000г.
3. Смилевцев Н.П., Соколова И.П. Патент на изобретение №2154847 Способ геофизической разведки при поисках нефтегазовых месторождений. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации, г. Москва, 20 августа 2000г.

Подробнее об авторах



Титаренко
Игорь Анатольевич

заведующий отделом
геофизических
исследований
АО «НВНИИГГ»



Соколова
Ирина Петровна
заведующая сектором
обработки и интерпретации
данных несейсмических
методов разведочной
геофизики АО «НВНИИГГ»,
к.г.-м.н.



Титаренко
Алла Викторовна
заведующая сектором
современных технологий
интерпретации сейсмо-
разведочных данных
и материалов ГИС
АО «НВНИИГГ»