

## Инновационная EM-технология прогнозирования проницаемости нефтегазовых коллекторов.

**Тригубович Георгий Михайлович<sup>1</sup>, Махнач Елена Николаевна<sup>2</sup>,**

**Ефимов Аркадий Сергеевич<sup>3</sup>, Мамаева Анна Васильевна<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Закрытое акционерное общество «Аэрогеофизическая разведка»*

<sup>2</sup> *Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья»*

<sup>3</sup> *Всероссийский научно-исследовательский Геологический Нефтяной Институт*

<sup>4</sup> *Общество с ограниченной ответственностью Геофизическое предприятие «Сибгеотех»*

### Введение

Основные перспективы нефтегазоносности в пределах Сибирской платформы связаны с развитием коллекторов в терригенном венде и кровле рифейских образований, на выделение и изучение которых направлены геофизические исследования. Опыт применения сейсморазведки МОГТ и 3D-электроразведки с контролируемым источником на основе многоразносной системы наблюдений М-ЗСБ и/или (МТЗ + М-ЗСБ) свидетельствует о возможности решения широкого круга задач, включающих исследование характеристик карбонатных и терригенных коллекторов, условий их залегания, прогноза горно-геологических условий бурения, высокоточного картирования рассолонасыщенных коллекторов. Переход на адаптивную систему наблюдений в современной электроразведке позволил найти компромисс между необходимостью применения дорогостоящих площадных систем наблюдений для учета строения верхней части разреза и, применяемыми до сегодняшнего времени, профильными системами наблюдений. Использование получаемых в результате объемных моделей геологической среды существенно повысило достоверность и надежность геофизического прогноза по комплексу методов.

### Системы полевых наблюдений

Применяются многоразносные системы наблюдений для каждой раскладки генераторного контура. Для каждой точки измерения по основному профилю (Рисунок. 1) оценивается невязка приближения к слоистой модели среды. Увеличение невязки решения обратной задачи указывает на нарушение условия горизонтальной слоистости среды и дает основание для постановки дополнительных измерений. Это позволяет более точно оценить неоднородности ВЧР - причину невязки, и, с использованием 3D-моделирования, дать более точный прогноз модели коллектора.

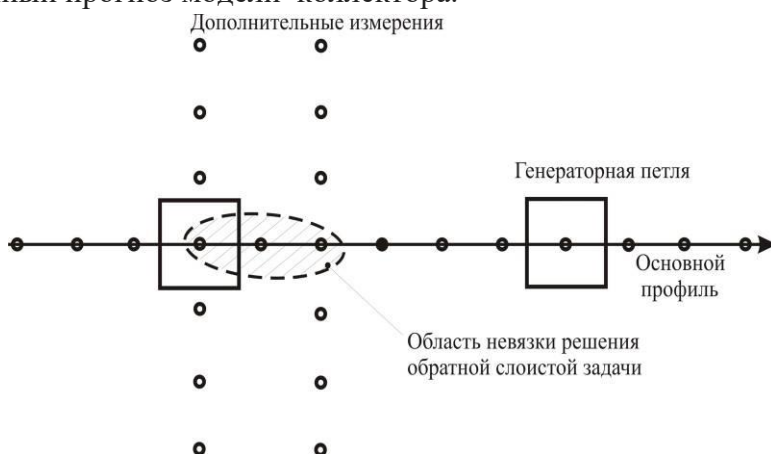


Рис. 1. Адаптивная система наблюдений М-ЗСБ.

## Методика трехмерной интерпретации

Основана на разделении ЭМ-поля на нормальную составляющую влияния среды и аномальную составляющую влияния трехмерных неоднородностей. Одновременный подбор объектов и сигналов по всей пространственно-временной области влияния источника позволяет учитывать неоднородность вмещающей среды, устраняет искажения реконструкции глубинных частей разреза, резко снижает область эквивалентности решения обратной задачи и повышает достоверность прогноза проводимости и глубины залегания коллектора. В большинстве случаев интервальная электрическая проводимость является известной функцией рассольного флюидонасыщения, а флюидонасыщение - характеристикой проницаемости коллектора.

Для электроразведки Восточная Сибирь является относительно благоприятным объектом для решения нефтепоисковых задач. Высокая минерализация пластовых вод обуславливает высокую проводимость пластов-коллекторов, что обеспечивает принципиальную возможность их выделения на фоне высокоомных вмещающих толщ. Разработка технологии ЭМ-разведки (М-ЗСБ+МТЗ) на плотных пространственно-временных системах наблюдения с последующей объемной реконструкцией распределения проводимости геологической среды, как по объектам-помехам в верхней части разреза, так и по целевым глубинным объектам, позволило перейти на новый уровень прогноза рассолонасыщенных коллекторов. Техническим результатом комплексирования сейсморазведки и электроразведки является определение структурных и электрофизических особенностей строения осадочного чехла, в том числе определение положения границ и удельного сопротивления пласта-коллектора, типа флюидонасыщения, в том числе в геологических средах при работах с существенно неоднородной ВЧР или в относительно однородных разрезах, когда пласт-коллектор имеет слабовыраженное проявление в суммарном электромагнитном отклике.

Адаптивная технология, включающая спец систему наблюдений и 3D-интерпретацию данных электроразведки, позволяет успешно решать задачу определения параметров коллектора не только в горизонтально слоистой вмещающей среде, но и в присутствии существенно неоднородной ВЧР, а также при наличии сложных разломов в структуре коллектора и относительно слабых откликах от глубокозалегающих объектов. При этом технология обеспечивает высокую точность определения продольной проводимости  $S_p$  целевого пласта-коллектора и осевой поверхности его геометрии. Под осевой поверхностью пласта здесь понимается поверхность, равноудалённая от обеих границ пласта. Определение положения осевой поверхности пласта базируется на том, что в методах ЗС определяется положение проводящей пленки, эквивалентной целевому пласту. При этом продольная проводимость пленки точно совпадает с продольной проводимостью реального пласта, а связь глубины ее залегания  $h_c(x,y,z)$  в каждой точке с параметрами реального пласта может быть выражена следующей зависимостью:

$$h_c(x, y, z) = \frac{\int_{h_1}^{h_2} z \rho(x, y, z) dz}{\int_{h_1}^{h_2} \rho(x, y, z) dz}$$

где  $h_1, h_2$  - глубины залегания нижней и верхней границ пласта,  $\rho$  - распределение удельного сопротивления внутри пласта по фактически полученным данным электромагнитных зондирований.

В случае однородного пласта эта зависимость точно дает положение его середины. Если пласт по глубине существенно неоднороден, величина  $h_c$  может смещаться от центра пласта в сторону верхней или нижней границы. Например, в случае, когда отличие сопротивления пласта на нижней и верхней границе достигает двух порядков,  $h_c$  сместится от центра на величину  $(h_1-h_2)/4$ , давая погрешность определения осевой линии в 25% мощности пласта.

Для того чтобы перейти к задаче определения типа флюидонасыщения коллектора, необходимо определить значение мощности пласта - коллектора  $h_p$  и величины пластовых скоростей  $v_p$  в выделенном пласте. Для определения мощности  $h_p$  и скорости  $v_p$  - предложено использовать данные сейсморазведки МОГТ, где эти параметры определяются достаточно уверенно при благоприятных соотношениях пластовой скорости  $v_p$  и мощности пласта  $h_p$ .

С помощью данных МОГТ уточняется положение верхней и нижней границ пласта, что дает надежду на определение его мощности. После чего проводят повторную 3D интерпретацию первоначальной геоэлектрической модели среды, что позволяет уточнить распределение удельного сопротивления  $\rho_p$  внутри пласта и, тем самым, уточнить параметры его флюидонасыщения.

### Результаты прогнозирования глубокозалегающих коллекторов в пределах Троицко-Михайловского вала комплексом МОГТ, М-ЗСБ, МТЗ.

В пределах Троицко-Михайловского вала (рисунок 4) был выполнен комплекс геофизических работ: сейсмопрофилерование МОГТ-80, детальная гравиметрия вдоль сейсмопрофилей и электроразведка М-ЗСБ и МТЗ для обоснования нефтегазоперспективных объектов в подсолевых отложениях Троицко-Михайловского вала и пограничных с ним структур. Ключевую роль в прогнозировании проницаемых коллекторов сыграла электроразведка, которой установлено широкое развитие отложений, обладающих высокими коллекторскими свойствами.

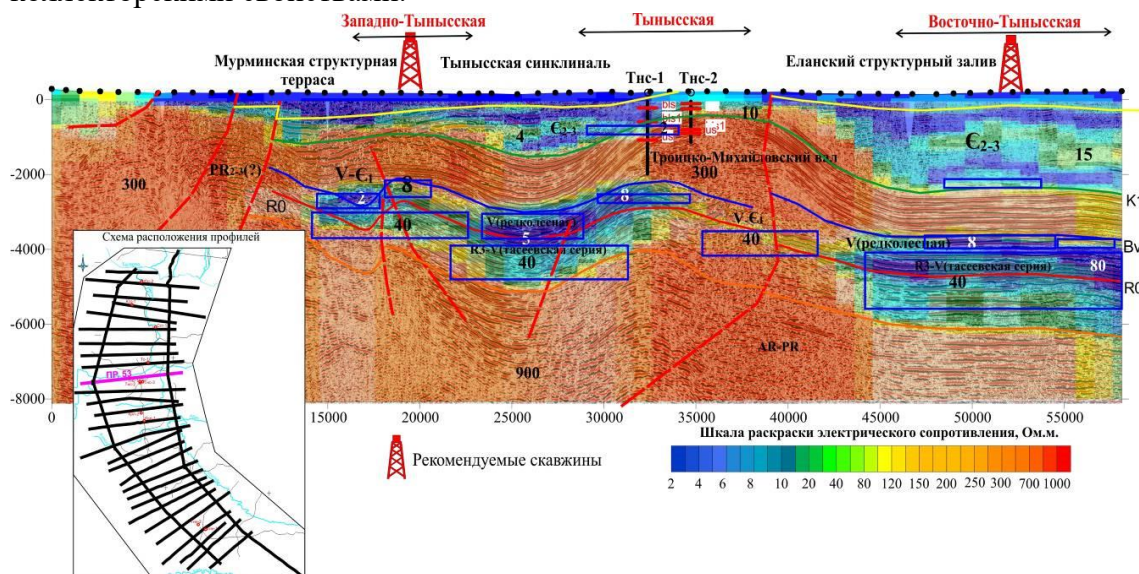


Рис. 2. Троицко-Михайловская площадь. Сейсмогеологический временной и сейсмогеоэлектрический разрезы.

При обработке и интерпретации электроразведочных данных, которые были выполнены по технологии адаптивной ЭМ-разведки (патенты РФ 2411549, 2011) был использован программный комплекс EMDP (ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», НГТУ) для детального

изучения верхней, наиболее неоднородной части разреза, использовались материалы электроразведки М-ЗСБ, а для изучения глубоких горизонтов осадочного чехла и фундамента - МТЗ. Используемый интерпретационный комплекс позволил за счет изучения неоднородностей ВЧР и 3D-моделирования существенно повысить точность построений по данным МТЗ.

Совместная интерпретация данных М-ЗСБ и МТЗ выполнялась поэтапно, что позволило воссоздать объемную геоэлектрическую модель Троицко-Михайловского вала.

**На первом этапе** была проведена 1D-инверсия данных М-ЗСБ с целью определения параметров вмещающей среды и сформирована горизонтально-слоистая модель.

**На втором этапе** выполнялось построение модели верхней части разреза (ВЧР) последовательно для генераторных петель (ГП) по профилю/площади и её коррекция с учетом взаимного влияния среды и соседних ГП.

**На третьем этапе** после построения трехмерной модели ВЧР, выполнялась 3D-интерпретация в программном комплексе EMDP с целью параметризации сопротивлений и глубины залегания целевых горизонтов.

На подсоловом уровне выделено два проводящих комплекса отложений. На большей части площади они хорошо расчленяются – более проводящий верхний, приуроченный к карбонатным венд-нижнекембрийским и терригенным вендским отложениям (редколесная-мошаконская свиты) и нижний, соотносимый с осадками тасеевской серии верхнего рифея – венда. Его проводимость обусловлена наличием коллекторов в тэтэрской, ванаварской (редколесной) свите венда и в кровле рифейских отложений. Они развития высокопроницаемых коллекторов в вендском интервале разреза, в пределах которых выделены ловушки УВ различного типа

## **Выводы**

Задача прогноза проницаемости коллекторов гораздо более однозначно решается за счет привлечения данных МТЗ+М-ЗСБ на основе современной адаптивной трехмерной технологии, позволяющей на количественном уровне учитывать неоднородность ВЧР, что ранее не было доступно.

- На примере работ в пределах Троицко-Михайловского вала показано, что на подсоловом уровне может быть установлено широкое развитие отложений, обладающих высокими коллекторскими свойствами. Электроразведка с одной из основных задач - выявление зон проницаемых коллекторов на основе профильно-площадных МТЗ+М-ЗСБ зондирований и трехмерной интерпретации данных справилась успешно.

- Переинтерпретация сейсмического материала, выполнение структурных построений и увязка сейсмических и ЭМ-разрезов по глубине позволили увязать аномалии проводимости с сейсмическими структурами и выделить ловушки различного типа, перспективные на обнаружение залежей нефти и газа в подсоловых горизонтах венда, что ранее, только по данным МОГТ-2Д, сделать было сложно.

- Опыт проведенных трехмерных ЭМ-исследований (МТЗ+М-ЗСБ) подтвердил надежность адаптивной технологии электроразведки, которая позволяет выполнять

реконструкцию неоднородной ВЧР и учитывать конкретные условия сложно-построенного разреза до глубин не менее 5 км.

- При проведении нефтепоисковых работ результаты ЭМ-зондирований (МТЗ+М-ЗСБ) эффективно дополняют сейсморазведочные данные, позволяя получать информацию о глубине залегания консолидированного фундамента, сопротивлении осадочных толщ, степени минерализации пластовых вод, литологическом составе, давать прогноз вещества и коллекторских свойств этих толщ.

### **Список литературы**

*Мельников Н.В., Ефимов А.С., Беспечный В.Н.* Троицко-Михайловский солевой диапировый вал в кембрийской толще на западе Присяжно-Енисейской синеклизы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири.-2016.-№1.

*Тригубович Г.М., Ефимов А.С., Махнач Е.Н., Белая А.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В.* Адаптивная 3D-электроразведка М-ЗСБ, и МТЗ при прогнозировании нефтегазовых коллекторов в Восточной Сибири. // Геомодель-2014

*Тригубович Г.М., Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г.* Способ геоэлектроразведки. Патент Российской Федерации на изобретение № 2411549. Приоритет – 06.10.2009, выдан – 10.02.2011

*Тригубович Г. М., Филатов В. В., Багаева Т. Н., Яковлев А. Г., Яковлев Д.В., Агафонов Ю. А., Шарлов М. В.* Патент «Способ прогноза емкостных параметров и типа флюидонасыщения коллекторов», заявка на патент РФ № 2013137532, дата подачи 09. 08. 2013 г., решение о выдаче патента РФ от 10.09.2014 года.