

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЗОНДИРОВАНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ТОКАМИ (ЗВТ) ПРИ РАБОТАХ НА НЕФТЯНЫХ И РУДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Злобинский А.В.<sup>1</sup>, Балашов Б.П.<sup>1</sup>, Могилатов В.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Компания «НТК ЗаВеТ-ГЕО», Новосибирск,

<sup>2</sup> – Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск.

К настоящему времени ЗВТ из стадии экспериментальной развился в современный геофизический метод. Метод ЗВТ основан на использовании в качестве источника электромагнитного поля кругового электрического диполя (КЭД), который создает в среде переменное поле ТМ-поляризации, почти не используемого до появления ЗВТ [3,4,5]. Сейчас используется уже третье поколение аппаратуры и пятое поколение программного обеспечения, а также накоплен большой опыт обработки и интерпретации полевых материалов. Проведено уже около 30 работ методом ЗВТ в различных точках земного шара. Работы методом ЗВТ были направлены на изучение нефтепроявлений и рудных объектов. В данном сообщении обсуждаются по следам последних работ применение комплекса геоэлектрических методов, основным из которых является ЗВТ, для определения содержания нефти в сеймоподнятии, а также результаты работ на рудном объекте методом ЗВТ с измерением нескольких компонент электромагнитного поля.

*Ключевые слова:* индукционная электроразведка, зондирования вертикальными токами, круговой электрический диполь, ТМ-поле.

Технология метода ЗВТ – обширные, но плотные площадные наблюдения при фиксированном источнике. Не всякий источник годится для этого. Традиционные источники (незаземленная петля, заземленная электрическая линия) не способны сделать подобную технологию эффективной, индуцируя на всей площади мощный, изменчивый отклик, в основном, от одномерной вмещающей толщи.

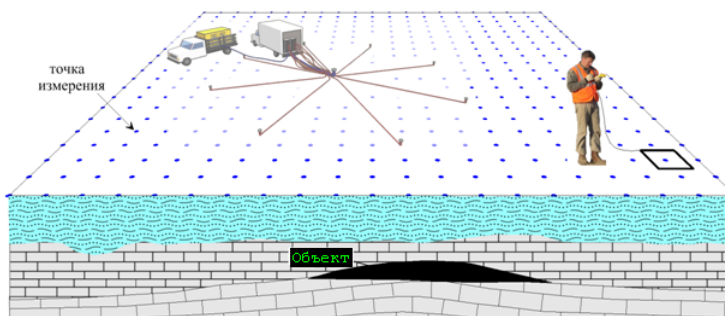


Рис.1. Общая схема работ зондированиями вертикальными токами.

При работах в рудных районах измеряемый сигнал хорошо объясняется изменением удельного сопротивления среды [2,5]. В некоторых случаях удается проводить трехмерную инверсию сигнала и получать в качестве результата работ 3D модель изучаемого объекта. К настоящему моменту у нас есть опыт проведения работ с измерением до 3-ех компонент электромагнитного поля -  $\partial B_z / \partial t$ ,  $\partial B_\varphi / \partial t$ ,  $E_r$ . Такой набор данных при сопоставлении и по совокупности дает возможность точно выявлять и идентифицировать локальный объект проводимости по полевому материалу. В нефтепоисковом применении ЗВТ-М обнаружился довольно непонятный, хотя и крайне благоприятный экспериментальный факт. Во всех работах ЗВТ, которые были направлены на изучение нефтяных месторождений, залежи нефти проявляют себя в площадном сигнале ЗВТ областью повышенных значений ЭДС одного знака (измерения  $dB_z/dt$  индуктивным датчиком) [1,6]. Контур отмечается сменой знака. Площадной сигнал ЗВТ своим рельефом (положительные значения сигналов) указывает на залежи и сопутствующие им зоны миграции углеводородов. Эти результаты верифицированы сопоставлением с другими методами (особенно интересно – с данными геохимических исследований на поверхности), а также с существующим и последующим бурением.

## Применение ЗВТ в комплексе с другими электроразведочными методами при обследовании сейсмоподнятия

Работы проводились в 2011 году по заказу ООО «ТНГ-Казаньгеофизика» на территории Татарстана. Целью работ была оценка наличия углеводородов в выявленной сейморазведкой положительной структуре, и оконтуривание нефтяной залежи, если углеводороды будут выявлены. Работы проводились недалеко от известного нефтяного месторождения.

Комплекс работ различными методами электроразведки позволяет изучить различные электродинамические параметры среды, а не только изменение удельного сопротивления в среде. Тем не менее, метод направленный на изучение удельного сопротивления вмещающего разреза в нашем наборе должен присутствовать, и таким методом было зондирование становлением от горизонтальной линии – установка типа АВ- $q$ . В дальнейшем данные, полученные с установкой АВ- $q$ , мы использовали для полноценной обработки результатов других методов. Зондирования установкой АВ- $q$  были проведены вдоль одного профиля, который пересекал исследуемое поднятие и известное месторождение.

Изучение параметров вызванной поляризации (ВП) повышает достоверность интерпретации электроразведочных данных при поисках углеводородов [7]. Для определения поляризации среды мы использовали метод зондирования встречными линиями (ЗВЛ, питающая установка АВА). Выбор метода ЗВЛ был сделан на основании его гораздо большей чувствительности к параметрам поляризации, чем традиционные методы электроразведки ВП. Для интерпретации данных ЗВЛ применялась модель Cole-Cole частотной дисперсии сопротивления среды. Однако сигнал ЗВЛ, как и сигналы большинства методов электроразведки, усредняет информацию о среде между точкой измерения и генератором и не способен дать такую детальную площадную информацию, как это возможно в ЗВТ-М (зондирования вертикальными токами с магнитным приемом). Точки измерений электрической компоненты  $E_x$  от встречных линий совпадали с точками измерений установкой АВ- $q$ . Пикеты, в которых проводились измерения, находились на разном удалении от центров встречных линий. После проведения измерений была проведена 1D интерпретация параметров среды с учетом параметров поляризации по формуле Cole-Cole. Модель по удельным сопротивлениям строилась на основе результатов 1-го этапа работ установкой АВ- $q$ .

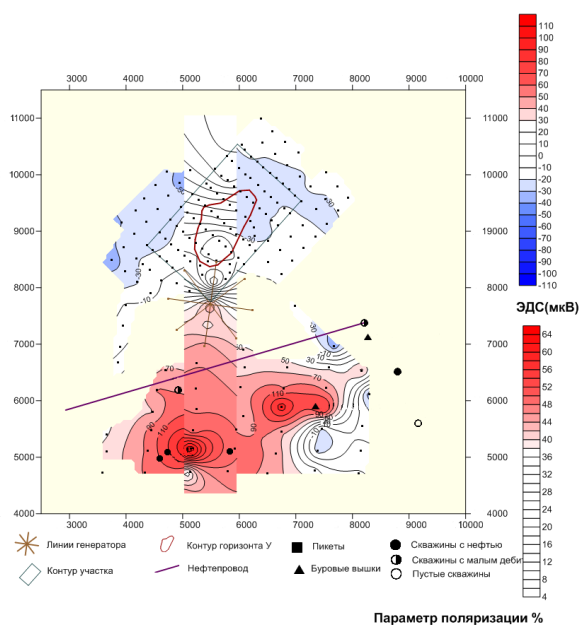


Рис.2. Площадные результаты работ ЗВТ-М на времени 32.2 мс и полоса изолиний параметра поляризации отстроена вдоль профиля измерения сигнала ЗВЛ

Третьим в нашем комплексе являлся метод ЗВТ-М. Работы ЗВТ-М дают контур нефтепроявлений. Этот контур определяется не только и не столько непосредственно контуром самой залежи, сколько контуром ореольных изменений геосреды над залежью. Эта информация очень ценна, но дальнейшая интерпретация (распределение по глубине) затруднена из-за неясности

природы сигнала. Обратим внимание, в отличие от традиционных методов электроразведки зондированиями становлением (ЗС), сигнал в которых непосредственно определяется вмещающей толщей, сигнал ЗВТ-М *дает информацию, в основном, о среде, находящейся под точкой измерения*, поэтому увеличение плотности сети наблюдений в ЗВТ-М имеет смысл. Минимальное расстояние в этой работе между пикетами было 150 м, а между профилями 300 м. Были построены карты сигналов на временах от 10 мс до 100 мс.

На рис.2 приведены площадные результаты работ ЗВТ-М на времени 32.2 мс и полоса изолиний параметра поляризации отстроенная вдоль профиля измерения сигнала ЗВЛ. Зоны перспективные на наличие нефти совпадают по методу ЗВТ-М и ЗВЛ. Результаты эти отрицают перспективность исследуемого сейсмоподнятия. Важным выводом является то, что интересующие заказчика работ результаты, получены по изучению 2-ух независимых геоэлектрических параметров среды. Т.е. мы повышаем достоверность наших выводов, изучая различные независимые геоэлектрические параметры среды, и уже на основе комплексного анализа параметров среды определяем зоны наиболее перспективных участков нефтепроявлений.

Еще одной причиной проведения работ с помощью комплекса ЗВТ-ЗВЛ-ЗС является то, что комплекс органически сочетается в аппаратном плане. Вся аппаратура, необходимая для ЗВЛ и ЗС, является частью и элементами аппаратуры ЗВТ. Сообща используются и элементы приемно-питающих установок. При проведении данных работ мы применяли зондирующую установку, состоящую из восьми стабилизаторов тока ГТЕ-10с, сетевого блока питания, блока управления. Измерительные комплекты состояли из измерителей «СЕИ-7» для измерения компоненты  $\partial B_z / \partial t$ . Эта аппаратура является составной частью аппаратуры серии «Цикл».

### **Использование ЗВТ на рудных объектах**

Рассмотрим недавние (2012 г.) работы в Якутии на кимберлитовые трубки. Работы проводились в рамках договора с НИГП АК «АЛРОСА» (ОАО). Эти работы интересны тем, что в них впервые по плотной сети измерялись не только компонента  $\partial B_z / \partial t$ , но и горизонтальная компонента  $\partial B_\phi / \partial t$ . Кроме того, мы дополнили работу двумя профилями измерений компоненты  $E_r$ . В результате этих работ мы смогли локализовать трубки, которые являются слабоконтрастными объектами и практически не выделяются другими методами электроразведки. По результатам измерений компонент  $\partial B_z / \partial t$  и  $\partial B_\phi / \partial t$  было выявлено 4 аномалии, но только 2 из этих аномалий совпали в сигналах компонент  $\partial B_z / \partial t$  и  $\partial B_\phi / \partial t$ . Эти две аномалии были подтверждены и измерениями сигналов  $E_r$ . Таким образом, информация по измерениям каждой новой компоненты отбраковывала некоторые аномалии и дополняла исследования важной информацией.

Неоднократно проводимое нами численное моделирование и опыт проведения большого количества работ методом ЗВТ показывает [2,5], что неоднородности среды по сопротивлению проявляются в поле КЭД гораздо сильнее, чем при использовании традиционных источников – горизонтальной линии или петли. Кроме того на основании моделирования и опыта работ ЗВТ можно сделать заключение что измеряемые сигналы ( $\partial B_z / \partial t$  и  $\partial B_\phi / \partial t$ ) определяются неоднородностями, находящимися вблизи точки измерения. В случае же применения горизонтальной линии или токовой петли фиксируется информация обо всех объектах, которые находятся между точкой измерения и источником поля. Более того, во многих случаях информация о трехмерном объекте, который находится вблизи источника, преобладает в удаленной точке измерения над информацией об объекте находящимся вблизи точки измерения. В сигналах ЗВТ информация о неоднородностях хорошо разделяется не только во времени, но и в пространстве. Эти выводы подтверждаются в рассматриваемом примере работ. На рис.3а приведены аномалии 1, 2, 3 выявленные по площадным наблюдениям компоненты  $\partial B_z / \partial t$ . На рис.3б приведены аномалии 1, 2, 4 выявленные по площадным наблюдениям компоненты  $\partial B_\phi / \partial t$ . Аномалии 1, 2 подтверждаются. Эти аномалии также подтверждаются измерениями электрической ( $E_r$ ) компоненты. Т.е. аномалии 1 и 2 мы предлагаем, как основной результат наших работ и связываем их с трубками. На опыте данных работ мы можем сделать вывод о том, что измерения разных компонент электромагнитного поля хорошо дополняют друг друга и позволяют отбраковывать аномалии, выявленные в измерениях отдельных компонент.

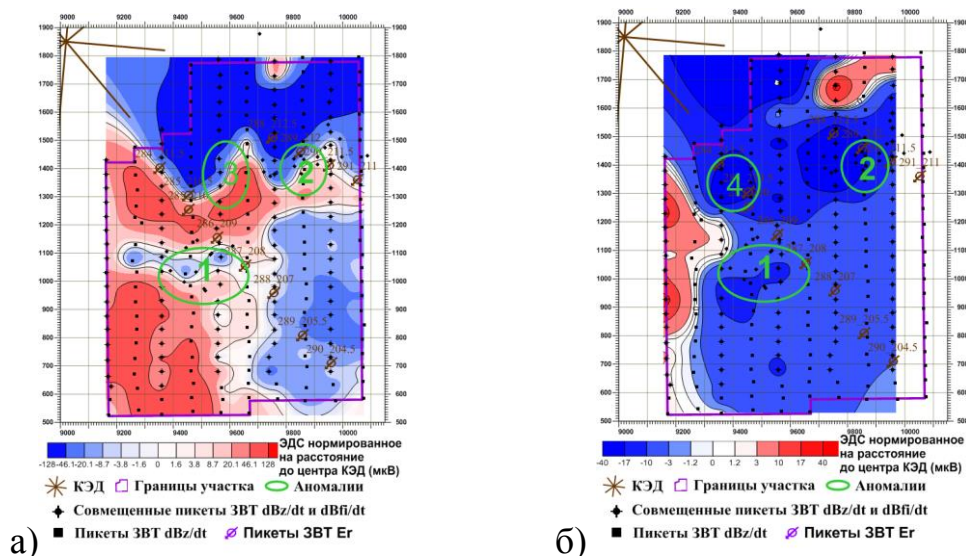


Рис.3. а - площадной сигнал ЗВТ ( $\partial B_z / \partial t$ ) на времени 93 мкс и три выделенные аномалии. б - измерения сигнала  $\partial B_\phi / \partial t$  на времени 75 мкс и три выделенные аномалии

В этих работах сигнал на одном времени меняется в широких пределах. Геофизические выводы при таких работах делаются на основании изменений сигнала в разы или даже на основании того, что сигнал меняет знак. ЗВТ позволяет оперативно реализовать плотную площадную систему наблюдений и она имеет смысл. Такого рода данные весьма устойчивы к искажениям сигнала на отдельных точках наблюдения.

### Заключение

На рассмотренных примерах недавних работ метод ЗВТ демонстрирует высокую эффективность при применении в исследованиях рудных и нефтяных объектов. Результативность и достоверность таких исследований существенно возрастают, естественно, при расширении сбора данных метода ЗВТ (использование всех компонент поля), а также и при комплексировании ЗВТ с другими, более традиционными методами электроразведки. В рассмотренном выше примере перспективные зоны месторождений нефти были выявлены на основании двух методов электроразведки – ЗВТ-М и ЗВЛ, которые изучают *различные* геоэлектрические параметры среды. В рудных работах принимаемые сигналы определяются неоднородностями, находящимися вблизи точки измерения. В сигналах ЗВТ информация о локальных объектах хорошо разделяется не только во времени, но и в пространстве. Измеряемые сигналы от разных компонент электромагнитного поля хорошо дополняют друг друга и позволяют отбраковывать аномалии, выявленные в измерениях отдельных компонент.

1. Балашов Б. П., Мухамадиев Р. С., Могилатов В. С., Андреев Д. С., Злобинский А. В., Шишкин В. К., Стогний В. В., 2011, Оконтуривание залежей углеводородов с использованием зондирования вертикальными токами: Геофизика, 1, 61-66.
2. Злобинский А.В., Квашнин К.А., Могилатов В.С., 2010, Электроразведка методом зондирования вертикальными токами применительно к рудной геофизике : Геофизика, 6, 53-57.
3. Могилатов В.С. Импульсная электроразведка: Учеб. Пособие / НГУ. Новосибирск, 2002. 208 с.
4. Могилатов В.С., 1992, Круговой электрический диполь новый источник для электроразведки: Изв. РАН. Сер. Физика Земли, 6, 97-105.
5. Могилатов В.С., Балашов Б.П., 2005, Зондирования вертикальными токами: Новосибирск, Издательство СО РАН, филиал «Гео».
6. Могилатов В.С., Мухамадиев Р.С., Балашов Б.П., Смоленцев В.В., Феофилов С.А., Темирбулатов Ш.С., Потапов В.В., 2003, Результаты работ по оконтуриванию залежей нефти в Татарстане методом зондирования вертикальными токами: Геофизика, 5, 47-54.
7. Моисеев В.С., 2002, Метод вызванной поляризации при поисках нефтеперспективных площадей: Новосибирск, Наука.