

1-3

45,46

# Геофизический



ИНГГ



# ЖУРНАЛ

2009  
П Е Р В А Я

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ЗОНДИРУЮЩИХ СИСТЕМ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



# 4

2009

ТОМ 31

# Geophysical journal

# Методы нестационарного ТМ-поля в геоэлектрике с контролируемым источником. Проблемы и результаты

© В. С. Могилатов, Б. П. Балашов, В. В. Потапов, 2009

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,  
Новосибирск, Россия

Поступила 18 мая 2009 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Обговорено нагромаджений досвід застосування імпульсної поляризації електромагнітного поля, або нестационарного поля електричного типу. Подібної поляризації досягають за збудження вертикальним електричним диполем або із земної поверхні — коловим диполем.

Know-how of applying impulse electrical exploration, using transverse magnetic (TM) polarization of electromagnetic field or of non-stationary field of electric type has been considered. Such polarization is obtained in case of excitation by vertical electric dipole or, from the day surface, by circular electric dipole.

В электроразведке с контролируруемыми источниками понятия ТЕ- и ТМ-поляризации, заимствованные из магнитотеллурики и имеющие там ясный смысл, до недавнего времени не были широко приняты. Анализ контролируемой геоэлектрики с точки зрения разделения геоэлектромагнитного поля на поля электрического и магнитного типов приведен, например, в работе [Могилатов, 1998]. Возможно выстроить базовый (одномерный) математический аппарат таким образом, что разделение поля произвольного источника на ТЕ- и ТМ-поляризации становится очевидным фактом и хорошо видна связь возбуждаемых мод общего электромагнитного поля со свойствами источника (рис. 1).

Схема на рис. 1, в частности, указывает на возможность возбуждения "чистого" ТМ-поля с помощью источника, обозначенного вопросительным знаком. Но ответ уже известен: распределение тока в таком источнике должно обладать свойством

$$\text{rot}_z \mathbf{j}_c(x, y) = 0, \quad (1)$$

и следует дополнить набор основных источ-

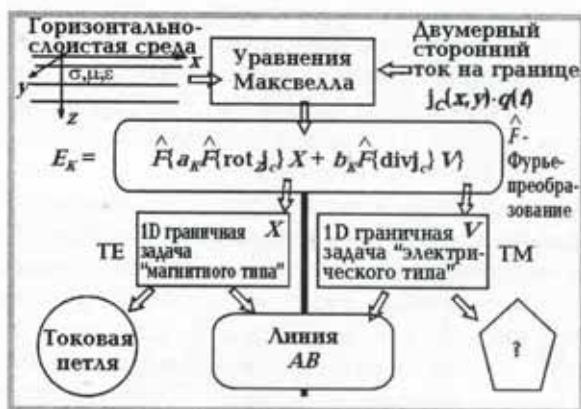


Рис. 1. "Дуальная" физико-математическая модель электроразведки с контролируемыми источниками.

ников для электроразведки новым электрическим диполем — круговым (КЭД) (рис. 2).

Сейчас уже можно говорить об импульсной ТМ-электроразведке, отделив ее от традиционной ТЕ-электроразведки. Например, есть различия, связанные с применением линии АВ, возбуждающей поля обеих поляризаций. В таком случае при измерениях магнит-

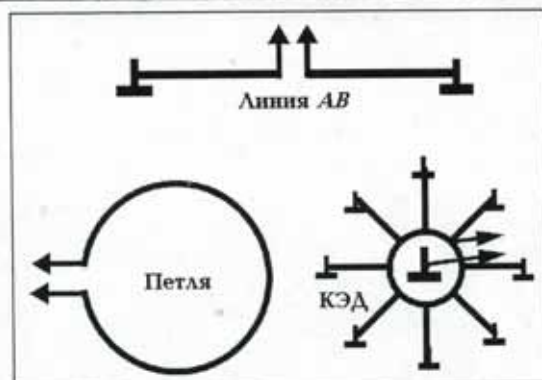


Рис. 2. Основные источники для наземной электроразведки.

ных компонент используется ТЕ-поле, при измерении вертикальной электрической компоненты — ТМ-поле. Заметим, что, если исследуются латеральные нарушения и разделения мод не происходит, линия становится весьма неудобным источником. В наземном варианте чистое ТМ-поле возбуждается только посредством КЭД, но если есть возможность создать вертикальную электрическую линию (ВЭЛ — море, скважина), то такой источник (ВЭЛ, ВЭД) также служит источником ТМ-поля и аналогом КЭД (при определенном соотношении моментов поля совпадают на поздней стадии).

В последнее время, наметилась тенденция связывать ТМ-электроразведку (в морском варианте) именно с ВЭД. Кстати, первое предложение (но не в контексте ТМ-электроразведки) по использованию ВЭЛ в море появилось еще в 1961 г. в виде авторского свидетельства О. Назаренко. Можно привести анализ, согласно которому ВЭД (ВЭЛ) представляет собой весьма ненадежный источник ТМ-поля, и следует применять КЭД (опуская его на морское дно).

Переходный ТМ-процесс радикально отличается от широко известного ТЕ-процесса. Например, ТМ-поле даже на поздней стадии не определяется только суммарной продольной проводимостью разреза. На земной поверхности горизонтально-слоистой среды регистрируется только радиальный электрический градиент, а магнитные компоненты отсутствуют. Именно отсутствие нормального (от одномерной среды) магнитного отклика позволило предложить новый метод изучения трехмерной структуры разреза, прежде всего, с целью определения углеводородных залежей. Этот метод (зондирование вертикаль-

ными токами с магнитным приемом — ЗВТ-М) весьма тонок, поскольку в отклике отсутствует одномерная составляющая по любому параметру — удельное сопротивление, параметры вызванной поляризации (ВП), их анизотропии (рис. 3).

Питающая установка — это круговой электрический диполь с радиусом, соответствующим глубине исследований. В зависимости от глубины и протяженности объекта радиус (или длина каждой из 8 радиальных линий) может составлять от 100 м (малоглубинный рудный объект) до 1 км (площадные нефтепоисковые работы). Идея создания такого источника подразумевает, что геометрия его правильная, а токи в лучах выровнены, причем в импульсном режиме. Автоматическая система поддержания равных токов в линиях и есть специфическая аппаратура ЗВТ (рис. 4). Измерительный комплекс состоит из компактного индукционного датчика и измерителя переходного сигнала — стандартных элементов аппаратуры методов переходных процессов или ЗСБ. Комплекс (один или несколько) свободно перемещается по площади с использованием спутниковой пространственно-временной привязки к источнику. Удаление от источника составляет до 5 радиусов источника. Таким образом, при закрепленном источнике радиусом 1 км может быть оперативно исследована площадь до 100 км<sup>2</sup>.

В методе ЗВТ-М впервые в электроразведке с контролируемыми источниками по необходимости и обоснованно реализуется плотный площадной сбор информации при фиксированном источнике. Такие площадные работы, как известно, проводились и с традиционными источниками, но преимущественно одномерный характер сигналов делает такие методики довольно бессмысленными.

Площадной сигнал ЗВТ, представленный на оптимальном фиксированном времени, свободный от фона вмещающей среды и целиком обязанный латеральным неоднородностям, с которыми связан пространственно, обладает высокой визуализирующей способностью. Дальнейшая интерпретация (инверсия) требует исключительно трехмерного подхода.

За 15 лет полевого опробования метода накоплен значительный опыт. Все результаты разделяются на два ряда. В работах на рудных объектах площадной сигнал ЗВТ-М хорошо описывается влиянием локального проводника. Имеющиеся у нас средства трехмерного (по проводимости) моделирования (в

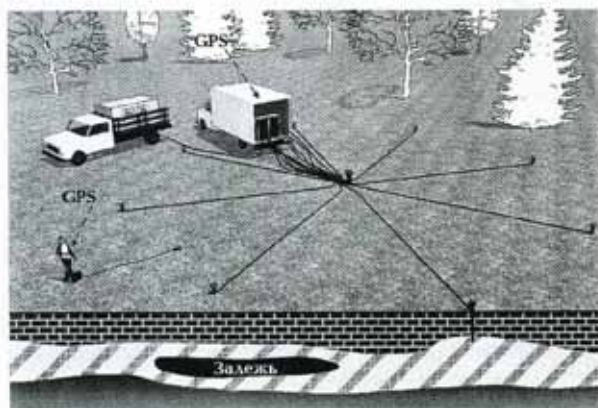


Рис. 3. Общая схема работ методом ЗВТ-М.

борновском приближении и методом конечных элементов) позволяют качественно и количественно объяснить результаты измерений. В этом случае все процессы обуславливаются распределением проводимости, в основном устанавливаются вихревые токи, и имеет место чистое электромагнитное зондирование во временной области. Время можно трансформировать в глубину, пользуясь представлением о скин-слое, и получать вполне определенный и близкий к реальному объекту электромагнитный образ. На рис. 5, 6 показаны примеры таких работ, проведенных в 2008 г.

Иной характер имеют результаты применения ЗВТ для поисков и разведки углеводо-

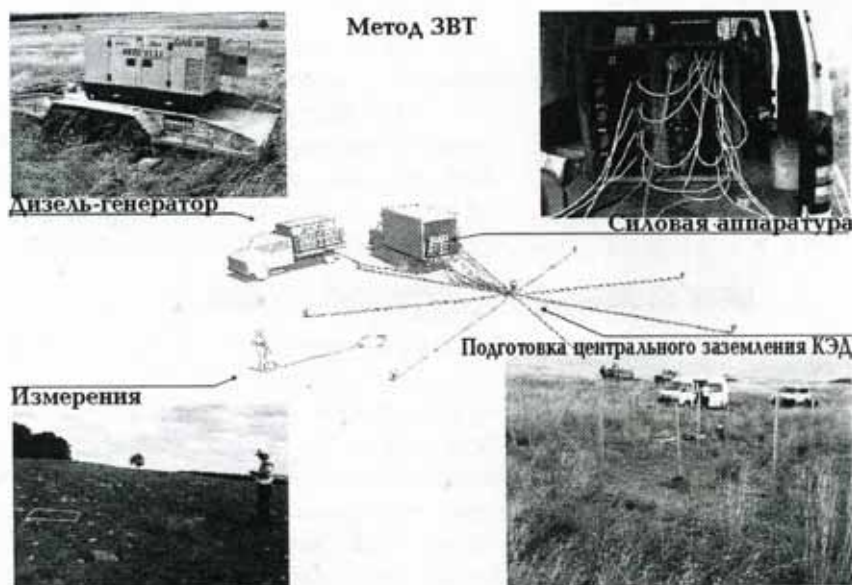


Рис. 4. Элементы технологии ЗВТ-М (работы в Австралии, 2008 г.).

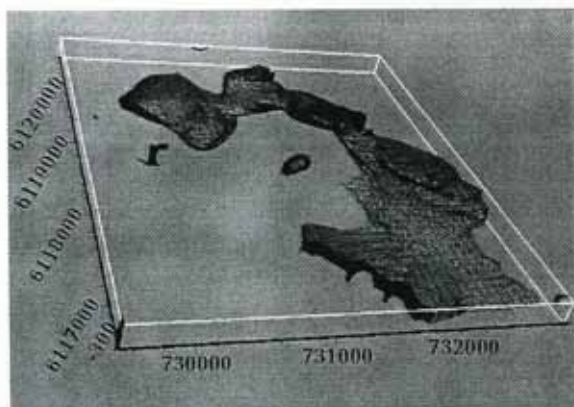


Рис. 5. Результаты работ ЗВТ-М на руду (медно-цинковую) в 3D представлении (Австралия, Woodlawn).

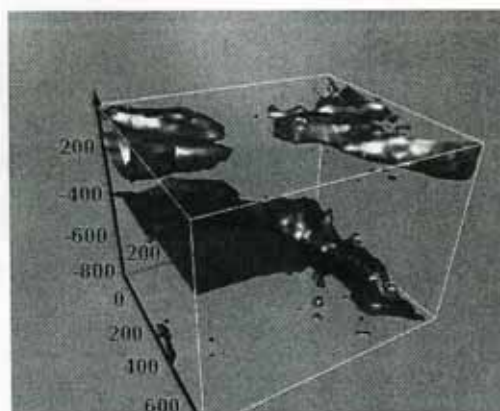


Рис. 6. Результаты работ ЗВТ-М на руду (никель) в 3D представлении (Камчатка).

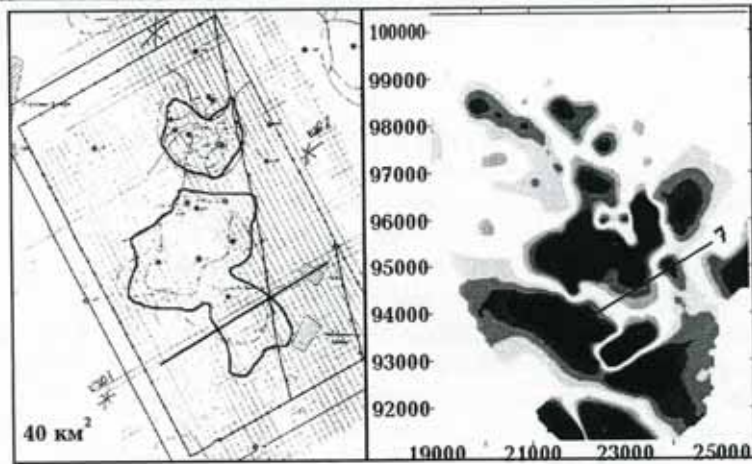


Рис. 7. Контур по другим данным и площадной сигнал ЗВТ-М на времени 21 мс. Краснооктябрьская залежь. Красный цвет — зона положительных значений сигнала.

родов. Работы методом ЗВТ-М на нефть и газ выполнялись в основном в Татарстане на Удобновской, Шуганской, Акбязовской и Краснооктябрьской залежах [Могилатов и др., 2003]. Во всех случаях были получены площадные сигналы, рельеф которых хорошо согласовывался с другими данными о контуре нефтегазоносности. Подчеркнем, что непосредственно наблюдаемый сигнал различался своей полярностью в пределах залежи и за ее контуром (рис. 7).

Таким образом, был обнаружен чрезвычайно благоприятный экспериментальный факт. Площадная картина, показанная, например, на рис. 7, мало изменялась со временем и наблюдалась на самых ранних временах. Кроме того, наша система подачи и выравнивания тока была еще слабой, посылали менее 4 А в луч. Согласно расчетам, явно не достигалась глубинность, которая была бы достаточной для исследования самой залежи.

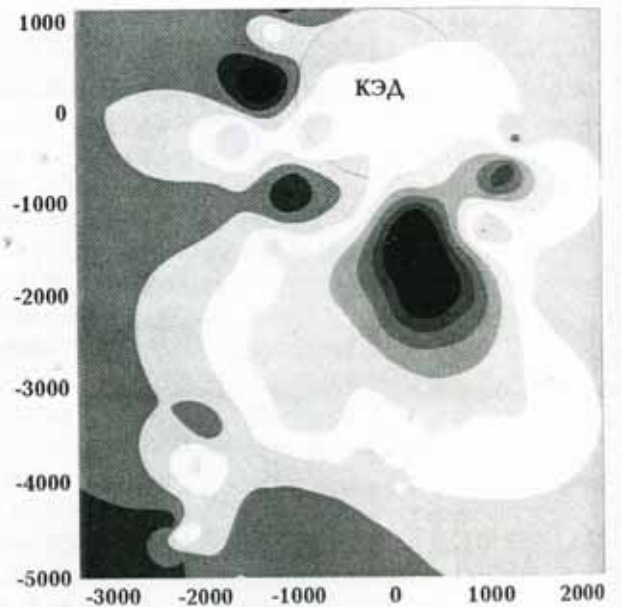


Рис. 8. Площадной сигнал ЗВТ-М на времени 4 мс. Шадкинский участок.

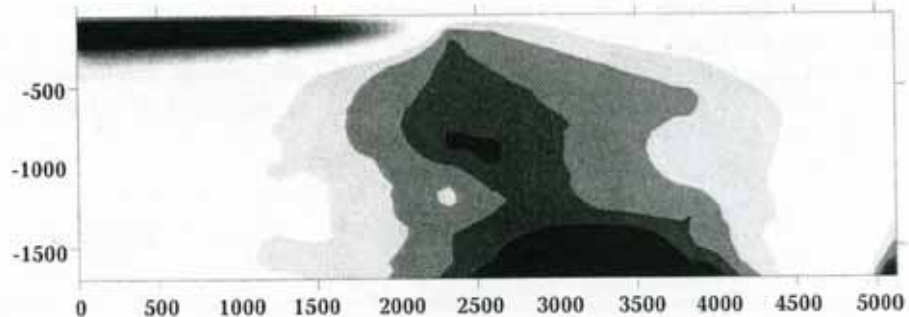


Рис. 9. Кажущийся разрез. Шадкинский участок.

Опираясь на предыдущий опыт, в основном из практики индуктивных зондирований (ЗСБ), широко применяемых также в Татарстане, мы весьма небрежно отнеслись к самому факту наличия ореолов над залежами и к их роли в формировании электромагнитного отклика. Однако впоследствии пришли к выводу, что чем-либо другим сигналы ЗВТ-М объяснить нельзя.

Вначале мы рассматривали ореолы как консолидированное изменение проводимости над залежью. Но трехмерное моделирование не подтверждает этого. Площадные сигналы в таком случае имеют принципиально другой вид (двуполярный над самим ореолом). Пришлось вспомнить, что магнитный сигнал ЗВТ ( $dB_z/dt$ ) от сугубо гальванического источника (КЭД) обусловлен любыми латеральными изменениями не только проводимости, но и анизотропии проводимости, параметров ВП, а также анизотропных свойств параметров ВП и др. Возможно, мы также наблюдаем эффекты, не учитываемые в традиционной электроразведке в силу наличия мощного фона от продольной проводимости (неких "неклассических" эффектов). Ввиду этого ореольные изменения скорее всего имеют сложную пространственную структуру, фрагментарную и многопараметрическую. Подобное мы моделировать не умеем, а если бы и получили такие средства моделирования, то применить их тоже было бы затруднительно из-за неопределенности модели.

Достоверность данных ЗВТ-М и специфических изменений геоэлектрической обстановки, связанных с наличием залежи нефти, косвенно подтверждаются результатами работ на Акбязовской площади. Здесь сейсмическими методами выявлена Боярская структура. Однако бурение не обнаружило нефти. Работы методом ЗВТ-М также не выявили какой-либо заметной аномалии. Последующее бурение на

упомянутых выше залежах подтвердило "углеводородное" происхождение аномалий ЗВТ-М, но не на 100%. В некоторых случаях вместо притоков нефти были получены притоки воды. Одно из возможных объяснений (благоприятное, разумеется, для метода) состоит в том, что контур ореола, особенно на ранних временах, не является контуром самой залежи. Ореол может "отклоняться" вследствие структурных тектонических нарушений. Необходимо увеличивать глубинность исследований и прослеживать ореолы до самой залежи.

В начале 2009 г. в связи с испытаниями новой аппаратуры ЗВТ (до 20 А в луч КЭД и общий — 160 А) в Татарстане был проведен небольшой объем геофизических работ на Шадкинском поднятии (рис. 8). В одной скважине были получены притоки нефти.

Новым в этих работах была большая глубинность, и мы смогли проследить ореольные изменения, по-видимому, до самой залежи. На рис. 9 видно, что ореол действительно смещается по горизонтали. Интересное подтверждение аномалии мы получили совсем неожиданно. Здесь были проведены геохимические работы, и геохимическая аномалия оказалась весьма близка к аномалии ЗВТ-М (см. рис. 8). Прослеженный нами ореол вышел на земную поверхность!

Итак, методику ЗВТ-М можно характеризовать как прямой способ определения залежей углеводородов, основанный на непосредственной фиксации сигналов от изменений контуров ореолов над залежью. Эти изменения весьма разнообразны, изменение же проводимости не представляет особого интереса, и "воспользоваться" указанными факторами позволяет только применение ТМ-поляризации геоэлектромагнитного поля.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-05-00663-а.*

### Список литературы

Могилатов В. С. Возбуждение электромагнитного поля в слоистой Земле горизонтальным токовым листом // Физика Земли. — 1998. — № 5. — С. 45—53.

Могилатов В. С., Мухамадиев Р. С., Балашов Б. П.,

Смоленцев В. В., Феофилов С. А., Темирбулатов Ш. С., Потапов В. В. Результаты работ по оконтуриванию залежей нефти в Татарстане методом зондирования вертикальными токами // Геофизика. — 2003. — № 5. — С. 47—54.