

Submission ID: 44620

## Measurements of Electrical Components with Using Circular Electric Dipole

A. Zlobinskiy\* («STC ZaVeT-GEO»), V. Mogilatov (Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS)

### SUMMARY

---

There are more challenges for geophysicists. To expand electrical prospecting capabilities necessary to use an electromagnetic field Tm-polarization. An important part of the application field of Tm-polarization is the measurements of the electrical component of the electromagnetic field, which has unique properties.

## Введение

Задачи, которые ставятся перед геофизиками, становятся все сложнее. Заказчики требуют большую точность определения границ объектов при работах на все больших глубинах. Развитие методов электроразведки использующих традиционные источники электромагнитного поля, такие как петля и горизонтальная линии, часто не позволяют решать эти задачи. Несмотря на все усилия, по развитию математического обеспечения для интерпретации результатов электроразведочных измерений и совершенствованию методик работ, остается неэффективным возбуждение электромагнитного поля в среде. В качестве альтернативы классическим источникам возбуждения поля в море используют вертикальную линию, а на поверхности земли или водоема используют круговой электрический диполь. Вертикальная линия и круговой электрический диполь позволяют возбуждать в среде поле только ТМ-поляризации, которое раньше слабо использовалось в практике глубинной электроразведки. Работы с использованием кругового электрического диполя называются зондированием вертикальными токами – ЗВТ. При работах ЗВТ чаще всего измерялось изменение магнитного поля во времени  $\partial B_z / \partial t$ . Но при работах методом ЗВТ часто эффективно измерение электрических компонент.

## Использование электрической компоненты в методе ЗВТ

Метод ЗВТ основан на использовании в качестве источника электромагнитного поля кругового электрического диполя - КЭД. На практике КЭД это 8 горизонтальных линий, один конец которых находится в центре окружности, а вторые концы равномерно распределены по окружности. Во все 8 горизонтальных линий одновременно подается ток одинаковой амплитуды. Такой источник был предложен в конце 20 века [Mogilatov, V., 1996., Mogilatov, V., Balashov, B., 1996.]. Главной идеей использования КЭД является сведение к минимуму влияния поля ТЕ-поляризации, и использование поля только ТМ-поляризации. Такой подход позволяет получить целый ряд интересных свойств, невозможных при применении классических источников. Одним из интересных свойств является отсутствие на поверхности горизонтально-слоистой среды магнитного поля. Об общих свойствах такого рода подхода написан целый ряд статей, например [Могилатов В.С., Злобинский А.В., 2014, Mogilatov V. and etc. 2016].

Остановимся на измерении электрической компоненты электромагнитного поля. С измерения электрического поля начиналось развитие ЗВТ. В последующих работах в основном измерялись магнитные компоненты, большинство публикаций результатов полевых работ [Злобинский А.В., Могилатов В.С. 2014, Могилатов В.С., Злобинский А.В., 2013], основано на измерении магнитных компонент. При использовании ЗВТ важно и измерение электрического градиента. В цилиндрической системе координат электрическое поле КЭД в одномерной среде имеет компоненты  $E_r$  и  $E_z$ . На дневной поверхности – только  $E_r$ . Электрическое поле КЭД на дневной поверхности является «нормальным», одномерного происхождения. Данные измерений приемной радиальной линией позволяют провести послойную интерпретацию, т. е. компонента  $E_r$  является откликом одномерной вмещающей среды при работе с КЭД в качестве источника. У электрической компоненты поля КЭД есть также ряд очень интересных и полезных свойств, необычных для классической электроразведки. Обсудим некоторые из них.

1. Радиальная компонента электрического поля обладает высокой чувствительностью к слоям с высоким удельным сопротивлением. Повышение удельного сопротивления среды обычно связывают с наличием нефти в пластах. На использовании именно этого свойства основана технология оконтуривания нефтяных залежей с помощью вертикальной линии в глубоком море. [Helwig Stefan L и др. 2013].

2. Радиальная компонента электрического поля обладает высокой чувствительностью к изменению поляризуемости среды. Повышение поляризуемости среды связывают с наличием углеводородов. Метод ДНМЭ основан на выделении электромагнитного поля ТМ-поляризации из сигнала, используя в качестве источника обычную горизонтальную линию. [Veeken P. et al. (2009)].

3. Измерение электрической компоненты электромагнитного поля в некоторых случаях позволяет уменьшить эквивалентность в определении 3D объектов и качественно выделить ближайший к источнику край неоднородности [Злобинский А.В., Могилатов В.С., 2014].

4. При работе с компонентой  $E_r$  - возможна привычная электроразведчикам 1D интерпретация. У этого подхода есть свои преимущества и недостатки. Работа с КЭД предполагает работу с закрепленным источником, т.е. расстояние между центром КЭД и точкой измерения постоянно меняется. В настоящее время повсеместно распространены программы 1D интерпретации, с их помощью можно подбирать слоистую среду для любой формы генератора, например для сложного генератора типа КЭД, для любой формы импульса, учитываются параметры поляризации среды, а также генератор и приемник сигнала возможно помещать на любую границу горизонтально-слоистой среды.

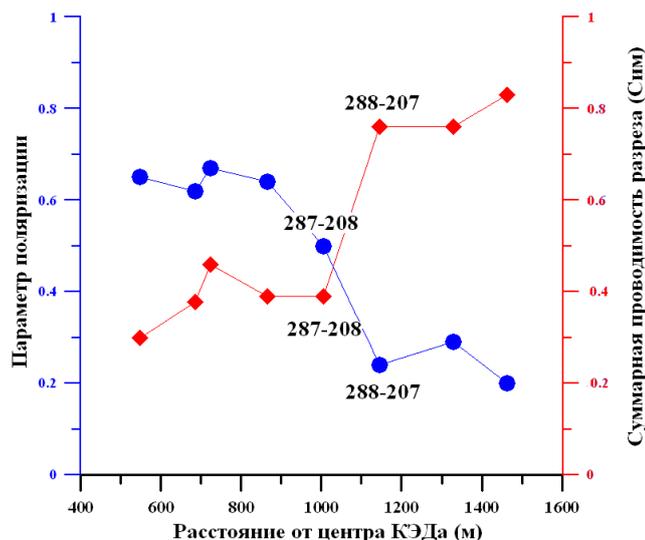
**Пример, когда измерение компоненты  $E_r$  позволило уточнить границы 3D объекта на площади.**

В 2012 году были проведены работы вблизи поселка Айхал. Целью данных работ являлось выявление на участке работ кимберлитовых трубок, которых на участке было несколько. Радиус КЭД был 350 м. Общий ток в КЭД составил 8 А. Площадь работ составила около 1,3 км<sup>2</sup> (прямоугольник со сторонами 1300 и 1000 м). Было проведено 238 измерений компоненты  $\partial B_z / \partial t$ , 105 измерений компоненты  $\partial B_\phi / \partial t$ , 12 измерений компоненты  $E_r$ .

При обработке данных материалов мы сначала выделили аномалии по компонентам  $\partial B_z / \partial t$  (сетка наблюдений 100\*50 м) и  $\partial B_\phi / \partial t$  (сетка наблюдений 200\*50м). Далее мы сопоставили аномалии, полученные по разным компонентам, и оставили только аномалии проявляемые в обоих компонентах. И наконец, мы проверили границы аномалий по точкам измерения  $E_r$ .

На рисунке 1 приведены параметр поляризации и суммарная проводимость среды по результатам интерпретации 1-го профиля, состоящего из 8 пикетов. Все кривые были подобраны с невязкой менее 10 %, исключение составил пикет 288-207. При измерениях на пикете 288-207 после 5 мс наблюдается 2 перехода через 0, этот факт невозможно объяснить в рамках 1D модели. На профиле мы наблюдаем резкое изменение характера среды, начиная с пикета 288-207. Параметр поляризации изменяется в 3 раза, а суммарная проводимость среды в 2 раза. При работе с КЭД это происходит в случае, когда существует нарушение горизонтальной слоистости среды (в нашем случае логичней всего предположить наличие 3D объекта недалеко от пикетов 287-208 и 288-207). Этим мы подтверждаем восточную границу 1-ой аномалии.

2-ой профиль состоит из 4 пикетов. Сигнал первого пикета выглядит как сигнал, который можно подобрать в рамках 1D модели, тем не менее, подобрать 1D модель не удалось. Остальные 3 пикета имеют переходы через 0, что сразу предполагает невозможность использования 1D модели. Кроме того характер кривых сильно изменяется при переходе от первого пикета ко второму пикету. Из характера изменения кривых на 2-ом профиле, нехарактерного для изменения между кривыми над горизонтально-слоистым разрезом, можно сделать предположение, что мы пересекли ближнюю к КЭД границу 3D объекта.



**Рисунок 1.** Параметры среды, отстроенные по результатам интерпретации профиля 1 компонента  $E_r$ . Красными квадратами выведена суммарная проводимость среды. Синими кружками параметр поляризации 1-го слоя.

При анализе данных  $E_r$  компоненты мы отмечали, что вблизи пикетов 287-208 и 288-207 мы находимся рядом с 3D объектом, это подтверждает восточную границу 1-ой аномалии. При анализе измерений  $E_r$  компоненты 2-го профиля, мы также отметили, что первый пикет находится между границей 3D объекта и центром КЭД, а остальные пикеты над 3D объектом или за дальней от центра КЭД границей 3D объекта. Тем самым мы подтвердили западную границу 2-ой аномалии.

## Выводы

1. Результаты измерений электрической компоненты позволяют проводить привычную геоэлектрикам 1D интерпретацию результатов измерений и рассчитывать разрез по удельным сопротивлениям и поляризуемости.
2. Измерение электрической компоненты позволяет точно определять ближнюю к источнику границу трехмерного объекта.
3. При использовании электрической компоненты ЗВТ по сравнению с сигналами в установке типа АВМН гораздо лучше проявляются непроводящие горизонты, которые обычно связывают с наличием нефти.
4. При использовании электрической компоненты ЗВТ по сравнению с сигналами в установке типа АВМН гораздо лучше проявляются параметры поляризации. Увеличение параметра поляризации обычно связывают с наличием нефти.
5. При работе методом ЗВТ мы всегда проводим измерения компонент  $\partial B_z / \partial t$  и  $\partial B_\phi / \partial t$  т.е. по анализу этих данных можем определить расположение 3D объектов, которые могут повлиять на результаты интерпретации в рамках 1D модели.
6. Возможность комплексной интерпретации значений удельного сопротивления среды с методами чувствительным к проводящим слоям, например ЗСБ или АВ-φ.

7. Экономическая целесообразность. При работе с КЭД используется закрепленный источник. Для проведения работ обычно требуется установить только один источник электромагнитного поля для покрытия всей изучаемой площади. Процесс измерения сигнала без установки дополнительных источников гораздо дешевле и быстрее, чем измерения с передвигаемым источником поля.

8. КЭД является осесимметричным источником. Это позволяет использовать КЭД как площадной источник без дополнительных математических ухищрений.

9. Все существующие технологии работы с КЭД не требуют равномерной сетки наблюдений.

10. Устойчивость площадного сигнала к искажениям сигнала на отдельных точках наблюдения. Относительная неприхотливость сигналов ЗВТ-М в смысле точности измерений и уровню помех. В сигналах ЗВТ от 3D объектов фиксируются сильные изменения сигнала, вплоть до смены знака. В измерениях с помощью петли или горизонтальной линии геологические выводы часто делают в результате изменения сигнала на несколько %, что подразумевает гораздо более точные измерения.

### Список литературы

*Helwig Stefan L., El Kaffas Abdul Wahab, Holten Terje, Frafjord Oyvind, Eide Kjetil,* 2013, Vertical dipole CSEM: technology advances and results from Snohvit field : First break, **31** no. **4** , pp.63-68.

*Mogilatov, V.,* 1996. Excitation of a half-space by a radial current sheet source. Pure Appl.: Geophys, **147**, pp.763–775.

*Mogilatov V., Balashov B.,* 1996. A new method of geoelectrical prospecting by vertical electric current soundings.: Journal of Applied Geophysics, **36**, pp.31-41.

*Mogilatov V., Zlobinskiy A., Balashov B.* 2016. Transient electromagnetic surveys with unimodal transverse magnetic (TM) field: ideas and results. : Geophysical Prospecting (in press).

*Veeken P.C.H., Legeydo P.J., Davidenko Y.A., Kudryavceva E.O., Ivanov S.A., Chuvaev A.* 2009, Benefits of induced polarization geoelectric method to hydrocarbon exploration.: Geophysics, **74**, B47-B59.

*Злобинский А.В., Могилатов В.С.,* 2014, Электроразведка методом ЗВТ в рудной геофизике.: Геофизика, **1**, с. 26–35. (*Zlobinskiy, A.V., Mogilatov, V.S.,* 2014. VECS soundings for ore exploitation.: Geofizika **1**, pp.26-35.)

*Могилатов В.С., Злобинский А.В.* 2013, Комплексное исследование электродинамических параметров среды над сейсмическим поднятием с целью оконтуривания нефтяного месторождения.: Геофизика, **2**, с. 51–57. (*Mogilatov V., Zlobinskiy A.,* 2013, The complex prospecting of variety of electromagnetic parameters of the medium above seismic uplifting for the detection of oil deposits.: Geofizika **2**, pp.51-57. )

*Могилатов В.С., Злобинский А.В.* 2014, Свойства кругового электрического диполя как источника поля для электроразведки.: Геология и Геофизика, т.**55**, N **11**, с.1692-1700 (*Mogilatov V., Zlobinskiy A.,* 2014, A circular electric dipole: a transmitter for TEM surveys.: Russian Geology and Geophysics. Volume **55**. Issue **11**, pp. 1340-1346)

## References

*Helwig Stefan L., El Kaffas Abdul Wahab, Holten Terje, Frajjord Oyvind, Eide Kjetil,* 2013, Vertical dipole CSEM: technology advances and results from Snohvit field : First break, **31** no. **4** , pp.63-68.

*Mogilatov, V.,* 1996. Excitation of a half-space by a radial current sheet source. Pure Appl.: Geophys, **147**, pp.763–775.

*Mogilatov V., Balashov B.,* 1996. A new method of geoelectrical prospecting by vertical electric current soundings.: Journal of Applied Geophysics, **36**, pp.31-41.

*Mogilatov V., Zlobinskiy A., Balashov B.* 2016. Transient electromagnetic surveys with unimodal transverse magnetic (TM) field: ideas and results. : Geophysical Prospecting (in press).

*Veeken P.C.H., Legeydo P.J., Davidenko Y.A., Kudryavceva E.O., Ivanov S.A., Chuvaev A.* 2009, Benefits of induced polarization geoelectric method to hydrocarbon exploration.: Geophysics, **74**, B47-B59.

*Zlobinskiy, A.V., Mogilatov, V.S.,* 2014. VECS soundings for ore exploitation.: Geofizika **1**, pp.26-35.

*Mogilatov V., Zlobinskiy A.,* 2013, The complex prospecting of variety of electromagnetic parameters of the medium above seismic uplifting for the detection of oil deposits.: Geofizika 2, pp.51-57.

*Mogilatov V., Zlobinskiy A.,* 2014, A circular electric dipole: a transmitter for TEM surveys.: Russian Geology and Geophysics. Volume **55**. Issue **11**, pp. 1340-1346