

Submission ID: 44490

Evaluation of the Different Approaches to the TEM Data Inversion Applicability

I.K. Seminsky (JSC IERP), N.O. Kozhevnikov (IPGG SB RAS), I.V. Buddo (JSC IERP, Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the RAS), E.V. Murzina* (JSC IERP), Yu.A. Agafonov (JSC IERP)

SUMMARY

The paper shows examples of the different approaches to the TEM data inversion (1D and 3D) application. The first example devoted to the TEM inversion performed within "Model" block with a heterogeneous geological structure. The high efficiency of 3D inversion was shown. The second example describes the "Model-2" block with a horizontally layered structure of the section. The high efficiency of 1D data inversion has been revealed. It was found that the approach to TEM data inversion should be chosen taking into account the number of layered section dimensions (1D or 3D). The criteria for inversion mode to choose were proposed.

Введение

В настоящее время одним из основных методов электроразведки при изучении осадочного чехла юга Сибирской платформы является метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ).

Важным этапом интерпретации данных ЗСБ является решение обратной задачи электроразведки (инверсия). Традиционным видом инверсии на сегодняшний день является одномерный подход. Одномерной в ЗСБ считается среда, которую можно аппроксимировать горизонтально-слоистой моделью.

При интерпретации данных ЗСБ, полученных в условиях сложнопостроенных сред, часто возникает вопрос о корректности применения 1D инверсии. 1D инверсия имеет определенные преимущества по сравнению с 3D инверсией, главным из которых является меньшая невязка подбора геоэлектрической модели.

Ситуация усложняется при влиянии трехмерных неоднородностей. Такие геологические объекты, как разломные зоны, выклинивающиеся горизонты, трапповые интрузии, штоки и др., часто встречающиеся в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы, формируют ЭМ отклик, осложняющий сигнал от горизонтально-слоистой среды [Persova, 2005]. В связи с этим, в общем случае 1D инверсия для такой среды не является корректной, что и обуславливает необходимость 3D-моделирования.

С начала XXI века активно развивается полностью формализованный подход трехмерного подбора теоретических кривых к полевым (автоматическая трехмерная инверсия). В его основе лежит представление, что все нижнее полупространство неоднородно, и ограничивать интерпретацию одномерной инверсией не корректно [Тригубович, Персова, 2009]. Необходимо оценить эффективность применения одномерного и трехмерного подходов к инверсии данных в средах с различным геологическим строением.

Целью проведенного исследования являлась оценка эффективности 1D и 3D инверсий данных ЗСБ применительно к средам со сложным геологическим строением в свете решения нефтегазопроисловых задач.

Сущность эксперимента заключалась в:

- 1) 1D и 3D инверсии данных, полученных на участке с горизонтально-неоднородным геологическим строением;
- 2) 1D и 3D инверсии данных, полученных на участке с горизонтально-однородным геологическим строением;
- 3) оценке прироста геологической информации в первом и во втором случаях.

Участок с трехмерными неоднородностями

Примером практического применения трехмерного моделирования при решении методом ЗСБ нефтегазопроисловых задач на юге Сибирской платформы выбрано месторождение «Модельное». Оно расположено в пределах южной периклинали Непского свода – Непско-Ботуобинской антеклизы. Промышленная нефтегазонасыщенность территории связана с подсолевыми горизонтами песчаников базальной ярактинской пачки в непской свите и верхнетирским горизонтом – в тирской свите нижнего венда.

Для западной части площади 1D инверсия кривых ЗСБ показала высокую эффективность: невязка подбора не превышала 1 – 1.5 %. Однако в восточной части территории кривые ЗСБ осложнены влиянием трехмерной неоднородности. Предположительно, это валлообразная структура, которая характеризуется существенной неравномерностью внутреннего строения. В связи с этим не удалось добиться решения 1D обратной задачи с невязками менее 10 – 20 %. На рисунке 1 А приведены результаты 1D инверсии кривых в виде карты распределения продольного сопротивления отложений подсолевой части разреза.

Карта свидетельствует, что 1D инверсия кривых ЗСБ в восточной части участка неэффективна. Для учета влияния трехмерных неоднородностей была проведена 3D интерпретация материалов ЗСБ в программном комплексе «EMDataProcessor» [Тригубович, Белая и др., 2015] (Рисунок 1 Б). 3D инверсия сигналов ЗСБ для восточной части площади обеспечила невязку менее 10 %, что существенно меньше невязки в случае 1D. Вместе с тем, погрешность 3D

инверсии в западной части площади оказалась выше, чем при 1D инверсии. На северо-востоке участка применение 3D моделирования позволило определить УЭС подсолевой части разреза.

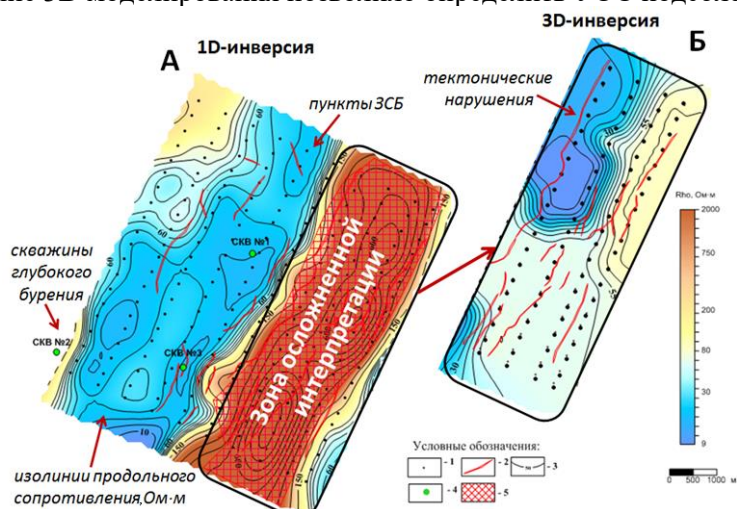


Рисунок 1. Карты распределения продольного электрического сопротивления подсолевой части разреза по результатам: А – 1D инверсии; Б – 3D инверсии. У.О.: 1 – пункты ЗСБ (ПК); 2 – тектонические нарушения, выделенные по результатам сейсморазведочных работ; 3 – изолинии продольного сопротивления, Ом·м; 4 – скважины глубокого бурения; 5 – зона осложненной интерпретации.

Таким образом, для получения наиболее достоверной геоэлектрической модели разреза целесообразно комбинирование результатов 1D и 3D инверсии: применение 1D подхода в западной части территории исследования и 3D – в восточной. Вследствие комбинирования результатов 1D и 3D подходов к интерпретации данных ЗСБ существенно модифицирована первичная геоэлектрическая модель участка «Модельного». Влияние тектонических неоднородностей разреза на сигналы ЗСБ было учтено, что позволило с необходимой точностью изучить геоэлектрические свойства подсолевой части разреза.

Участок с горизонтально-слоистым строением

В качестве еще одного примера применения 1D и 3D интерпретации данных ЗСБ были рассмотрены результаты работ на месторождении «Модельное-2», расположенном в центральной части Восточной Сибири.

Промышленные притоки нефти и газа в данном районе связаны с терригенно-карбонатными отложениями венд-нижнекембрийского подсолевого терригенно-карбонатного и галогенно-карбонатного нефтегазоносных комплексов. В их составе выделяются продуктивные горизонты: верхнечонский, преображенский, усть-кутский, осинский. Они сложены песчаниками с прослоями аргиллитов, алевролитов и, в редких случаях, гравелитов.

Невязка решения обратной задачи при 1D инверсии варьируется в диапазоне от 0.5 до 1.5%, что свидетельствует об отсутствии (или слабом влиянии) трехмерных неоднородностей в пределах рассматриваемого месторождения.

Для выявления возможности получения дополнительной геологической информации за счет трехмерных моделей была проведена 3D инверсия (модельные расчеты М.Г. Персовой). Невязки подбора составили 3-5 %.

Результаты 1D и 3D инверсии в виде разрезов удельного электрического сопротивления представлены на рисунке 2. Между результатами 1D и 3D инверсии принципиальных отличий не выявляется. По данным каротажа скважин и петрофизических расчетов установлен диапазон сопротивлений верхнечонского горизонта-коллектора – 25-40 Ом·м.

Геологическая интерпретация результатов 1D и 3D инверсии данных ЗСБ на месторождении «Модельное-2» подтверждает схожесть прогнозов. Принципиальный прирост геологической информации вследствие проведения трехмерной инверсии в условиях строения разреза близкого к горизонтально-слоистому не установлен. Отметим, что детальность результатов

трехмерной инверсии ввиду аппроксимации разреза несколькими объектами уступает одномерной инверсии. По сравнению с 1D инверсией, трехмерное моделирование – процесс ресурсоемкий, т.е. при работе с горизонтально-слоистым разрезом (или близким к нему) в производственных интересах целесообразно ограничиваться одномерным подходом к интерпретации данных.

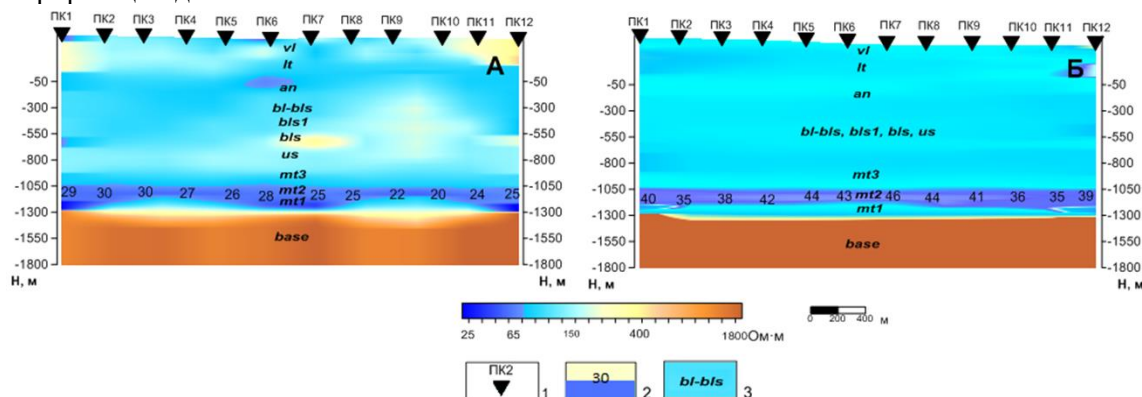


Рисунок 2. Разрезы УЭС осадочной толщи месторождения «Модельное-2» на Непском своде, построенные по результатам: А – 1D инверсии; Б – 3D инверсии. 1 – пункты наблюдения ЗСБ; 2 – значение удельного электрического сопротивления, Ом·м; 3 – стратиграфический идентификатор.

Ранжирование кривых ЗСБ по степени влияния 3D неоднородностей

Как было установлено в результате комплексной инверсии данных ЗСБ, применение определенного подхода к интерпретации должно диктоваться степенью «неоднородности» зондируемого пространства. Необходимо понять, какой ее уровень не позволяет в рамках 1D инверсии изучить геологический разрез с достаточной точностью. Требуется численные критерии необходимости применения 1D/3D инверсии. Для получения таких критериев проведен модельный эксперимент, направленный на картирование пород осадочного чехла и выделение углеводородонасыщенного горизонта-коллектора в подсолевой части разреза.

Автором были сгенерированы синтетические кривые от фоновой модели, включающей УВ-насыщенный пласт-коллектор в подсолевой части разреза. Кривые осложнены влиянием перекрывающей неоднородности (предположительно – пластовой трапповой интрузией в надсолевой части разреза).

Как показали расчеты, среднеквадратическое расхождение между кривыми ρ_t от одного источника составляет $\approx 8\%$. Далее была проведена одномерная инверсия кривых.

По результатам инверсии средняя невязка между теоретической и практической кривыми составила 5% . Как показала 1D инверсия, геоэлектрические свойства трапповой интрузии, фоновой модели и, в частности, пласта-коллектора в подсолевой части разреза определены с приемлемой точностью.

После этого, с целью усложнения задачи изучения геоэлектрических свойств осадочного чехла для интрузии было задано УЭС равное $2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Среднее квадратическое расхождение между кривыми ρ_t от одного источника составило примерно 14% . В среднем невязки одномерной инверсии превысили 15% . Такая невязка не позволяет изучить геоэлектрические свойства осадочного чехла и трапповой интрузии.

Исходя из вышеизложенного, «граничными уровнями (критериями) трехмерности» являются:

1) невязка подбора теоретической кривой к практической (в рамках одномерной инверсии) более 10% ;

2) среднеквадратическое расхождение кривых ρ_t от одной установки более 10% .

Эти критерии являются оценочными, однако модельный эксперимент подтвердил, что их применение обосновано особенно на первых этапах интерпретации.

Используя современное программное обеспечение, базу данных зондирований и предложенные критерии, автором проведена оценка «размерности» кривых ЗСБ, зарегистрированных на юге Сибирской платформы. На рисунке 4 приведена статистическая

диаграмма для оценки «размерности» кривых ЗСБ, построенная на основе анализа 80 000 физических наблюдений из архива «ИЭРП». Оценка проводилась на основе отклонения группы разнесенных кривых относительно друг друга для одной ГП в программе «EMQC» [Гусейнов, 2015].

По результатам оценки 70 % данных ЗСБ, полученных на площадях юга Сибирской платформы, соответствует горизонтально-слоистой среде, а 11% – горизонтально-слоистой с присутствием трехмерных неоднородностей. Кроме этого, имеется область неоднозначной оценки, к которой относятся 19% данных. Наибольшее количество осложненных кривых зарегистрировано в северной части юга Сибирской платформы, что может объясняться присутствием в геологическом разрезе магматических тел.

Выводы

Основные результаты проведенных исследований состоят в оптимизации методики ЗСБ для геологических условий юга Восточной Сибири средствами 3D моделирования и в основном сводятся к следующему:

1. Определен уровень прироста геологической информации вследствие применения трехмерного моделирования для случаев горизонтально-однородной и горизонтально-неоднородной сред. Установлено, что наилучшим способом получения оптимального результата является комбинирование 1D и 3D подходов.
2. Обоснована принципиальная необходимость применения 3D моделирования при превышении допустимого уровня «неоднородности», т.е. осложнения кривых влиянием трехмерной неоднородности. Использование 1D инверсии в базовой части интерпретации данных ЗСБ и 3D моделирования для особых случаев горизонтально-неоднородных сред повышает возможности метода для решения нефтегазопроисловых и структурных задач на территории юга Сибирской платформы.
3. Произведена оценка одномерности данных ЗСБ, полученных для юга Сибирской платформы, на основе эмпирически обоснованных численных критериев. Установлено, что большая часть объема электроразведочных данных достоверно интерпретируются в рамках горизонтально-слоистой модели, что по большому счету обеспечивает правомерность применения одномерной инверсии при обработке материалов зондирований в изучаемом регионе.

Список литературы

- Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Татарников А.С. [2004] Возможности трехмерного математического моделирования для метода ЗСБ в программе «Tem-model» // Научно-техническая конференции ФГГГ «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований»: Сборник избранных трудов. Иркутск: ИрГТУ. – С. 240-245.
- Гусейнов Р.Г. [2015] Система оценки качества сигналов нестационарных электромагнитных зондирований: автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. ИРНИТУ.– 24 с.
- Тригубович Г.М., Белая А.А., Чернышев А.В., Симанкович Н.В. [2015] Комплексная интерпретация электроразведочных данных М-ЗСБ и МТЗ в программном комплексе EM-DataProcessor // Интерэкспо Гео-Сибирь. Т. 2. – № 2. – С. 237-242.
- Тригубович Г.М., Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г. [2009] «3D электроразведка становлением поля». Новосибирск: Наука.– 214 с.
- Persova M.G., Soloveychik Y.G., Shilak D.V. [2005] et al. Software for solution of 3D problems of electrical survey by transient electromagnetic field using finite elements method // Korus-2005: The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. Novosibirsk.

References

- Agafonov Yu.A., Sharlov M.V., Tatarnikov A. S. [2004] Possibilities of three-dimensional mathematical modeling for the TEM Data in the Tem-model program //Scientific and technical

- conferences of FGGS "Geology, Search and Investigation of Minerals and Methods of Geological Researches": Collection of the chosen works. Irkutsk: ИГГТ. – Page 240-245.
- Guseynov R.G. [2015] System of assessment the quality of signals for non-stationary electromagnetic soundings: автореф. уеу... edging. геол. - мин. sciences. IRNITU. – 24 pages.
- Trigubovich G.M., White A.A., Chernyshev A.V., Simankovich N.V. [2015] Complex interpretation of electroprospecting data of EM and MT sounding in the program complex EM-DataProcessor//Interespo Geo-Siberia. T. 2. – No. 2. – Page 237-242.
- Trigubovich G.M., Persova M.G., Soloveychik Yu.G. [2009] "3D EM investigation by formation of the field". Novosibirsk: Science. – 214 with.
- Persova M.G., Soloveychik Y.G., Shilak D.V. [2005] et al. Software for solution of 3D problems of electrical survey by transient electromagnetic field using finite elements method//Korus-2005: The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. Novosibirsk.