

Потенциал применения индуктивной электроразведки в комплексе геофизических исследований с целью поисков и разведки геотермальных месторождений
Буддо И.В.^{1,2,3,4}, Шелохов И.А.^{1,2,3,4}, Мисюркеева Н.В.^{1,2,4}, Селяев В.А.², Агафонов Ю.А.²

The potential of application of induction electromagnetic surveys in a complex of geophysical methods for prospecting and exploring geothermal fields

Buddo I.V., Shelokhov I.A., Misyurkееva N.V., Selyaev V.A., Agafonov Y.A.

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;

e-mail: biv@crust.irk.ru

² ООО СИГМА-ГЕО, г. Иркутск

³ ФГБУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

⁴ ГАН ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард

В работе обсуждаются возможности и ограничения метода зондирования становлением поля в ближней зоне при изучении гидротермальных систем. Рассмотрен международный опыт. Приведены и обоснованы основные геологические задачи, решаемые комплексом геофизических методов.

Введение

Поиски и разведка гидротермальных месторождений – одна из наиболее актуальных задач для топливно-энергетического комплекса Российской Федерации (РФ) ввиду нестабильности международных рынков теплоносителей. Камчатка является наиболее ярким и положительным примером на территории РФ, иллюстрирующим опыт применения геологических и геофизических методов для поисков, разведки и ввода в эксплуатацию геотермальных месторождений.

Анализируя богатый международный опыт, можно констатировать, что для поисков и разведки гидротермальных месторождений моно-метод не подходит, следует применять оптимальный комплекс геофизических методов [2, 3, 5-8, 10].

Методы исследований

Выбор оптимального комплекса геофизических методов должен основываться на следующих основных этапах:

1) Построение априорной физико-геологической модели предполагаемого гидротермального месторождения.

2) Выполнение математического моделирования геофизических полей с целью оценки ожидаемой величины аномалий от гидротермы. Анализ возможности выделения полезной аномалии на фоне естественного и антропогенного электромагнитного шума.

3) Проведение опытно-методических работ (ОМР) выбранным на предыдущем этапе комплексом методов.

4) Введение в производство обоснованного по результатам математического моделирования и ОМР комплекса методов.

К сожалению, реальность не всегда совпадает с представлениями о корректном подходе к выбору оптимального комплекса геофизических методов. Зачастую исследования проводят не наиболее эффективными методами, но имеющейся на тот момент аппаратурой и ограниченными программными средствами. Изменение данной тенденции может заметно повысить качество моделей гидротермальных месторождений и существенно оптимизировать геологоразведочный процесс в целом.

Известно, что основной геофизический метод в глубинной геологоразведке – это сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ). Однако при поисках и разведке гидротермальных месторождений применяют, как правило, электроразведку в различных модификациях. Это связано с тем, что данный тип месторождений

сопровождается крайне тяжелыми географическими условиями, сложнопересеченным рельефом, невозможностью рубки профилей в хрупкой экосистеме исследуемого региона Дальнего Востока, что крайне осложняет постановку традиционной сейсморазведки. Поэтому наиболее часто применяют следующие электроразведочные методы:

- 1) естественного поля (ЕП);
- 2) вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) или модификации профилирования, электротомографии;
- 3) георадиолокации;
- 4) магнитотеллурического зондирования (МТЗ).

Кроме того, могут применяться малоуглубинная и пассивная сейсморазведки, позволяющие картировать разломные зоны и получать важную информацию о скоростных аномалиях в разрезе.

Вместе с тем, в указанном выше комплексе есть существенные недостатки. Так, глубина исследования георадаром обычно ограничена 10-20 м. Вертикальные электрические зондирования в современной модификации электротомографии применяют для изучения глубин до 30-50 м [4]. Магнитотеллурические зондирования позволяют изучать геологический разрез в широком диапазоне глубин, однако их интерпретация в значительной степени осложнена проявлением эффекта гальванических неоднородностей, что приводит к значительным ошибкам в итоговых геоэлектрических моделях.

Индуктивная электроразведка

Применение зондирований становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) может существенно повысить эффективность комплекса геофизических методов за счет некоторых важных факторов:

- 1) высокой чувствительности к объектам с высокой электропроводностью (в т.ч. к проводящим флюиды разломным зонам, гидротермам);
- 2) глубинности исследований, которая характеризуется мощностью скин-слоя и зависит от величины удельного электрического сопротивления среды, периода (частоты) измерений (может достигать 400-500 м даже для небольших установок при длине стороны генераторной петли 100 м);
- 3) низкой чувствительности к неоднородностям гальванического типа, что позволяет использовать кривые и модели ЗСБ для выбора корректного уровня кривых МТЗ;
- 4) возможности исследования подэкранных толщ (под высокоомными экранами) за счет индукционного типа распространения электромагнитного поля;
- 5) использования индукционных генераторных и приемных установок (незаземленных петель), что позволяет выполнять исследования практически в любое время года.

Примеры результатов

Электроразведка ЗСБ в Восточной Сибири широко применяется для решения нефтегазопроисловых задач, а также для изучения верхней части разреза с целью поиска подземных вод, картирования интервала многолетнемерзлых пород, разломных зон и др. [1].

По результатам исследований с помощью ЗСБ получают детальные модели геологических сред до глубины 500 м и более, что позволяет выделять контрастные по геоэлектрическим параметрам объекты. На рисунке приведена геоэлектрическая 3D модель верхней части разреза до глубины 500 м, построенная по результатам инверсии кривых ЗСБ, полученных на одном из участков Восточной Сибири.

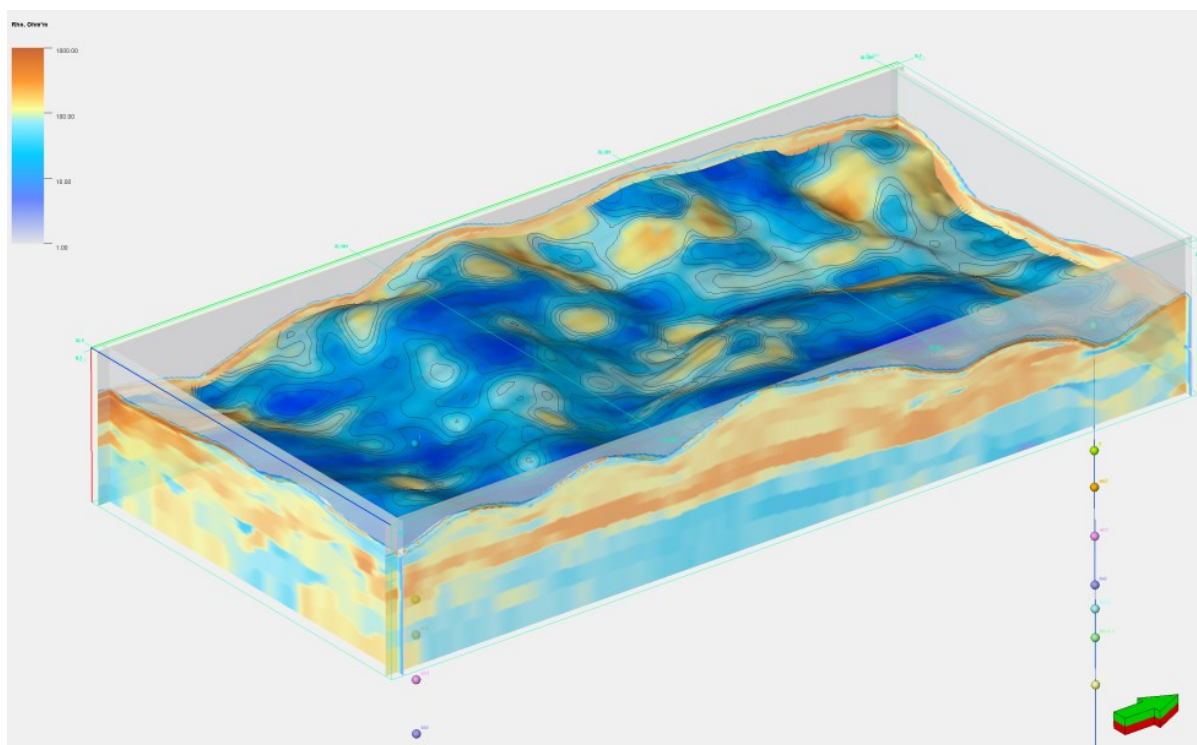


Рисунок. Геоэлектрическая 3D модель верхней части разреза до глубины 500 м, построенная по результатам инверсии кривых ЗСБ (Восточная Сибирь) [9].

Интервалы высокого удельного электрического сопротивления более 100 Ом·м характеризуют карбонатные породы, тогда как пониженного – менее 50 Ом·м – зоны распространения водонасыщенных горизонтов-коллекторов и глинистых флюидоупоров. Таким образом, флюидопроводящие зоны, содержащие гидротермы, являются контрастным благоприятным объектом для их картирования методом индуктивной электроразведки.

Заключение

Применение оптимального комплекса методов электроразведки при поисках и разведке гидротермальных месторождений должно базироваться на четких геолого-физических предпосылках, быть обосновано в ходе математического моделирования и подтверждено результатами опытно-методических работ.

Список литературы

1. *Поспеев А.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А. и др.* Современная практическая электроразведка. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2018. 231 с.
2. *Феофилактов С.О., Рычагов С.Н., Логинов В.А. и др.* Глубинное строение района Паужетской гидротермальной системы (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2021. № 1. С. 40-56. <https://doi.org/10.31857/S020303062101003X>
3. *Blazquez C.S., Maté-González M.A., Nieto I.M. et al.* Assessment of the geothermal potential in the region of Avila (Spain): An integrated and interactive thermal approach // Geothermics. 2022. V. 98. № 3. Art. 102294. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102294>
4. *Buddo I., Sharlov M., Shelokhov I. et al.* Applicability of transient electromagnetic surveys to permafrost imaging in Arctic West Siberia // Energies. 2022. V. 15. Art. 1816. <https://doi.org/10.3390/en15051816>
5. *Chiang C.W., Yang Z.X., Chen C.C. et al.* Potential geothermal structure inferred from the electrical resistivity and seismic reflection models in the western Ilan Plain, NE Taiwan // Geothermics. 2021. V. 94. Art. 102124. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102124>
6. *Idral A.* Structural traps of non-volcanic hosted geothermal field based on geophysical data of Waesalit area Buru Island – Indonesia // Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. 8 p.

7. *Idral A., Mansoer W.R.* Integrated geophysical studies of Palu-Koro Depression zone, Indonesia: Implications for geothermal resources in Bora Central Sulawesi // Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 5 p.
8. *Mwakirani R.* Integrated geophysical model for Suswa geothermal prospect using resistivity, seismics and gravity survey data in Kenya // Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 6 p.
9. *Sharlov M.V., Buddo I.V., Misyurkeeva N.V. et al.* Transient electromagnetic surveys for high resolution near-surface exploration: basics and case studies // First break. 2017. V. 35. № 9. P. 63-71. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.35.9.90112>
10. *Spichak V., Manzella A.* Electromagnetic sounding of geothermal zones // Journal of Applied Geophysics. 2009. V. 68. P. 459-478. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.05.007>