

Возможности малоглубинной электротомографии при решении инженерно-геологических задач

Бортникова С.П., Борисенко Д.А., Ельцов И.Н.

Введение

Электротомография - это набирающая популярность модификация электротометрии на постоянном токе, включающая в себя методики полевых наблюдений, технологию обработки и интерпретации полевых данных. Будучи по методологии, как минимум, двумерной электроразведкой, электротомография особенно эффективна при детальном геофизическом исследовании – при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях, изучении геологических разрезов на малых и средних глубинах, при поисках и разведке полезных ископаемых, а также в менее традиционных областях применения малоглубинной геофизики – изучении археологических памятников, решении геоэкологических, гидрологических и других задач [Бобачев и др., 1995].

В представленной работе показаны примеры применения малоглубинной электротомографии на двух участках: золоторассыпное месторождение в среднем течении р. Матвеевка и строительная площадка «Lego Merlin». На золоторассыпном месторождении необходимо было установить глубину залегания кор выветривания (плотика) для определения мощности вскрыши и установления морфологии палеоруслу реки для заложения разведочных скважин. Цель исследований на строительной площадке «Lego Merlin» - исследование грунта на предмет обнаружения крупногабаритных обломков, препятствующих строительству, определение глубины залегания скального основания и выявление зон повышенного водонасыщения.

Золоторассыпное месторождение находится в русле р. Матвеевка. Река протяженностью 12 км относится к Верхнеобскому бассейновому округу, средняя ширина поймы 60-80 м, ширина русла 2-3 м. Верхняя часть геологического разреза на исследуемой территории сложена супесями и озёрно-глинистыми отложениями, перекрывающими обломочный материал, залегающий на скальных породах, представленных известняками и сланцами, либо на глинистых корах выветривания. Интерес, с точки зрения золотодобычи, представляет пласт песков, залегающих на валунниках и перекрытых супесными и озёрно-глинистыми отложениями. Особенностью разреза является сильная обводнённость слоёв обломочного материала. Таким образом, электрическое сопротивление с глубиной возрастает почти линейно.

Район строительной площадки «Lego Merlin» приурочен к первой речной террасе р. Обь. Типичный разрез представляет собой слои насыпного строительного грунта (супесь, суглинок, песок) от 2 до 5 м, перекрывающие аллювиальные отложения (пески, супеси) мощностью от 7 до 15 м, залегающие на элювиальных отложениях (галечник, песок гравелистый, щебень, дресва, супесь), до 3-4 м покрывающих гранитное основание. Мощности слоев рыхлых отложений вдоль разрезов не выдержаны, осложнены крупными включениями строительного мусора (обломки бетонных конструкций, лесоотходы и т.п.). Уровень грунтовых вод около 3 м от поверхности.

Метод исследования

Особенностью электротомографии является многократное использование в качестве питающих и измерительных одних и тех же фиксированных на профиле положений электродов. Это приводит к уменьшению общего числа рабочих пунктов электродов при существенном увеличении плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований. Такой подход позволяет с одной стороны, работать с современной высокопроизводительной аппаратурой, а с другой - применять эффективные алгоритмы моделирования и инверсии. Интерпретацию данных электротомографии можно проводить в рамках двумерных и трехмерных моделей. Это принципиально расширяет круг решаемых электроразведкой задач за счет исследования сред, значительно отличающихся от «классических» горизонтально-слоистых [Бобачев и др., 1995].

За последнее десятилетие электротомография получила широкое распространение при решении самого широкого спектра задач: от инженерно-геологических изысканий до определения

геоэлектрического строения активных гидротерм [Бортникова и др., 2011]. Двух- и трёхмерная съёмка даёт детальное представление о районе исследований, дополняя и уточняя геологические построения.

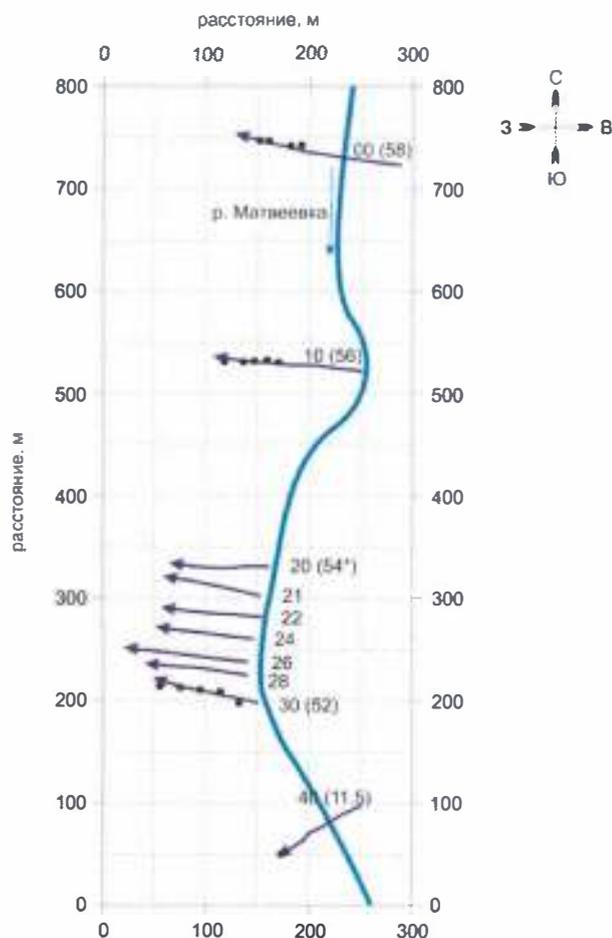
Задачи, которые можно решить на россыпях при помощи электротомографии это определение пространственного положения структурных элементов россыпи: скального основания, плотика, продуктивного слоя, вскрыши. Достоверность результатов электроразведки может быть существенно повышена при привлечении данных сейсморазведки, бурения и анализа предыдущих разведочных работ. В рамках электроразведочных работ необходимо проводить заверочное бурение из расчёта 1-2 скважины на 200-метровый профиль. Априорная геологическая информация хорошо сходится с полученными геоэлектрическими разрезами, но, тем не менее, результаты можно улучшить посредством петрофизического анализа.

Измерения проводились установкой Веннера-Шлюмберже. Длина отдельной расстановки составляла от 50 до 235 м, применялась аппаратура СКАЛА 48 (Россия, ООО «КБ Электрометрии») [Балков и др., 2010]. Инверсия данных выполнялась с помощью программных пакетов RES2DINV и RES3DINV (Малайзия, Geotomo Corp.)

Результаты исследований

Золоторассыпное месторождение (р. Матвеевка)

Схема электроразведочных профилей представлена на плане (рис. 1). В обработке данных были задействованы: 5 продольных профилей длиной от 96 м до 160 м, серия из 7 профилей длиной 96 метров для 3D-томографии (профили 52 – 54*), общей протяженностью 1344 метра.



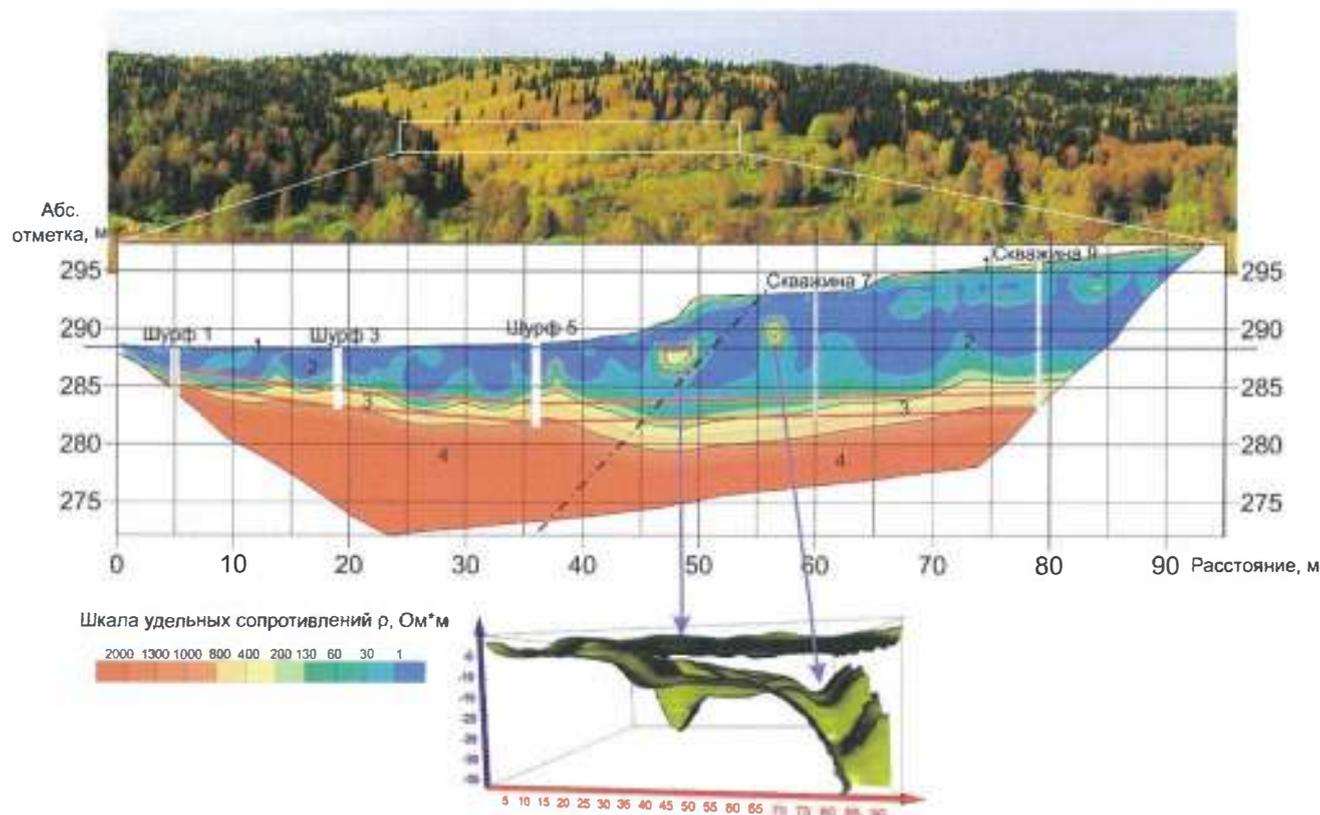
Анализ результатов работ показывает, что в большинстве случаев исследованную толщу можно разбить на четыре геолого-геофизических элемента (ГГЭ) (рис. 2).

- ГГЭ 1 - Характеризуется удельным электрическим сопротивлением (ρ) $100 < \rho < 300 \text{ Ом*м}$. Локализован на первых метрах разреза. Это слой поверхностных почв. Большой разброс сопротивлений обусловлен неравномерностью материала по степени обводнённости, наличию растительности;
- ГГЭ 2 - Характеризуется удельным сопротивлением $\rho < 40 \text{ Ом*м}$. Представляет собой насыщенные водой рыхлые отложения суглинков и покровных глин (озёрно-болотистые отложения). Начинается с глубин 0 - 1 м и подстилает ГГЭ 1. Простирается вплоть до слоя ГГЭ 3, глубина варьируется от 5 до 10 м;
- ГГЭ 3 - Соответствует делювиальным и песчаным отложениям. Все отложения сильно обводнены;
- ГГЭ 4 - Представляет собой выветрелые горные породы, переходящие в плотное скальное основание.

Рис. 1. Схема профилей электротомографии на золоторассыпном месторождении р. Матвеевка.

- Шурфы и скважины
- ▬ 26 Профили электротомографии

На профиле электротомографии № 52 показано, как данные бурения сходятся с результатами электроразведки (рис. 2). Верхние 0,5-1,5 м разреза представлены почвенным слоем. Далее идут глинистые или супесные отложения, которые не различимы по своим электрическим свойствам (УЭС до 60 Ом·м). Мощность варьирует от 2 до 8 метров. Глубже расположен слой галечно-валунного материала со средним сопротивлением от 60 до 400 Ом·м. На 48 и 56 м вдоль профиля на глубине от 3 до 8 м наблюдаются аномалии с повышенным сопротивлением, приуроченные к старым выработкам, что видно из приведённой ниже трёхмерной модели.



Условные обозначения:

- | | |
|--|--|
| 1 - слой поверхностных почв |  Старые выработки |
| 2 - озёрно-болотистые отложения |  Границы продуктивного слоя по данным бурения |
| 3 - пески |  Границы песков по данным электротомографии |
| 4 - выветрелые горные породы, переходящие в плотное скальное основание |  Уровень грунтовых вод |
| |  Линия предположительного разлома |

Рис. 2. Профиль электротомографии № 52, заверенный шурфами и скважинами, и разрез трёхмерной съёмки между профилями 52 и 54.*

В результате работ по электротомографическим разрезам и планам, на общем фоне супесного и суглинистого заполнения, выделены зоны преобладания песчаного и глинистого материала, граница выветрелого и трещиноватого скального основания. Результаты, полученные с помощью геоэлектрической съёмки, впоследствии подтвердились заверочным бурением, после чего разработка россыпи сместилась под увал, обнаружив уход продуктивного пласта вниз.

Строительная площадка «Leroy Merlin»

Сеть электроразведочных профилей представлена на плане (рис. 3). Расстояния между продольными профилями (1-5) ~20 м, и от 10 до 20 метров между поперечными (XVIII - XIV). Объемы

выполненных электроразведочных работ: 5 продольных профилей длиной 220-230 м, 13 поперечных профилей длиной 120 м, общей протяженностью 2670 м.

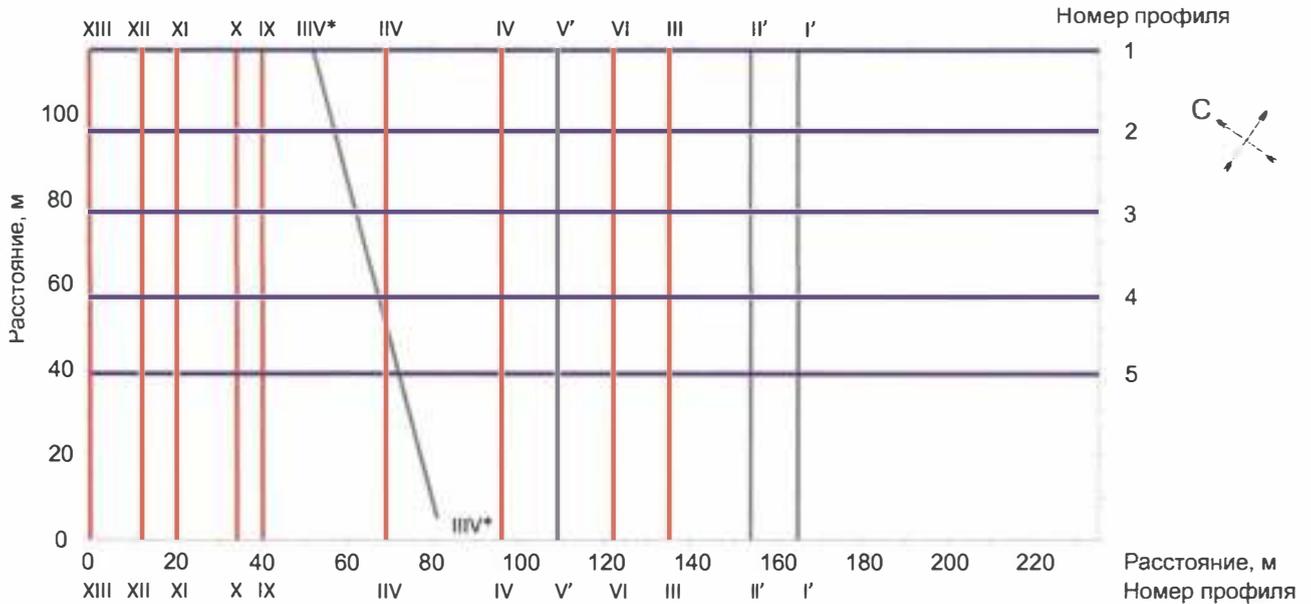
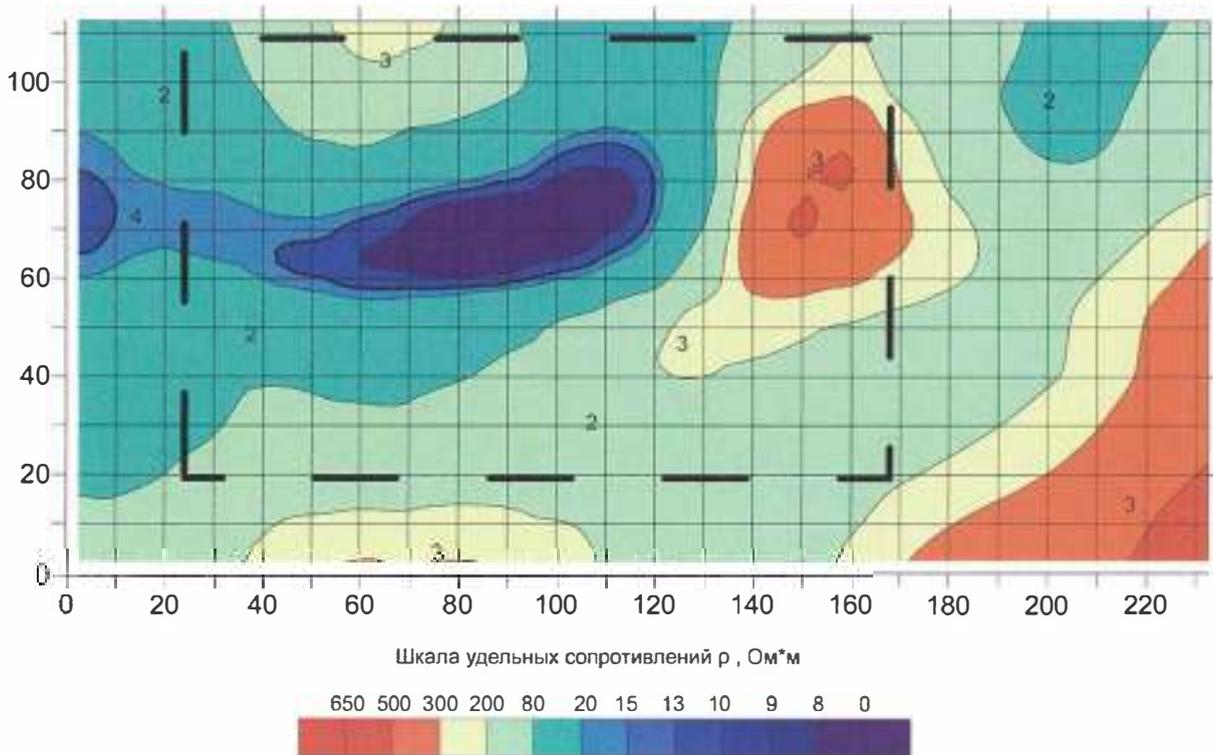


Рис. 3. Схема профилей электротомографии на строительной площадке «Leroy Merlin»

Продольные профили 1-5. Поперечные профили XIII-I.

** - Профиль не участвует в 3D инверсии. ' - Профиль не участвует в 2D инверсии.*

Глубина 25.1 метра



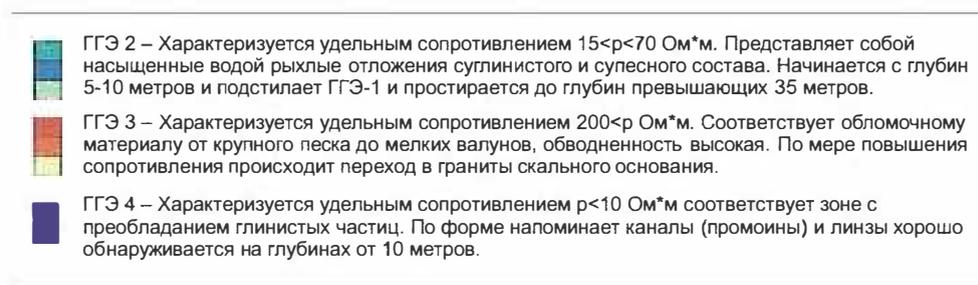


Рис. 4. Карта распределения УЭС на строительной площадке «Leroy Merlin» на глубине 25.1 м.

По результатам электроразведочных работ на строительной площадке были построены не только геоэлектрические разрезы, но и карты распределения УЭС, которые получены с помощью трёхмерной инверсии. В итоге, места бурения и глубины заложения скважин под сваи были скорректированы.

На рис. 4 приведена карта распределения УЭС на глубине 25.1 м. На карте прослеживается переход в граниты скального основания (слой ГГЭ 3), а также промоины с пониженным электрическим сопротивлением. Достаточно высокий уровень обводнённости характерен для участка ввиду его близости к реке. Основной объем пород представлен сильно обводненной супесно-суглинковой смесью, на фоне которой выделяются следующие осложняющие элементы:

- слой свежей грунтовой насыпи различного состава;
- под площадкой в южной части обнаружены выходы коренных пород (ГГЭ 3), судя по значениям УЭС, породы трещиноваты и обводнены, залегают с глубин 10-15 м в южной части площадки;
- в центральной части площадки на глубинах от 20 м имеются зоны, характеризующиеся повышенным электрическим сопротивлением, скорее всего, линзы песка.

В северо-восточной части обнаружена зона преобладания глинистых частиц (ГГЭ 4) на глубинах от 7 до 30 метров, судя по форме, это канал погребенного русла (старицы) реки (возможно с высоким содержанием илистых частиц и другой органики). Второй подобный объект находится в северо-западной части участка на глубинах от 8 до 14 м. Также проявляются линзы с преобладанием глинистого материала на глубинах от 5 до 11 м равномерно по всему участку.

Выводы

По данным электротомографии с достаточной точностью определяются границы:

- почвенного слоя;
- кровли и подошвы озёрно-болотистых отложений (суглинки, глины, торфяные отложения);
- песков;
- коры выветривания;
- крупногабаритных включений в насыпном грунте;
- инженерных коммуникаций;
- кровли подстилающих пород (скальное основание);
- отвалов обломочного материала из старых выработок.

Также можно выделить пространственное положение вышеперечисленных элементов и, кроме того, старых выработок (штреки, шурфы), тектонических нарушений, захороненных палеорусел рек и притоков.

Применяя электротомографию в инженерных изысканиях, можно существенно уменьшить количество скважин и повысить достоверность информации о грунтах под строительной площадкой за счёт «непрерывности профиля», особенно в нестандартной геологической ситуации. Например, сочетание скального основания сложной формы с аллювиальными отложениями, насыпными грунтами переменной мощности и локальными участками сильной обводнённости, хорошо картируются 3D-моделью. В случае отработки месторождения, на стадии добычи данные электротомографии позволяют с высокой детальностью оперативно отслеживать положение

продуктивного пласта и, при необходимости, корректировать положение забоя, что приводит к значительной экономии времени и ресурсов предприятия.

Библиография

Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // База знаний, 2010, 21 с. URL: www.nemfis.ru

Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. // Физика Земли, 1995 - N 12 - с.79-90.

Бортникова С.П., Ельцов И.Н., Панин Г.Л., Нестерова Г.В., Ковбасов К.В. Электропроводность вулканических образований по результатам электротомографии и петрофизическим оценкам // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе: научная конференция, посвященная 65-летию ИМГиГ ДВО РАН: тезисы докладов, Южно-Сахалинск, 26-30 сентября 2011 г. / отв. ред. Б.В. Левин. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011, с. 9-10.

Контактная информация

ООО «Новосибирская геолого-поисковая экспедиция» (ООО «НГПЭ»)
630116, г. Новосибирск-116, ул. Боровая партия, 12
тел.330-34-55, факс 330-35-13
E-mail: info@ngpe.ru