



## ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ КАМЕННОГО СЫРЬЯ

**На примере полевых исследований показаны возможности метода электротомографии для оконтуривания массивов скальных пород, определения глубины залегания кровли и границ в плане, а также качества каменного сырья. Использование геофизических методов позволяет оптимизировать разведочную буровую сеть и сэкономить средства на геологоразведочные работы.**

С освоением нефтегазовых месторождений Западной Сибири, а также с интенсивным строительством и ремонтом автодорог по новым стандартам в Сибирском федеральном округе связано возрастание спроса на щебень. Кроме этого, щебень используется в производстве железобетона и изготовлении товарного бетона. В связи с этим остро встает вопрос поисков новых месторождений каменного сырья или доразведки флангов действующих месторождений.

Как правило, геологоразведочные работы (ГРП) сопровождаются поисковым или разведочным бурением скважин, которое имеет значительную стоимость погонного метра. От качества бурения зависит итоговая геологическая модель месторождения, а также оценка затрат на вскрышные работы и проект разработки месторождения.

В практике ГРП особое место занимают геофизические методы, которые позволяют с относительно малыми затратами получить информацию о

структурно-геологическом строении площади исследований, расположении разломов, рудных тел, глубины залегания кристаллического фундамента и мощности рыхлых отложений. Несомненно, что и при геологоразведочных работах на нерудное сырьё методы геофизики будут весьма полезны для решения широкого круга задач.

Мы применили метод электротомографии (ЭТ) при поисках каменного сырья и оценили эффективность этого метода для оконтуривания массивов магматических пород. Основными задачами были определение глубины залегания кровли магматических пород, определение их границ в плане, выделение разломов и зон повышенной трещиноватости.

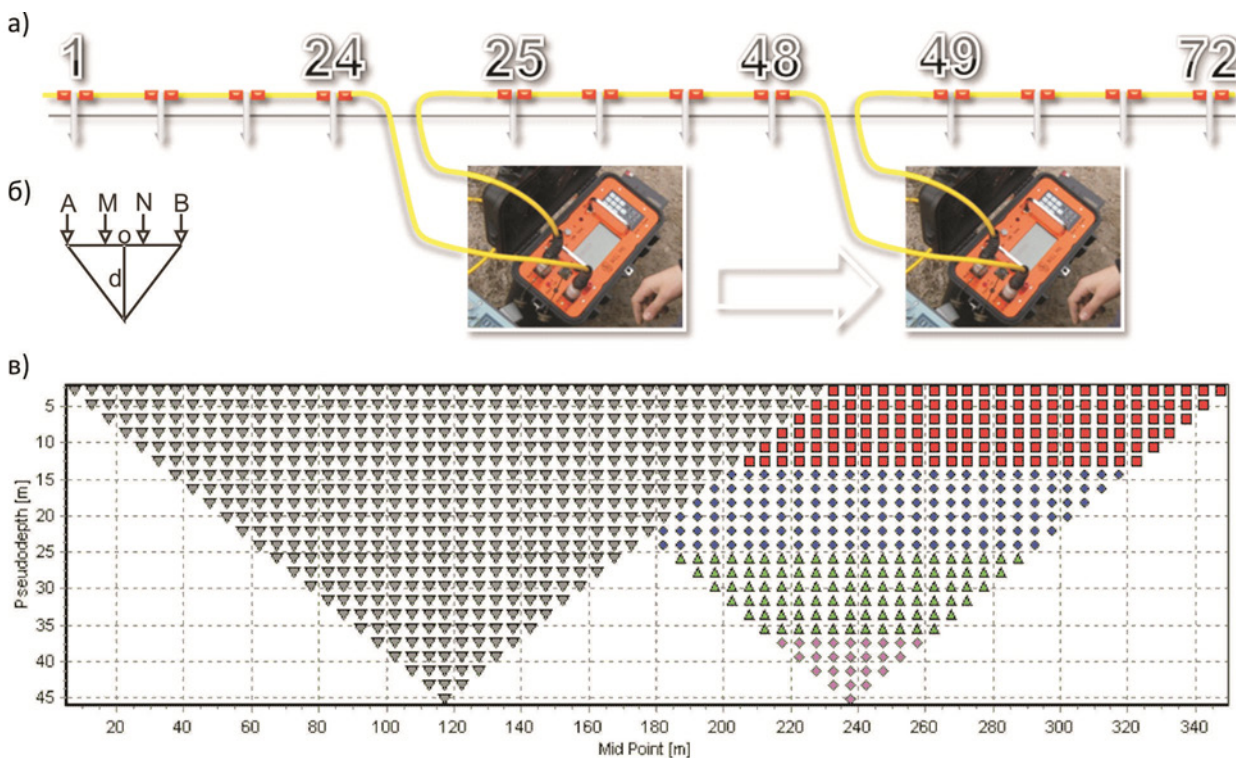
### **Метод и методика исследований**

Метод электротомографии это электро-разведочный метод геофизики, в основе которого лежит различие горных пород по удельному электрическому сопротивлению (УЭС). Метод представляет собой современную модифи-

кацию вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), который был широко распространён ранее. В отличие от ВЭЗ метод ЭТ позволяет исследовать сложные, неоднородные геологические среды. Хорошо разработанный математический аппарат двумерной и трёхмерной инверсии дает возможность строить 2-D и 3-D геоэлектрические модели среды, выявлять границы и отдельные тела.

Технология ЭТ заключается в много-электродных измерениях электрического напряжения и тока с помощью специальной аппаратуры, многожильного кабеля, к которому подключены заземлённые электроды с шагом 5 м (рис. 1). Шаг измерений по профилю может изменяться в зависимости от требуемой глубинности и детальности зондирования разреза. При увеличении расстояния между токовыми (питающими) электродами происходит зондирование среды, также, как и в методе ВЭЗ. В процессе измерений получают набор данных кажущегося УЭС по разрезу.

Рис. 1. Схема измерений при электротомографии [1]: а – подключение электродов и кабелей к прибору; б – положение точки записи в симметричной установке; в – положение точки записи на псевдоразрезе.



С помощью специальных программ обработки выполняют инверсию – решают обратную задачу электроразведки. В результате восстанавливается распределение истинного УЭС пород в разрезе, и строятся геоэлектрические разрезы. На основе известной зависимости УЭС от литологического состава проводится геологическая интерпретация разрезов.

Для решения задачи картирования измерения ЭТ выполняют по серии параллельных профилей, расположенных на расстоянии 50-100 м в зависимости от масштаба съёмки. Данные площадной съёмки обрабатываются в программе трёхмерной инверсии, в результате чего строится объёмная геоэлектрическая модель участка. Горизонтальные срезы этой модели на разных глубинах представляют собой карты распределения УЭС. На этих картах выделяют геоэлектрические особенности строения участка.

В качестве аппаратуры мы использовали современную многоэлектродную электроразведочную станцию Скала-48к12 производства ООО «Конструкторское бюро электротометрии».

**Примеры из практики**

Электроразведочные исследования проведены на флангах одного из месторождений строительного камня. В

геологическом строении территории исследования принимают участие отложения меловой системы (пески, глины, галечники, песчаники). На участке исследования расположен массив кислых эффузивов (альбитофиров), который разрабатывается карьерным способом.

По результатам исследований прошлых лет было известно, что глубина залегания альбитофиров изменяется от первых метров до первых десятков метров. Развитие горных работ плани-

ровалось в направлении юго-восточных флангов, где кровля скальных грунтов погружалась до 27-40 м. На мелкомасштабной геологической карте массив альбитофиров имеет ограниченные размеры примерно 2x0,9 км, однако точные границы его распространения не были известны.

В задачи геофизических исследований входило определение восточных границ распространения эффузивных пород, установление глубины залегания их кровли.

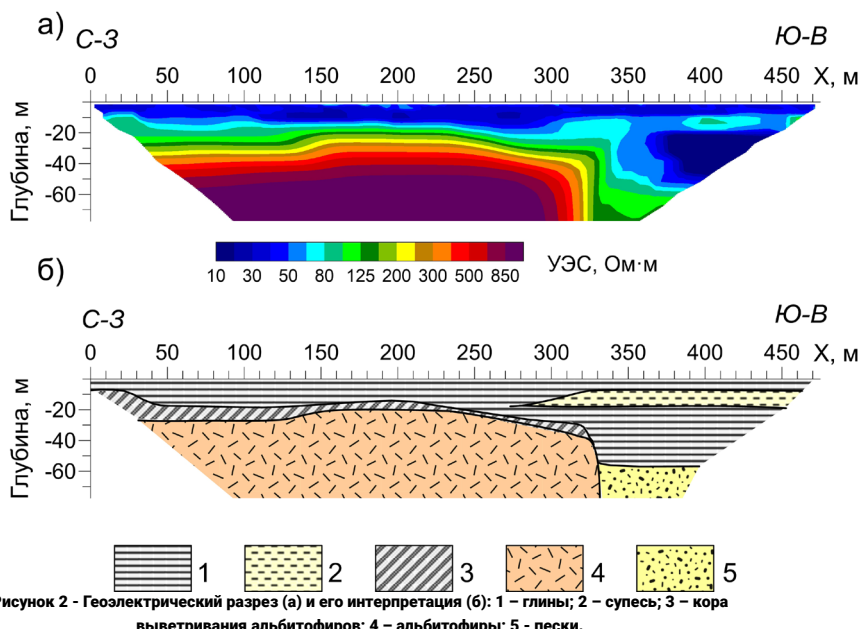


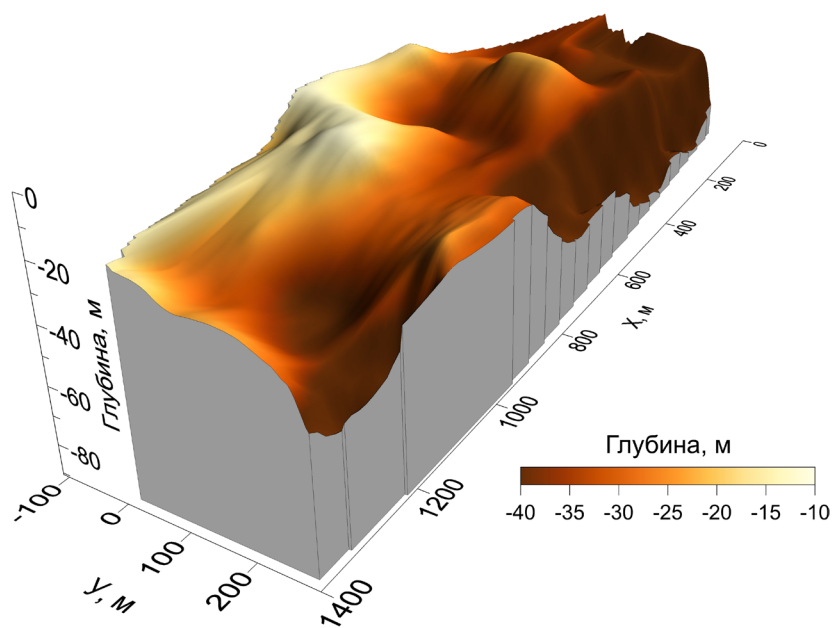
Рисунок 2 - Геоэлектрический разрез (а) и его интерпретация (б): 1 – глины; 2 – супесь; 3 – кора выветривания альбитофиров; 4 – альбитофиров; 5 – пески.

## ГЕОЛОГИЯ

На рисунке 2 показан геоэлектрический разрез и его интерпретация. На геоэлектрическом разрезе до глубины 8-10 м выделяется слой низкого УЭС около 30 Ом·м. Этот слой интерпретируется как глины. Внутри этого слоя выделяется прослой повышенного до 35-50 Ом·м сопротивления, вероятно представленные супесью. В интервале профиля 50-320 м на глубине 20-30 м выделяются породы очень высокого УЭС 800-1000 Ом·м. Эти породы представлены альбитофирами. Отчетливо проявляется юго-восточная граница массива эффузивов, как вертикальный контакт пород высокого и низкого электросопротивления.

По результатам площадных исследований была построена объёмная модель кровли альбитофиров (рис. 3). Анализ модели показывает, глубина залегания кровли изменяется от 11 до 45 м и в среднем по участку составляет 35 м. Выделены локальные поднятия кровли до глубины 11-20 м. Геофизические данные были заверены бурением. При этом расположение скважин было спланировано таким образом, чтоб подтвердить участки с минимальной и максимальной глубиной залегания кровли эффузивов. Расхождение данных электротомографии и бурения составило около 1 м при глубине залегания кровли 20 м. По геофизическим данным было установлено, что площадь эффузивов, залегающих до глубины 25 м составляет около 11 Га. При этом при средней мощности вскрыши 18 м её объём составит 1980 тыс. м<sup>3</sup>.

Рисунок 3 – Объёмная модель залегания кровли эффузивов по данным электротомографии



При добыче эффузивов до глубины 50 м средний коэффициент вскрыши составит 0,36 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что в десять раз ниже граничного коэффициента вскрыши, принятого для строительных материалов (около 3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>).

На другом участке выполнялись разведочные работы на гранит. В геологическом строении территории исследования принимают участие нерасчлененные отложения девонской

системы (глинистые сланцы, известняки, песчаники), объектом исследования являлась интрузия, сложенная гранитами, амаделлитами и ортоклазитами. Кровля гранитов была подсечена двумя поисковыми скважинами на глубинах 2,5 и 10 м.

Такая разница в глубине залегания кровли стала осложняющим фактором для планирования карьера. Для того чтобы получить целостное представление о глубине залегания гранитов в пределах участка исследований были проведены площадные зондирования методом электротомографии.

На рисунке 4 показана карта распределения УЭС на глубине 20 м (а) и геоэлектрический разрез по профилю №4. Карта распределения УЭС отображает границы распространения гранитной интрузии, которая выделяется высоким удельным электрическим сопротивлением. Хорошо заметно, что интрузия имеет неоднородное строение. Выделяются области пониженного и повышенного УЭС гранитов. Пониженное УЭС гранитов говорит об их трещиноватости по разломам. Это отражается на качестве каменного сырья. Кроме того, зоны разломов являются коллекторами подземных вод, осложняющими процесс добычи, что необходимо учитывать при проектировании карьера.

На геоэлектрическом разрезе (рис. 4б) видно, что в интервале профиля 100-240 м граниты залегают неглубоко от дневной поверхности, а в интервале 160-180 м выходят на поверхность в виде останцев. На юго-западном фланге граниты резко погружаются, а их крайняя часть интенсивно трещиновата,

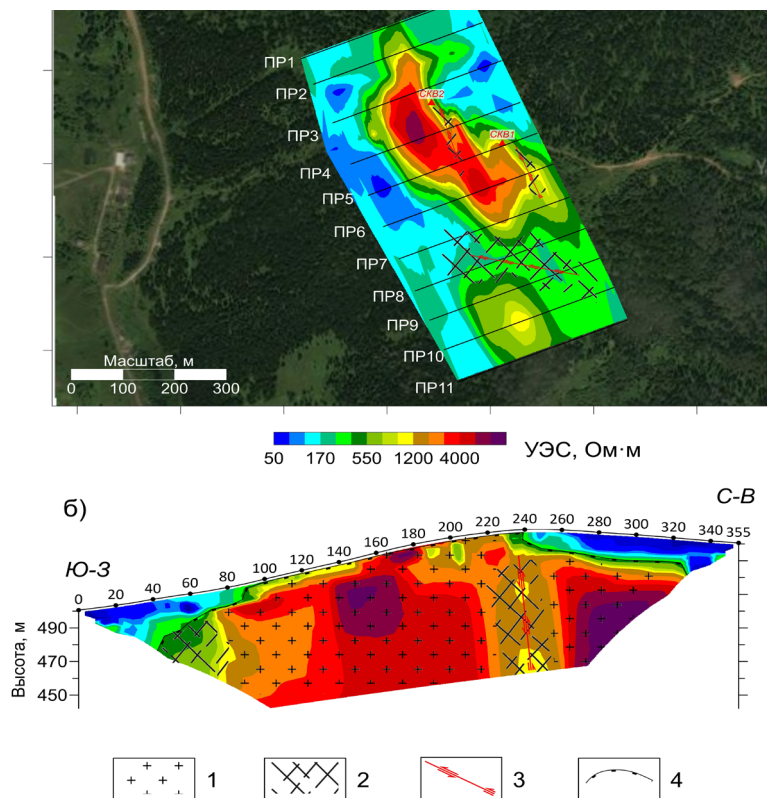


Рисунок 4 - Карта распределения УЭС на глубине 20 м (а) и геоэлектрический разрез по профилю №4: 1 - граниты; 2 - зоны трещиноватости; 3 - разлом; 4 - кровля грантов.

что выражается в пониженном УЭС до 500-1000 Ом·м. В интервале профиля 240-320 м кровля гранитов также погружается до глубины 15 м. То есть в этом месте не рекомендуется закладывать карьер из-за большой мощности перекрывающих суглинков. В интервале 320-340 м выделяется край гранитной интрузии, который погружается вертикально.

В результате исследований была построена карта глубины залегания кровли гранитов (рис. 5), которая позволит грамотно спланировать горные работы.

**Выводы**

Опыт наших работ показал, что геофизические исследования необходимы как на стадии поисков каменного сырья, так и на стадии разведки месторождения. Ранее бурение поисковых скважин без учета геофизических данных приводило к значительным затратам. На сегодняшний день нам удалось сократить расходы на бурение путём оптимизации сети поисковых скважин и уменьшения их количества в целом. Результаты электротомографии позволяют составить целостное представление о границах распространения скальных грунтов в плане и конфигурации поверхности их кровли. Это даёт возможность грамот-

но запроектировать добычной карьер и провести вскрышные работы с минимальными затратами. Распределение электрического сопротивления скальных грунтов отражает и степень их трещиноватости, что напрямую связано с качеством каменного сырья.

*Литература*

1. Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика, 2012, №6, с. 54-63.

**Оленченко Владимир Владимирович**

ведущий научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, кандидат геолого-минералогических наук, директор ООО «Геоэлектрика»

OlenchenkoVV@yandex.ru

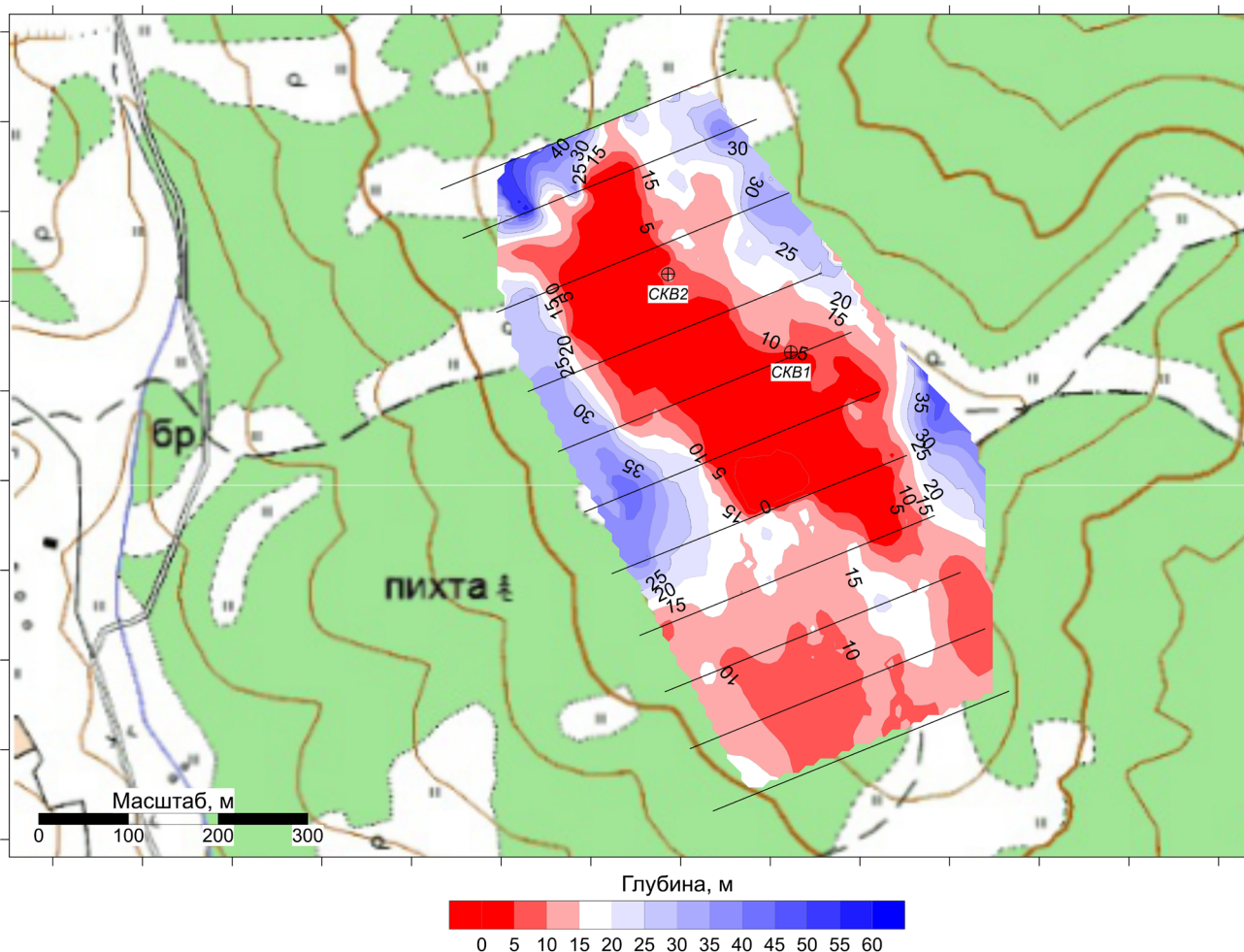


Рисунок 5 – Карта глубины залегания кровли гранитов по данным электротомографии

# ИЗ КАРЬЕРА НА ФАБРИКУ ПОЛНЫЙ СПЕКТР ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Более высокая  
производительность и  
более низкие капитальные и  
операционные затраты.  
Вот лишь несколько  
показателей, которые  
можно улучшить, работая  
с единым поставщиком  
оригинального оборудования,  
который предлагает полный  
спектр решений для ваших  
производственных процессов.

- Роторные экскаваторы
- Мобильные и полустационарные дробильные установки
- Мобильные ленточные конвейеры и отвалообразователи
- Системы укладки пустой породы
- Поверхностные конвейеры
- Трубчатые конвейеры
- Оборудование для складов
- Портовое оборудование
- Кучное выщелачивание
- Укладка сухих хвостов в отвалы
- Стационарные дробильные установки

+7 (495) 660 8880  
+7 (495) 641 2778  
info@flsmidth.ru  
flsmidth.com

**FLSMIDTH**

**WE DISCOVER POTENTIAL**