

# Обоснование применения метода электротомографии на поисково-разведочной стадии работ на россыпное золото аллювиальных россыпей



**В. В. Оленченко**  
вед. науч. сотр. Института  
нефтегазовой геологии и  
геофизики СО РАН, зав. лаб.  
геоэлектрики, к. г.-м. н.,  
доцент, директор  
ООО «Геоэлектрика»  
эл. почта:  
OlenchenkoVV@yandex.ru



**П. С. Осипова**  
инженер Института  
нефтегазовой геологии и  
геофизики СО РАН, бакалавр  
геологии, магистрант НГУ,  
инженер-геофизик  
ООО «Геоэлектрика»  
эл. почта:  
Osipova.Pol@yandex.ru

За последние 20 лет технологии гальванической электроразведки существенно развились. Поистине революционным изменением стало появление метода *электротомографии (ЭТ)* и переход от одномерной инверсии результатов электрических зондирований к двумерной и трёхмерной инверсии данных [1, 3, 5, 6]. Многоэлектродные многоканальные измерения электрического поля в методе ЭТ кратно повышают производительность работ по сравнению с традиционными вертикальными электрическими зондированиями (ВЭЗ), а получаемые геоэлектрические модели существенно отличаются от разрезов, построенных по данным ВЭЗ, большей геологической информативностью и реалистичностью.

В настоящее время метод ЭТ широко применяется при инженерно-геологических изысканиях, поисках рудных месторождений, экологических исследованиях, в археологии, однако практически не внедрён в состав поисково-разведочных работ на россыпное золото.

## Геологические предпосылки

Известно, что формирование большинства аллювиальных россыпей происходит на стадии зрелости речной долины, когда основная энергия потока расходуется на транспортировку материала. Река течет среди своих же наносов, перемывая и перемещая их [2]. В хорошо разработанных речных долинах выделяют две группы аллювиальных фаций. Первая группа *русловых* фаций — плёсов, пристрежневой зоны (максимальной скорости течения) и береговых отмелей. Вторая группа *пойменных* фаций — прируслового вала, приречная, внутренняя, вторичных водоёмов.

Фация плёсов состоит из наиболее грубообломочного материала. Наличие в ее составе валунов обуславливает вихревое движение потока у дна реки, его торможение и улавливание тяжелых минералов. Как правило, с этой частью разреза связаны максимальные концентрации металла. Выше-

залегаящие осадочные отложения пристрежневой фации и перекаатов характеризуются различной степенью сортировки аллювия. Распределение металла здесь отмечается большой невыдержанностью. Среди отложений фации кос и береговых отмелей накапливается главным образом тонкое золото. В осадках пойменной фации, сложенных тонким песчано-глинистым материалом, значительных концентраций металла не отмечается [2]. Типичный разрез аллювиальной долиной россыпи показан на рис. 1.

Как следует из рис. 1, максимальные концентрации металла приурочены к фации плёсов и перекаатов, характеризующихся грубым дисперсным составом (валуны, галька с песчаным заполнителем). Таким образом, задачей геофизических исследований является выделение в разрезе и картирование в плане отложений русловой фации аллювия, с которой связано золото.

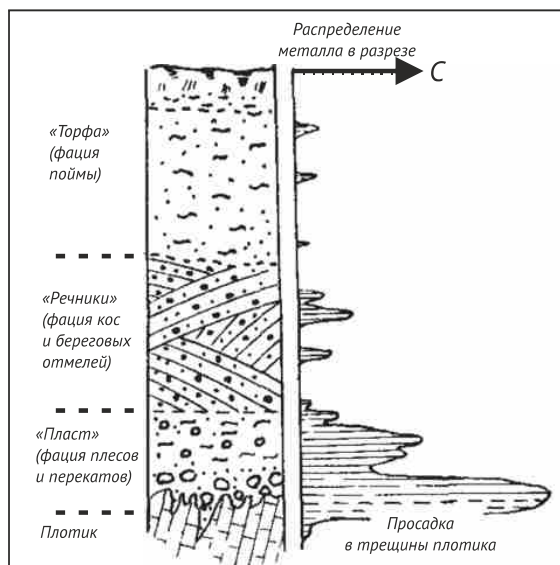


Рис. 1. Типовой разрез аллювиальной долинной россыпи, по [2]

Различие дисперсного состава отложений разных фаций отражается и на их удельном электрическом сопротивлении (УЭС). Самое высокое УЭС наблюдается у валунно-галечниковых отложений с песчаным заполнителем или без него. По мере уменьшения размера фракции отложений понижается и их УЭС. В ряду песок-супесь-суглинок-глина УЭС пород понижается на порядок — от первых сотен до 7–10 Ом·м [4].

Электрическое сопротивление пород плотика может быть разным и зависит

от его вещественного состава, степени выветрелости. Если плотик представлен прочными интрузивными породами (граниты и т.д.), то их УЭС будет высоким. Коренные породы осадочного генезиса (песчаники, алевролиты, аргиллиты, карбонаты) на контакте с аллювием часто выветрелые, а поскольку долины рек формируются по разломам, эти породы имеют интенсивную трещиноватость с глинистым заполнителем, поэтому их УЭС значительно ниже, чем электросопротивление валунно-галечниковых отложений русловой фации. Таким образом, хорошая дифференциация аллювиальных отложений разных фаций и пород плотика дает возможность применять методы электроразведки для решения поисково-разведочных задач на россыпное золото.

### Метод исследований

Электротомография сочетает в себе элементы профилирования и зондирования и отличается высокой плотностью наблюдений по профилю. Технология ЭТ заключается в многоэлектродных измерениях электрического напряжения и тока с помощью специальной аппаратуры, многожильного кабеля, к которому подключены заземленные электроды с шагом 5 м (рис. 2). Шаг измерений по профилю может изменяться, в зависимости от требуемой

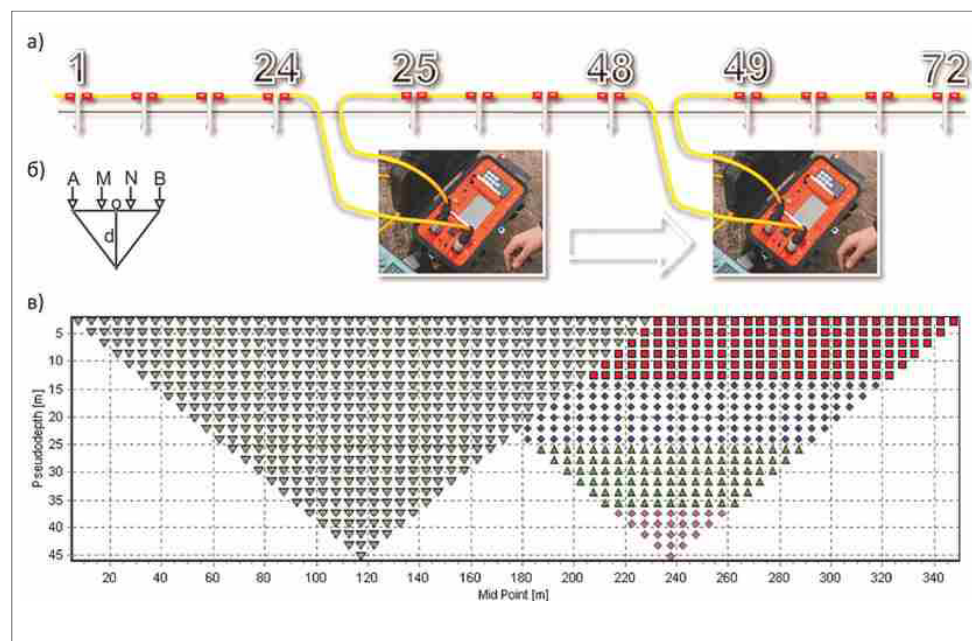


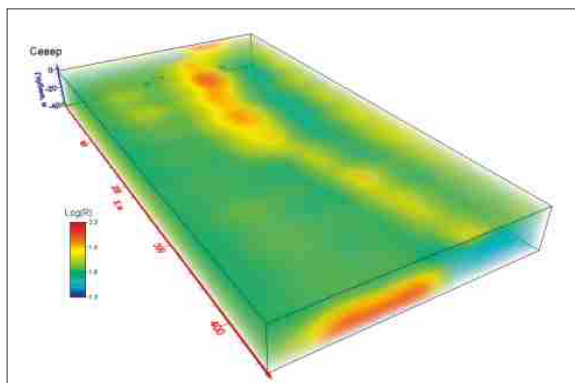
Рис. 2. Схема измерений при электротомографии [1]:

- а – подключение электродов и кабелей к прибору;
- б – положение точки записи в симметричной установке;
- в – положение точки записи на псевдоразрезе

глубинности и детальности зондирования разреза. При увеличении расстояния между токовыми (питающими) электродами происходит зондирование среды также, как и в методе ВЭЗ. В результате измерений получают набор данных *кажущегося* УЭС по разрезу. 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 размера долины и масштаба съемки. Данные площадной съемки обрабатываются в программе трехмерной инверсии, в результате чего строится объемная геоэлектрическая модель участка. Пример объемной модели распределения УЭС показан на рис. 3. Горизонтальные срезы этой модели на разных глубинах представляют собой карты распределения УЭС. На этих картах выделяют геоэлектрические особенности строения участка, аномалии высокого УЭС, связанные с отложениями русловой фации.

Трехмерная электротомография позволяет не только картировать



**Рис. 3. Пример объёмной модели распределения логарифма УЭС среды по результатам 3-D инверсии данных электротомографии. В модели виден шлейф отложений русловой фации аллювия в виде полосы повышенного электросопротивления**

потенциально золотоносные области аллювиальных отложений, но и выделять локальные углубления в кровле плотика (карманы), в которых, как правило, происходит концентрирование полезного ископаемого.

### Примеры из практики

На рис. 4 показан геоэлектрический разрез и его интерпретация, полученные в результате опытно-методических работ методом ЭТ на одном из россыпных месторождений Камчатки. Профиль ЭТ проходил вдоль разведочной траншеи, поэтому интерпретация разреза УЭС проводилась с учетом геологических данных. УЭС пород разреза изменяется в пределах от первых сотен до первых тысяч Ом·м. В приповерхностной части разреза до глубины 4–5 м в границах горного отвода выделяются породы с УЭС 1000–3000 Ом·м. Эти породы представлены валунно-галечниковыми отложениями русловой фации, содержащей россыпное золото. Коренные породы имеют УЭС от 250 до 2000 Ом·м, в зависимости от степени трещиноватости, и представлены сильно трещиноватыми песчаниками. Непосредственно в коре выветривания, где коренные породы разрушены до состояния щебня, УЭС понижается до 50–200 Ом·м. Как следует из рис. 4, корытообразное погружение в кровле плотика образовалось над областью пониженного УЭС в коренных породах, интерпретируемой как зона разлома. Этот же факт был отмечен в геологической характеристике района работ, где сказано, что долины ручьев закладывались в прошлом по мелким внутривалковым разломам.

По результатам опробования в ходе эксплуатационной разведки было установлено, что промышленные содержания золота отмечаются именно в выделенных по геофизическим данным корытообразных погружениях поверхности плотика. Средние содержания на пласт составили около 1 г/м<sup>3</sup>. При промывке около 1125 м<sup>3</sup> песков было добыто порядка 1250 граммов золота.



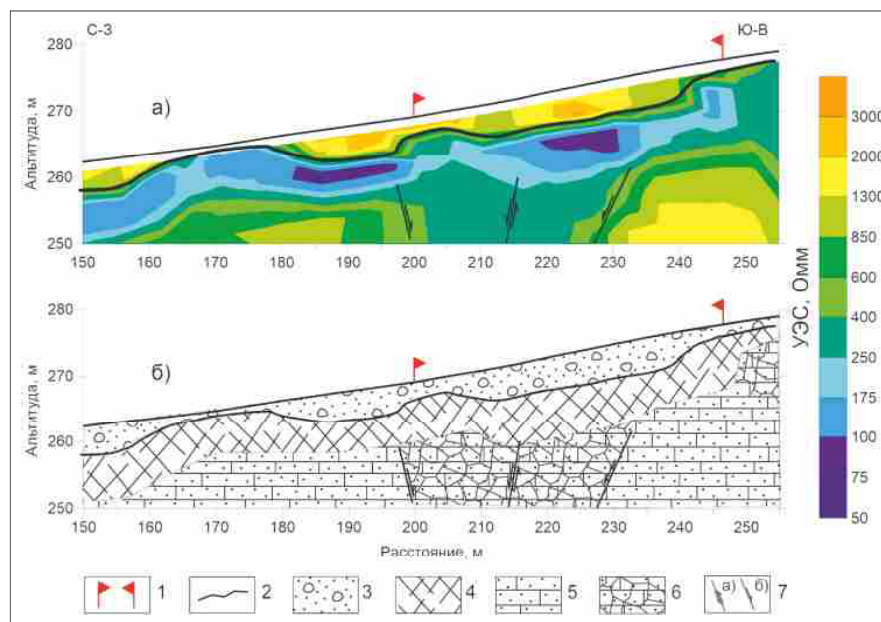


Рис. 4. Геоэлектрический разрез (а) и его интерпретация (б) с учётом данных горных работ:

- 1 – границы горного отвода №2;
- 2 – кровля коренных пород по данным геофизики и вскрыши;
- 3 – рыхлые отложения русловой фации;
- 4 – кора выветривания коренных пород, щебень;
- 5 – песчаники;
- 6 – трещиноватые песчаники зоны разлома;
- 7 – разломы:
- а) магистральный сместитель,
- б) краевой сместитель

На рис. 5 приведен геоэлектрический разрез с элементами интерпретации, полученный при поисковых работах в Прибайкалье. По данным ЭТ выделены аллювиальные отложения русловой фации. Однако опробование шурфами показало, что в выделенных аномалиях встречаются единичные знаки золота. Вне геофизических аномалий золото не обнаружено вовсе. По результатам опробования участок признан неперспективным.

Результаты площадной съёмки методом ЭТ на одном из участков в Бурятии позволили проследить проявление россыпного золота, выделенное ранее по данным бурения на стадии поисков. Карта распределения УЭС на глубине 2 м приведена на рис. 6.

Протяженной аномалией высокого УЭС на карте выделяется аллювиальный шлейф русловой фации. Одна из поисковых скважин, пробуренная до проведения геофизических исследований, попадает в контуры геофизической аномалии. Скважина вскрыла 1,7 м торфов и 1,2 м песков с содержанием золота 1583 мг/м<sup>3</sup>. В трех других скважинах за пределами геофизической аномалии содержание золота составляет менее 100 мг/м<sup>3</sup>.

Поскольку метод ЭТ позволяет строить объемные геоэлектрические модели участков, это дает возможность определять мощность аллювиальных отложений русловой фации и выделять положение «карманов» в плане. Пример карты мощности аллювиальных отложений приведен на рис. 7.

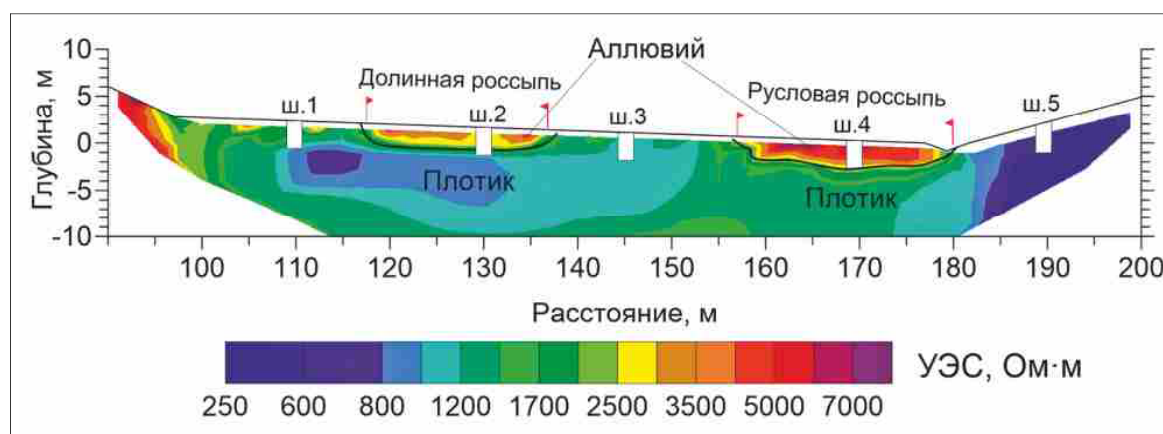


Рис. 5. Геоэлектрический разрез долины по данным ЭТ, Прибайкалье

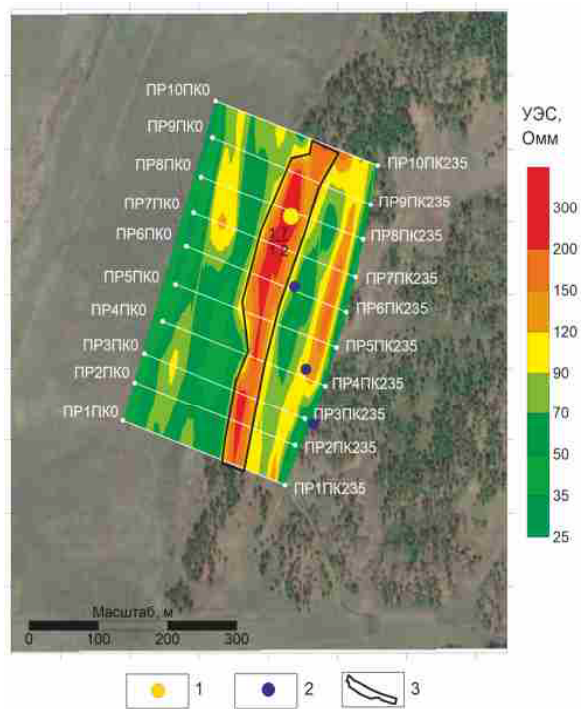


Рис. 6. Карта распределения УЭС на глубине 2 м, Бурятия: 1 – поисковые скважины с содержанием золота 1,6 г/м<sup>3</sup>; 2 – поисковые скважины с содержанием золота менее 0,1 г/м<sup>3</sup>; 3 – контур отложений русловой фации аллювия по геофизическим данным



Рис. 7. Пример карты мощности аллювиальных отложений русловой фации по геофизическим данным. Бурятия

Подобные карты позволяют спланировать объем горных работ, а также оценить прогнозные ресурсы площади.

Согласно Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (утв. приказом МПР РФ от 11 декабря 2006 г. N 278), основываясь на положительной оценке выявленных при крупномасштабной (в отдельных случаях — среднемасштабной) геологической съемке и поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены единичными выработками, возможна оценка прогнозных ресурсов категории  $P_2$ .

Таким образом, в результате опытно-методических работ на Камчатке и поисково-оценочных работ в Бурятии и Прибайкалье было установлено, что выделяемые в поймах рек приповерхностные аномалии высокого УЭС соответствуют отложениям русловой фации русел и палеорусел, которые перспективны на золотоносность.

Данные геофизических исследований позволяют спланировать горные работы, задать положение разведочных буровых линий и шурфов, что повышает геологическую и экономическую эффективность поисков.

Результаты электротомографии необходимо использовать для оценки прогнозных ресурсов по категории  $P_2$ , а после заверочных работ — для оценки запасов категории  $C_2$ .

#### 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.
2. Баранников А.Г. Геология россыпных месторождений. Учебное пособие. Свердловск, изд-во СГИ им. В.В. Вахрушева, 1984, с. 80.
3. Бобачёв А.А., Горбунов А.А. Двумерная электроразведка методом сопротивлений и вызванной поляризации: аппаратура, методики, программное обеспечение // Разведка и охрана недр, 2005, N12, с. 52-54.
4. Дортман Б.Н. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (Петрофизика). Справочник геофизика. Недр, Москва, 1984 г., 455 стр.
5. Dahlin T., Zhou B. A Numerical Comparison of 2D Resistivity Imaging with Ten Electrode Arrays // Geophysical Prospecting, 2004, N52, p. 379-398.
6. Loke M.H., Barker R.D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion techniques // Geophysical Prospecting, 1996, N44(3), p. 499-524. ■