

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837.22 + 553.411

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СИБИРИ: СТРУКТУРА, ПРИРОДА  
И СВЯЗЬ С ЗОЛОТОРУДНЫМИ ТЕЛАМИ

Л.Я. Ерофеев, А.Н. Орехов, Г.В. Ерофеева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Томск, просп. Ленина, 30, Россия

Дана характеристика постоянного естественного электрического поля (ЕП) золоторудных площадей Сибирского региона. Определены закономерности пространственных изменений его потенциала, параметры и свойства аномалий. Установлена природа возникновения естественного электрического поля у основных генотипов месторождений. Показано, что в создании электрического поля основную роль играют физико-химические процессы, протекающие на синрудных метасоматитах с электронной проводимостью, и процессы циркуляции грунтовых вод. Продемонстрировано, что собственно рудные тела не вносят заметного влияния на структуру наблюдаемых электрических полей.

Даны рекомендации по применению метода ЕП на золоторудных объектах различных типов.

*Электроразведка, естественное электрическое поле, золоторудные месторождения, Сибирь.*

NATURAL ELECTRIC FIELDS IN SIBERIAN GOLD DEPOSITS:  
STRUCTURE, ORIGIN, AND RELATIONSHIP WITH GOLD OREBODIES

L.Ya. Erofeev, A.N. Orekhov, and G.V. Erofeeva

Characteristics of the constant natural electric field in the Siberian gold ore areas. The regularities of spatial variations in the electric-field potential and the parameters and properties of anomalies have been established. The cause of the natural electric field in deposits of major genotypes has been elucidated. It is shown that the electric field is induced mainly by physicochemical processes running in electron-conducting syn-ore metasomatites and by circulation of groundwaters. Orebodies do not influence significantly the structure of the observed electric fields.

We give recommendations on application of the electric-field method at various gold ore objects.

*Electrical prospecting, natural electric field, gold deposits, Siberia*

ВВЕДЕНИЕ

Метод естественного электрического поля (ЕП) появился в практике геологических работ в первой четверти прошлого столетия и заслуженно привлек к себе внимание как разведчиков рудных месторождений, так и специалистов в области инженерно-геологических изысканий. Пик его применения в нашей стране и за рубежом пришелся на вторую половину прошлого века. К этому времени в основном была создана физико-математическая и петрофизическая основа метода, разработаны соответствующая технология производства работ и способы интерпретации [Параснис, 1965; Свешников, 1967; Семенов, 1974; Рысс, 1983; Огильви и др., 1987; Огильви, 1990; Bigalke, Grabner, 1997; Abdelrahman et al., 2006; Revil, Jardani, 2013].

К настоящему времени по результатам практического применения метода ЕП накоплен значительный объем фактического материала, который позволяет в разной мере определить структуру и природу естественных полей, оценить его возможности в реальных физико-геологических обстановках при разведке определенного вида полезных ископаемых или решении конкретных типовых геологических задач.

В настоящей статье рассмотрены эти вопросы применительно к рудным месторождениям золота Сибирского региона.

Месторождения золота Сибири сосредоточены в основном в складчатом обрамлении южной и юго-восточной части Западно-Сибирской платформы [Кузьмин и др., 1999]. Первые наблюдения естественного электрического поля на месторождениях золота в этом регионе с целью разведки были выполнены в Западных Саянах (Ольховско-Чибижеский золоторудный район) в 1934 г. В.В. Бородиным.

В дальнейшем метод ЕП на сибирских месторождениях золота нашел довольно широкое применение [Никифоров, 1945; Сейфуллин, 1965; Красников и др., 1967; Вовченко, 1968а,б; Мозголин, 1978; Шатров, 1979; Прогнозирование..., 1989; Чебаков, Рошкетав, 2001; Ерофеев и др., 2003].

В настоящее время геофизические съемки (обычно в масштабе 1:25 000 и крупнее) методом естественного электрического поля проведены в пределах большинства рудных полей крупных месторождений золота и золоторудных районов Саян, Енисейского Кряжа, Ленской золоторудной провинции, золоторудных провинций юго-восточной части Сибири.

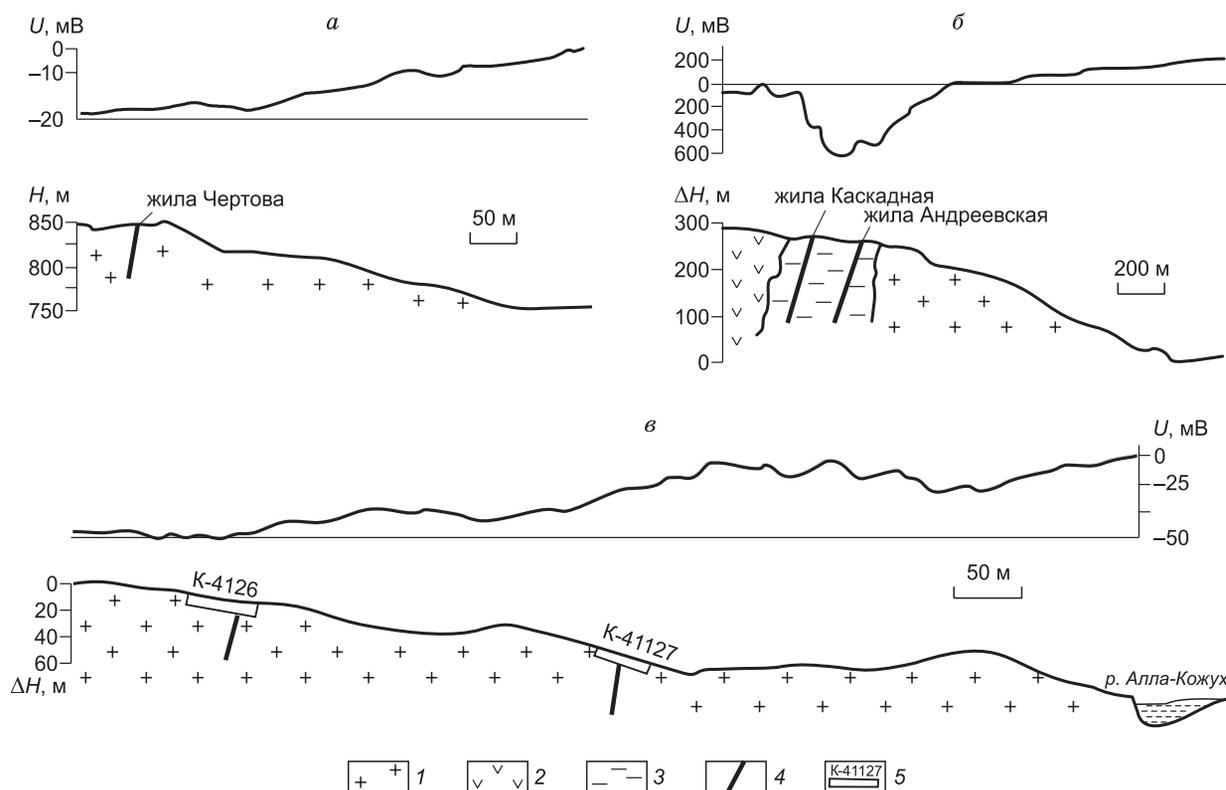
И сегодня при поисково-разведочных работах на золото в комплекс геофизических методов достаточно часто включается метод ЕП [Сауков, 1975].

Материалы многолетних полевых наблюдений параметров ЕП в различных золоторудных провинциях Сибири свидетельствуют как о некоторой общности ЕП месторождений, так и о существенно различных связях его с продуктами рудообразующих процессов на золоторудных площадях региона.

### СТРУКТУРА ПОЛЯ, ХАРАКТЕРИСТИКА АНОМАЛИЙ И ИХ ПРИРОДА

Амплитуда аномалий потенциала ЕП на золоторудных месторождениях изменяется обычно в пределах нескольких сотен мВ, достигая в отдельных случаях (например на Олимпиадинском месторождении) 1В и более. При этом период пространственного изменения его варьирует в интервале первые десятки метров — несколько сотен метров. По спектральному составу вариации потенциала ЕП в первом приближении и с большой долей условности делятся на две группы изменений — на «низкочастотные» малоамплитудные (обычно первые десятки мВ) возмущения и «высокочастотные», включающие аномалии больших амплитуд и имеющие относительно изомерную или линейно-вытянутую форму.

Эти изменения потенциала ЕП в совокупности присутствуют не на всех месторождениях. Всегда наблюдаются только «низкочастотные» вариации ЕП (рис. 1, а, в). На некоторых месторождениях — те



**Рис. 1. Графики потенциала естественного электрического поля на золоторудных месторождениях:**

а — Апрельковское, б — Саралинское, в — Центральное. 1 — гранодиорит, 2 — эффузивы основного состава, 3 — глинисто-углеродистые сланцы, 4 — рудная жила, 5 — канава и ее номер.

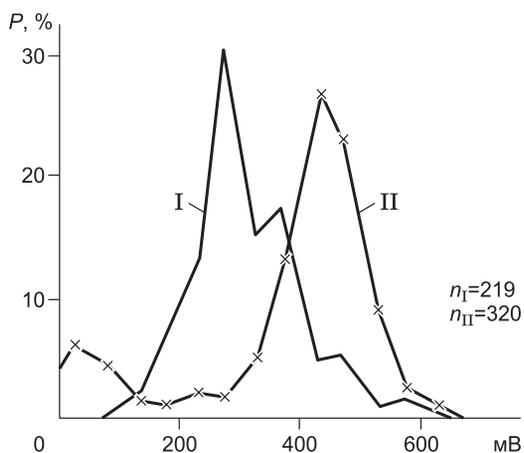


Рис. 2. Статистическое распределение величины электродного потенциала пирита (I) и углистого вещества сланцев (II) на Саралинском золоторудном месторождении [Мозголин, 1978].

и другие. В последнем случае на рудном поле доминируют «высокочастотные» возмущения (см. рис. 1, б), искажая и затеняя присутствующий «низкочастотный» фон.

Малоамплитудные и значительные по площадным размерам аномалии ЕП в подавляющем большинстве случаев формируются процессами циркуляции (обычно со скоростью около 20—40 м/сут) грунтовых вод в приповерхностных частях геологической среды (так называемые «фильтрационные поля») вследствие существования в ка-

пиллярах двойного электрического слоя. Изменение потенциала ЕП этой природы имеют обратную корреляционную связь с рельефом дневной поверхности (см. рис. 1).

Другая группа локальных аномалий ЕП с большой амплитудой обычно создается на месторождениях золота участками пород, обогащенными электронно-проводящими минералами — графитом, сульфидами различных металлов, чаще всего пиритом. Природа возникновения аномалий ЕП в местах локализации таких участков в общих чертах известна [Параснис, 1965; Семенов, 1974; Рысс, 1983; Огильви, 1990; Bigalke, 1997; Revil, Jardani, 2013]. Они создаются физико-химическими процессами, протекающими на границах раздела электронных проводников с вмещающими их обводненными породами с ионной проводимостью. Интенсивность ЕП определяется как разностью окислительно-восстановительных потенциалов вод, циркулирующих на разных глубинах [Параснис, 1965; Семенов, 1974; Bigalke, 1997], так и величиной электродного потенциала электронных проводников, который у всех месторождений не постоянен, но при этом изменяется примерно в одинаковых пределах (200—500 мВ) и имеет близкий к нормальному закон распределения (рис. 2). Значения потенциала для графита в среднем повсеместно выше, чем у сульфидов.

При этом форма и амплитуда «высокочастотных» изменений ЕП не зависят в рассматриваемом регионе, в том числе и на рудных полях золота, где развит слой многолетнемерзлых пород, ни от времен года (рис. 3, а), ни от года наблюдения (см. рис. 3, б), смена которых существенно влияет на физико-химические обстановки в активном (с точки зрения электропроводности и протекания процессов циркуляции вод) горизонте. Это свидетельствует о том, что в образовании рассматриваемых аномалий ЕП, в отличие от «низкочастотных», принимают участие волосно-пленочные (рыхлосвязанные в современной

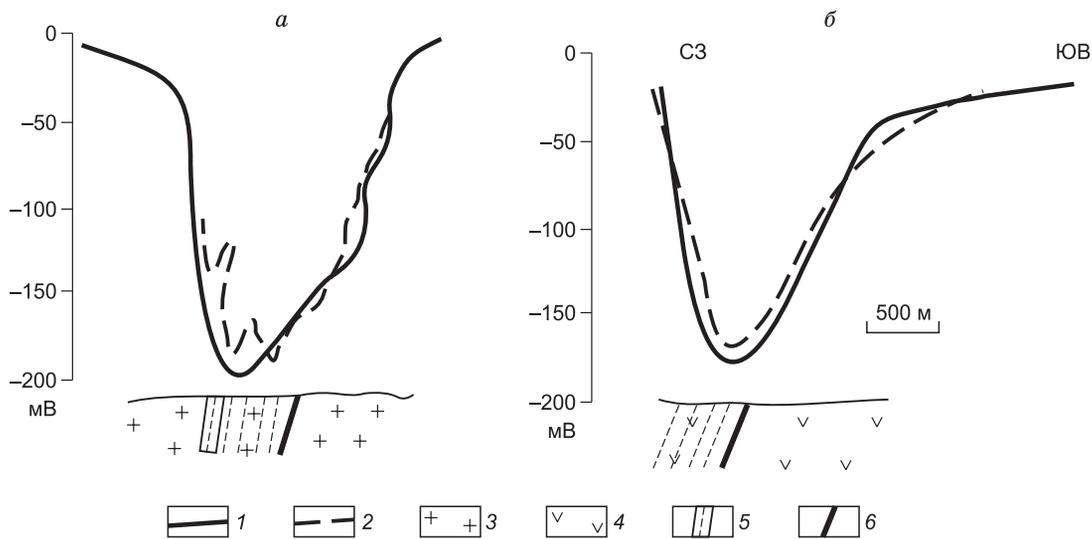


Рис. 3. Сравнительные результаты съемки потенциала естественного поля в Восточном Забайкалье в разное время на золоторудных площадях:

а — в декабре 1959 г. (1) и сентябре 1961 г. (2); б — в 1936 г. (1) и 1941 г. (2) [Сейфуллин, 1965]; 3 — гранодиориты; 4 — кварцевые диориты; 5 — зоны пиритизации; 6 — золоторудная жила.

терминологии) и капиллярные воды, которые замерзают при температурах значительно ниже 0 °С. Волосные воды, например, замерзают при –78 °С (по данным А.А. Саукова [1975]).

По характеру связи морфологии ЕП с золоторудными телами месторождения региона можно разделить на три существенно разные группы.

### **Месторождения с предрудными метасоматитами — диэлектриками**

В группе рудных полей месторождений золота, на которых естественное электрическое поле проявляется только в виде «низкочастотных» вариаций, рудные тела не имеют никакой связи с ЕП рудного поля. Они не сопровождаются локальными аномалиями, т. е. не являются формирующими ЕП, хотя в составе их содержится до 10 % и более электронно-проводящих сульфидов различных металлов. Такие месторождения встречаются практически во всех золоторудных районах Сибири [Кузьмин и др., 1999].

Отсутствие локальных аномалий ЕП отмечается на золоторудных месторождениях, относящихся (по геолого-минералогической классификации [Методическое руководство ..., 2002]) к жильному типу золото-сульфидно-кварцевой формации, их рудные тела представляют совокупность (жилу) кулисообразно расположенных линз скоплений сульфидов и золота в кварцевых жилах, где они отлагаются в узких (мм) трещинах кварца.

Толщина жил обычно составляет несколько дециметров, редко, в отдельных частях их, 1—2 м (в «раздувах», бонанцах). Размеры по простиранию и падению линз составляют несколько десятков метров.

Линзы в плоскости жилы отделяются друг от друга «пустой» породой, а жилы в приконтактных частях окаймляются измененными вмещающими породами — метасоматитами, представляющими собой синрудные листвениты по габброидам, березиты по гранодиоритам или кварциты в терригенно-осадочных толщах. Это тонкие осветленные зоны пород толщиной от нескольких дециметров до 1—2 м. Состав их варьирует между карбонатами, кварцем, серицитом и хлоритом. Все эти образования — диэлектрики.

Понятно, что в такой физико-геологической обстановке, если она существенно не нарушена пострудными тектоническими воздействиями, превращающими жилу в раздробленное и перетертое образование, не могут протекать интенсивные окислительно-восстановительные реакции, поскольку вмещающая руду геологическая среда не обладает достаточной электронной и ионной проводимостью для протекания электрического тока.

Классическим примером в этом отношении могут служить детально изученные и длительное время находящиеся в эксплуатации Центральное месторождение Кузнецкого Алатау или Апрельковское, расположенные в золото-молибденовом поясе Восточного Забайкалья [Ерофеев, Орехов, 2014].

На этих месторождениях, как видно из рис. 1, а, в, в местах локализации кварц-золоторудных жил, содержащих до 10—15 % сульфидов, заметных аномалий ЕП не отмечается. Оба эти месторождения целиком располагаются в гранодиоритовых массивах, имеют практически одинаковую структуру и близкие по морфологии, составу и золотоносности рудные тела, но образованы они в разное время: Центральное месторождение в палеозойский тектономагматический цикл, Апрельковское — в киммерийский [Тимофеевский, 1952; Фогельман, 1968].

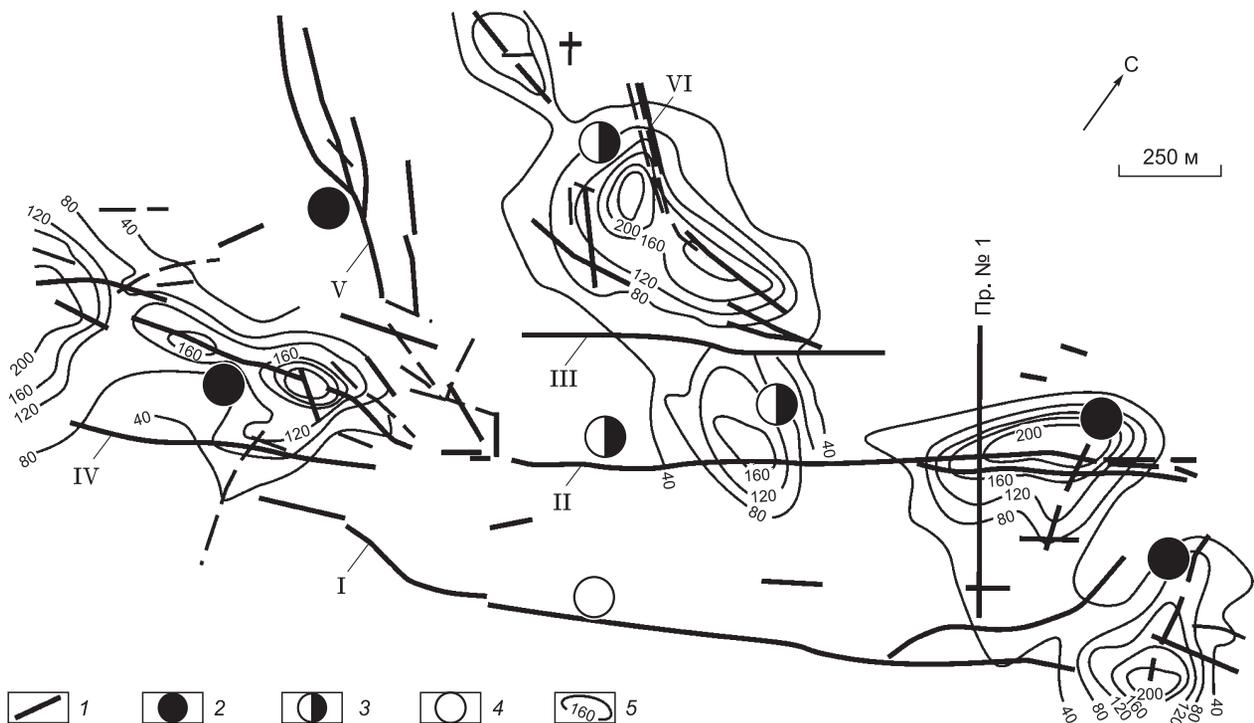
Анализ особенностей отражения рудных тел этих месторождений в ЕП позволяет говорить о том, что значительная разница во времени образования и их территориальная приуроченность никак не сказываются на «сохранности» рудных тел.

### **Месторождения с предрудными метасоматитами — проводниками электрического тока (сульфидами)**

Иную морфологию ЕП имеет в пределах рудных полей месторождений золота, на которых прошли различной интенсивности дорудные процессы метаморфизма, сформировавшие значительные по размерам участки пород с электронной проводимостью. На одних месторождениях, локализованных в интрузивных или терригенно-безуглеродистых комплексах пород, такими участками являются места, существенно обогащенные сульфидами различных металлов, на других, сформированных в черносланцевых толщах, — сульфидами и графитом.

Для примера месторождения с участками сульфидизированных пород на рис. 4 показан план изолиний потенциала ЕП и совмещенная с ним схема расположения основных рудных жил широко известного золоторудного месторождения Дарасун, расположенного в золото-молибденовом поясе Восточного Забайкалья. Оно детально изучено и с геологических, и с геофизических позиций [Геология..., 1971; Локотко, Шадрин, 1972].

Месторождение сложено интрузивными телами основного состава нижнепротерозойского возраста и гранодиоритами среднепалеозойского возраста. Рудные тела месторождения Дарасун (золото-кварц-сульфидные жилы) генетически не связаны с упомянутыми интрузивными комплексами. Они



**Рис. 4. Распределение рудных тел в естественном электрическом поле на месторождении Дарасун.**

*I* — кварц-золото-сульфидные жилы (*I* — Главная, *II* — Ново-Кузнецовская, *III* — Свинцовая, *IV* — Электрическая-2, *V* — Карпаты, *VI* — Серго); минеральные ассоциации в рудных жилах: 2 — медно-сурьмяная; 3 — кварц-пиритовая; 4 — кварц-турмалиновая; 5 — отрицательные изолинии естественного электрического поля (мВ).

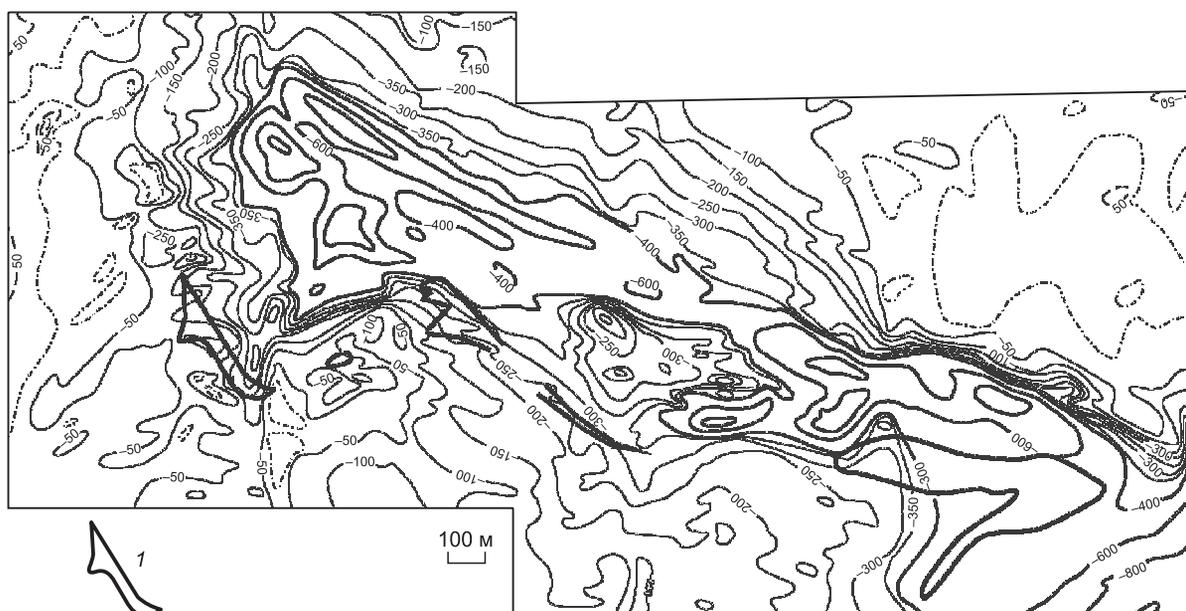
сформированы в мезозойское время. Процессы рудообразования на месторождении прошли стадийно, с временными перерывами. На начальной стадии (пневматолитово-гидротермальной) были образованы участки пиритизированных пород, в районе развития которых на последующих этапах (уже исключительно гидротермальной деятельности) были сформированы жилы четковидной формы, содержащие до 40 % сульфидов и имеющие протяженность от нескольких десятков метров до нескольких сотен метров при толщине в раздувах до нескольких дециметров [Тимофеевский, 1957; Геология..., 1971].

Сопоставляя схему расположения рудных тел с планом изолиний потенциала ЕП, можно достаточно уверенно отметить следующее: некоторые рудные жилы (например, жила Главная, группа жил участка Карпаты) располагаются вне аномалий ЕП, в то же время ряд жил «секут» аномальные зоны ЕП. Особенно это заметно по жилам Ново-Кузнецовской и Свинцовой. Многие жилы, находящиеся в пределах аномалий ЕП, никак не проявляются в этом поле и даже не совпадают по простиранию с аномальной зоной ЕП. Рудные жилы различных температурных поступлений гидротерм — от кварцево-турмалиновой до арсенопиритовой минерализаций — хаотично распределены в ЕП (см. рис. 4).

Все это однозначно свидетельствует о том, что ЕП на месторождении Дарасун обусловлено участками пиритизированных пород, кварц-золото-сульфидные жилы в формировании ЕП не участвуют. Подобная ситуация отчетливо проявлена и на Майском месторождении золота, рудные тела которого сформированы в терригенно-осадочной толще пород триаса на участках с синрудной сульфидной минерализацией [Мезенцева, Есипенко, 2014], как показано на рис. 5.

#### **Месторождения с предрудными метасоматитами — проводниками электрического тока (сульфидами и графитоидами)**

На крупнейших месторождениях золота Сибирского региона, таких как Олимпиадинское, Сухой Лог, Чертово корыто, Зун-Холба и им подобных, а также более мелких и давно известных, к примеру, как Саралинское в Кузнецком Алатау, группы месторождений Ольховско-Чибийской рудной зоны, Бодайбинского района Восточного Забайкалья, Енисейского кряжа и др., имеют место наиболее интенсивные естественные электрические поля. Эти электрические поля обусловлены углеродистыми горизондами (или их отдельными участками) терригенно-осадочного комплекса пород, подвергшихся интенсивному метаморфизму в дорудном этапе формирования месторождений.



**Рис. 5.** Естественное электрическое поле (изолинии в мВ) на золоторудном месторождении Олимпиадинское.

Составители — В.И. Клименко, Л.В. Поляков. 1 — рудные тела.

Рудные тела этих месторождений локализованы или в углеродистых горизонтах, или чаще в приконтактных зонах, где под действием процессов метасоматоза произошла сульфидизация углеродистых пород, а углеродное вещество в ходе метаморфизма превращено в электронно-проводящий минерал — графит или шунгит (графитоид).

В образовании ЕП и в этом случае участвуют окислительно-восстановительные процессы, происходящие на границах сульфидов, чему в немалой мере способствует присутствие поляризующегося электронного проводника — упорядоченного углеродистого вещества — графита, создающего низкоомную среду, усиливающую окисление, перенос и отложение компонентов сульфидов, и увеличивающего амплитуду аномалий ЕП [Параснис, 1965; Свешников, 1967; Семенов, 1974; Рысс, 1983].

Собственно золоторудные тела, будучи приуроченные в разной мере к формирующим ЕП метасоматитам, как и на других вышерассмотренных месторождениях золота, не вносят заметного эффекта в структуру поля (см. рис. 5).

На приведенном рисунке хорошо видно, что золоторудные тела Олимпиадинского месторождения в целом приурочены к градиентной зоне крупной интенсивной отрицательной аномалии естественного электрического поля, но при этом никак в ней не проявлены.

Аналогичная физико-геологическая обстановка наблюдается и на целом ряде золоторудных площадей Бодайбинского района. Здесь в дорудной минерализованной зоне углефицированных пород потенциал ЕП также изменяется в значительных пределах, а собственно рудное тело при этом каких-нибудь аномальных эффектов не создает [Орехов, 2015].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, на золоторудных месторождениях Сибирского региона наблюдаются постоянные естественные электрические поля (ЕП), потенциал которых варьирует в среднем в пределах нескольких сотен мВ. Наиболее интенсивные ЕП наблюдаются на месторождениях в углеродистых породах. В изменениях потенциала выделяется два вида пространственных колебаний: относительно «низкочастотные» малоамплитудные, имеющие обратную корреляционную связь с рельефом дневной поверхности, и «высокочастотные», включающие колебания большой амплитуды. Природа их разная: первые создаются процессами циркуляции грунтовых вод, вторые — физико-химическими процессами, происходящими на границах сульфидов дорудного генезиса, и поляризующимся графитоидом.

По структуре ЕП месторождения четко делятся на две группы. В одной из них на месторождениях наблюдаются только «низкочастотные» изменения ЕП, в другой — и «низкочастотные», и «высокочастотные». Рудные тела всех месторождений в формировании ЕП не участвуют, но достаточно часто имеют пространственную приуроченность к участкам дорудных метасоматитов, создающих аномалии ЕП.

Соответственно, метод ЕП при изучении золоторудных объектов необходимо применять (как часть комплекса геофизических методов) главным образом на месторождениях с предрудными метасоматитами — проводниками электрического тока. Не имеет смысла использовать метод ЕП на месторождениях, локализованных в интрузивных массивах (диэлектриках). Но в любом случае связь особенностей морфологии ЕП с золотым оруденением будет многомерной.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Вовченко Р.Г.** О геоэлектрическом поле фильтрации и его учете при интерпретации материалов естественного электрического поля на рудных объектах // *Материалы 5-й научной конференции по геологии Прибайкалья и Забайкалья*. Чита, Изд-во ЗабНИИ, 1968а, с. 12—14.

**Вовченко Р.Г.** О некоторых особенностях естественных электрических полей Ключевского месторождения // *Материалы III научной конференции ЗабНИИ*. Чита, Изд-во ЗабНИИ, 1968б, с. 28—31.

**Геология** и металлогения Дарасунского золоторудного поля / Под ред. В.Г. Звягина, А.И. Сизикова. Чита, Изд-во Забайкальского филиала геофизического общества СССР, 1971, вып. 52, 147 с.

**Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н.** Геофизические и петрофизические исследования малосульфидных кварцево-жильных месторождений золота Сибири // *Геофизика*, 2014, № 3, с. 56—61.

**Ерофеев Л.Я., Номоконова Г.Г., Орехов А.Н.** Петрофизические условия локализации месторождений золота в углеродистых породах // *Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях*. Материалы Всероссийской научно-технической конференции / Ред. Л.Я. Ерофеев. Томск, Изд-во ТПУ, 2003, с. 207—212.

**Красников В.И.** Влияние рудовмещающей среды на аномалии естественных и вызванных потенциалов // *Вопросы рудной геофизики в Сибири*. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1967, вып. 53, с. 84—88.

**Кузьмин М.И., Зорина Л.Д., Спиридонов А.М., Амузинский В.А., Борисенко А.С., Митрофанов Г.Л., Поляков Г.В., Сотников В.И.** Основные типы золоторудных месторождений Сибири (состав, генезис, проблемы освоения) // *Золото Сибири*. Первый Сибирский симпозиум с международным участием. Тезисы докладов. Красноярск, 1—3 декабря 1999 г. Красноярск, Изд-во КГА МиЗ, 1999, с. 14—15.

**Локотко В.В., Шадрин А.И.** Закономерности размещения оруденения в Дарасунском районе по геофизическим данным // *Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья*. Чита, ЧитГТУ, 1972, вып. 9, с. 64—66.

**Мезенцева А.Е., Есипенко А.Г.** Физические свойства околорудных метасоматитов месторождений золота и серебра Северо-Востока РФ: сравнительная характеристика, проблемы, задачи // *Разведка и охрана недр*, 2014, с. 31—36.

**Методическое руководство** по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото» / Под ред. Б.И. Беневоляского, С.С. Варганяна. М., ЦНИГРИ, 2002, 182 с.

**Мозголин Ю.А.** Закономерности изменения физических свойств черносланцевых пород Саралинского рудного поля // *Геофизические исследования золотоносных районов Средней Сибири*. Красноярск, Изд-во КНИИГиМС, 1978, с. 55—58.

**Никифоров Н.А.** Геофизические методы как средство изучения и поисков золоторудных месторождений // *Изв. АН СССР*, 1945, т. IX, № 4, с. 78—82.

**Огильви А.А.** Основы инженерной геофизики. М., Недра, 1990, 501 с.

**Огильви А.А., Островский Э.Я., Рудерман Е.Н.** Электроразведка по методу естественного электрического поля в современных зарубежных исследованиях. М., ВИЭМС, 1987, 57 с.

**Орехов А.Н.** Информативность геофизических методов при поисках золотого оруденения в черносланцевых толщах // *Записки горного института*, 2015, т. 212, с. 117—121.

**Параснис Д.С.** Принципы прикладной геофизики. М., Мир, 1965, 200 с.

**Прогнозирование** и поиски месторождений золота / Под ред. В.А. Нарсеева, Н.К. Курбанова. М., ЦНИГРИ, 1989, 237 с.

**Рысс Ю.С.** Геохимические методы разведки. Л., Недра, 1983, 255 с.

**Сауков А.А.** Геохимия. М., Наука, 1975, 479 с.

**Свешников Г.Б.** Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л., Изд-во Ленинград. ун-та, 1967, 15 с.

**Сейфуллин Р.С.** Использование метода естественного электрического поля при поисках месторождений сульфидных руд // *Разведка и охрана недр*, 1965, № 6, с. 53—55.

**Семенов А.С.** Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., Недра, 1974, 388 с.

**Тимофеевский Д.А.** Центральное золоторудное месторождение // Геология главнейших золоторудных месторождений СССР. М., Недра, 1952, с. 131—148.

**Тимофеевский Д.А.** Геолого-структурная минералогическая характеристика Дарасунского поля и его периферических частей // Золото. М., ЦНИГРИ, 1957, с. 17—23 (Тр. ЦНИГРИ, вып. 24).

**Фогельман Н.А.** Тектоника мезозойского сводного поднятия Забайкалья и закономерности размещения в его пределах золоторудных месторождений. М., ЦНИГРИ, 1968, 82 с. (Тр. ЦНИГРИ, вып. 84).

**Чебаков Г.И., Рошкетаяев П.А.** Комплекс геофизических методов при поисках коренных месторождений золота в Восточном Саяне // Материалы международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства». Томск, Изд-во ТПУ, 2001, с. 171—175.

**Шатров Б.Б.** Особенности естественного электрического поля рудно-кварцевых месторождений и его практическое использование // Методика и техника разведки. Л., ОНТИ ВИТО, 1979, № 126, с. 27—34.

**Abdelrahman E.M., Essa K.S., Abo-Ezz E.R., and Soliman K.S.** Self-potential data interpretation using standard deviations of depths computed from moving-average residual anomalies // Geophys. Prospect., 2006, v. 54, p. 409—423.

**Bigalke J., Grabner E.W.** The Geobattery model: a contribution to large scale electrochemistry // Electrochim. Acta, 1997, v. 42, № 23—24, p. 3443—3452.

**Revil A., Jardani A.** The self-potential method: theory and applications in environmental geosciences. Cambridge, Cambridge University Press, 2013, 369 p.

*Рекомендована к печати 6 декабря 2016 г.  
М.И. Эповым*

*Поступила в редакцию 23 марта 2016 г.,  
после доработки — 8 ноября 2016 г.*