

УДК 551.21

Романов Валерий Григорьевич
Valery Romanov



ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

PRACTICAL USE OF TEMPERATURE THERMOELECTRIC PARAMETERS OF ORE MINERALS

Обоснована возможность практического использования температурных зависимостей термоЭДС сульфидных минералов и параметров, рассчитанных на их основе, для расшифровки зональности и прогноза оруденения эндогенных месторождений и решения других геолого-минералогических задач. Установлены параметры температурных зависимостей термоЭДС рудных минералов, контрастно отражающие изменения минералообразующей среды. Экспериментальные исследования, осуществленные на сульфидных минералах рудных жил (Эповская и Искра) Дарасунского золоторудного месторождения позволили установить различия в температурных параметрах термоЭДС одних и тех же минералов, отобранных из поперечных сечений рудных тел и метасоматитов. Показано, что на начальной стадии исследования качественный характер интегральных кривых термоЭДС может использоваться как типоморфный признак. Приведено аппаратное обеспечение для автоматизированных измерений, обеспечивающее оперативный (экспрессный) характер получения температурных зависимостей термоЭДС рудных минералов

Ключевые слова: Дарасунское золоторудное месторождение, зональность рудных жил, прогнозирование, сульфидные минералы, электрофизические параметры, температурные исследования, термоЭДС

The possibility of practical use of temperature dependence of the thermal power of sulfide minerals and parameters derived from them, to decrypt the zoning and mineralization forecast endogenous deposits and solutions of other geological and mineralogical problems is proved. The parameters of temperature dependence of ore minerals thermoelectric power, reflecting changes in the mineral-contrast medium are determined. Experimental studies performed on sulphide minerals ore veins (Eповskaya and Iskra) of Darasun gold deposit allowed to establish differences in the temperature parameters of thermoelectric power of the same minerals taken from the cross-sections and metasomatic ore. It is shown that at the initial stage of research quality character of integral curves can be used as thermoelectric power typomorphic sign. Hardware for automated measurements, providing operational (express) character for getting temperature dependences of the thermal ore minerals are given

Key words: Darasun gold mine, ore veins zoning, forecasting, sulfide minerals, electrical parameters, temperature studies, thermal power

Основой практического использования электрофизических параметров сульфидных минералов и, в частности, температурных параметров термоЭДС является теоретически обоснованная и экспериментально

подтвержденная их взаимосвязь с основными факторами минералообразования, определяющими вещественный состав минералов, соотношение матричных компонентов, состав и содержание в них изоморфных примесей [1].

Температурные исследования термоЭДС сквозных сульфидных минералов, отображенных в пределах рудных объектов, позволяют получить значения электрофизических параметров этих минералов (знак и величину коэффициента термоЭДС при комнатной температуре (a_n); экстремальные значения коэффициента термоЭДС (a_m и $-a_m$), позволяющие рассчитать производный параметр — приращение коэффициента термоЭДС; по зависимости $E(T)$ — знак второй производной), установить векторы их изменений и рассчитать значения градиентов, отражающих физико-химические изменения минералообразующей среды. Они служат индикаторами рудно-геохимической зональности и могут использоваться в качестве критериев оценки глубины распространения оруденения и его эрозионного среза, а также для решения других задач, способствующих выявлению этой зональности.

В данной статье предпринята попытка привлечения температурных исследований термоЭДС пирита для расшифровки зональности некоторых рудных жил Дарасунского золоторудного месторождения. Дарасунское месторождение (краткое описание дается по работе [2]), представляет собой крупный золоторудный объект Забайкалья.

Структурная позиция золоторудных жил Дарасунского месторождения контролируется зонами дизъюнктивных нарушений киммерийского тектоно-магматического цикла [3]. Среди них выделяют: участки брекчий взрыва; трещины скалывания и зоны сдвигов и сбрососдвигов, в основном являющихся рудовмещающими; зоны расланцевания и нарушения типа взбросов и надвигов и сдвигов-сбросов, контролирующих размещение жил и, реже, вмещающих их.

Для всех жил типичны послеминерализационные подвижки.

Рудные жилы Дарасунского месторождения относительно просты по форме, выдержаны по простиранию и падению. Мощность жил варьирует от 0,1 до 2 м, в среднем составляя 0,1...0,25 м, а вместе с околосредовыми вмещающими рудами 0,6...1,5 м. Жилы, как правило, имеют сложное внутреннее строение и большое

число апофиз. Нередко апофизы имеют самостоятельное значение как новые рудные тела. Это наиболее характерно для Западного и Юго-Западного участков. На Западном участке самостоятельное значение имеют жилы 5-я Электрическая, а на Юго-Западном — жила Женевская со значительно большей мощностью и содержанием золота, чем главная по отношению к ней жила Эповская. В местах сопряжения жил и апофиз мощности и золотоносность их незначительны, и лишь на некотором удалении мощность апофиз резко возрастает, что было отмечено еще Д.А. Тимофеевским [3]. Например, жила Женевская была установлена Г.А. Юргенсоном и Т.Н. Юргенсон в стенке штрека по жиле Эповской в виде тонкого (1,5 см) арсенипиритово-карбонатно-кварцевого проводничка, который затем достигает мощности 56 см при содержании золота до 500 г/т.

Объект нашего непосредственного исследования — жила Эповская, разведанная горными выработками на глубину до 717 м, имеет северо-западное простирание ($310...340^\circ$) и крутое юго-западное или северо-восточное падение ($80-90^\circ$). Разведанная протяженность жилы находится в пределах 500 м. Мощность жилы возрастает с глубиной 0,02...0,28 м. Жила или разведанная по простиранию ее часть переходит в кальцитово-хлоритовые ветвящиеся прожилки мощностью до 0,5...2,0 см, находящиеся в хлоритизированном, серпентинизированном, интенсивно катаклазированном габбро-амфиболите. Она приурочена к областям контактовых взаимодействий основных (габбро-амфиболиты, диориты) и кислых со щелочным уклоном (граниты, граносиениты) пород. В приконтактных частях жилы встречаются реликты гранитизированных пород основного и среднего составов. Вмещающие породы интенсивно березитизированы, лиственитизированы.

При этом в мелкозернистом диорите размеры зерен пирита составляют 0,1...0,7 мм, а в гибридном крупнозернистом граносиените — 0,5...1,8 мм. Строение жилы различается в зависимости от преобладания кварца или сульфидов.

На горизонте 617 м — объекте наших экспериментальных исследований — отдельные отрезки жилы имеют существенно кварцевый состав, а небольшое (до 5 %) количество сульфидов образует тонкую приконтактовую оторочку. На нее сначала нарастают мелко- и среднезернистые агрегаты кварца, переходящие затем в толстошестоватые, иногда с друзовыми полостями, в которых развиты крупнокристаллические агрегаты пирита поздних генераций. Видовой состав сульфидов расширяется: наряду со сфалеритом и тетрадимитом появляются халькопирит, блеклая руда, увеличиваются доля и размеры (до 0,5 мм) самородного золота, появляется железистый доломит. Содержание золота находится в пределах от первых граммов до сотен граммов на 1 т руды.

В золоторудных жилах Дарасунского месторождения к настоящему времени выявлено и описано около 100 минеральных видов. Главные рудообразующие минералы: пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, пирротин, бурнонит, блеклые руды (тетраэдрит, фрейбергит и др.). Основные жилообразующие минералы: кварц, пирит и арсенопирит, на глубоких горизонтах — кварц, пирротин и халькопирит. Сфалерит наряду с пиритом и халькопиритом является сквозным минералом. В жилах Дарасунского месторождения, по данным рудничных геологов, средние содержания кварца составляют 32, пирита 14, карбонатов 11 %.

Самородное золото в виде относительно крупных (1...2 мм) зерен концентрируется на двух гипсометрических уровнях — в верхних и нижних частях жил. Д.А. Тимофеевский указывает на находки крупного золота в верхних частях жил Главной, Никандровской, Ново-Кузнецовской, Медведевской, 2-й Футбольной, Перспективной, Нагорной, апофизе Пирротиновой. По мнению ряда исследователей, крупное золото на верхних горизонтах связано с его перекристаллизацией в условиях зоны цементации при гипергенных процессах.

Основная масса сульфидного золота связана с пиритом и арсенопиритом. Золотоносность пирита возрастает от ранне-

го пентагондодекаэдрического к позднему кубооктаэдрическому. В зонах с высоким содержанием золота резко возрастает доля кристаллов пирита с гранью октаэдра. Рядом авторов [4] изучена зональность распределения сульфидов с определенными термоэлектрическими свойствами и установлена связь золота с пиритом смешанной проводимости.

Для большинства жил в каждом сечении рудного столба от ранних минеральных ассоциаций к поздним и от зальбандов к срединной части происходит постепенное нарастание доли пирита определенного типа проводимости. Например, для одного из золоторудных столбов жилы Эповской переход от зон с низким содержанием золота к богатым, по данным Г.А. Юргенсона и Т.Н. Юргенсон [2], характеризуется увеличением доли пирита смешанного типа проводимости.

Анализ основных типоморфных признаков строения и минерального состава жил Дарасунского рудного поля показал, что, имея определенные отличия, они, тем не менее, обладают рядом близких черт, сводящихся к следующему:

- жилы преимущественно локализованы на участках взаимодействия контрастных по составу основных (габбро-амфиболиты, диориты) и щелочно-кислых пород (граносиениты);

- в приконтактных частях жил возрастают интенсивность калиевого метасоматоза (микроклин, биотит, гидрослюда) и величина калиево-натрового отношения;

- форма и зональность жил различны на верхних и нижних горизонтах, если вверху преобладают сульфиды, преимущественно развит арсенопирит, то с глубиной возрастает доля пирита, а затем — пирротина, увеличивается доля кварца;

- характерны полнокристаллические структуры, полосчатые, неясно-полосчатые, линзовиднополосчатые текстуры с обособлением существенно кварцевых, кварцево-турмалиновых и сульфидных составляющих;

- типоморфный продуктивный минеральный комплекс включает пирит и

(или) арсенопирит; халькопирит, галенит и (или) сфалерит; сульфотеллуриды, минералы висмута и теллура (тетрадимит, жозеит), теллуриды, сульфосоли меди, висмута, свинца;

– самородное золото развивается преимущественно в средних и нижних половинах жил.

Привлечение для расшифровки зональности жилы Эповская температурных исследований термоэлектродвижущей силы пирита позволило проследить как качественный характер изменения этих зависимостей, так и изменения значений расчетных показателей. Температурные исследования термоЭДС для решения практических геолого-минералогических задач эффективны только в

случае использования их экспрессной модификации.

Методика исследования температурной зависимости термоЭДС разработана на основе предложенного нами способа измерения интегральной термоЭДС в нестационарном тепловом режиме (А.С. 1133526). При измерениях используется динамический разогрев заостренного термозонда, введенного в контакт с исследуемой зоной минерала. Для определения температуры контакта в динамическом режиме разогрева (нагрев до 400 °С осуществляется за 15 с) используется аналого-цифровой комплекс на основе ПЭВМ. Температура контакта определяется в ЭВМ как функция двух измеряемых на термозонде температур (рис. 1).

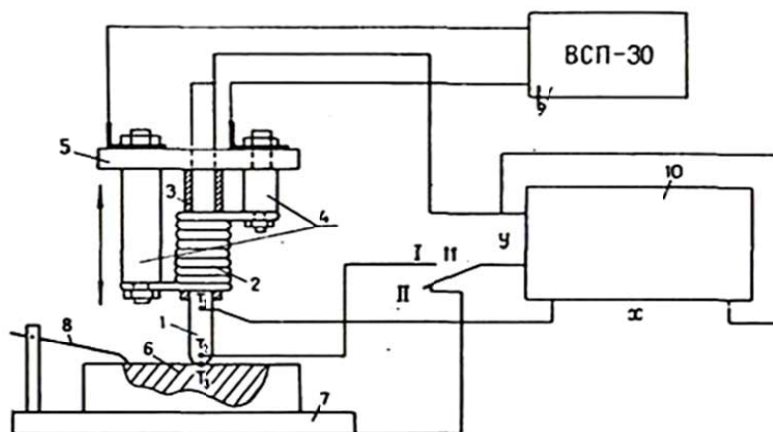


Рис. 1. Установка для экспрессного измерения температурной зависимости интегральной термоЭДС (конструкция датчика и структурная схема установки):

- 1 – нагреваемый термозонд из константанового стержня;
- 2 – нагреватель из нихромовой спирали; 3 – изоляционная фарфоровая трубка;
- 4 – токоподводящие столбики; 5 – несущее основание; 6 – исследуемый образец;
- 7 – медная пластина для измерения кристаллов и агрегатов (холодный электрод);
- 8 – холодный медный электрод-щуп для измерения в аншлифах или штуфах;
- 9 – нагреватель; 10 – двухкоординатный самопишущий прибор (автоматизированный комплекс АЦП/ЦАП-ПЭВМ)

Функциональная зависимость, связывающая температуру контакта с двумя измеряемыми температурами на термозонде, определяется предварительно с помощью ЭВМ методом тренд-анализа при градуировке установки на образце тепловых свойств. Динамический температурный режим позволяет уменьшить прогреваемый объем минерала и тем самым повысить локальность метода.

Разработанная методика позволяет измерять интегральную зависимость термоЭДС на сколках минералов без предварительной подготовки, а также на минеральных выделениях в аншлифах при минимальном линейном размере выделений 5 мм. Интегральная зависимость может быть продифференцирована в ПЭВМ и выведена на печать.

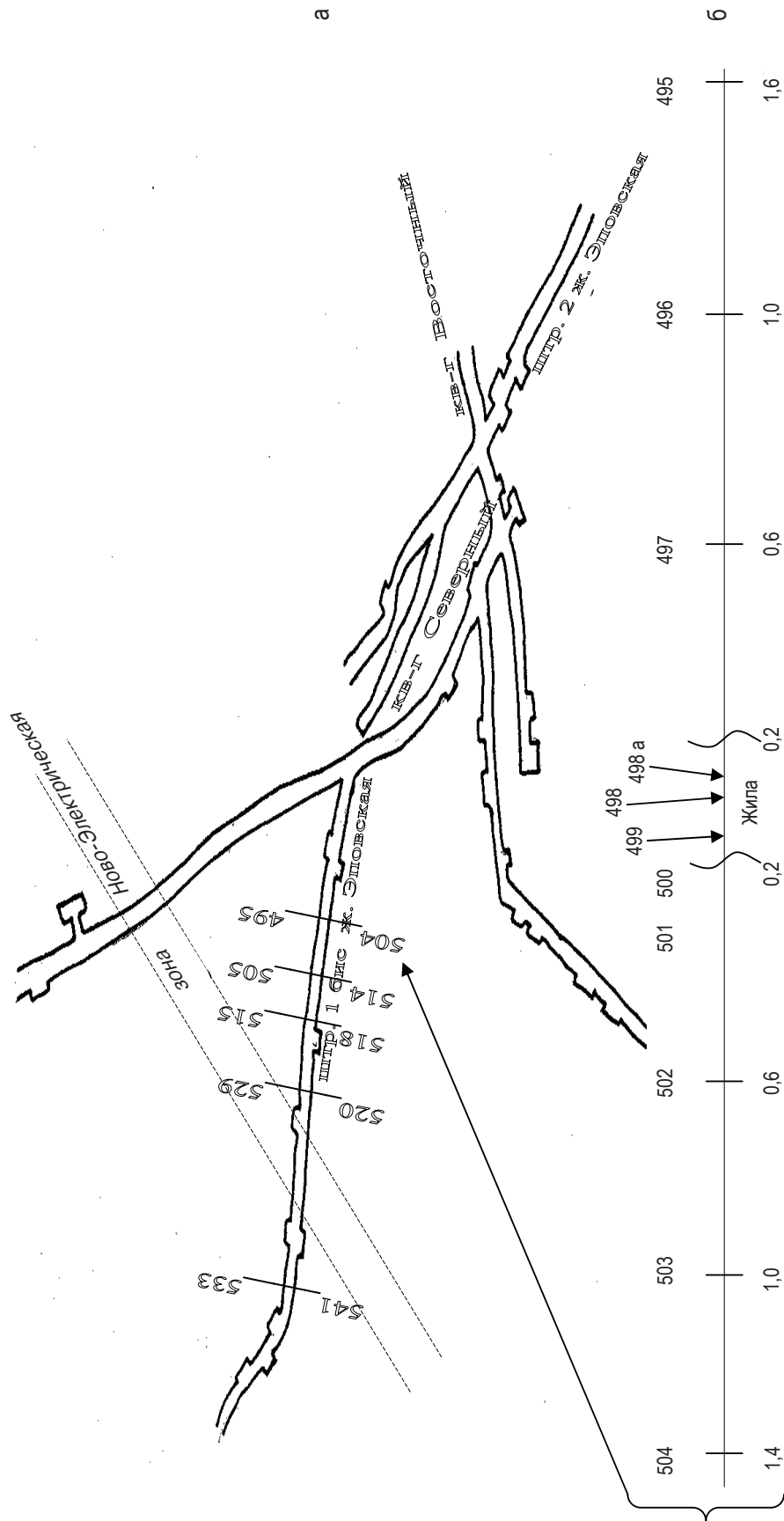


Рис. 2. План горных работ м-б 1:2000 шх. Юго-Западная, гор. 617 м (а),
схема отбора проб по жиле Эповская, сеч. 504-495 (б)

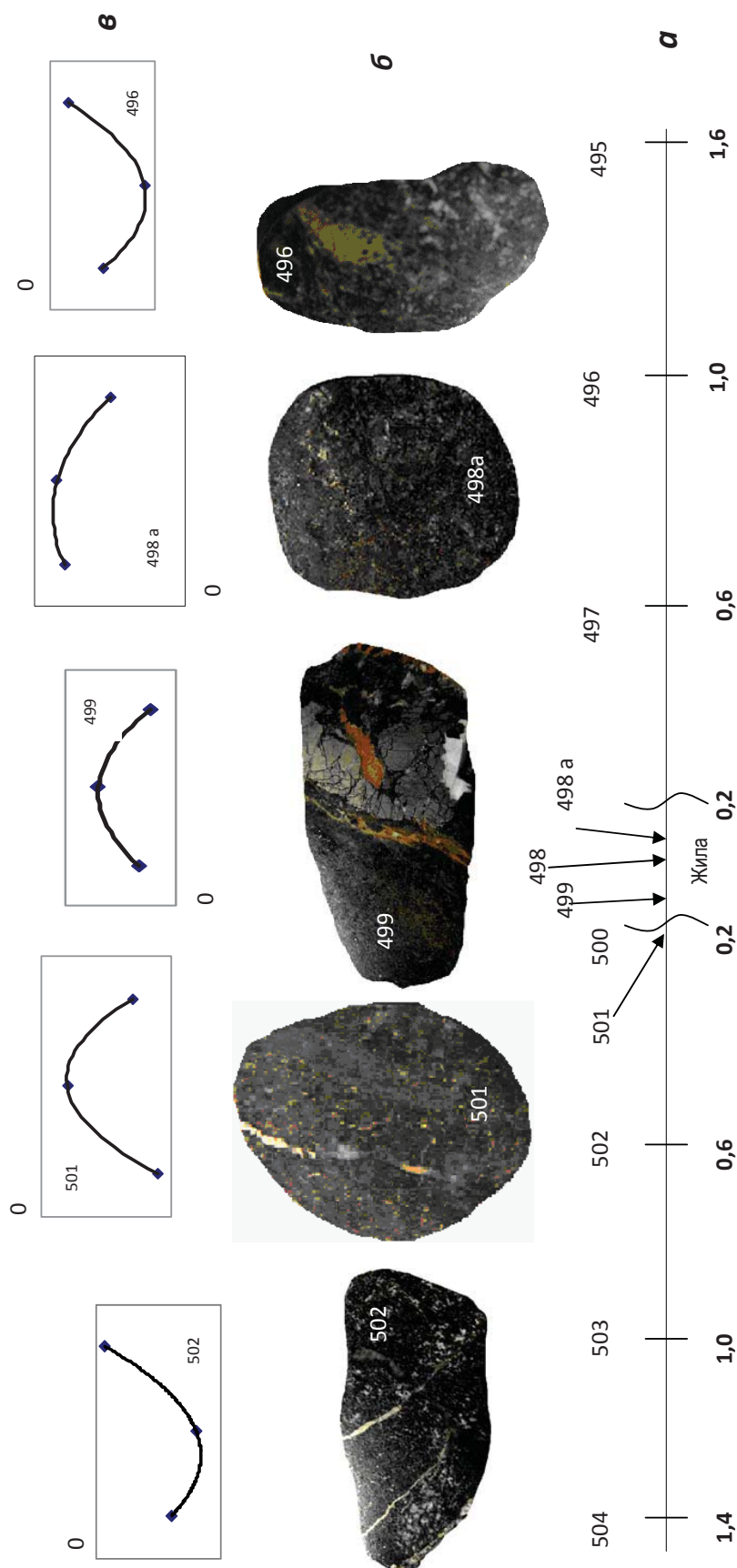


Рис. 3. Схема отбора проб по ж. Эповская, сеч. 504-495 в соответствии с рис. 2 (а), фотографии аншлифов с привязкой к схеме отбора проб (б) и типичные качественные температурные зависимости интегральной термоЭДС сквозного пирита (в) (ноль привязан к оси «Х», вверх от ноля область дырочной проводимости, вниз – электронной; DT возрастает справа налево)

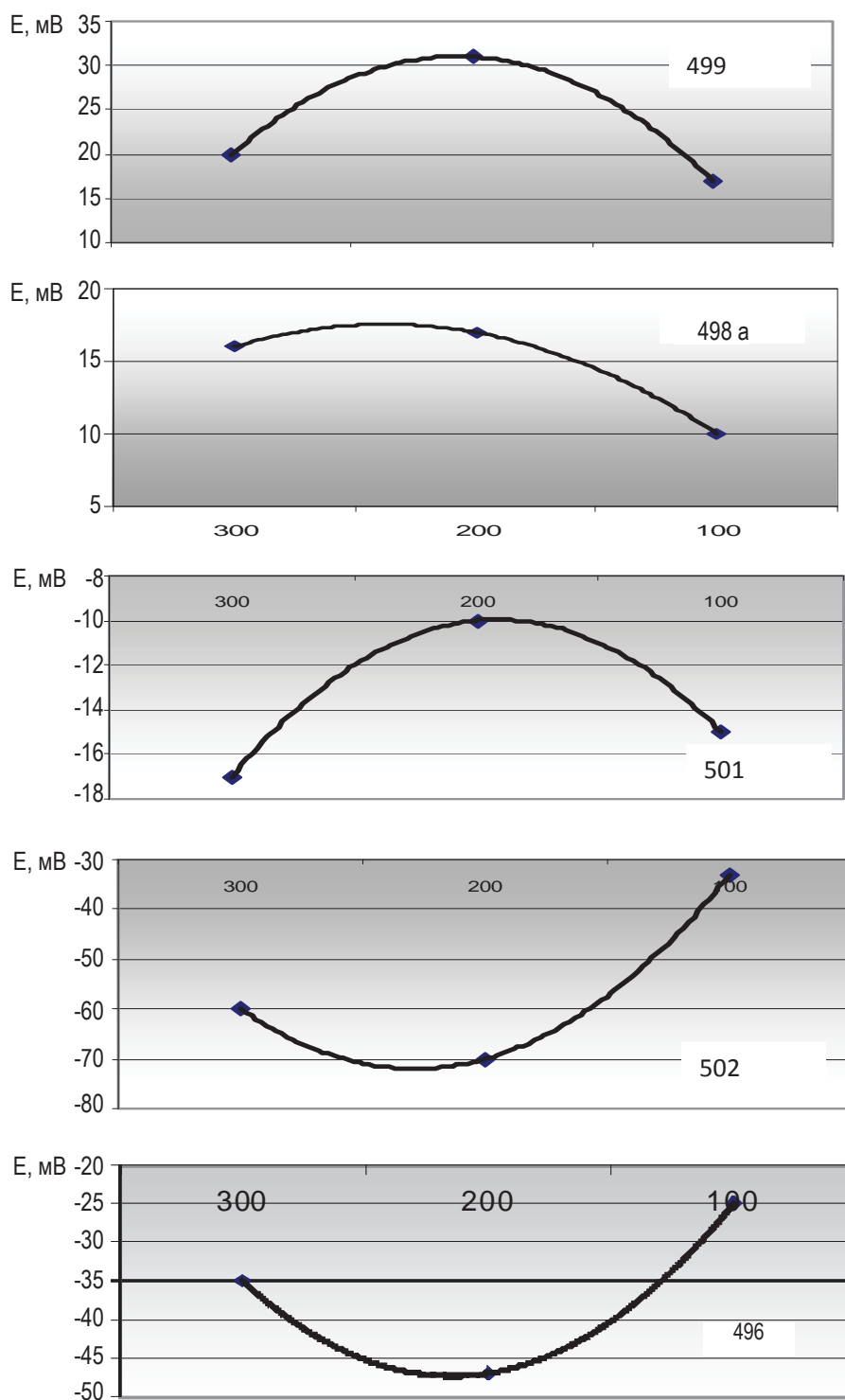
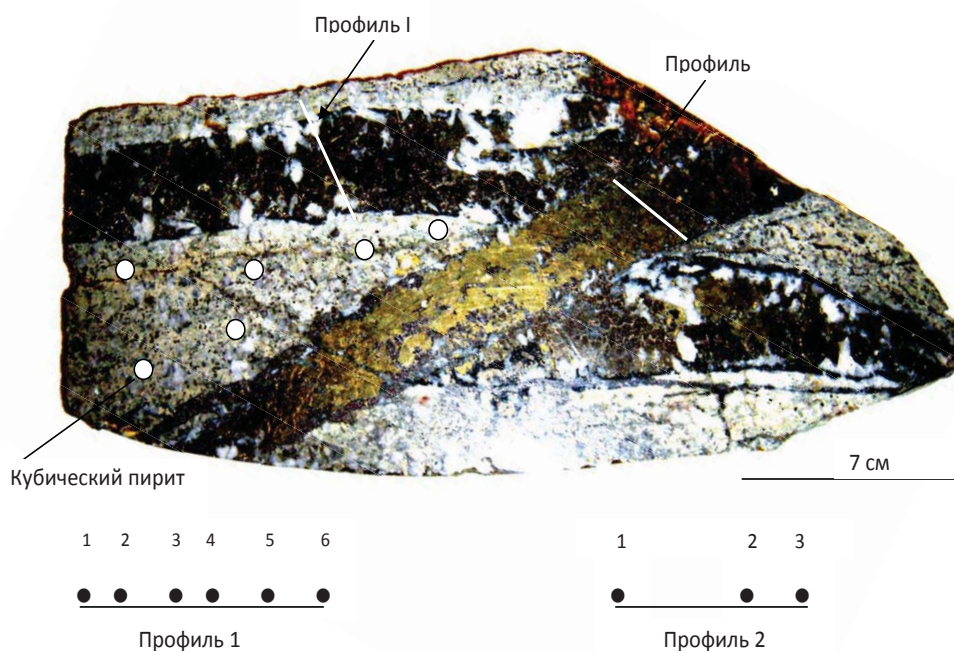
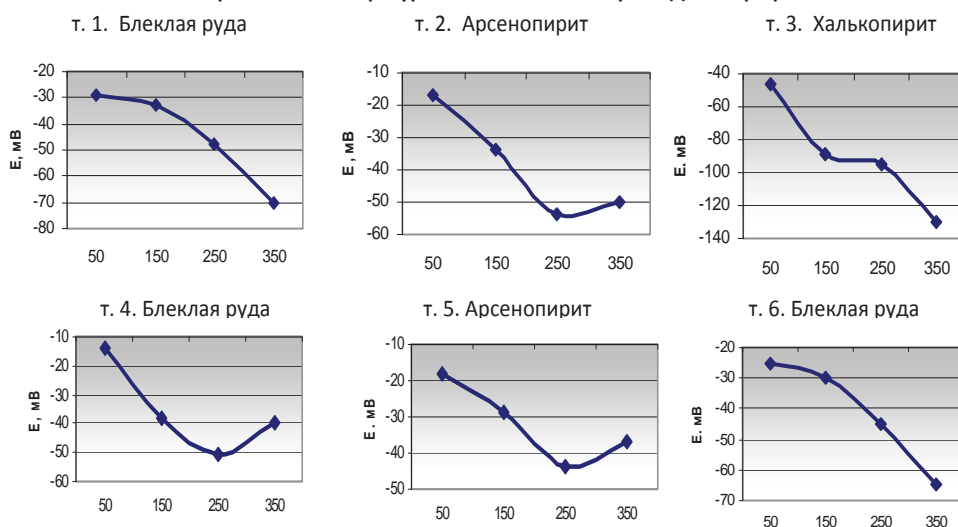


Рис. 4. Экспериментальные температурные зависимости интегральной термоЭДС пирита, отобранного из тела и метасоматитов жилы Эповская по сеч. 504-495



Интегральные температурные зависимости термоЭДС по профилю 1



Интегральные температурные зависимости термоЭДС по профилю 2

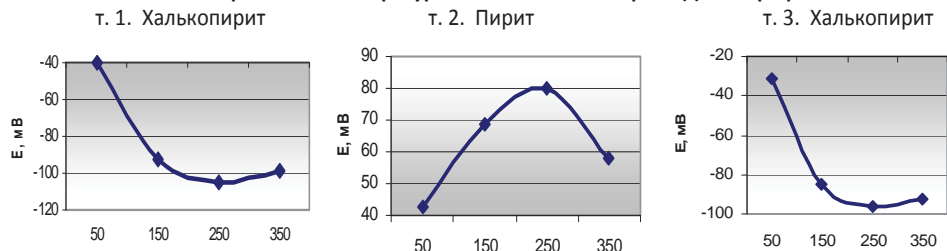


Рис. 5. Полированный фрагмент ж. Искра (гор. 496 м) Дарасунского золоторудного месторождения с привязкой двух профилей и точек рудной минерализации (образец № 423/30 из коллекции Г.А. Юргенсона)
Внизу температурные зависимости интегральной термоЭДС рудных минералов, отражающие зональность жилы (на всех графиках по оси X – возрастание градиента температур между термозондами)

На рис. 2 приведен план горных работ гор. 617 м шахты Юго-Западная (масштаб 1:2000) и схема отбора проб по сечению 504-495 жилы Эповской, а на рис. 3 – фотографии аншлифов с привязкой к схеме отбора проб и типичные качественные температурные зависимости интегральной термоЭДС сквозного пирита. На рис. 4 приведены экспериментальные температурные зависимости интегральной термоЭДС пирита, отобранного из рудного тела и метасоматитов жилы Эповская по сеч. 504-495. Эти зависимости позволяют рассчитать все указанные ранее параметры.

Зональность проявляется, во-первых, в инверсии типа проводимости пирита и, во-вторых, в изменении приращения коэффициента термоЭДС пирита собственно из жилы и метасоматитов.

Аналогичные исследования проведены на образцах жилы Искра (гор. 496 м) Дарасунского золоторудного месторождения. Жила Искра находится на Восточном участке в субширотных структурах. Для горизонтов жилы Искра в целом типична общая зональность в распределении рудных минералов, соответствующая генеральной последовательности их образования (от контакта к осевой части жилы): турмалин – пирит – арсенопирит – халькопирит – сульфосоли. Верхние части жилы (гор. 366 м) отличаются существенным развитием ранней пиритово-арсенопиритовой ассоциации, относительно нижние (гор. 546 м) – бурнонит-блеклорудно-халькопиритовый. Мощность жилы от 8 до 50 см. На горизонте 496 м мощность жилы уменьшается, соответственно, уменьшаются концентрации золота, халькопирита и сульфосолей – основных его спутников; доля пирита и арсе-

нопирита возрастает, что вообще типично для пережимов.

На рис. 5 приведен полированный фрагмент жилы Искра и температурные зависимости интегральной термоЭДС различных минералов по двум профилям. Зональность проявляется различным способом. Например, блеклая руда, слагающая периферические части жилы (профиль 1, т. 1 и т. 6) и ее центральную часть (т. 4), имеет качественно различный характер. Халькопирит в двух точках измерения на втором профиле (т. 1 и т. 3) качественно однороден, но отличается от халькопирита первого профиля (т. 3).

Установленные различия в температурных параметрах термоЭДС одних и тех же минералов, отобранных из поперечных сечений рудных тел и метасоматитов, при выявлении корреляции этих параметров с минералогическими, геохимическими и другими данными могут способствовать расшифровке зональности и прогнозу оруденения эндогенных месторождений. На начальной стадии исследования качественный характер интегральных кривых термоЭДС может использоваться как типоморфный признак.

Приведенное аппаратное обеспечение позволяет реализовать оперативный (экспрессный) характер получения температурных зависимостей термоЭДС рудных минералов, что приобретает определяющее значение при массовом характере исследований. Измерения, приводимые в нестационарном тепловом режиме, обуславливают истинно зондовый метод определения интегральной термоЭДС за счет локализации градиента температуры в минимальном объеме минерала, где он достаточно однороден.

Литература

1. Романов В.Г. Электрофизические методы исследования сульфидных минералов и рудных объектов: научное издание. Чита: ЧитГУ, 2009. 249 с.
2. Юргенсон Г.А., Юргенсон Т.Н. Дарасунское рудное поле // Месторождения Забайкалья. Чита-М., 1995. Кн. II. С. 3-18.

References

1. Romanov V.G. *Elektrofizicheskie metody issledovaniya sulfidnyh mineralov i rudnyh obektov* [Electro-physical methods of sulfide minerals and ore deposits investigation]: scientific publication. Chita ChSU, 2009. 249 p.
2. Yurgenson G.A., Yurgenson T.N. *Mestorozhdeniya Zabaikaliya* (Deposits of Transbaikalie). Chita-M., 1995. Book. II. Pp. 3-18.

3. Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного района. М.: Недра, 1972. 260 с.

4. Методические рекомендации по использованию электрических свойств рудных минералов для изучения и оценки эндогенных месторождений / В.И. Красников, В.А. Фаворов, В.А. Суматохин, А.С. Гурьевич, В.Г. Романов, В.М. Лапушков, Э.Д. Зезюлина. Л.: ВСЕГЕИ, 1983. 91 с.

5. А.С. 1133526 СССР, МКИ⁴ G 01 N 25/32. Способ измерения температурной зависимости термоЭДС минералов / В.Г. Романов (СССР) № 3494470/24-25; заявл. 28.09.82; опубл. 07.01.85. Бюл. № 1. с. 148.

3. Timofeevskiy D.A. *Geologiya i mineralogiya Darasunskogo zolotorud-nogo rayona* [Geology and mineralogy of Darasun gold ore district]. Moscow: Nedra, 1972. 260 p.

4. Krasnikov V.I., Favorov V.A., Sumatohin V.A. [i dr.]. *Metodicheskie rekomendatsii po ispolzovaniyu yelektricheskikh svoistv rudnykh mineralov dlya izucheniya i otsenki endogennykh mestorozhdeniy* [Guidelines on the use of electrical properties of ore minerals for studying and evaluation of endogenous deposits]. L.:VSEGEI, 1983. 91 p.

5. A.S. 1133526 SSSR, MKI⁴ G 01 N 25/32. *Sposob izmereniya temperaturnoy zavisimosti termoEDS mineralov*. V.G. Romanov (SSSR) № 3494470/24-25; *zayavl. 28.09.82; opubl. 07.01.85. Byul. № 1. s. 148* (AS 1133526 USSR MKI⁴ G 01 N 25/32 . Method for measuring the temperature dependences of minerals thermoelectric power / V.G. Romanov (USSR) № 3494470/24-25; appl . 09.28.82, publ. 7.1.85. Bull. No. 1. P. 148).

Коротко об авторе

Романов В.Г., д-р геол.-минер. наук, профессор кафедры социально-правовых дисциплин, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия
vgromanov@yandex.ru

Научные интересы: методы и средства исследования электрофизических свойств рудных минералов

Briefly about the author

V. Romanov, doctor of geol.-mineralogical sciences, professor of socio-legal disciplines, Transbaikal State University, Chita, Russia

Scientific interests: methods and tools for electro-physical properties of ore minerals study

