

УДК 551.21

*Романов Валерий Григорьевич*  
*Valery Romanov*



## **ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ОРУДЕНЕНИЯ**

## **ELECTROPHYSICAL ZONING OF ORE OBJECTS AND ITS USE FOR MINERALIZATION EVALUATION**

---

Показано, что металлогеническая зональность является одной из основных закономерностей размещения рудных месторождений и имеет большое значение для их прогнозирования, особенно, глубинного. Одним из методов, позволяющих получить необходимые сведения о зональности геологических объектов, недоступных для непосредственного наблюдения, является интерпретация и анализ измерений качественных и количественных параметров геопространства. Базовой основой методологии прогнозно-поисковых исследований являются характеристики эталонных объектов, полученные при наблюдении с помощью того или иного вида измерений. Для решения прогнозных задач имеют значения типоморфные признаки сквозных рудных минералов, которые однозначно характеризуют надрудные, рудные или подрудные части месторождений. В качестве таковых эффективно использовать температурные параметры термоЭДС и электропроводности рудных минералов в их высокоэкспрессивной зондовой модификации. Взаимосвязь этих параметров с условиями образования позволяет устанавливать их коррелируемые связи с элементами зональности месторождений

**Ключевые слова:** зональность рудных объектов, прогнозирование, сульфидные минералы, условия образования, геоизмерения, электрофизические параметры, карты изменчивости параметров

It is shown that the metallogenic zoning is one of the main regularities of ore deposits distribution and it has a great value for their prediction, especially deep ones. One of the methods to get the notice of geological sites appropriate zoning that are inaccessible to direct observation, there is an interpretation of qualitative and quantitative parameters' measurements and analysis of geo-space. The basic foundation of forecasting-exploratory research methodology is the characteristics of the reference objects obtained during the observation by using a particular type of measurement. To solve the predictive problems typomorphic signs of open-ended ore minerals have a special meaning, which uniquely characterize supra-ore, ore or down ore parts of deposits. As such, it is efficient to use temperature and conductivity parameters of thermo YDS and electroconductivity of ore minerals in their high-expressive bore modification. The relationship of these parameters with formation conditions allows to set their correlation relations with the elements of zone deposits

**Key words:** zoning ore objects, forecasting, sulfide minerals, conditions of formation, geo-measurements, electro-physical parameters, maps variability of parameters

На уровне современного геологического знания теория зональности представляется важнейшей практической основой прогнозирования оруденения. Понятие «зональность рудных тел, месторождений и более крупных геологических объектов» объединяет комплекс закономерностей распределения в пространстве-времени комплексов пород, руд, минералов и минеральных ассоциаций, атомов химических элементов, их изотопов или каких-то других особенностей их состава и строения. Универсальность онтогенетической зональности образований различного иерархического уровня прослеживается в организации рудного вещества: индивид → минеральный агрегат → рудное тело → рудный объект в целом → система рудных объектов. Пространственно-временная закономерность условий их образования обусловлена влиянием различных факторов и агентов (давления, температуры, концентрации и т.д.). При этом важнейшее значение приобретает не только источник образования элементов, но и вмещающая среда, отвечающая за механизмы рассеяния или концентрации металлов (структура, текстура, минеральный и химический составы и пр.).

Закономерное зональное распределение оруденения рассматривалось, начиная с первых работ по металлогении (температурная зональность, Spurr, 1907 г.); зональная теория рудоотложения, Emmons, 1936 г. и др.). В последующем обсуждалась природа зональности и выделялись различные ее типы (пульсационная и стадийная, С.С. Смирнов, 1937 г., Ю.А. Билибин, 1951 г.; полиасцендентная, I. Kutina, 1957 г.; фаціальная, В.И. Смирнов, 1960 г.; фильтрационная, Д.С. Коржинский, 1953 г.; региональная, С.С. Смирнов, 1937 г., В.И. Смирнов, 1963 г. и др.). Большинство исследователей под металлогенетической зональностью подразумевает региональную зональность в размещении рудных месторождений.

Очевидно, что металлогенетическая зональность является одной из основных закономерностей размещения рудных месторождений и имеет большое значение для

прогнозирования, особенно, глубинного. Методы выявления, выделения и анализа металлогенетической зональности разработаны недостаточно. Они обычно сводятся к качественному, визуальному анализу карт. Остаются нерешенными вопросы: где проводить границы между зонами? Как количественно охарактеризовать закономерность в чередовании зон? Как выявить случаи слабовыраженной (скрытой) зональности? и т.д.

Поскольку в большинстве случаев особенностью изучения недр является недоступность геологических объектов для непосредственного наблюдения, то они познаются преимущественно методами, опирающимися на измерения каких-либо свойств в конкретных точках пространства (геоизмерения). Под геоизмерениями понимается получение в конкретных точках геопространства значений качественных и количественных параметров среды, функционально связанных со своими характеристиками наблюдения. Цель обработки количественной информации при прогнозно-поисковых исследованиях — извлечение полезной информации об объекте поисков из результатов наблюдений при использовании отдельных методов поисков и их комплексов. Базовой основой методологии прогнозно-поисковых исследований являются характеристики эталонных объектов, полученные при наблюдении с помощью того или иного вида измерений.

Для решения прогнозных задач имеют значения только те типоморфные признаки сквозных рудных минералов, которые однозначно характеризуют надрудные, рудные или подрудные части месторождений. Для выявления типоморфных признаков минералов проводится типоморфический анализ, основной задачей которого является выявление типического и отличительного для групп индивидов одного минерального вида или его разновидностей, отражающих условия минералообразования [1]. Поэтому поиски типоморфных признаков минералов, связанных с характером самого процесса минералообразования, приводят к возможности получения критериев для

выявления геологических ситуаций, присутствующих определенным формационным типам оруденения. В общем случае путь для выявления типоморфных признаков один – сравнение изучаемого объекта с известным.

В процессе анализа по каждому из признаков изучаемого минерального вида должна быть обеспечена представительность выборки для возможности обработки ее методами математической статистики и получения параметров математического распределения в пределах данного множества. При сравнении объектов обычно используются статистические параметры, удовлетворяющие гипотезам о равенстве дисперсий по критерию Фишера и равенстве средних по критерию Стьюдента. Примеры таких подходов оценки близости изучаемого объекта к эталону приведены в работах Н.П. Юшкина [2] и Г.А. Юргенсона [1].

Оценка масштабов оруденения производится по величине индекса близости к эталону, за который принимается разведанное или отрабатываемое крупное месторождение, по формуле [1]:

$$I_{B_s} = \frac{1}{m} \sum \left[ \frac{x_o - x_s}{\sigma_s} \right]^2,$$

где  $I_{B_s}$  – индекс близости к эталону;

$x_o$  и  $x_s$  – среднеарифметические значения типоморфных признаков, соответственно, одного из объектов и эталона;

$\sigma$  – среднее квадратичное отклонение численных значений признаков эталона;

$m$  – число учтенных признаков.

Полученные в результате расчетов данные оформляются в виде таблиц, в которых приводится весь процесс вычисления индекса близости к эталону. Для эталона он равен нулю. Чем меньше вычисленный индекс конкретного оцениваемого объекта, тем больше вероятность его близости к эталону, масштабы и запасы руды в котором известны.

Достаточно эффективным методом, способствующим выявлению общей зональности рудного объекта, является кар-

тирование изменчивости температурных параметров термоЭДС и электропроводности рудных минералов [4]. Взаимосвязь параметров термоЭДС и электропроводности сквозных сульфидных минералов с условиями их образования, обоснованная в цитируемой работе, позволяет устанавливать коррелируемые связи этих параметров с элементами зональности месторождений.

Прогнозирование оруденения проводится на всех стадиях геологоразведочных работ (ГРП). В зависимости от стадийности работ изменяется и иерархический ранг объектов прогнозирования: при региональном и среднемасштабном прогнозировании – это рудные районы, узлы; при крупномасштабном – рудные поля, месторождения; при локальном – участки месторождений, фланги, отдельные рудные тела, рудные столбы и обогащенные участки рудных тел.

Для каждого иерархического ранга объектов прогнозирования необходимо создание самостоятельных моделей, опирающихся на учет вполне определенных факторов, которые в последующем смогут выступать в роли прогнозно-поисковых критериев. Разработка каждой поисковой модели различного иерархического ряда, а значит, и прогнозно-поисковых критериев должна осуществляться соответствующим вполне определенным комплексом методов. Большое формационное, генетическое, вещественное разнообразие оруденения различных металлов с учетом ранговости их объектов обуславливает многочисленность поисковых геолого-генетических моделей.

Эффективность прогнозирования будет находиться в прямой зависимости от полноты и разносторонности построения поисковых моделей разноранговых объектов прогнозирования, а также от степени надежности разработанных для каждой поисковой модели прогнозно-поисковых факторов.

Определенные свойства месторождений и рудных тел в случае их устойчивости и повторяемости переводятся в ранг закономерностей, получая теоретическое обоснование или являясь продуктом эмпирических обобщений, что позволяет построить

модель искомого объекта. Все эти свойства можно разделить на три основные группы: вещественные, основывающиеся на установлении зональных явлений в распределении вещества; структурные, опирающиеся на анализ форм локализации рудного вещества; геологические, использующие специфические свойства геологического пространства рудоотложения. Причем в зависимости от ранга прогнозирования поисковые модели используют различные комплексы геологических факторов.

Таким образом, в зависимости от стадийности ГРП изменяются объекты прогнозирования. Для каждого ранга объектов прогнозирования необходимо создание самостоятельных моделей, опирающихся на учет вполне определенных факторов. Разработка поисковых моделей различных рангов прогнозирования имеет свой набор исследовательских методов, зависящих от условий и среды рудоотложения.

Разработанная методика использования температурных параметров термоЭДС и электропроводности рудных минералов для выявления зональности и прогноза оруденения в большей мере предназначена для локального прогнозирования, и здесь привлекается свой арсенал прогнозных процедур: изучение минералого-геохимической зональности, зональности рудоносных метасоматитов; морфологии, физических и химических свойств минералов, термобарогеохимических параметров; зональности геохимических показателей руд и эндогенных ореолов; структурных форм локализации рудного вещества; рудогенерирующих особенностей магматических образований; литологических факторов контроля оруденения и т.д.

Для целей картирования изменчивости и выявления зональности наиболее предпочтительно изучение термоЭДС и электропроводности в их высокоэкспрессивной зондовой модификации [5]. Другие электрические параметры рудных минералов при достижении экспрессности и высокой степени автоматизации их измерения также могут быть привлечены для решения задач при изучении и прогнозной оценке оруденения.

Закономерности изменчивости типов проводимости и значений термоЭДС пирита, арсенопирита, галенита и других минералов, в зависимости от конкретных геологических условий формирования месторождений достаточно разнообразны, но в пределах конкретных генетических типов и рудных формаций достаточно устойчивы [3]. На глубину, по простиранию и мощности рудных тел и месторождений устанавливается определенная смена разновидностей минералов, которая и отражает зональность объекта изучения.

Главнейшим элементом оценки перспективности рудных объектов является выявление пространственно-временных событий (этапов, стадий процессов рудообразования), приведших к формированию рудного объекта. Поскольку формирование всех рудных тел происходит в термо-, баро- и химически градиентных физико-химических системах они должны обладать и обладают структурно-вещественной зональностью. Зональность может быть явной или скрытой, и ее выявление представляет одну из основных задач при освоении месторождений.

Самым эффективным способом оценки рудных объектов являются комплексы методов, разработанные геологами-практиками, которые базируются на выявлении пространственной и временной зональности (петрологической, минералогической, кристалломорфологической, геохимической, термобарогеохимической и др.) развития рудной минерализации.

Ранее нами показано, что функцией координат пространства геологических объектов являются полупроводниковые свойства сквозных рудных минералов, такие как тип проводимости, концентрация носителей зарядов (электронов и дырок), измеренные и расчетные параметры ( $\alpha_k$ ,  $\alpha_n$ , приращение  $\Delta\alpha$ ) температурных зависимостей термоЭДС [7] и электропроводности (электропроводность при 20 °С, температурные коэффициенты примесной и собственной проводимости) [8]. Исследованиями многих авторов [6] показано, что этот перечень могут дополнять и физи-

ко-химические свойства руд: химический потенциал ( $\mu$ ), логарифм концентрации водородных ионов ( $pH$ ), электродный потенциал ( $V$ ) и многие другие свойства.

Для определения оценочных параметров геологических объектов измеряют электрофизические параметры сквозных рудных минералов, отобранных в пространстве оцениваемых объектов, и строят карты их изменчивости, которые обычно нагружаются данными о рудной зональности, получаемыми при минералогическом картировании.

В результате картирования изменчивости электрофизических, электрохимических, физико-химических параметров минералов в пространстве рудных тел и месторождений выявлено, что подрудные, рудные и надрудные зоны выделяются разными значениями выявленного показателя  $\varphi_i$ .

На построенных продольных проекциях, планах, разрезах, несущих информацию о вариациях  $\varphi_i$ , устанавливают характерные направления изменчивости этих параметров и находят градиент параметра по выбранному направлению  $grad \varphi_i$ . По соответствующему знаку градиента (положительному или отрицательному) определенного параметра находят взаимное расположение в пространстве нижних и верхних границ физико-химического выклинивания оруденения. Рудная зона в корневой части от подрудной зоны и в верхней части от надрудной зоны оконтуривается соответственно нижними и верхними границами выклинивания промышленно-

го оруденения, которые устанавливаются на эталонных объектах с учетом балансовых и забалансовых значений продуктивных минеральных ассоциаций и характеризуются определенными значениями параметров  $\varphi_{in}$  и  $\varphi_{in}$ .

Далее путем расчета или графического построения находят основные оценочные параметры: относительный уровень эрозионного среза, размах оруденения, объем эродированной части. В основе расчетов лежит определение векторов изменений температурных параметров и расчеты численных значений градиентов, отображающих рудную и минералого-геохимическую зональность.

Подводя итог сказанному, следует отметить, что эффективными критериями, позволяющими выявить рудную зональность, являются критерии, основанные на электрофизических свойствах сквозных рудных сульфидных минералов, отражающих изменчивость их электронной структуры в зависимости от условий процесса рудообразования. Как показал накопленный опыт в исследовательской и производственной практике решения геолого-минералогических задач наибольшее распространение получили исследования термоЭДС и электропроводности рудных сульфидных минералов, причем более обширную информацию дают исследования этих свойств в режиме непрерывно повышающейся температуры образца минерала или его локальной зоны, так называемые температурные исследования.

## Литература

1. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск: Наука, 2003. 368 с.
2. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Избранные проблемы. М.: Наука, 1977. 292 с.
3. Шуй Р.Т. Полупроводниковые рудные минералы. Л.: Недра, 1979. 287 с.

## References

1. Yurgenson G.A. *Tipomorfizm i rudnye formatcii*. (Typomorphism and ore formations). Novosibirsk: Science, 2003. 368 p.
2. Yushkin N.P. *Teoriya i metody mineralogii. Izbrannye problemy*. (Theory and methods of mineralogy. Selected problems). Moscow: Science, 1977. 292 p.
3. Shuy R.T. *Poluprovodnikovye rudnye mineraly*. (Semiconductor ore mineral). L.: Nedra, 1979. 287 p.

4. Романов В.Г. Электрофизические методы исследования сульфидных минералов и рудных объектов: научное издание. Чита: ЧитГУ, 2009. 249 с.

5. Романов В.Г. Автоматизированное рабочее место экспериментатора. Чита: ЧитГУ, 1997. 220 с.

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

7. А.с. 1290898 СССР, МКИ4 G 01 V 9/00. Способ определения характера зональности рудных месторождений / Романов В.Г., Красников В.И., Вахромеев Г.С. (СССР) № 3898961/24-25; заявл. 22.05.85; Гос. реестр от 15.10.86.

8. А.с. 1199081 СССР, МКИЗ G 01 V 9/00. Способ определения характера зональности рудных объектов / Романов В.Г., Красников В.И., Суматохин В.А. (СССР). № 3697855/24-25; заявл. 08.02.84; Гос. реестр от 15.08.85.

4. Romanov V.G. *Elektrofizicheskie metody issledovaniy sulfidnykh mineralov i rudnykh obektov: nauchnoe izdanie.* (Electrophysical methods of investigation of sulfide minerals and ore deposits: scientific publication). Chita: ChitGU, 2009. 249 p.

5. Romanov V.G. *Avtomatizirovannoe rabochee mesto eksperimentatora.* (Automated workplace of an experimenter). Chita: ChitGU, 1997. 220 p.

6. *Metodicheskie rekomendatsii po ispolzovaniyu elektricheskikh svoystv rudnykh mineralov dlya izucheniya i otsenki endogennykh mestorozhdeniy* (Guidelines on the use of electrical properties of ore minerals to study and evaluate endogenous deposits) Krasnikov V.I., Favorov V.A., Sumatohin V.A., Gurevich A.S., Romanov V.G., Lapushkov V.M., Zezyulina Ye.D. L.: VSEGEI. 1983. 91 p.

7. A.s. 1290898 SSSR, MKI<sup>4</sup> G 01 V 9/00. *Sposob opredeleniya haraktera zonalnosti rudnykh mestorozhdeniy.* Romanov V.G., Krasnikov V.I., Vahromeev G.S. (SSSR) № 3898961/24-25; *zayavl. 22.05.85; Gos. reestr ot 15.10.86.* (A.s. Certificate 1290898 USSR MKI<sup>4</sup> G 01 V 9/00. A method for determining the nature of completely ore deposits zoning / V.G. Romanov, Krasnikov V.I., G.S. Vakhromeev (USSR) № 3898961/24-25; appl. 5/22/85; State. Registered on 15/10/86).

8. A.s. 1199081 SSSR, MKI<sup>3</sup> G 01 V 9/00. *Sposob opredeleniya haraktera zonalnosti rudnykh obektov.* Romanov V.G., Krasnikov V.I., Sumatohin V.A. (SSSR). № 3697855/24-25; *zayavl. 08.02.84; Gos. reestr ot 15.08.85.* (A.s. Certificate 1199081 USSR MKI<sup>3</sup> G 01 V 9/00. A method for determining the nature of completely ore objects zoning / V.G. Romanov, Krasnikov V.I., V.A. Sumatohin (USSR). № 3697855/24-25; appl. 02/08/84; State. Register on 15/08/85).

### Коротко об авторе

**Романов В.Г.**, д-р геол.-минер. наук, профессор каф. «Социально-правовые дисциплины», Забайкальский государственный университет, г. Чита, РФ  
vgromanow@yandex.ru

**Научные интересы:** методы и средства исследования электрофизических свойств рудных минералов

### Briefly about the author

**V. Romanov**, doctor of geol.-mineralogical sciences, professor, Socio-legal Disciplines department, Transbaikal State University, Chita, Russia

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

