

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РУДОНОСНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ

Е.И. Филатов<sup>1</sup>, Л.К. Филатова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «ИМГРЭ»

*ул. Вересаева, 15, Москва, Россия, 121357*

<sup>2</sup> Кафедра месторождений полезных ископаемых и их разведки

Российский университет дружбы народов

*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

Геологическими критериями рудоносности геологических формаций являются устойчивые однотипные ассоциации геологических и рудных формаций, независимо от их возраста. Проанализированы геохимическая и металлогеническая специализация и зональность структурно-вещественных комплексов.

В онтогенезе конкретной геологической формации в ее полном цикле намечаются разные уровни геохимической специализации: сингенетичная, дорудная, изначально свойственная всему объему формации; геохимическая специализация синрудная, возникающая в процессе рудоконцентрирования, в том числе одновременно со становлением самой формации; геохимическая специализация вторичная, нарастающая на первичные геохимические признаки формации в связи с воздействием сторонних не парагенетических ей гидротермальных растворов.

В общей системной цепочке операций металлогенического прогноза и поисков данные о геохимической специализации геологических формаций и их составляющих позволяют следующее: производить формационную интерпретацию обнаруженных в ходе многоцелевого геологического и геохимического картирования аномальных геохимических полей; производить районирование исследуемых территорий по типам геологических формаций, обладающих той или иной потенциальной рудоносностью с выделением наиболее продуктивных субформаций, фаз и фаций; давать количественные оценки прогнозных ресурсов.

Геохимические критерии рудоносности геологических формаций заключаются, прежде всего, в устойчивых корреляциях петрохимических особенностей рудоносных пород и соответствующих им флуктуаций минерального состава руд (например, корреляции содержания калия в кремнекислых рудовмещающих вулканитах рудовмещающих вулканогенных геологических формаций и соотношений меди и свинца в рудах месторождений колчеданного семейства рудных формаций).

Указанные критерии необходимо учитывать при региональной и локальной оценках перспектив рудоносности геологических формаций.

**Ключевые слова:** геологическая формация, геологическая субформация, геохимическая специализация, петрогенные и рудогенные элементы, кларки концентраций

Многие исследователи отмечают органическую связь геологических и геохимических закономерностей размещения МПИ [1; 2]. Для геохимического прогноза необходимо знать геолого-геохимическую характеристику некоего целого, которым оказывается геологическая формация как естественный комплекс горных пород, содержащий парагенетически связанные друг с другом составные части и образовавшиеся в сходных геологических условиях, и прежде всего при

однообразном тектоническом или, как сейчас принято говорить, геодинамическом режиме.

Отсюда геохимическая специализация как проявление естественных связей петрогенных и рудогенных элементов суммирует:

- геодинамический режим становления геологических формаций и их составных частей;
- петрохимические особенности рудовмещающих пород, особенности распределения в них петрогенных и рудогенных элементов (типы распределения, их ассоциации, элементы-индикаторы, отношения, кларки, фоны и др.);
- их изотопические особенности.

Сложность структуры геохимической специализации — это отражение самой сложности зависимости геологической истории становления и развития геологической формации с процессами рудообразования.

Вариации этих характеристик обусловлены в первую очередь следующими факторами:

- геодинамическими условиями формирования геологической формации и
- эволюцией концентрации рудообразующих и регенерационных геохимических процессов.

Процессы становления и развития геологических формаций и их составных частей проявлены в их онтогенезе и филогенезе. *Онтогенез* геологической формации характеризует эволюцию конкретной формации (ее индивида), а *филогенез* — эволюцию всей совокупности индивидов формационного типа (т.е. абстрактной) в истории развития земной коры.

В онтогенезе конкретной геологической формации в ее полном цикле развития (от зарождения, формирования, авто- и аллометаморфизма до разрушения) намечаются разные уровни геохимической специализации как интегральной характеристики:

- геохимическая специализация сингенетичная, дорудная, изначально свойственная всему объему формации;
- геохимическая специализация синрудная, возникающая в процессе рудоцентрирования, в том числе одновременно со становлением самой формации (при магматическом концентрировании, седиментогенезе, гидротермально-осадочном рудоотложении) или на последующих этапах ее развития (при диагенезе, катагенезе осадков, автометаморфизме вулканитов и т.п.), когда ее признаки обнаруживаются не во всем объеме формации, а в ее рудоносных субформациях, фациях или фазах;
- геохимическая специализация вторичная, накладывающаяся на первичные геохимические признаки формации в связи с воздействием сторонних не паранетичных ей гидротермальных растворов, элизионных (позднедиагенетических) или инфильтрационных вод (в том числе барьеры и коллекторы).

Если рудные формации расположить в ряд по степени полноты геохимических связей с соответствующими вмещающими геологическими формациями и начать его с объектов, где эти связи наиболее отчетливы, то он откроется, по-видимому, вулканогенно-осадочными месторождениями колчеданного семейства островных дуг и окраинных морей, а закончится пластовоинфильтрационными холодновод-

ными ролловыми месторождениями урана, молибдена, ванадия и т.п. В первом случае геохимическая специализация вулканогенно-осадочных формаций остро-водужно-окраинно-морских систем дает прямые информационно-насыщенные данные для металлогенического прогноза не только формационного типа оруденения, но и соотношения металлов в прогнозируемых рудах. Во втором случае тела вмещающих геологических формаций являются лишь проницаемыми коллекторами, рудное вещество в которые может быть привнесено из любых сторонних источников и в любое время после формирования рудовмещающих пород. Геохимические характеристики таких геологических формаций не несут скольконибудь полезной прогнозно-поисковой информации.

По этой причине примеры, иллюстрирующие роль геохимической специализации в металлогеническом прогнозе, ограничим геологическими формациями островодужно-окраинных морских систем.

Островодужные и окраинные моря характеризуются своей геохимической и металлогенической специализацией и зональностью, которые в ходе геологической истории осложнены коллизионными и внутриплитными рифтогенными процессами рудогенеза и регенерации рудного вещества.

Зональность островных дуг определена латерально-вертикальной зональностью по отношению к оси междугового спрединга ранних базальтоидных, андезитоидных и риолитоидных островодужных комплексов, с которыми ассоциируются соответственно колчеданные медно-цинковые, свнцово-медно-цинковые месторождения уральского типа, куроко и рудноалтайского типа.

Эффективность использования геохимической специализации островодужных вулканогенных формаций хорошо проиллюстрирована на примере эталонной для металлогенических зон рудноалтайского типа девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая. Полиметаллически-колчеданные месторождения здесь приурочены к ареалам развития этой формации и не выходят за ее пределы как по латерали, так и по вертикали.

Соотношение щелочей в рудовмещающих риолитах отражает естественный распад формации на три субформации — натриевую ( $K_2O/Na_2O < 1.0$ ), промежуточную ( $K_2O/Na_2O \approx 1.0—2.0$ ) и калиевую ( $K_2O/Na_2O > 2$ ). Аналогичные тенденции в соотношении щелочей сохраняются и в базальтах.

От натриевой субформации к калиевой как в базальтах, так и в риолитах происходит закономерное увеличение концентраций рубидия и уменьшение содержания стронция.

В этом же направлении происходит уменьшение соотношения изотопов стронция ( $Sr^{87}/_{86}$ ), подчеркивающее антидромный характер продуктивного вулканизма.

Содержание хрома и никеля в породах натриевой субформации, особенно в базальтах в направлении от Иртышской островной дуги Рудного Алтая уменьшается, а отношение  $Co/Ni$  увеличивается [3].

В породах всех трех субформаций легкие лантаноиды преобладают над тяжелыми, что характерно для колчеданосных вулканогенных формаций, образовавшихся на существующем сиалическом фундаменте. В меньшей степени это преобладание проявлено для пород натриевой субформации, тяготеющей к па-

леозоне Беньофа. Нормированные кривые распределения редкоземельных элементов содержат ясно выраженный  $Eu$ -<sup>МИНИМУМ</sup>

В латеральном ряду *натриевая* → *промежуточная* → *калиевая* субформации, фиксирующем на момент рудообразования направление *паеоокеан* → *палеоконтинент* происходит закономерное увеличение соотношений содержаний в породах  $La/Yb$  и  $\Sigma Ce/\Sigma Y$  и содержание  $Eu$ .

Кларки концентраций по трем основным рудогенным элементам (медь, свинец и цинк) в основном пониженные, отражающие, вероятно, развитие процессов рециклинга при рудообразовании. Это подтверждают и геохимические ореолы.

Каждая субформация рудоносной формации характеризуется, таким образом, своим вариантом геохимической и металлогенической специализации. Отложения натриевой субформации содержат существенно медные месторождения, калиевой — существенно свинцовые, а промежуточной — медно-свинцовые. Минеральный состав руд месторождений зависит от содержаний в рудовмещающих вулканитах щелочных металлов. С увеличением калия в рудовмещающих породах, прямо пропорционально увеличивается соотношение содержаний свинца и меди в рудах, т.е. содержание свинца.

Металлогеническая зональность окраинных морей подчеркивается развитием в в риолит-базальт-содержащих карбонат-терригенных толщах цинково-медно-колчеданных месторождений типа *бессу*, которые сменяются на удалении от зоны спрединга во фронтальных частях бассейнов свинцово-цинково-колчеданных месторождений филизчайского типа, а в тыловых частях также в связи с черносланцево-терригенными толщами — золото-сульфидными месторождениями сухоложского типа.

Геохимическая специализация пород черносланцево-терригенной группы формаций формируется на всех стадиях их онтогенеза.

Породы этой группы сложены весьма однотипным в литологическом отношении набором солоноводных и пресноводных осадков — аргиллитов, песчаников, мергелей, известняков. Характерно присутствие повышенного количества фиторганического вещества и дисульфидов железа, возникающих в процессе сульфатредукции в так называемых донных сероводородных эвксинских литофациях. Уже показано, что органическое вещество и дисульфиды железа изначально функционируют в качестве органоминеральных кристаллохимических коллекторов, аккумулирующих мышьяк, сурьму, золото, платиноиды, халькофильные и сидерофильные элементы.

Уже показано, что геохимическая специализация осадочных черносланцевых формаций формируется на всех стадиях нормального универсального осадочного процесса — сингенеза, диагенеза, катагенеза, начального метаморфизма (метагенеза).

Например, первоначально ожидающийся смектит-монтмориллонит, имеющий малые содержания калия и натрия, в ходе диагенеза-катагенеза превращается в обычные гидрослюды серицитового типа за счет избирательного поглощения калия из порово-захороненных вод самой черносланцевой толщи. В этот период они аккумулируют и литий. Сульфат-редукция, продолжающаяся и в диагенезе,

обуславливает появление последующих форм дисульфидов железа (пирит, марказит), выстраивающихся в типовой ряд *фрамбонды* → *конкреции* → *вкрапленность* → *прожилки*.

К стадиям катагенеза и начального метаморфизма в продуктивной фации, обогащенной органическим веществом и дисульфидами железа, возникает эволюционный ряд минеральных форм элементов-индикаторов: *фрамбонды пирита с начальными надфоновыми концентрациями мышьяка, сурьмы, кобальта, никеля, золота* → *конкреции пирита, марказита с увеличивающимися концентрациями* → *арсенипирит золотоносный игольчатый* → *сульфосоли, халькопирит, сфалерит* → *самородное золото, платиноиды, шеелит*.

В эпигенетическом варианте геохимическая специализация черносланцевой формации продолжает эволюционировать в ходе динамометаморфизма толщ, регионального метаморфизма и эпигенетического магматизма.

\*\*\*

В общей системной цепочке операций металлогенического прогноза и поисков данные о геохимической специализации геологических формаций и их составляющих позволяют производить формационную интерпретацию обнаруженных в ходе многоцелевого геологического и геохимического картирования аномальных геохимических полей; производить районирование исследуемых территорий по типам геологических формаций, обладающих той или иной потенциальной рудоносностью с выделением наиболее продуктивных субформаций, фаз и фаций; давать количественные оценки прогнозных ресурсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Смирнов В.И.* Металлогения // Избранные труды. М.: Наука, 1993.
- [2] *Филатов Е.И., Ширай Е.П.* Формационный анализ рудных месторождений. М.: НЕДРА, 1988.
- [3] *Филатов Е.И., Филатова Л.К.* Геологические и геохимические критерии рудоносности геологических формаций. М.: ИМГРЭ, 2015.

## GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CRITERIA ORE-BEARING GEOLOGICAL FORMATIONS

E.I. Filatov<sup>1</sup>, L.K. Filatova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mineralogy, Geochemistry and crystal chemistry of rare  
*Veresaev str., 15, Moscow, Russia, 121357*

<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Ecological criteria for ore-bearing geological formations are stable association of the same type of geological and ore formations, regardless of their age. Analyzed geochemical and metallogenic specialization and zoning of structural-material complexes.

In ontogenesis specific geological formation in its full cycle outlines different levels of geochemical specialization: Syngenetic, premineral originally inherent throughout the volume of the formation; geochemical specialization sinrudnaya arising during rudokontsentrirvaniya, including simultaneously with the formation of the formation; geochemical specialization of secondary, primary nakradyvayuschayasya on geochemical characteristics of the formation due to the influence of her party not paranenetichnyh hydrothermal solutions.

The total system chain operations metallogenic prediction and search for information about the geochemical specialization of geological formations and their components enable the following: produce formational interpretation found in the multi-purpose geological and geochemical mapping of anomalous geochemical fields; producing zoning study area on the types of geological formations having varying potentially mineralized with the release of the most productive subformations, phases and facies; to give quantitative estimates of probable resources

Geochemical criteria of ore-bearing geological formations are primarily in stable correlations petrochemical features ore-bearing rocks and the corresponding fluctuations in the mineral composition of ores (for example, the correlation of potassium content in silicate ore-bearing volcanic rocks ore-bearing volcanic geological formations and ratios of copper and lead ores of pyrite family ore formations).

These criteria should be considered in regional and local assessments of the prospects of ore-bearing geologic formations.

**Key words:** geological formation, geological subformation, geochemical specialization, major and rudogennye elements, Clark concentrations

## REFERENCES

- [1] Smirnov V.I. Metallogeny. Selected works. M.: Nauka, 1993. [Smirnov V.I. Metallogenija. Isbrannije trudi. M.: Nauka, 1993.]
- [2] Filatov E.I., Shirai, E.P. Structural analysis of the ore fields. M.: NEDRA, 1988. [Filatov E.I., Shiraj E.P. Phormazionnij analis rudnich mestorogdenij. M.: NEDRA, 1988.]
- [3] Filatov E.I., Filatova L.K. Geological-geochemical oresystem. M.: IMGRE, 2013. [Filatov E.I., Filatova L.K. Geologicheskije i geochimicheskije kriterii rudonosnosti geologicheskikh phormazij. M.: IMGRE, 2015.]