

Геологическая и геохимическая специализация рудоносных формаций

Проанализированы геохимическая и металлогеническая специализация и зональность структурно-вещественных комплексов. В общей системной цепочке операций металлогенического прогноза и поисков данные о геохимической специализации геологических формаций и их составляющих позволяют производить формационную интерпретацию аномальных геохимических полей, обнаруженных в ходе многоцелевого геологического и геохимического картирования; 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 геохимического состава руд, например, корреляции содержания калия в кремнекислых рудовмещающих вулканитах рудовмещающих вулканогенных геологических формаций и отношений меди к свинцу 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.

ФИЛАТОВ ЕВГЕНИЙ ИВАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор

ФИЛАТОВА ЛЮДМИЛА КОНСТАНТИНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, filatova@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Geological and geochemical specialization of ore-bearing formations

E. I. FILATOV, L. K. FILATOVA

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The geochemical and metallogenic specialization and zoning of structural-material complexes are analyzed. In the general systematic operational circuit of metallogenic forecasting and geological prospecting, processing the data on the geochemical specialization of geological formations and their constituents make it possible to perform a formational interpretation of anomalous geochemical fields revealed in the course of multipurpose geological and geochemical mapping; to subdivide the explored areas by the types of geological formations differing by their ore-bearing potential, with allocation of the most productive subformations, phases, and facies; and to provide quantitative estimates of the forecasted resources. Geochemical criteria of the ore-bearing potential of geological formations consist, first of all, in stable correlations between petrochemical features of ore-bearing rocks and their corresponding fluctuations of the ore composition (for example, the correlation of the potassium content of ore-hosting silicic volcanic rocks of the ore-bearing volcanogenic geological formations with the Cu/Pb ratio in ores of various types of deposits of the VMSD formational family). These criteria are to be taken into account in regional and local assessments of the perspective ore-bearing potential of geological formations.

Key words: geological formation, geological subformation, geochemical specialization, petrogenic and ore-forming elements, clark of concentration.

Многими исследователями подмечена органичная связь геологических и геохимических закономерностей размещения МПИ [1, 3]. 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 образовавшийся

в сходных геологических условиях и, прежде всего, при однообразном тектоническом или, как сейчас принято говорить, геодинамическом режиме.

Геохимическая специализация как проявление естественных связей петрогенных и рудогенных элементов отражает:

- геодинамический режим становления геологических формаций и их составных частей;
- петрохимические особенности рудовмещающих пород и распределение в них петрогенных и рудогенных элементов.

Особенности структуры геохимической специализации – это отражение связей геологической истории становления и развития геологической формации с процессами рудообразования.

Вариации этих характеристик предопределены в первую очередь геодинамическими условиями формирования геологической формации и эволюцией концентраций 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 (её индивида), а *филогенез* – эволюцию всей совокупности индивидов формационного типа (то есть абстрактной) в истории развития земной коры.

В онтогенезе конкретной геологической формации в её 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 объёму формации;
- геохимическая специализация синрудная, возникающая в процессе рудоконцентрирования, в том числе одновременно со становлением самой формации (при магматическом концентрировании, седиментогенезе, гидротермально-осадочном рудоотложении) или на последующих этапах её развития (при диагенезе, катагенезе осадков, автометаморфизме вулканитов и др.), когда её признаки обнаруживаются не во всём объёме формации, а в её рудоносных субформациях, фациях или фазах;
- геохимическая специализация вторичная, накладывающаяся на первичные геохимические признаки формации в связи с воздействием сторонних не парагенетичных 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 с объектов, где эти связи наиболее отчётливы, то ряд начнётся вулканогенно-осадочными месторождениями колчеданного семейства островных дуг и окраинных морей, а закончится пластово-инфильтрационными холодноводными ролловыми месторождениями урана, молибдена, ванадия и др. В первом случае геохимическая специализация вулканогенно-осадочных формаций островодужно-окаинно-морских систем даёт прямые информационно-насыщенные данные для металлогенического прогноза не только формационного типа оруденения, но и соотношения металлов в прогнозируемых рудах. Во втором же 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 сколько-нибудь полезной прогнозно-поисковой информации.

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

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

Зональность островных дуг определена латерально-вертикальной зональностью по отношению к оси междугового спрединга ранних базальтоидных, андезитовидных и риолитовидных островодужных комплексов, с которыми, соответственно, ассоциируются месторождения: медноколчеданные кипрского типа, медно-цинковые уральского типа, свинцово-медно-цинковые 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. Колчеданно-полиметаллические месторождения здесь приурочены к ареалам развития этой формации и не выходят за её 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.

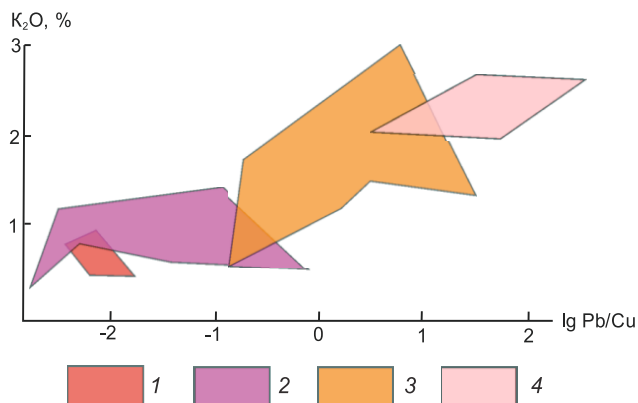
От натриевой субформации к калиевой как в базальтах, так и в риолитах происходит закономерное увеличение содержания рубидия и уменьшение стронция. В этом же направлении происходит уменьшение соотношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$), подчёркивающее антидромный характер продуктивного вулканизма. Содержания хрома и никеля в породах натриевой субформации, особенно в базальтах в направлении от Иртышской островной дуги Рудного Алтая, уменьшаются, а отношение Co/Ni увеличивается [2].

В породах всех трёх субформаций лёгкие лантаноиды преобладают над тяжёлыми, что характерно для колчеданосных вулканогенных формаций, образовавшихся на существующем сиалическом фундаменте. В меньшей степени это преобладание проявлено для пород натриевой субформации, тяготеющей к палеозоне Беньофа. Нормированные кривые распределения редкоземельных элементов содержат ясно выраженный Eu-минимум. В латеральном ряду (натриевая → промежуточная → калиевая субформации), фиксирующем на момент рудообразования направление от Палеоокеана к Палеоконтиненту, происходит закономерное увеличение соотношений содержаний в породах La/Yb и $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ и содержания Eu. Кларки концентраций основных рудогенных элементов (медь, свинец и цинк) в основном понижены и, вероятно, отражают развитие процессов рециклинга при рудообразовании.

Таким образом, каждая субформация рудоносной формации характеризуется своим вариантом геохимической и металлогенической специализации. Отложения натриевой субформации содержат существенно медные месторождения, калиевой – существенно свинцовые, а промежуточной – медно-свинцовые. Геохимический состав руд месторождений зависит от содержаний в рудовмещающих вулканиках щелочных металлов. С увеличением калия в рудовмещающих породах прямо пропорционально увеличивается отношение содержаний свинца к меди в рудах (см. рисунок).

Металлогеническая зональность окраинных морей подчёркивается развитием в риолит-базальтсодержащих карбонат-терригенных толщах цинково-медноколчеданных месторождений типа *бесси*, которые сменяются во фронтальных частях бассейнов свинцово-цинково-колчеданными месторождениями филизчайского типа, а в тыловых частях – золото-сульфидными месторождениями сухоложского типа в черносланцево-терригенных толщах.

Геохимическая специализация пород черносланцево-терригенной группы формаций формируется на всех стадиях их онтогенеза. Породы этой группы сложены весьма однотипным в литологическом



Зависимость отношения свинца к меди в семействе колчеданных руд от содержания калия в кремнекислых породах продуктивной формации:

типы рудных районов: 1 – кипрский, 2 – уральский, 3 – куроко, 4 – алтайский

отношении набором солоноводных и пресноводных осадков – аргиллитов, песчаников, мергелей, известняков. Характерно присутствие повышенного количества фитоорганического вещества и дисульфидов железа, возникающих в процессе сульфатредукции в так называемых донных сероводородных эксинских литофациях. Органическое вещество и дисульфиды железа изначально функционируют в качестве органоминеральных кристаллохимических коллекторов, аккумулирующих мышьяк, сурьму, золото, платиноиды, медь, цинк, свинец, кобальт, никель.

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 счёт избирательного поглощения калия из порово-захоронённых 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: фрамбоиды → конкреции → вкрапленность → прожилки.

В стадию катагенеза и начального метаморфизма в продуктивной фации, обогащённой органическим веществом и дисульфидными железами, возникает эволюционный ряд минеральных форм элементов-

индикаторов: фрамбоиды пирита с начальными надфоновыми концентрациями мышьяка, сурьмы, кобальта, никеля, золота → конкреции пирита, марказита с увеличивающимися концентрациями → арсениопирит золотиносный 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 заключение необходимо подчеркнуть следующее. В общей системной цепочке операций металло-

генического прогноза и поисков данные о геохимической специализации геологических формаций и их составляющих позволяют:

- интерпретировать аномальные геохимические поля, обнаруженные в ходе многоцелевого геологического и геохимического картирования;
- проводить 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 металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов В. И.* Металлогения. Избранные труды // отв. ред. Н. П. Лаверов. – М.: Наука, 1993. – 175 с.
2. *Филатов Е. И., Филатова Л. К.* Геологические и геохимические критерии рудоносности геологических формаций. – М.: ИМГРЭ, 2015.
3. *Филатов Е. И., Ширай Е. П.* Формационный анализ рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 142 с.

REFERENCES

1. *Smirnov V. I.* Metallogeniya. Izbrannyye Trudy [Metallogeny. Selected Works]. Moscow, NAUKA publ., 1993, 173 p. (In Russ.)
2. *Filatov Ye. I., Filatova L. K.* Geologicheskiye i geokhimi-cheskiye kriterii rudonosnosti geologicheskikh formatsiy [Geological and geochemical criteria for ore content of geological formations]. Moscow, IMGRE publ., 2015. (In Russ.)
3. *Filatov Ye. I., Shiray Ye. P.* Formatsionnyy analiz rudnykh mestorozhdeniy [Formation analysis of ore deposits]. Moscow, NEDRA publ., 1988, 142 p. (In Russ.)

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.