



УДК 549.753.11:550.423

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ ПИРИТОВ – ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛА

А.М. Карпов, Е.С. Тальнов*

Саратовский государственный университет,
кафедра геоморфологии и геоэкологии

E-mail: geocology@info.sgu.ru

*Саратовский государственный университет,
НИИ Геологии

E-mail: niig@sgu.ssu.ran.net.ru

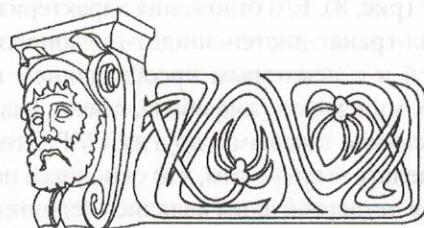
Рассмотрено распределение 22-х элементов в пиритах Орского Зауралья. Проведено сравнение степени концентрации этих элементов в минерале и во вмещающей породе, что позволило сделать достаточно определенное заключение об особенностях распределения и формах нахождения изученных элементов в пиритах, образовавшихся на различных стадиях формирования медно-колчеданных руд и вмещающих пород.

Microelements of pyrites as indicators of the mineral origin

A.M. Karpov, E.S. Tal'nov

Distribution of 22 elements of pyrite from South Ural has been considered. Comparison of concentration level of these elements in pyrite and adjoining rock allows make some conclusions on peculiarities of distribution these elements and their forms in pyrites which originated during different stages of formation of copper-pyrites ores and adjoining rocks.

Пирит является наиболее распространенным сульфидом в составе медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических руд и содержащих их пород Южного Урала, и в частности Теренсайского рудного района. В строении последнего принимают участие среднедевонские вулканиты островодужной стадии развития, принадлежащие (снизу вверх) контрастной, раннему периоду слабо дифференцированной, андезитодактовой и позднему периоду слабо дифференцированной формаций. Колчеданные проявления, среди которых выделяются колчеданные, медно-цинково-колчеданные и колчеданно-полиметаллические рудные залежи, приурочены главным образом к кремнистым туфам и лавам андезитодактовой формации и её контакту с вулканитами раннего периода слабо дифференцированной формации. Рудные тела ассоциируют с кварц-серийт-хлоритовыми, кварц-серийтовыми и более редкими монокварцевыми метасоматитами, развившимися по вмещающим вулканогенным породам. Установлена стадийность рудообразования – наиболее ранняя собственно колчеданная стадия сменяется медно-цинковой и затем барит-полиметаллической. Эта смена происходит в соответствии с постепенной эволюцией воздействующих гидротермальных растворов. В каждую из этих ста-



дий в рудных телах формировалась новая генерация пиритов. Кроме того, минерал образует вкрапленность и гнезда в метасоматитах и в различной степени метасоматически измененных вмещающих породах. Из всех перечисленных пород и руд отобрано 86 монофракций пиритов, проанализированных спектральным методом.

Хорошо известно, что пирит отличается способностью накапливать в своем составе разнообразные элементы, являющиеся типоморфными [4].

Максимальное количество определенного элемента в пирите – это тот элемент, который является ведущим, главным в составе руд данного месторождения и данной стадии минералообразования, что делает возможным по степени накопления определенного элемента в пирите давать предварительную оценку перспективности минерализованных зон.

Проведенные ранее исследования пиритов Теренсайского рудного района [1] и соседних регионов были посвящены геохимии главным образом никеля и кобальта как наиболее обильных в пирите. Нами с различной степенью детальности рассмотрено еще 20 элементов в плане сравнения их количества в пирите и во вмещающей породе или руде и определения особенностей изменения содержаний этих элементов в пиритах из всех разновидностей пород и руд.

Определение степени концентрации (СК) того или иного элемента в пирите проведено по соотношению среднего содержания элемента в минерале и кларка вмещающей породы, определенного для района В.С.Гладких и В.А.Соловьевым [3].

По величине СК вся совокупность анализированных элементов распалась на ряд звеньев, составленных из элементов с близкими значениями СК.

О форме вхождения элементов в пирит далеко не всегда можно сделать определенное заключение. Известно, что он может содержать



изоморфные примеси, замещающие как железо, так и серу – Co, Ni, Hg, Cu, As, Au, Ge, Sb, Sc, Ag, Te, а также, возможно, Cd, Zn, Pb, Ti, V [4]. Но кроме кристаллохимических закономерностей приходится предполагать наличие механического захвата растущим (или преобразующимся при гидротермальной переработке пород и колчеданов) кристаллом пирита мельчайших зародышей других минералов, до разрастания которых в более крупные обособленные кристаллы процесс не доходит в условиях формирования колчеданно-полиметаллических руд. Кроме того, можно предполагать цепочечный характер изоморфизма, когда элемент, присутствующий в зародыше иного, чем пирит, минерала, также изоморфно замещается элементом, обнаруживаемым при анализе пирита.

Первое звено состоит из элементов с наиболее высокой (десятки и сотни раз) степенью концентрации. Это As, Bi, Cd, Co и Ag. Максимальная СК мышьяка и висмута характерна для ранних, более высокотемпературных пиритов из тел колчеданов, что позволяет не только говорить об изоморфном характере замещения серы этими элементами, но и предполагать захват пиритом микровключений арсенопирита или пирротина (часто содержащего As). Однако отдельные пробы позднего пирита также характеризуются повышенным содержанием висмута. Что касается «породных» пиритов, то по количеству в них мышьяка хорошо различаются пириты кислых (сравнительно обогащенных им) и основных (сравнительно обедненных им) вулканитов. Для висмута намечается обратная закономерность.

Кадмий более характерен для пиритов из полиметаллических руд, особенно в случае обогащенности их цинком, что позволяет говорить о наличии в пирите микровключений сфалерита. Минимальные содержания и дисперсия кадмия фиксируются в пиритах из кварц-серicitовых метасоматитов.

Кобальт и серебро также отчетливо накапливаются в позднем пирите. Твердые растворы пирит-кобальтина представлены минералами во всем интервале составов, что объясняет более высокое значение СК кобальта в пирите основных вулканитов по сравнению с пиритами дацитов (для серебра – обратная закономерность). Кроме того, при достаточном количестве мышьяка образуются мельчайшие зернышки кобальтина, захватываемого пиритом.

В пиритах из дацитов иногда устанавливаются корреляция между количествами серебра и мышьяка, что позволяет предполагать наличие в

пиритах микровключений серебросодержащих сульфосолей мышьяка, температура образования которых около 250°С.

Второе звено по СК от 6 (цинк) до 12 (свинец, вольфрам) и 26 (медь, молибден) образовано главным образом типичными халькофильными элементами, и повышенные примеси Cu, Pb, Zn (до 0,1 %) характерны для пиритов полиметаллических месторождений. В нашей выборке наиболее резкое обогащение поздних пиритов по сравнению с максимально ранними фиксируется прежде всего для цинка и особенно – для меди, что позволяет предполагать присутствие в пирите мельчайших включений минералов меди.

Молибден и вольфрам во многих минералах способны изоморфно замещать друг друга и ограниченно – железо и марганец. Хотя молибденит более характерен для месторождений медногипсового типа, он встречается в кварц-пирит-молибденитовых прожилках, являясь типичным гидротермальным минералом высоких и средних температур. И в нашем случае молибден заметнее всего накапливается в пиритах из зон окварцевания и серicitизации, а также в позднем пирите. Вольфрам же более характерен для ранних пиритов, в которых он замещает двухвалентное железо. В породных пиритах наиболее высокие средние содержания его установлены в пиритах кислых вулканитов (на порядок выше, чем во вмещающей породе).

В третье звено вошли элементы с низким значением СК (от 2 до 5) – Ni, Sn, In, Sc, причем оказалось, что никель более характерен для ранних, а олово и индий – для поздних пиритов. Хотя наличие никеля фиксируется в пирите часто, и, как и для кобальта, известны железо-никелевые твердые растворы, СК у кобальта выше, чем у никеля. Последним более богаты пириты из основных вулканитов, а заметные колебания значения никель-кобальтового отношения наблюдаются чаще всего за счет изменения содержания кобальта. Таким образом, реакция никеля и кобальта на изменение химизма среды неоднозначна. Никель характерен для пиритов из более основных и слабо измененных пород, так что пириты из кварц-хлоритовых и тем более кварц-хлорит-серicitовых метасоматитов всегда обеднены им. Пириты рудных тел содержат почти одинаковые количества никеля, резко различаясь по содержанию кобальта, который (наряду с медью, цинком и серебром, менее заметно – с молибденом, свинцом, иттрием) накапливается в поздних пиритах полиметаллических руд. Интересно, что высокие содержания обоих элементов (при преобладании никеля) обнаруживаются в пиритах из метаморфизованных биотитсодержащих вулканитов.



Изменения значений СК Sn, In, Sc невелики, но заметно, что пириты из основных вулканитов богаче скандием по сравнению с пиритами из дацитов. Пириты колчеданов отличаются высокой дисперсией содержаний этого элемента. По рисунку изменения СК индий сходен с цинком, который он, скорее всего, и замещает.

К четвертому звену относятся элементы с величиной СК меньше единицы, то есть Кларк их для породы выше среднего содержания их в пиритах. Это элементы группы железа – Mn, Cr, V, Ti, кристаллохимически близкий к титану Zr, а также Ga и два редкоземельных элемента – Nb и Y. Из них первые пять свойственны пиритам из базальтовых вулканитов и ранних колчеданов, а ниобий и иттрий – для пиритов из дацитов и полиметаллических руд.

Следует подчеркнуть, что наиболее резкое накопление различных элементов характерно в основном для пиритов колчеданно-полиметаллических руд, для «породных» пиритов СК почти всегда небольшая. Сравнение пиритов ранних колчеданов и полиметаллических руд показало, что первые отличаются обычно большей концентрацией в них Ni, V, Ti, Zr, Bi, W, Ga, а вторые (более поздние) – обогащением Co, Cu, Zn, Mo, As, In, Ag и менее заметно – Pb и Sn, что соответствует в основном картине геохимических свойств этих элементов в связи с их распределением по отдельным геохимическим типам в земной коре, согласно построениям В.М. Гольдшмидта [5] и А.Е. Ферсмана [8]. Еще раз заметим, что наименее разработанным остается вопрос о форме нахождения того или иного элемента в минерале. Группа Г. Ескенази [7], изучавшая распределение элементов-примесей в пиритах свинцово-цинкового месторождения Маданского рудного поля, также обнаружила максимум накопления различных элементов в пиритах именно рудных жил (и обеднение кобальтом, медью, мышьяком и скандием пиритов из метасоматических образований). Распределение элементов в пирите подчиняется логнормальному закону, и основная масса Co, Ni, As, Sc, Ag, Zn, Mn – изоморфные примеси, лишь для меди и цинка установлено присутствие микровключений халькопирита и сфалерита. Предполагается, что источником элементов-примесей в пиритах являются не только рудоносные растворы, но и вмещающие породы, из которых элементы (особенно никель и кобальт) извлекались в процессе гидротермальных изменений. Это заключение полностью согласуется с нашими выводами по изученному материалу

и, кроме того, позволяет предполагать появление на определенном этапе зародышей других минералов, захватывающихся пиритом при формировании рудных тел.

Прослеживание изменений средних содержаний элементов в пиритах изучавшихся нами пород и руд показало, что изменение физико-химической обстановки отражается прежде всего на количестве кристаллохимически близких к железу никеля и кобальта, а также молибдена и серебра. На втором месте по чувствительности к изменениям среди стоят Cu, Bi, Ti, Zr, колебания в содержании которых при переходе от одной породы к другой тоже достаточно заметны. Для других элементов эти колебания менее существенны и лишь в пиритах рудных тел более заметны.

Н.С. Бородина с коллегами [2], изучая пириты гранитоидов Урала и ассоциированных с ними рудных месторождений, установили, что пириты кварц-сульфидных золотоносных жил, связанных с плутоническими гранитоидами, содержат кобальт на порядок меньше, чем пириты из kontaktово-метасоматических месторождений, связанных с гипабиссальными гранитоидами, а содержание других элементов в пиритах очень варьирует и не обнаруживает зависимости от основности или генетической принадлежности гранитоидов.

Результаты наших исследований позволяют сделать более четкий вывод, который можно определить как «эффект прессинга окружающей среды»: в пиритах из основных вулканитов преобладают элементы основных магм (Ni, Co, Ti, V, Sc), а в пиритах из дацитов – элементы средних и кислых магм (Nb, Y) и сульфидных жил (As, Zn, Cd, Ag), причем для пиритов из низов толщи кислых вулканитов андезито-дацитовой формации (вблизи с рудными телами) набор халькофильных элементов выражен еще резче (Cu, Zn, Pb, Mo, In).

Таким образом, наш материал позволяет сделать заключение о том, что состав элементов-примесей в пиритах определяется, с одной стороны, законами кристаллохимии, химическим сродством элементов, способных к изоморфизму с железом и серой, а с другой – особенностями состава среды, степенью обогащенности вмещающих пород петрогенными и рудными элементами, которые вовлекаются в перемещения при изменении пород и руд гидротермальными процессами и входят в состав пирита либо как изоморфная примесь, либо в виде микровключений самостоятельных минералов, также различных в меняющихся физико-химических условиях среды.

Библиографический список

1. Балдин В.Ф., Воробьева Г.И., Лядский Л.В., Черняхов В.Б. Геохимические особенности пиритов медно-колчеданных объектов Домбаровского рудного района (Южный Урал) // Геохимия. № 7. 1977. С. 1088–1102.
2. Бородина Н.С., Ярош Н.А., Чашухина В.А., Бушляков И.Н. Элементы-примеси в пиритах из гранитоидов Урала и ассоциированных с ними рудных месторождений // Тр. ин-та геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Вып. 93. Свердловск, 1972. С. 255–260.
3. Гладких В.С., Соловьев В.А. Петрохимические и геохимические особенности геосинклинального вулканизма (Магнитогорский мегасинклиниорий) // Регион. геохимия и рудообразование. М., 1980. С. 270–278.
4. Годовиков А.А. Минералогия. М., 1975. 517 с.
5. Гольдшмидт В.М. Главнейшие работы по геохимии и кристаллохимии. Л., 1933. 271 с.
6. Еремин Н.И., Воробьев В.И., Петрова Г.С. и др. Теренсайский рудный район (Палеозойский вулканализм и колчеданные месторождения Южного Урала). М., 1968. С. 177–208.
7. Ескенази Г., Кольковски Б., Пейчева Е. Элементы-примеси в пиритах из свинцово-цинковых месторождений Маданского рудного поля (Болгария) // Рудообразов. процессы в минер. находица. 1977. № 7. С. 38–56.
8. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. IV. Л., 1939. 355 с.

УДК [551.73/.78:552.143:552.5](470-924.85/.86)

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ СОБЫТИЙНЫЕ УРОВНИ, ВЫРАЖЕННЫЕ В ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЗДНЕГО ФАНЕРОЗОЯ ЮГО-ВОСТОКА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

З.А. Яночкина, Т.Ф. Букина, Е.Ф. Ахлестина,
А.В. Иванов, Н.Я. Жидовинов

Саратовский государственный университет,
НИИ Геологии

E-mail: niig@sgu.ssu.ru

В статье рассматриваются особенности вещественного состава отложений наиболее значимых событийных уровней, выраженных в смене генетических типов, геохимических показателей и биоты. Подчеркивается их связь с климатом, с характером вулканизма, подводной гидротермальной деятельностью, тектоническими циклами, фазами сжатия и растяжения Земли и колебаниями уровня Мирового океана. Охарактеризованы основные абиотические и биотические изменения на рубежах перми и триаса, раннего и среднего, среднего и позднего триаса, поздней юры, позднего мела и палеоцена, эоцене и олигоцена, а также ряда рубежей неогена.

The most significant event levels expressed in material composition of late Phanerozoic deposits from the south-east of the East-European platform

З.А. Яночкина, Т.Ф. Букина, Е.Ф. Ахлестина,
А.В. Иванов, Н.Я. Жидовинов

Particularities of material composition of deposits of the most significant event levels, expressed by changing genetic types, geochemical factors and biota are considered in the paper. Their relationship with climate, with the nature of vulcanism, underwater giderothermal activity, tectonic cycles, phases of compression and sprains of the Earth and fluctuations of World Ocean level are emphasized. The main abiotic and biotic changes at the boundaries of Permian and Triassic, early and middle Triassic, middle and late Triassic, late Jurassic, late Cretaceous and Paleogene, Eocene and Oligocene, as well as number of boundaries within Neogene are characterized.

Геологические события в истории Земли проявляются преимущественно в перестройке структурных планов с изменением палеогеографических обстановок и условий осадконакоп-

ления, обуславливая эволюцию седиментогенеза. Чем крупнее и катастрофичнее абиотические и биотические события, тем более ярко выражен временной уровень. События проявляются как глобально, так и регионально, и их последовательность распознается при детальном и комплексном изучении осадочных бассейнов [13, 31, 65].

К основным причинам глобальных абиотических событий относятся космогенные и тектонические изменения, приводящие к сжатию или расширению земной коры: эвстатические колебания уровня Мирового океана и эпиконтинентальных морских бассейнов, климатические изменения и связанные с ними физико-химические свойства и температуры морских вод и атмосферы, влияющие на характер седиментации, биопродуктивности и эволюции биоты. События фиксируются в разрезах отложений стратиграфическими перерывами, изменениями в строении толщ и их вещественного состава.

С абиотическими изменениями сопряжены биотические перестройки: популяционные взрывы, кратковременные увеличения биопродуктивности, массовая гибель организмов, вплоть до вымирания отдельных таксонов в глобальных масштабах [28], благодаря которым

