

МИНЕРАЛОГИЯ

Ф. В. ЧУХРОВ

**ОБРАЗОВАНИЕ ЯРОЗИТОВ В ЗОНЕ ОКИСЛЕНИЯ**

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 22 III 1950)

В минералогической литературе ярозиты упоминаются уже с первой половины прошлого столетия, но до последних десятилетий их относили к числу редких минералов. В настоящее время имеются достаточные основания утверждать, что ярозиты, особенно калиевый и натриевый,— широко распространенные минералы зоны окисления самых различных месторождений, которые характеризуются содержанием сколько-нибудь значительных количеств пирита, марказита или пирротина в составе первичных руд. Наличие ярозита в зоне окисления служит надежным указанием на наличие в первичных рудах какого-либо одного, реже двух и в еще более редких случаях всех трех из указанных сульфидных минералов железа. В настоящей статье изложены некоторые выводы, имеющие отношение к образованию ярозитов в зоне окисления. Основой для этих выводов послужили многолетние исследования автора в степной части Казахстана.

1. Ярозиты, как показывают условия их образования в природе и экспериментальные исследования,— минералы, возникающие и устойчивые в кислой среде. Поэтому ярозиты всегда являются более ранними, чем такие неустойчивые в кислых растворах минералы, как малахит, азурит и др.

В тех случаях, когда выделения пирита, дающего основной материал для образования ярозита, находятся в карбонатных минералах или в непосредственном соседстве с ними, ярозит не образуется, так как карбонаты нейтрализуют серную кислоту и способствуют гидролизу сульфата железа и образованию псевдоморфоз лимонита по пириту. Равным образом ярозит часто не образуется и в тех случаях, когда пирит представлен вкрапленностью в кварце и как бы запечатан в нем. В этом случае выветривание пирита происходит крайне медленно, получающиеся за его счет растворы сульфата железа весьма разбавлены, что способствует гидролизу, т. е. образованию псевдоморфоз лимонита по пириту.

2. Соотношение между калием и натрием в ярозитах из разных месторождений зависит от источников щелочных металлов в тех растворах, которые омывают рудные тела.

а) Наиболее простым является случай, когда рудные тела залегают в массивных изверженных породах, непосредственно обнажающихся на поверхности или прикрытых незначительной толщой элювиальных отложений. В этом случае источником щелочных металлов, служащих для образования ярозитов, очевидно, могут быть только вмещающие породы, тогда как роль новейших отложений и грунтовых вод минимальна. Поэтому при существенно калиевом характере полевых шпатов должны возникать калиевые ярозиты. Соответствующие примеры известны в месторождениях степной части Казахстана.

В Блявинском колчеданном месторождении, где вмещающие породы представлены кератофирами, спилитами и диабазами, ярозит представлен преимущественно натриевой разновидностью.

Извлечение щелочных металлов из вмещающих пород происходит в результате их выветривания или под действием серной кислоты, возникающей при окислении пирита. Первый из этих процессов наиболее характерен для приповерхностных частей рудных тел.

б) Во многих районах Центрального и отчасти Северного Казахстана над рудными телами имеются новейшие отложения, богатые легко растворимыми солями натрия. В частности, это справедливо для месторождения Гульшад, в котором на расстоянии до 2 м от поверхности местами наблюдаются концентрированные выделения мирабилита. Высоким содержанием натрия в нисходящих водах объясняется существенно натриевый состав ярозита, встречающегося в Гульшаде на участке так называемых оруденелых яшмоидов среди кварцевых роговиков, заключенных в мраморизованных известняках.

в) В некоторых случаях, особенно, когда рудные тела залегают в слоистых породах и влияние новейших отложений на состав нисходящих вод исключено, состав ярозитов зависит от состава грунтовых вод, которые в зоне ярозитообразования колчеданных залежей могут играть существенную роль. Так например, в Майкаине на участке С, где вмещающими породами являются кварцево-серicitовые сланцы, ярозиты представлены в основном существенно натриевыми разновидностями; весьма резкое преобладание натрия над калием характерно и для состава грунтовых вод Майкаина.

3. В месторождениях, характеризующихся наличием более или менее концентрированных выделений пирита (соответственно пирротина и марказита) в первичных рудах, ярозит обычно является ранним минералом, который в дальнейшем замещается окислами железа с гематитовой кристаллической фазой или лимонитом. В месторождениях, характеризующихся незначительным содержанием пирита в первичных рудах, ярозит выделяется, по крайней мере частью, после лимонита, отложившегося непосредственно из раствора и возникшего за счет того железа, которое заимствовано из силикатов боковых пород при их выветривании. При этом характерно, что поздний ярозит обычно представлен весьма незначительными выделениями. Поскольку лимонит, на котором наблюдаются выделения позднего ярозита, генетически связан с выветриванием вмещающих пород, постольку последние можно в этих случаях рассматривать и как источник щелочных металлов.

Причина более позднего выделения ярозита в сравнении с лимонитом, по нашему мнению, заключается в том, что выветривание изолированных и как бы запечатанных в кварце или других минералах выделений пирита отстает от выветривания боковых пород, за счет силикатов которых возникает лимонит.

4. Значительный интерес представляет вопрос о связи образования ярозитов с климатом. Наличие такой связи является несомненным. В качестве примера можно указать Урал, где зоны окисления формировались в разных условиях. В средней части Урала ярозит в зоне окисления отсутствует. Что же касается Южного Урала, то здесь ярозит установлен в ряде месторождений: Блява, Юлалы, Яманкасы, Бурибай (по А. Г. Бетехтину и Т. Н. Шадлун). В Западной Европе ярозит не установлен вовсе в месторождениях многих районов, в которых пирит обычен и местами обилен. Насколько можно судить по литературе, ярозит не обнаружен в месторождениях Шотландии, Австрии, Венгрии, Чехословакии, Саксонии и др.

В степной части Казахстана ярозит в том или ином количестве обнаруживается почти во всех месторождениях, для которых характерно наличие пирита в первичных рудах. Причиной отсутствия ярозитов в

одних и наличия его в других месторождениях, по мнению автора, является различие в количестве осадков в период формирования зоны окисления. Чем больше осадков, тем значительнее разбавление растворов, циркулирующих в зоне окисления, и тем более благоприятны условия для гидролиза сульфата окисного железа. Это обстоятельство, а также незначительная концентрация кислоты в разбавленных растворах препятствуют возникновению ярозита. Известно, что последний образуется в кислых растворах с относительно высоким содержанием ферри-сульфата, а в растворах с усредненной реакцией последний гидролитически расщепляется и дает окислы железа.

В связи с изложенной концепцией весьма значительный интерес представляют данные Н. И. Хитарова и Е. П. Муликовской <sup>(1)</sup> о возникновении ярозита в кислой сильно минерализованной рудничной воде из Карабашского месторождения (Средний Урал).

Эта вода была собрана на глубине 180 м в выработке, пройденной в пиритизированных сланцах. После года стояния из воды выпал осадок ярозита. Причиной этого следует считать переход закисного железа в окисное.

Естественным является вопрос, почему в зоне окисления месторождения ярозит отсутствует, а в рудничной воде из того же месторождения он образуется. Ответ, как нам кажется, заключается в том, что рудничные воды с высокой концентрацией железа и серной кислоты существуют лишь на глубоких горизонтах, где железо находится в закисном состоянии и не может участвовать в образовании ярозитов. Выше, где железо переходит в трехвалентное состояние, растворы настолько разбавляются нисходящими водами, что, вследствие малой концентрации серной кислоты и сульфата окисного железа, последний подвергается энергичному гидролитическому расщеплению с образованием водной окиси железа (лимонита). В пробе из Карабашского месторождения, сохранившейся в лаборатории, переход закисного железа в окисное не сопровождался разбавлением раствора. Поэтому сульфат окисного железа оказался защищенным от быстрого и полного гидролиза и дал вместе с сульфатами калия и натрия ярозит. В условиях относительно сухого климата переход закисного железа в окисное в растворах также не сопровождается их резким разбавлением, вследствие чего создаются благоприятные условия для образования ярозита. В этом, по нашему мнению, главная причина образования ярозитов в тех зонах окисления, которые формировались в условиях пониженного количества осадков.

Следует подчеркнуть, что, в отличие от атаками и галогенидов серебра, образование ярозита зависит только от количества осадков, просачивающихся на глубину, тогда как повышенные средние годовые температуры не создают предпосылок для его возникновения. С этим, в частности, хорошо согласуется наличие ярозита в зоне окисления некоторых месторождений зоны вечной мерзлоты.

В условиях резко расчлененного рельефа создаются местные аридные условия вследствие резкого преобладания стока над просачиванием. В качестве примера можно указать некоторые месторождения Кавказского хребта и Армении, в зоне окисления которых установлен ярозит: эти месторождения находятся в участках сильно расчлененного рельефа, где сток обильных в летнее время дождевых вод резко преобладает над их просачиванием на глубину.

Представление о местных аридных условиях находит полное подтверждение в учении о формировании почвенного покрова.

Поступило  
20 III 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. И. Хитаров и Е. П. Муликовская, Тр. Ин-та геол. наук, в. 10, минер.-геохим. сер., № 2, 55 (1940).