

Член-корреспондент АН СССР Л. Н. ОВЧИННИКОВ,  
И. А. ПОЛЕТАЕВ, В. Е. РЯБЕНКО, Н. А. СОЛОДОВ, В. А. ХВОСТОВА

## О ЦЕЗИЕВОМ БИОТИТЕ КАК ВОЗМОЖНОМ ИСТОЧНИКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЗИЯ И ДРУГИХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Слюды давно являются источником промышленной добычи редких щелочных металлов. Еще в 50-е годы в США при переработке лепидолита, как извлекаемого из собственных пегматитов, так и ввозимого из Африки, получался карбонат смеси щелочных металлов (так называемый алькарб), содержащий около 2%  $Cs_2CO_3$  и 20—25%  $Rb_2CO_3$ , который, в свою очередь, использовался для производства солей цезия, рубидия, лития. Во многих социалистических странах эти металлы издавна получают при переработке циннвальдита грейзеново-пневматолитовых месторождений<sup>(1)</sup>. Во Франции несколько лет назад был разработан экономически эффективный способ непосредственной химико-металлургической переработки убогих лепидолитовых руд<sup>(2)</sup>.

Наконец, неоднократно отмечались перспективы получения редких щелочных металлов из разнообразных слюд, добываемых попутно при разработке месторождений бериллия (флогопит), танталит-колумбита и микролита (криофиллит), флюорита — смесь литиевого мусковита, эфесита, циннвальдита<sup>(3, 4)</sup>.

Авторам настоящей заметки с начала 50-х годов при изучении многочисленных редкометальных гранитных пегматитов СССР и КНР не раз приходилось отмечать широкое развитие вторичного биотита в экзоконтактах жил, залегающих среди разнообразных амфиболсодержащих пород. Явление биотитизации издавна использовалось как надежный поисковый признак, особенно при детальном разведочных работах.

Еще в 30-х годах Хесс и Фэйхи<sup>(5)</sup> в биотите одного из пегматитов Южной Дакоты, США, установили чрезвычайно высокое содержание цезия: 3,12%  $Cs_2O$ . Однако лишь в последние годы, по мере развития химико-металлургических методов извлечения редких элементов из минерального сырья, цезиевый биотит привлек внимание как возможный источник редких щелочных металлов. Началось систематическое опробование вмещающих пород пегматитов, в результате чего установлено повсеместно повышенное содержание цезия в зонах экзоконтактового изменения. Даже вблизи тех пегматитов, которые не содержат поллуцита, лепидолита или воробьевита и вообще отличаются пониженным содержанием цезия, обнаружены заметные концентрации этого элемента.

Наибольшее развитие биотита отмечается вблизи относительно низкотемпературных типов пегматитов, богатых альбитом (микроклин-альбитовые, альбитовые и альбит-сподуменовые типы). Самое же высокое содержание цезия во вторичном биотите, естественно, наблюдается вблизи микроклин-альбитовых пегматитов второго подтипа, т. е. с литиево-цезиевой минерализацией<sup>(6)</sup>. Вблизи этих пегматитов содержание  $Cs_2O$ , по данным В. А. Хвостовой, в новообразованном биотите превышает 4%, а иногда в таких случаях образуется самостоятельная цезиевая слюда с содержанием до 12—16%  $Cs_2O$ .

К настоящему времени как в Европейской части СССР, так и в Сибири выявлено несколько рудопроявлений пегматитов с концентрациями цезия в экзоконтактах, заслуживающими серьезного внимания. Ниже в качестве

примера вкратце характеризуется одно из наиболее детально изученных авторами месторождений цезиевого биотита. Месторождение представляет собой свиту крутонадающих ( $60-90^\circ$ ) пегматитовых жил грубо меридионального простирания, занимающих участок площадью  $2,5 \times 0,5$  км. Форма пегматитовых тел типично жильная с раздувами и пережимами, ветвлением и апофизами. Длина жил колеблется от десятков метров до 1500 м, а мощность от дециметров до 30—40 м. Жилы группируются в несколько жильных серий мощностью 20—40 м, в пределах которых 40—50% объема занимают пегматитовые тела и 50—60% — вмещающие породы.

Во внутреннем строении жил участвуют, в основном, тонко- и мелкозернистый кварц-альбитовый комплекс и кварц-микроклин-альбит-сподуменовый комплекс переменного состава с непостоянной (от аплитовидной до гигантокристаллической) структурой. В небольшом объеме развиты кварц-мусковитовый и некоторые другие минеральные комплексы. Строгой закономерности в пространственном положении этих комплексов как по мощности, так и по простиранию или падению жил не обнаруживается. Пегматиты в основном слагаются (в процентах): альбитом 35—45, кварцем 30—35, микроклином 15—20, сподуменом 8—13. Постоянно присутствуют берилл, касситерит, танталит, гранат, апатит, а на отдельных участках мусковит, сине-черный турмалин, поллуцит, амблигонит и др. В этих жилах обнаружены редкие для СССР танталаты: мангантаниолит, воджинит, старингит. Содержание в них щелочных и редких элементов составляет (в процентах):  $K_2O$  2,5—2,8;  $Na_2O$  4—4,5%;  $Li_2O$  0,6—0,8%;  $Rb_2O$  0,11;  $BeO$  0,04;  $Ta_2O_5$  0,017;  $Nb_2O_5$  0,010;  $Sn$  0,08. Содержание окиси цезия в пегматитах на довольно крупных участках жил достигает 0,6%, а по отдельным пробам до 2%, в среднем не более 0,1%. В соответствии с парагенетической классификацией<sup>(6)</sup> большинство пегматитовых тел месторождения может быть отнесено ко второму подтипу микроклин-альбитового типа (с литиево-цезиевой минерализацией). Однако от типичных микроклин-альбитовых пегматитов со сподуменом и поллуцитом эти жилы отличаются: 1) отсутствием отчетливого зонального строения; 2) практическим исчезновением лепидолита и розового или полихромного турмалина, столь характерных для цезиеносных пегматитов; 3) крутыми до вертикального углами падения жил, тогда как все наиболее крупные поллуцитоносные пегматиты мира обладают пологим залеганием.

Пегматиты приурочены к толще осадочно-метаморфических пород, сложенной чередованием кварц-биотитовых (местами с большой примесью граната или андалузита) и кварц-биотит-амфиболовых сланцев и амфиболитов. Жилы в основном залегают несогласно с вмещающими породами, пересекая их под острым углом. Эзоконтактовые изменения пород выражаются в биотитизации, турмалинизации, мусковитизации, окварцевании, альбитизации и холмквиститизации. Наиболее ярко выражен процесс биотитизации. Количество новообразованного биотита вблизи зальбанда достигает 30—50% от всего объема породы и постепенно уменьшается до 5—10% в 7—10 м от жил.

Цезиевый биотит образует чешуйки лапчатой формы светло-бурого цвета длиной от 0,2 до 0,6, редко 1—2 мм. Под микроскопом отчетливо устанавливается его развитие, главным образом, по роговой обманке, редко по первичному биотиту. Оптические константы цезиевого биотита отличаются от первичного биотита более высоким показателем преломления ( $N_m = 1,639$ ) и слабым плеохроизмом в буроватых тонах. Химический состав чисто отобранного цезиевого биотита характеризуется повышенным содержанием Li, Rb, Cs, Mg, F и пониженным содержанием K, Fe, Si, Al. Содержание  $Cs_2O$  в цезиевом биотите колеблется от 1,5 до 4,10%;  $Rb_2O$  0,7—1,42%;  $Li_2O$  0,4—0,7%;  $K_2O$  6—6,5%.

Содержание цезия в зонах эзоконтактового изменения по отдельным пробам варьирует от 0,01 до 2%. В целом наблюдается довольно закономерное уменьшение содержания цезия от 0,5—2% вблизи зальбандов до

менее 0,1% на расстоянии 5—10 м от жилы, что объясняется как уменьшением количества новообразованного биотита, так и снижением в последнем содержания редких металлов по мере удаления от жилы.

По отдельным пересечениям постепенность снижения содержания редких щелочных элементов может нарушаться положительными или отрицательными пиками в некоторых пробах из-за неравномерной метасоматической переработки вмещающих пород, обусловленной неодинаковой трещиноватостью их или какими-то локальными изменениями первичного минерального состава.

Важно отметить, что не наблюдается закономерной зависимости мощности экзоконтактных изменений от мощности жил, равно как нет никакой закономерной связи содержания цезия в экзоконтактах с его концентрацией на данном участке жилы, т. е. высокие содержания цезия в экзоконтактных биотитизированных породах отмечаются по соседству как с поллцитоносными участками жил, так и с не содержащими поллцит участкими.

В то время как распределение поллцита (а следовательно, и цезия) в жилах носит крайне неравномерный характер и с глубиной в пегматитовых телах поллцитовая минерализация довольно быстро уменьшается, распределение цезия в экзоконтактах гораздо более равномерно, а по падению, до глубины 150—200 м от поверхности, его содержания в одних и тех же породах не обнаруживают заметных закономерных изменений.

Генезис цезиевой минерализации описанного месторождения, по-видимому, не может быть истолкован как наложенный процесс, т. е. как дополнительный привнос цезия с какими-то растворами из глубины, поскольку этому противоречит отчетливая пространственная связь цезиевой минерализации с пегматитовыми телами. Цезий в значительной своей части выносился за пределы пегматитовых тел, где и улавливался новообразующимся биотитом, замещающим амфибол под воздействием одновременного выноса из пегматитов калия. Если бы имел место дополнительный привнос цезия (а следовательно, и калия, рубидия, лития, содержащихся в биотите) из магматического очага, то метасоматический процесс не должен был бы затухать в стороны от пегматитовых тел, а приурочивался бы к зонам повышенной трещиноватости, которые, естественно, совсем не обязательно проходили по контактам жил.

Выносу цезия и других элементов во вмещающие породы способствовала исключительно беспокойная тектоническая обстановка формирования пегматитов, о чем свидетельствует не только практически полное отсутствие зональности в жилах, но и факты, непосредственно документирующие проявление внутрирудной тектоники: пересечение одних минеральных комплексов другими, наличие брекчий, внутрирудных нарушений, явления автометасоматоза и т. п. Ориентировочный подсчет показывает, что отношение той части цезия, которая содержится в пегматитовых жилах (в виде поллцита и рассеянной формы), к той части его, которая вынесена во вмещающие породы, примерно составляет 1 : 4, по рубидию это отношение приблизительно равно 1 : 2, а по литию 1 : 0,5.

Подсчет запасов цезия ни по одному из выявленных рудопроявлений цезиевого биотита еще не завершен. Однако перспективная оценка показывает, что запасы цезия за счет цезиевого биотита в экзоконтактах некоторых уже известных пегматитовых серий иногда значительно превышают его запасы в самых крупных мировых месторождениях поллцита и лепидолита. Среднее содержание окиси цезия в экзоконтактных зонах будет колебаться в пределах 0,1—0,6% при одновременном содержании 0,1—0,25% окиси рубидия и 0,1—0,4% окиси лития. Проведенные Ю. И. Остроушко лабораторные технологические испытания руд без предварительного обогащения (проба содержала 0,5% цезия) показали принципиальную возможность практически почти полного извлечения редких щелочных металлов и калия методами химической технологии.

Таким образом, цезиевый биотит образует самые крупные в природе из известных в настоящее время месторождения цезия при среднем содержании его в руде, соизмеримом с поллуктитоносными пегматитами.

Экзоконтактовые зоны, несущие цезий, рубидий и литий, располагаются возле промышленных по содержанию тантала, олова, лития и бериллия пегматитов, при разработке которых открытым способом руды с цезиевым биотитом будут добываться попутно, что существенно увеличивает рентабельность освоения таких комплексных месторождений.

Анализ имеющихся данных о распространении цезиевого биотита позволяет наметить следующие основные условия, благоприятные для возникновения промышленных скоплений этого минерала:

1. Наличие амфиболсодержащих вмещающих пород (амфиболовых сланцев, гнейсов, амфиболитов, габбро и т. п.), поскольку новообразование биотита легче всего происходит по амфиболу.

2. Широкое развитие микроклин-альбитовых пегматитов с литиево-цезиевой минерализацией, причем особенно благоприятны для массового образования цезиевого биотита низкотемпературные жилы этого парагенетического типа, т. е. тела, в которых, во-первых, альбит преобладает над микроклином и во-вторых, отсутствуют ранние гранитная, графическая, а еще лучше и алогографическая структуры (зоны).

3. Положительная специализация на цезий пегматитовой провинции (пояса, поля). В таких провинциях крупные скопления цезиевого биотита могут образоваться и в экзоконтактах альбитового или альбит-сподуменового типа, хотя содержание этого элемента в слюде здесь будет не таким высоким, как вблизи микроклин-альбитовых пегматитов.

4. Непокойная тектоническая обстановка образования пегматитов, способствующая выносу цезия и других элементов во вмещающие породы и тем самым благоприятствующая образованию цезиевого биотита. Непокойная обстановка формирования пегматитов проявляется не только в плохо выраженной зональности жил, наличии внутрирудных брекчий, пересечений, явлений автометасоматоза, но и в сложной морфологии жил и характерной структуре пегматитового поля (или пучка), когда пегматиты образуют тесные скопления в узких протяженных зонах долговременной тектонической проработки.

5. В отличие от крупных и богатых месторождений поллукцита и лепидолита, известных лишь в древних пегматитах <sup>(4)</sup>, пегматитовые поля фанерозоя, как правило, характеризующиеся обилием небольших бедных тел и непокойной тектонической обстановкой формирования, могут оказаться благоприятными для образования промышленных скоплений цезиевого биотита, поскольку широкое развитие процесса биотитизации имеет место и вблизи маломощных слабооруденелых жил. Поэтому ранее достаточно хорошо изученные пегматиты Средней Азии, Казахстана, Забайкалья и Дальнего Востока, мало перспективные на обнаружение крупных и богатых месторождений поллукцита и лепидолита, должны быть подвергнуты ревизии на цезиевый биотит наряду с полями древних пегматитов.

Институт минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов  
Москва

Поступило  
16 V 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. И. Коган, В. А. Названова, Н. А. Солодов, Рубидий и цезий, «Наука», 1974. <sup>2</sup> В. Е. Плющев, Б. Д. Степил, Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия, М., 1970. <sup>3</sup> Н. А. Солодов, В сборн. Редкие элементы, М., 1968. <sup>4</sup> Л. Н. Овчинников, Н. А. Солодов, Сов. геол., № 7 (1971). <sup>5</sup> F. L. Hess, J. J. Fahey, Am. Mineralogist, 173 (1932). <sup>6</sup> Н. А. Солодов, Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов, Изд. АН СССР, 1962.