

Д. И. ПАВЛОВ, И. Д. РЯБЧИКОВ

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДОЛЕРИТА  
С КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ХЛОРИДНЫМИ РАСТВОРАМИ  
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 19 XI 1969)

Важное значение галогенов (и в первую очередь хлора) в формировании различных типов эндогенных месторождений железа было показано на основе геологических и минералогических исследований (1-3). В связи с этим для выяснения механизма формирования рудообразующих растворов желательна экспериментальное изучение поведения железа при взаимодействии различных типов горных пород и хлоридных растворов в условиях повышенных температур и давлений.

Ранее одним из авторов (4) был описан случай метасоматического изменения долеритов с образованием по ним существенно гадингситовых галитсодержащих обособлений. Таким образом, для природных условий показана принципиальная возможность значительного (около 64% по весу от первичного валового содержания, пересчитанного на  $Fe_2O_3$ ) извлечения железа из долерита при его высокотемпературном взаимодействии с рассолом. Было показано также, что хотя рассолы, нагретые почти до  $100^\circ$ , и вызывают заметные изменения химического состава долеритов, однако железо из них при этом существенно не выносится (5).

В настоящей работе описываются результаты экспериментов по взаимодействию при  $800^\circ$  и 4 кбар 3,2 N растворов NaCl и  $MgCl_2$  с долеритом; порода взята из пластовой трапшовой интрузии, вскрытой Тулунской опорной скважиной.

100 мг порошка породы и 100 мг раствора запаивались в платиновую ампулу и выдерживались в течение 6 час. при указанных параметрах в бомбе с внутренним нагревателем конструкции И. А. Островского (6).

Долерит сложен плагиоклазом (лабрадор № 46—48), моноклиническим пероксеном и оливином. В продуктах опытов отмечен ряд кристаллических новообразований и желтоватое стекло с показателями преломления в пределах 1,485—1,520, что близко к показателям преломления стекол системы диопсид — анортит — альбит в области, существенно обогащенной альбитовым компонентом (7) \*.

В случае эксперимента с раствором  $MgCl_2$  в продуктах опыта обнаруживаются кусочки обломочного вида, состоящие главным образом из перекристаллизованного плагиоклаза, несколько более кислого (видимо, до № 40), чем в исходной породе, и гематита, рассеянного в массе плагиоклаза. Сильно переработанные и, возможно, перераспределенные участки препарата сложены прекрасно окристаллизованным таблитчатым амфиболом (оптические свойства и рентгенограмма близки к таковым гадингсита из Казаркинской скважины (4)), тонкоигльчатым энстатитом, содержащим до 35%  $FeSiO_3$ , плагиоклазом (битовнит № 80—85), заполненным газожидкими включениями, гематитом и стеклом. Встречаются единичные ку-

\* Возможное вхождение воды не меняет вывода об альбитовом составе стекла, так как наибольшее при сходных параметрах содержание воды в таком стекле отражается только на третьем после запятой знаке его показателя преломления (7).



бики галита, что свидетельствует о заметном обмене  $Mg^{2+}$  в растворе на  $Na^+$ .

В случае опыта с раствором NaCl препарат сложен преимущественно амфиболом ( $N_g = 1,700$ ,  $cN_g$  в пределах  $4-12^\circ 2V(+)$  — средний по величине); по рентгенограмме близок к паргаситу <sup>(9)</sup>, однако преломление его заметно выше, что может свидетельствовать о большей железистости. Для непрерывного ряда паргасит — феррогастингсит такое явление вполне вероятно, и наш амфибол следует отнести к паргаситу с приблизительно половинной долей феррогастингситовой составляющей. Кроме амфибола присутствуют стекло и магнетит. Стекло как бы пропитывает выделения амфибола, обладающие довольно произвольными очертаниями. В целом микрокусочки имеют «обломочный» вид. Отдельно от них встречены хорошо оформленные идиоморфные таблички амфибола вместе (иногда в сростаниях) с округлыми выделениями стекла. Эти две морфологические разновидности амфибола несколько различаются по оптическим характеристикам. Ксеноморфный амфибол, возможно, соответствует «псевдоморфному» развитию указанной ассоциации по кусочкам загруженного в ампулу долерита, идиоморфный — отложению из раствора. Полная амфиболизация пироксена и оливина, а также появление силикатного расплава в опыте с 3,2 N раствором NaCl согласуются с результатами гидротермальных экспериментов при тех же параметрах, проведенных Йодером и Тилли <sup>(10)</sup> с базальтами различных типов с добавкой чистой воды. Характер амфибола в опытах с чистой водой и с растворами NaCl и  $MgCl_2$  достаточно близок, это находится в согласии с имеющимися в литературе указаниями <sup>(11)</sup> на то, что при воздействии воды на базальты получаются амфиболы, обогащенные паргаситовым компонентом. В проведенных нами экспериментах с растворами NaCl амфибол, однако, несколько более железист.

Наблюдаются и некоторые другие различия: температура полной резорбции плагиоклаза при 4 кбар для системы оливиновый толеит — вода составляет  $850^\circ$  <sup>(10)</sup>, в то время как в наших опытах с 3,2 N раствором NaCl плагиоклаз отсутствует уже при  $800^\circ$  и 4 кбар. Это связано, по-видимому, с замещением анортитового компонента плагиоклаза на альбитовый, вследствие обменной реакции с водным раствором, вызывающим понижение температуры плавления.

При рассмотрении продуктов опыта обнаруживается, что полного равновесия за время экспериментов достигнуто не было: показатели преломления стекла варьируют, в опыте с раствором NaCl встречены две разновидности амфибола, несколько различающиеся по оптическим характеристикам. Вместе с тем, не исключено, что во время закалки продуктов эксперимента при резком снижении температуры от  $800^\circ$  до комнатной какая-то часть материала выпала в осадок из водного раствора.

Как неполное равновесие, так и выделение части материала из раствора должны снижать содержание в нем железа после опыта по сравнению с равновесным. В силу этого концентрации железа в полученных растворах следует рассматривать как нижний предел по сравнению с истинным равновесным значением. Все же и эти минимальные величины оказались достаточно высокими: как с раствором  $MgCl_2$ , так и с раствором NaCl содержание суммарного железа в жидкостях, извлеченных из ампул после закалки, превышает 0,5% по весу: 7,1 г/л в первом случае и 6,0 г/л во втором (определения выполнены Н. Степановой). Возникновение значительных масс растворов с указанной концентрацией железа, несомненно, может привести при их взаимодействии с породами контрастного химизма или ином изменении физико-химических условий к формированию значительных масс железных руд. Широкое проявление амфиболизации долеритов может служить показателем прошедшего взаимодействия с высвобождением железа, а сами такие породы — одним из поисковых признаков. Парагенетическая связь магнетитового оруденения Сибирской платформы с амфиболлизированными долеритами хорошо известна <sup>(12)</sup>.



Отметим в заключение, что источник концентрированных солевых растворов может быть как ювенильным (отделение от кристаллизующейся магмы), так и осадочным (достаточно разогретые магматическими массами захороненные остаточные рассолы). При этом высокие концентрации хлоридов в таких растворах существенно увеличивают вынос железа водной фазой, как об этом свидетельствуют наши эксперименты и литературные данные <sup>(13)</sup>.

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
5 XI 1969

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Г. А. Крутов, Вестн. Московск. унив., сер. IV, геол., № 6 (1960). <sup>2</sup> Д. В. Калинин, Геохимия, № 7 (1961). <sup>3</sup> Г. А. Соколов, Д. И. Павлов, В сборн. Проблемы генезиса руд. Докл. сов. геол. на XXII сессии Международн. геол. конгр., 1964. <sup>4</sup> Д. И. Павлов, Н. Н. Никольская, ДАН, 193, № 1 (1970). <sup>5</sup> Д. И. Павлов, ДАН, 178, № 4 (1968). <sup>6</sup> И. А. Островский, В сборн. Экспериментальные исследования в области глубинных процессов, Изд. АН СССР, 1962. <sup>7</sup> N. L. Bowen, Am. J. Sci. 4th Ser., 40, 161 (1915). <sup>8</sup> Г. П. Орлова, Тр. VI Совещ. по эксп. и техн. минералогии и петрографии, 1962, стр. 81. <sup>9</sup> Д. П. Сердюченка, ДАН, 96, № 6 (1954). <sup>10</sup> H. S. Yoder, C. E. Tilley, J. Petrology, 3, № 3 (1962). <sup>11</sup> R. L. Tuthill, Trans. Am. Geophys. Un., 56, № 4, 355 (1969). <sup>12</sup> Н. В. Павлов, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим., в. 52 (1961). <sup>13</sup> E. A. Thaus, W. Johannes, Am. J. Sci., 267, № 1 (1969).