

И. И. АБРАМОВИЧ

## ОКИСЛЕННОСТЬ ЖЕЛЕЗА В ПОРОДАХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ

(Представлено академиком Ю. А. Кузнецовым 5 IV 1972)

Вопрос Ф. Ю. Левинсон-Лессинга: существует ли между интрузивными и эффузивными породами различие в химическом составе, — поставленный в начале текущего столетия <sup>(1)</sup>, до сих пор остается «пробным камнем» фациального анализа. В поисках ответа многие геологи обращались прежде всего к соотношению в породе двух- и трехвалентного железа, не без основания полагая, что этот параметр окажется приемлемым индикатором глубинности. Несмотря на то что и сегодня попытки использовать его при фациальной диагностике часто встречаются значительные трудности, интерес к этому вопросу не ослабевает, причиной чего является возросшее в последнее время внимание к вулканоплутоническим формациям, а также интригующие указания на возможность по окисленности железа в породе прогнозировать повышенные концентрации железа, титана <sup>(2)</sup>, хрома <sup>(3)</sup> и некоторых других металлов <sup>(4)</sup>.

Хорошо известны высказывания видных петрологов <sup>(5, 6)</sup> о том, что интрузивные породы по сравнению с эффузивными в целом, статистически, характеризуются пониженным отношением окислого железа к закислому. Известно также мнение Дж. К. Кеннеди <sup>(7)</sup>, полагавшего, что свежие базальты почти всегда менее окислены, чем габбро. Вопрос этот продолжает оставаться дискуссионным, поскольку и в новейшей литературе множатся примеры, свидетельствующие о разнотипности соотношений глубинных и излившихся пород в рассматриваемом аспекте.

При обращении к конкретным вулканоплутоническим формациям нетрудно убедиться в том, что наряду с четко выраженным возрастанием окисленности железа в ряду гипабиссальные интрузии — субвулканы — эффузивы — пирокласты <sup>(8, 9)</sup> и др.) фиксируется стабильность окисленности и прямо противоположная тенденция <sup>(10, 11)</sup> и др.). Подобные наблюдения (см. рис. 1) однозначно свидетельствуют о том, что глубина формирования магматических тел является не единственной влияющей на поведение железа причиной. Анализ обширного фактического материала приводит к выводу о прямой и косвенной зависимости окисленности железа от многих локально и широко влияющих факторов. Среди них, вероятно, важнейшим является тип исходного расплава: содержание в нем щелочей <sup>(12-14)</sup> и парциальное давление кислорода <sup>(15, 16)</sup>.

Следующим заслуживающим упоминания фактором является кремнекислотность пород. Анализируя средние составы изверженных пород по Р. А. Дэли, нетрудно выявить тенденцию возрастания роли окислого железа с увеличением количества кремнекислоты <sup>(17, 18)</sup>. Есть основания утверждать, однако, что подобная тенденция проявляется далеко не в каждой конкретной серии пород. В пределах Алтае-Саянской складчатой области, например, она устанавливается только для трех из пятнадцати выделяемых формаций, а именно, в гранодиорит-гранитовой, габбро-сyenитовой и трахириолитовой <sup>(19)</sup>. Это обстоятельство заставляет думать, что на окисленность железа в породах влияет не само по себе содержание кремнекислоты, а некоторые процессы, иногда сопутствующие формированию пород кислого состава. К подобным процессам относится накопление щелочей и летучих в поздних кислых и щелочных дифференциатах, что,

в частности, имело место при формировании гранодиорит-гранитовой и габбро-сиенитовой формаций Алтае-Саянской области. К аналогичному эффекту может приводить частичное окисление двухвалентного железа под влиянием наложенных постмагматических и аутометасоматических процессов. Последние, однако, более характерны для гранитов иных формационных типов. В отношении трахириолитовой формации приемлемым

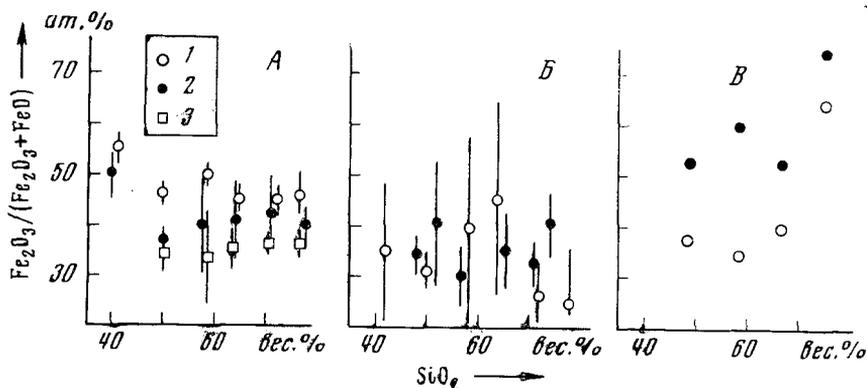


Рис. 1. Окисленность железа в породах вулканоплутонических формаций. А — андезитовой и липаритовой раннего — среднего девона Алтае-Саянской складчатой области (853 анализа); В — спилито-кератофировой раннего — среднего кембрия Западного Саяна (159 анализов); В — современные и третичные эффузивы и экструзии Тихоокеанского кольца (последнее по данным (10)). 1 — эффузивы, 2 — субвулканические интрузии, 3 — гипабиссальные интрузии. Показаны 95% доверительные интервалы

кажется другое объяснение. Увеличение окисленности железа является следствием возрастания роли пирокластического материала среди более кислых продуктов вулканической деятельности, что ранее наблюдалось также в карбоновых вулканитах Кураминского хребта (20).

Все перечисленные факторы приходится иметь в виду при анализе данных по вулканоплутоническим формациям. Однако решающее значение для понимания наблюдаемых различий между глубинными и излившимися породами, с нашей точки зрения, имеет соотношение между окисленностью исходного магматического расплава и окислительно-восстановительными условиями среды, где происходит консолидация интрузий. В ходе длительного остывания плутонов они в той или иной мере приближаются к равновесию со средой. При этом в интродуцированной массе возможны окисление, сохранение стабильности и частичное восстановление железа. Этот процесс сопровождается перераспределением щелочей и летучих, что, в частности, наблюдалось в субвулканических интрузиях щелочного состава в Южной Гренландии (21). Напротив, в быстро охлаждающихся эффузивах подобные явления практически не имеют места. Как показывают детальные геохимические исследования, выполненные в последние годы (22, 23), роль процессов поверхностного окисления в лавовых потоках сравнительно невелика. Они не захватывают всей массы потока, так что в целом вулканические породы достаточно близко отражают соотношение окисного и закисного железа в исходном расплаве. Убедительным подтверждением меньшей равновесности и однородности эффузивов в указанном смысле служит большая дисперсия содержания в них  $Fe_2O_3$  и  $FeO$  (24) и более сильные отрицательные корреляционные связи между оксидами железа по сравнению с их глубинными комагматами (25).

Таким образом, при помощи рассмотренной модели удастся объяснить реально наблюдаемые случаи, когда вулканические породы оказываются более, в равной мере и менее окисленными по сравнению с их плутоническими аналогами. На схеме (рис. 2), иллюстрирующей сказанное, верхний

ряд отвечает возможным соотношениям окисленности расплава и вмещающих пород в момент вулcano-плутонической активности, нижний — после консолидации интрузии. Интенсивность штриховки пропорциональна степени окисленности породы. Буквами *A, B, B* определяется соответствие схемы конкретным примерам, изображенным на рис. 1.

Принимая во внимание тесную связь между содержанием в магматическом расплаве двух- и трехвалентного железа, с одной стороны, и ще-

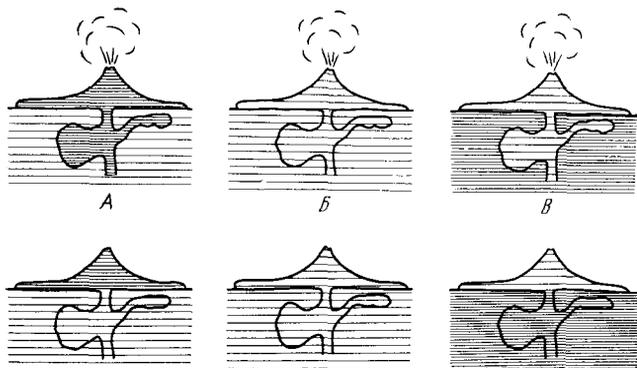


Рис. 2. Схема возникновения различий в окисленности железа в эффузивных и интрузивных породах вулcano-плутонических формаций. Объяснение в тексте

лочных металлов — с другой, можно полагать, что относительно низкую окисленность эффузивов мы будем чаще наблюдать в вулcano-плутонических формациях начальных и ранних этапов развития подвижных зон, повышенную — в поздних и конечных. В соответствии с этим, петрохимический параметр  $Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO)$  может с успехом использоваться для целей фациальной диагностики только при условии, что последняя осуществляется в рамках конкретных вулcano-плутонических формаций вполне определенных типов.

Прямым следствием рассмотренной модели является требующее проверки предположение о существовании различных типов зональности субвулканических и гипабиссальных интрузивных тел, что может оказывать влияние на локализацию оруденения, генетически связанного с вулcano-плутоническими формациями.

Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт  
Ленинград

Поступило  
27 III 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Изв. СПб. политехнич. инст., 6, в. 1—2 (1906).
- <sup>2</sup> P. Evgard, Econ. geol., Lancaster, 44, № 3 (1949). <sup>3</sup> E. D. Jackson, International Mineralogical Assoc. Third General Meeting Papers and Proceedings. Sp. Paper № 1, Min. Soc. of Am., 1963. <sup>4</sup> Н. А. Охупкин, А. В. Бозин, Геол. рудн. месторожд., № 5 (1970). <sup>5</sup> Р. А. Дэли, Изверженные породы и глубины Земли, 1936.
- <sup>6</sup> Ф. Тернер, Дж. Ферхуген, Петрология изверженных и метаморфических пород, ИЛ, 1961. <sup>7</sup> Г. С. Йодер, К. Э. Тилли, Происхождение базальтовых магм, М., 1965. <sup>8</sup> С. И. Щукин, Геохимия, № 8 (1963). <sup>9</sup> Ю. С. Кудев, Изв. АН СССР, сер. геол., № 11 (1964). <sup>10</sup> В. Н. Борисова, Сборн. Вопросы петрологии метаморфических и магматических пород, Владивосток, 1965. <sup>11</sup> И. В. Семенов, Тр. И уральск. петрографич. совещ., 3, Свердловск, 1969. <sup>12</sup> В. В. Щербина, Сборн., посв. акад. Белянкину, Изв. АН СССР, 1946. <sup>13</sup> Д. С. Коржинский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1963). <sup>14</sup> И. Л. Комов, Л. Н. Хетчиков, Я. М. Ньюсик, Тез. геохим. конгр., Изд. АН СССР, 1971. <sup>15</sup> Дж. Кеннеди, Сборн. Вопр. физикохимии в минералогии и петрографии, ИЛ, 1950. <sup>16</sup> E. F. Osborn, Am. Mineral., 47, № 3—4 (1962). <sup>17</sup> Ф. И. Абрамов, Мин. сырье, № 5 (1935). <sup>18</sup> Н. И. Хитаров, Геохимия, № 6 (1958). <sup>19</sup> И. И. Абрамович, Геохимия, № 10 (1965). <sup>20</sup> A. P. Ярмухамедов, Узб. геол. журн., № 4 (1965). <sup>21</sup> V. G. J. Upton, J. E. Thomas, R. Macdonald, Lithos, 4, № 2 (1971). <sup>22</sup> N. D. Watkins, S. E. Haggerty, Contrib. Min. Petrol. Berlin, 15, № 3 (1967). <sup>23</sup> С. Р. Харт, Б. М. Ганн, Н. Д. Уоткинс, Тез. геохим. конгр., М., 1971. <sup>24</sup> В. В. Груза, Геохимия, № 1 (1965). <sup>25</sup> В. А. Кутюлин, ДАН, 189, № 1 (1969).