

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ О ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИНЕРАЛОВ ОРТОМАГМАТОВ НЕ НАХОДЯТ
ПОДТВЕРЖДЕНИЯ

Иванов О.К. (okivanov@gmail.com)

Ильменское отделение. Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург

THE CRYSTAL CHEMICAL LAWS ON THE ORTHO MAGMATIC MINERALS
CRYSTALLIZATION ORDER HAVE NO BASIS

Ivanov O.K.

Ilmeny branch. Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Кристаллохимические законы А.Е. Ферсмана, В.С. Урусова и В.В. Зуева объясняют последовательность кристаллизации минералов магматических пород понижением энергии их кристаллических решеток, энергии атомизации или энергоплотности, что выражено в геохимическом законе А.Е. Ферсмана (1958): *«Последовательность кристаллизации следует порядку понижения энергии решеток»*, формулировке В.С. Урусова (1975, с.291): *«геохимический закон А.Е. Ферсмана в современной форме: «Последовательность кристаллизации из расплава следует порядку понижения энергии атомизации»* и В.В. Зуева (1995, 2005): *«Магматические процессы минерало- и рудообразования идут в порядке последовательного снижения энергоплотности образующихся минералов»*.

При этом все выводы основывались на рядах Боуэна, которые сейчас рассматриваются как формальное выражение реакционного принципа Боуэна.

Петрографическое изучение взаимоотношений минералов ортомагматических пород привело к появлению двух правил. По правилу Г. Розенбуша последовательность кристаллизация идет от аксессуарных минералов к петрогенным в порядке понижения их основности: хромшпинелид→оливин→ортопироксены→клинопироксены→амфиболы→биотит, затем известковые, известково-щелочные и щелочные плагиоклазы, кварц и аморфные продукты кристаллизации.

Гордон Смит (1966) и А.В. Наливкин (1966, с.54), напротив считают, что: *«Повсеместно в закрытых системах процесс кристаллизации определяется, прежде всего, концентрацией вещества, идущего на построение минералов. Сначала происходит кристаллизация главных породобразующих минералов, затем второстепенных и, наконец, аксессуарных»*.

Анализ обеих правил показал, что правило Розенбуша преимущественно справедливо для вулканитов, а правило Наливкина для плутонитов. Тогда общий закон последовательности кристаллизации можно сформулировать так (Иванов, 2008, 2016): *«При медленной близравновесной кристаллизации плутонических магматических пород последовательность кристаллизации*

определяется концентрацией минералообразующих компонентов в расплаве. При быстрой неравновесной кристаллизации вулканитов, определяющими являются энергетические характеристики компонентов».

Противоречия между эмпирическими законами петрологической минералогии и теоретическими кристаллохимическими законами потребовало их проверки на конкретных магматических породах разных фаций кристаллизации. Оказалось:

1. Попытка использования сформулированных А.Е. Ферсманом, В.С. Урусовым и В.В. Зуевым кристаллохимических законов к определению реальной последовательности кристаллизации минералов магматических пород показывает не уменьшение энергии, а ее увеличение для неравновесных вулканитов и отсутствие корреляции для близравновесных плутонитов.

2. Причина отсутствия зависимости заключается в том, что такие параметры как общая энергия кристаллической решетки, энергия атомизация вещества, его энергоплотность не отражают условий кристаллизации природных расплавов.

3. Геологические данные показывают, что последовательность кристаллизации минералов магматических пород определяется разными причинами: при близравновесной кристаллизации она определяется не энергетическими причинами, а концентрацией минералообразующих компонентов, для неравновесных условий – соотношением концентрации минералообразующих веществ и степенью неравновесности (скорости) кристаллизации природных расплавов, т.е. соотношением концентрации и энергетики кристалла. В последнем случае она точнее определяется температурой плавления минералов с учетом эвтектического ее понижения в ассоциациях минералов.

Причина ошибки кристаллохимиков заключается в том, что А.Е. Ферсман (1958) под энергией решетки понимал кристаллизацию из *«диссоциированных дисперсных систем»*, В.С. Урусов (1975, с.48) под энергией атомизации понимал *«энергию, которая выделяется при образовании кристалла из бесконечно разреженного газа индивидуальных атомов...»*, а В.В. Зуев (2005) под энергоплотностью тот же параметр, что и энергия атомизации, только в пересчете на 1см^3 .

Однако, процесс кристаллизации из расплава вовсе не идет из диссоциированных дисперсных систем или бесконечно разреженного газа индивидуальных атомов, а из структурированного расплава разной сложности (Есин, Гельд, 1954). Поэтому, формальные попытки использования кристаллохимических энергетических параметров, без учета кинетического фактора кристаллизации, не привели к решению проблемы последовательности кристаллизации минералов магматических пород. Однако это не отрицает правильности всеобщего закона природы, который в адаптированном для магматической петрологии виде можно представить так (Иванов, 2017, с.58): *«Кристаллизация природных расплавов идет при падении температуры расплава с уменьшением свободной энергии системы: при быстрой*

кристаллизации в неравновесных условиях первыми кристаллизуются минералы и соединения с максимальной внутренней энергией и высокой температурой плавления; при медленной кристаллизации в близравновесных условиях последовательность кристаллизации определяется только концентрацией минералообразующих компонентов; в промежуточных, по степени равновесности условиях, происходит промежуточный порядок кристаллизации».

Есин О.А. и Гельд П.В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч.П. Св.-М.: Металлургиздат, 1954. 606с.

Зуев В.В. Энергоплотность, свойства минералов и энергетическое строение Земли. СПб.: Наука, 1995. 128с.

Зуев В.В. Конституция, свойства минералов и строение Земли (Энергетические аспекты). М.: Наука, 2005. 402с.

Иванов О.К. О факторах, определяющих последовательность кристаллизации минералов ортомагматов// «Минералогия – народному хозяйству. Тезисы докл. к УП съезду Всес. Минерал. Об-ва. Л.: Наука. 1987. С. 214 - 215.

Иванов О.К. Порядок кристаллизации минералов в равновесных и неравновесных ортомагматических горных породах// Урал.геол. ж., 2008, № 2 (62). С.17 – 35.

Иванов О.К. Влияние температуры плавления минералов на последовательность их кристаллизации в природных условиях// Урал.геол. ж., 2016, №6 (114). С. 31 – 40.

Иванов О.К. Анализ кристаллохимических законов о причинах последовательности кристаллизации минералов ортомагматов// Урал.геол. ж., 2017, №2(116). С. 21- 60.

Наливкин А.Б. Критерии последовательности образования минералов // Тр. ВСЕГЕИ. 1966. Т.65. С.46-57.

Урусов В.С. Энергетическая кристаллохимия. М.: Наука, 1975. 335с.

Урусов В.С. К вопросу о критериях последовательности кристаллизации минералов // Геохимия, 1983. №11, С.1529 – 1534.

Ферсман А.Е. Применение эквов для определения энергии решеток//Изв. АН СССР, ОМОН, 1935, №10, с. 1425 – 1430.