

А. А. БЕУС

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЗОНАЛЬНОСТИ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 17 IV 1954)

Задачей настоящей статьи является попытка на основании детального изучения взаимоотношений парагенетических комплексов пегматитовых образований наметить некоторые основные черты их кристаллизации, отраженные в зональном строении и минералогическом составе пегматитовых тел. В основу предлагаемых построений положены четкие закономерности зональности гранитных пегматитов, подробно рассмотренные ранее в работах К. А. Власова (^{4, 5}) и автора настоящей статьи (¹⁻³).

Характерной геохимической чертой пегматитовых образований одного и того же поля является весьма близкое количественное соотношение главных породообразующих минералов — кварца и полевого шпата в различных типах незамещенных пегматитов, вне зависимости от степени их дифференциации. При этом имеющиеся многочисленные данные о количественных соотношениях кварца и полевых шпатов в незамещенных и слабо замещенных типах пегматитов разных районов убедительно свидетельствуют о близости среднего состава гранитных пегматитов к составу эвтектики полевого шпата + кварц, что в свое время отмечалось рядом исследователей и было детально разобрано А. Е. Ферсманом (¹⁰).

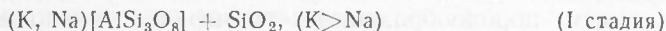
Необходимо отметить, что ряд исследователей, исходя из ошибочного представления о пегматитовой магме как о расплаве с первично заданным чрезвычайно высоким содержанием летучих, отрицает возможность существования подобного «водоогненного» расплава, сводя весь процесс пегматитообразования к перекристаллизации и метасоматозу обычных гранитов и аплитов газовой фазой, отделяющейся в процессе кристаллизации гранита. Последователи указанного направления, развивавшегося в СССР А. Н. Заварицким, основываются на экспериментальных данных об ограниченной растворимости летучих в силикатных расплавах (^{6, 7}). Однако детальное рассмотрение как экспериментальных данных, так и теоретических схем показывает, что явление ограниченной растворимости летучих в силикатных расплавах совершенно не противоречит возможности существования пегматитового расплава, в известной мере обогащенного летучими. Это наглядно видно хотя бы из того, что изучение минеральных парагенезисов подавляющего числа пегматитовых образований не дает основания судить о пересыщении летучими компонентами расплавов, из которых образовались эти пегматиты.

Автором подсчитано, что в пределах главнейших пегматитовых провинций СССР более 80% пегматитовых образований (из расчета на массу) представлены недифференцированными или слабо дифференцированными разностями, отличающимися от материнских гранитов лишь крупностью зерна, наличием графических структур и меньшим содержанием Fe, Mg и в ряде случаев Ca. Явления замещения, которые должны иметь место при раскристаллизации в относительно замкнутой системе расплава, в значительной степени обогащенного летучими, в подобных пегматитах не отмечаются или развиты в весьма слабой степени. Естественно, что для объяснения образования недифференцированных пегма-

титов, в которых повышенное по сравнению с материнскими гранитами содержание летучих в процессе кристаллизации сказалось только в крупнозернистости, нет необходимости предполагать неограниченную растворимость воды в магме и существование «водоогненного» расплава. При этом следует отметить, что судя по экспериментальным данным, полученным Горансоном (1931—1938 гг.), в силикатном расплаве в области давлений, характерных для вероятной глубины образования пегматитов, все же может быть растворено до 10% летучих.

Исходя из представления о пегматитовом расплаве как расплаве эвтектического состава с некоторым повышенным содержанием летучих и основываясь на физико-химических построениях В. А. Николаева (9), трактуя процесс образования пегматитов как кристаллизацию относительно замкнутой магматической системы, попытаемся представить себе возможный ход кристаллизации пегматита, отраженный в закономерном зональном строении пегматитовых образований. Для этого в качестве примера рассмотрим образование типичного крупноблокового или расслоенного пегматита с наличием главных зон первичной кристаллизации (графической, среднезернистой, блокового микроклина, блокового кварца) и зон замещения (мусковитовой, альбитовой и грейзеновой).

Данные изучения среднего минералогического и химического состава пегматитовых образований позволяют схематично представить пегматитовый расплав на первой стадии развития как приближенно эвтектический гранитный расплав состава:



В расплаве в растворенном виде присутствует некоторое количество летучих, которые, обеспечивая спокойный режим кристаллизации, в силу незначительной концентрации не влияют заметным образом на состав эвтектики. В этих условиях происходит одновременная кристаллизация из расплава кварца и микроклина в письменных сростаниях (графическая зона пегматитов). Отношение кварца к микроклину колеблется в пределах, близких к эвтектическим. Для микроклина характерно наличие волокнистых пертитов распада. В процессе кристаллизации графической зоны соответственно выделению твердой фазы происходит обогащение остаточных порций расплава летучими компонентами, в первую очередь H_2O . Последнее, конечно, не может не повлиять решающим образом на ход дальнейшей кристаллизации эвтектики кварц + калиевый полевой шпат. В пегматитовом расплаве-растворе в существенных количествах появляется новый компонент — вода, которая в этом состоянии может играть роль не только растворенного летучего компонента, но также является активным химическим соединением. В новых физико-химических условиях происходит нарушение одновременности выделения кварца и микроклина и закономерной ориентировки их в сростаниях. В кристаллизующемся пегматитовом теле обособляется зона средне- или грубозернистого пегматита апографической или пегматоидной структуры.

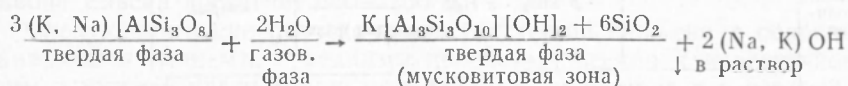
В процессе кристаллизации зоны среднезернистого пегматита в условиях относительно замкнутой системы в остаточном расплаве происходит дальнейшее закономерное увеличение концентрации летучих, а также натрия, который в ранних зонах выделялся в твердую фазу лишь в весьма ограниченном количестве (пертиты распада в микроклине). Указанные причины резко изменяют физико-химическое состояние системы. В новых условиях прекращается выделение в твердую фазу кварца. В пегматитовых образованиях указанный момент отражается в смене зоны среднезернистого пегматита апографической или пегматоидной структуры зоной блокового микроклина.

Пегматитовый расплав в этот период формирования пегматита может рассматриваться как представитель тройных систем смешанного типа, теоретический анализ хода кристаллизации которых изло-

жен в последней работе В. А. Николаева (9). Действительно, наличие в остаточном расплаве повышенных концентраций воды, увеличение концентрации натрия (хотя еще и уступающего количественно калию) создают условия для образования в расплаве силикатов щелочей типа $q(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot p\text{SiO}_2 \cdot s\text{H}_2\text{O}$ *. Последние в данном случае и являются особым компонентом системы, отличающимся неограниченной смесимостью с водой и способностью растворяться в ее надкритической фазе.

Кристаллизация системы начинается с выделения в условиях благоприятного температурного режима главного нелетучего компонента системы — калиевого полевого шпата (микроклина), составляющего большую часть остаточного расплава. В процессе кристаллизации блокового микроклина начинается отделение летучих компонентов, достигших предельной концентрации (этап «магматической дестилляции» по В. А. Николаеву). В пегматитовых телах этот этап фиксируется в образовании гнезд и пачек мусковита в зонах среднезернистого и мелкоблокового пегматита. Таким образом, стадия образования блокового микроклина характеризуется сосуществованием насыщенного летучими компонентами расплава и газовой фазы, представляющей собою надкритический раствор силикатов щелочей (главным образом натрия) в газобразной H_2O .

В результате взаимодействия выделившейся твердой фазы с обогащенным натрием надкритическим раствором происходит образование в калиевом полевоом шпате пертитов замещения, количество которых увеличивается по мере увеличения в надкритическом растворе концентрации натрия. В конце стадии кристаллизации блокового микроклина в условиях непрерывно растущей концентрации H_2O начинается взаимодействие ненасыщенного щелочами надкритического раствора с ранее выделившимися зонами пегматитового тела, в результате чего в пегматите образуется мусковитовая зона (кварц-мусковитовый замещающий комплекс), а остаточный раствор обогащается щелочами по схеме:



Этапу мусковитизации сопутствует (а иногда и предшествует ему) выделение в твердую фазу ряда минералов редких металлов — бериллия, тантала, ниобия, циркония и др., перенос которых в магматическом расплаве осуществляется, вероятнее всего, в форме комплексных хлористых и фтористых соединений. Гидролиз этих соединений в обстановке надкритического щелочного раствора сопровождался выделением галоидоводородов. Последнее убедительно подтверждается присутствием кристаллов NaCl и KCl в существенно газовых включениях в бериллах, изученных Н. П. Ермаковым.

Частичная нейтрализация щелочей в свою очередь ускоряет начавшийся в обстановке высокой концентрации H_2O гидролиз силикатов щелочей, идущий с выделением кварца (зона блокового кварца) и освобождением $(\text{Na}, \text{K})(\text{OH})$ и $(\text{Na}, \text{K})(\text{Cl}, \text{F})$, растворенных в надкритической фазе H_2O . В процессе кристаллизации блокового кварца отделяющаяся газовая фаза в условиях огромного внутреннего давления взаимодействует с ранее выделившимся калиевым полевым шпатом, который метасоматически замещается альбитом. Образуется чрезвычайно характерная для пегматитов альбитовая зона замещения. Обменная реакция идет в сторону обогащения остаточного раствора калием, при этом надкритический раствор постепенно переходит в гидротермальный. Освобождающийся при альбитизации калий частично вновь выделяется в твердую фазу в форме поздних слюд, образующихся по альбиту и кварцу в

* Образование соединения KHSi_2O_5 в системе $\text{H}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{SiO}_3$ доказано экспериментально Морреем и Феннером (11).

грейзеновой или лепидолитовой зоне. В течение всей стадии замещений продолжается кристаллизация ряда редкометалльных минералов.

Схема образования зональности гранитных пегматитов
(группа микроклинных и альбитовых пегматитов)

I — стадия эпигматическая	Эвтектический расплав, в котором в количествах, влияющих на ход кристаллизации, растворены: H_2O , Cl , F , редкие элементы (Be и др.)	$(K, Na) [AlSi_3O_8] SiO_2$ → Твердая фаза	Зона графического и грубозернистого пегматита	а
II — стадия пневматомагматическая	Расплав — раствор, насыщенный летучими	$K[AlSi_3O_8]$ → Твердая фаза $q (Na, K)_2O \cdot p SiO_2 \cdot s H_2O$; H_2O $m Na_2O \cdot n (BeO \text{ и др.}) \cdot b (Cl, F, OH)$	Зона блокового микроклина	б
	Надкритический раствор	H_2O ; $q (Na, K)_2O \cdot p SiO_2$; $m Na_2O \cdot n (BeO \text{ и др.}) \cdot l (Cl, F, OH)$	Твердая фаза Замещение зон а, б	Берилл, сподумен и др. Образование пертитов замещения. В конце стадии образование мусковитовой зоны замещения
III — стадия гидротермально-пневматомагматическая	Твердая фаза	$q (Na, K)_2O \cdot p SiO_2 \cdot s H_2O$ → гидролиз → твердая фаза	Зона блокового кварца	в
	Надкритический, затем гидротермальный раствор	$H_2O (Na, K) OH, (Na, K) (Cl, F)$ $m Na_2O \cdot n (BeO \text{ и др.}) \cdot l (Cl, F, OH)$	Замещение зон а, б, в	Образование зон замещения: альбитовой, грейзеновой, лепидолитовой

Приведенная схема образования зональности с учетом конкретной геологической обстановки позволяет объяснить появление всех парагенетических типов пегматитов в зависимости от изменения концентрации летучих компонентов в ходе становления каждого конкретно взятого пегматитового тела. Главенствующее значение при этом имеют такие геологические факторы, как горизонт пегматитовой инъеции, тектонический режим кристаллизации, характер залегания, формы и размеры пегматитовых тел. Указанные факторы определяют степень относительной замкнутости системы на различных стадиях и возможность перераспределения летучих по вертикали пегматитовой инъеции.

Поступило
14 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Беус, ДАН, 60, № 7 (1948). ² А. А. Беус, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1941). ³ А. А. Беус, О зональности гранитных пегматитов, Изд. АН СССР, 1953. ⁴ К. А. Власов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1952). ⁵ К. А. Власов, ДАН, 78, № 2 (1951). ⁶ А. Н. Заварицкий, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1944). ⁷ А. Н. Заварицкий, Зап. Всес. мин. общ., № 1 (1947). ⁸ В. А. Николаев, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1944). ⁹ В. А. Николаев, Сборн. Основные проблемы в учении о рудных месторождениях, Изд. АН СССР, 1953. ¹⁰ А. Е. Ферсман, Пегматиты, I. Изд. АН СССР, 1940. ¹¹ G. W. Morey, C. N. Fenner, J. Am. Soc., 39 (1917)