

УДК 549.0

МИНЕРАЛОГИЯ

Л. Ш. БАЗАРОВ

**ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРОВ-РАСПЛАВОВ В МИНЕРАЛАХ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 20 II 1973)

Существование различных взглядов на генезис редкометальных пегматитов — ((¹⁻⁴) и др.) и (⁵⁻⁸) — объясняется исключительной сложностью проблемы и отсутствием у сторонников разных направлений (⁷⁻⁹) достаточно убедительной, однозначной аргументации, позволяющей качественно и количественно — мерой и числом характеризовать условия минералообразования в пегматитах. Два основных направления — это магматическое и метасоматическое.

На наш взгляд, одним из важнейших вопросов генезиса пегматитов является проблема растворов-расплавов в пегматитовом процессе, обсуждающаяся под различными аспектами в огромном числе работ. Анализ представлений о растворах-расплавах показывает, что большинство исследователей под раствором-расплавом понимают магматический гранитный расплав, обогащенный минерализаторами (водой, щелочами, CO_2 , редкими элементами и т. д.). Количественные соотношения компонентов раствора-расплава, как правило, не рассматриваются.

Для суждений о характере растворов-расплавов, участвовавших в пегматитообразовании, основное значение имеет представление о растворимости воды и летучих компонентов в силикатных расплавах. Взаимоотношения между ними исследовались во многих экспериментальных работах ((¹⁰⁻¹²) и др.). К сожалению, эти данные не могут быть использованы полностью для точных количественных оценок свойств сложных природных многокомпонентных минералообразующих сред, из-за отсутствия критериев для достоверной реставрации их состава и недостаточной изученности экспериментальных водно-силикатных систем. Использование имеющихся в настоящее время результатов для общих геолого-геохимических построений не обеспечивает решения проблемы.

Как известно, исследование первичных включений в минералах методами термодинамической геохимии в большинстве случаев представляет возможность однозначно выяснить физико-химические условия, существовавшие в процессе формирования минералов, пород и месторождений (^{13, 14}). Содержимое первичных включений обычно представляет собой полную, многокомпонентную минералообразующую систему, из которой осуществлялась кристаллизация изучаемого минерала (породы). Изучение агрегатного состояния содержимого первичных включений в момент гомогенизации при нагревании позволяет однозначно судить об агрегатном состоянии минералообразующей среды (раствор, газ, расплав). Исследования концентраций (¹⁵), фазового и химического состава (¹⁶) кристаллических жидких и газовых фаз позволяют оценить суммарный состав системы. Температуры гомогенизации включений (минимальные возможные температуры минералообразования) и давления в момент гомогенизации, полученные различными методами ((^{17, 18}) и др.), дополняют представления о физико-химических условиях, существовавших в процессе формирования исследуемых минералов, пород и месторождений.

Автором в 1962–1973 гг. различными методами ((^{19, 20}) и др.) исследовались физико-химические условия формирования редкометальных и хрусталеносных камерных пегматитов. В процессе изучения включений в

минералах из различных зон пегматитов — кварца, сподумена, полевых шпатов, берилла и др. — наряду с магматическими, газово-жидкими и жидкогазовыми были встречены включения, генетическая природа которых была не ясна. Обладая некоторыми признаками раскристаллизованных магматических включений⁽¹³⁾ — присутствие кристалликов породообразующих минералов и газовой фазы, — эти включения отличались от магматических большим содержанием воды. Для выяснения их природы нами были проведены экспериментальные работы по созданию искусственных включений, отвечающих возможным естественным включениям растворов-расплавов. Были поставлены эксперименты по раскристаллизации некоторых составов системы $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$ в интервале изотерм 500—700° вблизи эвтектической линии кварц — ортоклаз⁽²¹⁾. Кроме того, были поставлены опыты по раскристаллизации одного состава жидкости в системе $Li_2O - K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$. Опыты проводились в стандартных стальных автоклавах, во вкладышах простейшей конструкции, изготовленных из химически чистой меди. Состав изучавшихся жидкостей и условия проведения экспериментов приведены в табл. 1. При выборе исходных составов систем автор руководствовался следующими соображениями: 1) удельный объем воды должен соответствовать удельному объему водной фазы (по воде) в природных включениях растворов-расплавов; 2) соотношения объемов твердых, жидкой и газообразной фаз исходных составов системы должны соответствовать соотношениям природных включений; 3) содержание щелочей в составах

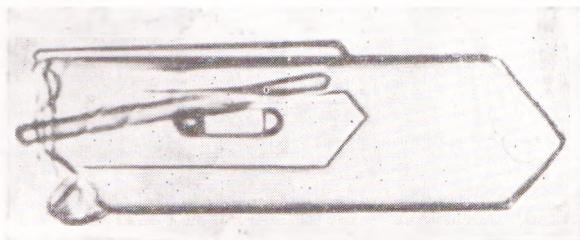


Рис. 1. Кристаллы кварца, синтезированные из пихты состава № 3. Объяснения в тексте

Таблица 1

№ состава	Состав кристаллизовавшейся системы *	Т _{max} выдержки по кристаллиз., °C		Выдержка при T _{max} , час.	Т начала кристаллиз., °C		T конца кристаллиз., °C	P воды при 700°, atm	Скорость снижения T, град/час	Синтезированные фазы (минералы) **
		по (21)	по T гомог.		включ.	по T гомог.				
1	$K_2O(KCl) + Al_2O_3 + SiO_2 + H_2O$ (1,900) (0,076) (2,016) (3,610)	750	52	500	510	290	1000	3,5		Кварц, ортоклаз
2	$K_2O(KCl) + Al_2O_3 + SiO_2 + H_2O$ (1,66) (0,054) (2,232) (3,69)	800	56	500	510	290	1000	2,5		То же
3	$Li_2O + K_2O(KCl) + Al_2O_3 + SiO_2 + H_2O$ (0,712) (0,743) (0,146) (2,247) (3,80)	800	52	500	510	290	1000	2,5		То же + $Li_2Si_2O_5$, Li_2SiO_3

* В скобках — содержание компонента (г).

** Определение синтезированных фаз произведено на дифрактометре УРС-50-ИМ Л. М. Кричевской и В. И. Гордеевой.

исследуемых жидкостей должно преобладать над отношением щелочей к Al_2O_3 в полевых шпатах, обеспечивая возможность получения гомогенного раствора-расплава.

Состав № 1 отвечает составу точки поля кристаллизации ортоклаза (изотерма 500°) на диаграмме, приведенной в⁽²¹⁾; № 2 — точке поля кристаллизации кварца на изотерме 500°; № 3 отвечает точке выхода изотермы 500° на линии двухфазового равновесия кварц — ортоклаз, причем 50% состава K_2O заменено эквивалентным содержанием Li. Давление

воды рассчитывали по таблицам (22). Влияние растворенных солей не учитывалось. Максимальная температура и время выдержки, обеспечивающие гомогенизацию системы, приняты по общим соображениям.

Как следует из табл. 1, во всех трех составах жидкостей при температурах 290–510° ($\pm 5^\circ$) и давлениях 300–1300 атм. из исходной шихты синтезируется кварц — SiO_2 и калиевый полевой шпат — ортоклаз KAlSi_3O_8 . В составе № 3 получены также силикат лития Li_2SiO_3 и дисиликат лития $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$.

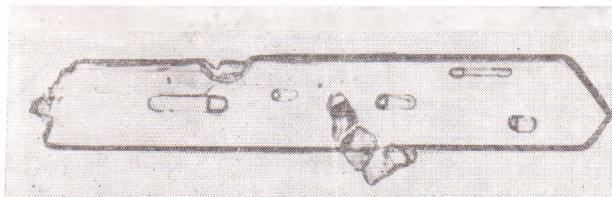


Рис. 2. Включения растворов-расплавов в кварце

Кварц в составах № 1 и № 2 представлен мелкими, до 0,5 мм по L_3 , ограненными обелисковидными кристалликами. Кварц, синтезированный в составе № 3, представлен более крупными, до 4 мм, прекрасно

ограненными призматическими кристаллами (см. рис. 1). Полевой шпат — ортоклаз KAlSi_3O_8 образует ограненные, более или менее изометричные призматические кристаллы до 0,8 мм в поперечнике. Содержание полевого шпата находится в прямой зависимости от содержания Al_2O_3 в исходной шихте. Силикаты лития Li_2SiO_3 и $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ (состав № 3) образуют поликристаллические агрегаты, состоящие из более или менее изометричных мелких кристаллов-зерен (до 0,01–0,05 мм), облекающих своей массой мелкие друзовидные кристаллы кварца и полевого шпата.

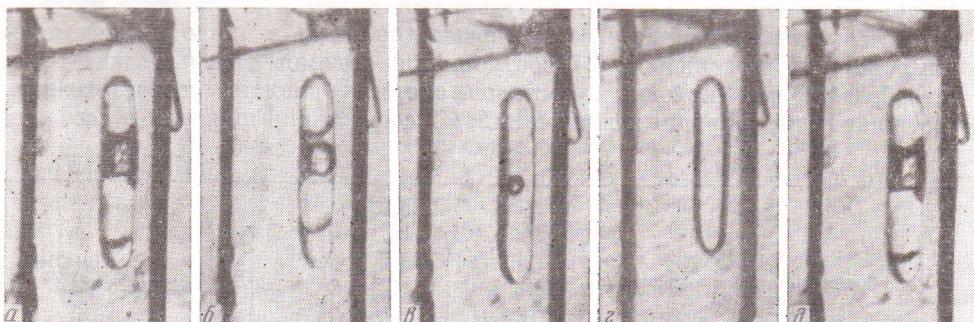


Рис. 3. Пропцесс гомогенизации включения растворов-расплавов в кристалле кварца. Состав № 3. *а* — включение при 25°; фазовый состав газ + жидкость + 2 твердые фазы + 1 мелкая; *б* — включение при 300° (твердые фазы интенсивно растворяются); *в* — частичная гомогенизация при 490° (все твердые фазы растворились); *г* — полная гомогенизация, 510°; *д* — включение вновь при комнатной температуре

Наиболее крупные включения растворов-расплавов встречены в кристаллах кварца, синтезированного из шихты № 3. Включения (рис. 2) довольно многочисленны. Фазовый состав: газ + жидкость + 2 крупных твердых фазы (кварц, силикаты лития) + 1 малая твердая фаза (ортоклаз). KCl и LiOH самостоятельных фаз не образуют, поскольку растворы по отношению к последним при 20° оказываются недосыщенными.

На рис. 3 (*а-д*) представлен процесс гомогенизации включения растворов-расплавов в кристалле кварца (состав № 3). Несмотря на малую плотность (0,276 г/см³) исходного содержания воды, гомогенизация осуществляется в жидкую фазу за счет растворения твердых фаз. Малая вязкость раствора-расплава в интервале температур 200–510° обеспечивает возможность теплового колебания пузырька газа («бегающий» пузырек).

На рис. 4 представлены природные включения в минералах редкometальных пегматитов, обладающие многими аналогичными признаками: морфологией, фазовым составом и соотношением фаз, видом и типом гомогенизации, близкой плотностью в гомогенном состоянии и т. д.

Подводя итоги приведенным выше результатам, можно отметить следующее.

1. Включения в искусственных минералах, выращенных из растворов-расплавов, обладают многими чертами сходства с природными включениями в кварце, сподумене, берилле из редкometальных пегматитов.

2. Присутствие в природных включениях растворов-расплавов совместно с породообразующими минералами легкорастворимых солей (хлоридов Na и K) свидетельствует о высокой концентрации щелочей в минералообразующих средах, сопоставимой с концентрацией последних во включениях растворов-расплавов искусственных минералов.

3. Результаты проведенных исследований, на наш взгляд, достаточно убедительно свидетельствуют о возможном участии растворов-расплавов в процессах формирования гранитных пегматитов. Получение дополнительного фактического материала в ближайшем будущем позволит однозначно решить вопрос о генетической роли растворов-расплавов в пегматитовом процессе.

Автор признателен В. А. Кляхину, А. С. Лебедеву и В. А. Сениной за помощь, оказанную в процессе проведения работ.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
14 II 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Заваринский, Зап. Всесоюзн. мин. общ., 76, в. 1 (1947). ² В. Д. Никитин, Зап. Ленингр. горн. инст., 30, в. 2 (1955). ³ Г. С. Шавло, Пегматиты и гидротермалиты Калбинского хребта, Алма-Ата, 1958. ⁴ А. Б. Наливкин, Генезис сподуменовых пегматитов, В сборн. Минералогия и генезис пегматитов, 1964. ⁵ А. Е. Ферсман, Пегматиты, 1, Изд. АН СССР, 1940. ⁶ А. И. Гинзбург, Разведка недр, № 1 (1950). ⁷ К. А. Власов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1966). ⁸ А. А. Беус, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1951). ⁹ Н. А. Соловьев, Научн. основы перспект. оценки редкomet. пегматитов, «Наука», 1971. ¹⁰ И. А. Островский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1962). ¹¹ А. А. Кадик, Е. Б. Лебедев, Н. И. Хитаров, Вода в магм. расплавах, «Наука», 1971. ¹² В. А. Жариков, И. П. Иванов, В. И. Фонарев, Минер. равновесия в сист. $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$, «Наука», 1972. ¹³ Н. П. Ермаков, Геохим. системы включений в минералах, М., 1972. ¹⁴ В. А. Калюжный, Методы вивчення багатофазових включень у мінералах, Київ, 1960. ¹⁵ Л. Ш. Базаров, И. В. Моторина, В сборн. Проблемы петрологии и генетической минералогии, «Наука», 1970. ¹⁶ Н. А. Шугурова, В сборн. Минерал. термометр. и барометр., 2, «Наука», 1968. ¹⁷ Л. Ш. Базаров, Геология и геофизика, № 8 (1968). ¹⁸ Ю. А. Долгов, Л. Ш. Базаров, И. Т. Бакуменко, В сборн. Минерал. термометр. и барометр., «Наука», 1968. ¹⁹ Н. П. Ермаков, Исследования минералообразующих растворов, Харьков, 1950. ²⁰ Л. Ш. Базаров, И. В. Моторина, ДАН, 176, № 6 (1967). ²¹ О. Ф. Татта, В кн. Физ.-хим. проблемы формирования горн. пород и руд, Изд. АН СССР, 1961. ²² М. П. Вукалович, Термодинамич. свойства воды и водяного пара, 1958.

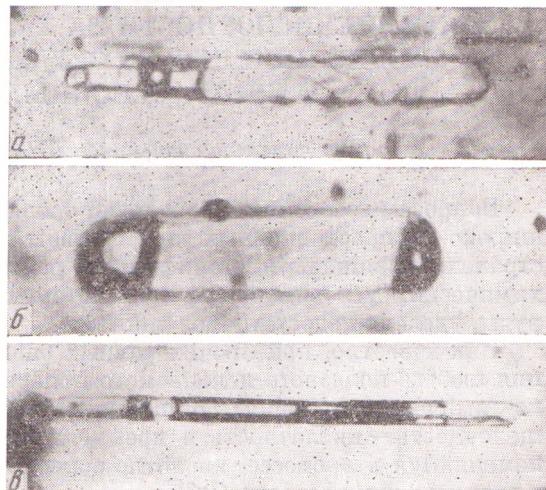


Рис. 4. Включения растворов-расплавов в природных минералах редкometальных пегматитов. *а* — включения в берилле, температура частичной гомогенизации $T_{ч,г}$ (газ + раствор-расплав) 560° ; *б* — включения в кварце; $T_{ч,г} 600^{\circ}$; *в* — включения в сподумене, $T_{ч,г} 400^{\circ}$