

Распределение редких элементов в паре минерал-расплав кислого состава (по данным изучения расплавных включений в минералах Ичинского вулкана).

М.Л. Толстых¹, А.Д. Бабанский².

¹ - *Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского РАН, 119991 Москва, ул. Косыгина, 19, mashtol@mail.ru*

² - *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 119017 Москва, Старомонетный пер., 35*

Приведены данные по содержаниям микроэлементов в сосуществующих расплавах и минеральных фазах тефры вулкана Ичинский, проведено сравнение полученных Kd с литературными данными.

Поведение редких элементов в процессах петрогенезиса давно является предметом петрологических исследований, в т.ч. экспериментальных работ [4–7]. Данные по коэффициентам распределения в парах минерал-расплав широко используются при реконструкции геохимических особенностей источников магмогенерации. Однако если микроэлементный состав первичных базитовых выплавов может нести информацию о характеристиках рестита, то в системах с участием более дифференцированных расплавов любые генетические реконструкции затруднены влиянием процессов фракционирования. Кроме того, поведение элементов-примесей в расплавах кислого состава отличается от такового в основных расплавах. Так, например, Kd Sr для плагиоклаза в риолитовом расплаве достигает 33, в базальтовом – только 3,7; Kd Eu меняется от 8 до 0,9, соответственно [6]. Подобным же образом от основных расплавов к кислым растут коэффициенты распределения для большинства редких элементов и в темноцветных пороодообразующих минералах (амфиболах и пироксенах). Данные по распределению микроэлементов между расплавами разных составов и минеральными фазами представлены во многих источниках, например, в электронной базе данных [6].

В ходе работ по изучению состава расплавных включений в минералах тефры Ичинского вулкана [3] были измерены содержания микроэлементов в стеклах природнозакаленных включений и в минерале-хозяине.

Крупные включения (рис.1) анализировались в нескольких точках при помощи электронного зонда Jeol JXA 8200 (ИГЕМ РАН) (рис.1, табл. 1), чтобы подтвердить однородность стекла. Площадка для пучка ионного зонда ($d=30$ мкм) выбиралась в равном удалении от краев включения. Минерал анализировался на расстоянии радиуса включения для исключения краевых эффектов. Концентрации микроэлементов измерялись методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном микроанализаторе Cameca IMS-4f (Центр Коллективного пользования «Диагностика микро- и макроструктур», г. Ярославль) по методике [2].

Соотношение содержаний микроэлементов в сосуществующих минералах и стеклах приведено в табл. 2. Эти величины – коэффициенты распределения для плагиоклаза и амфиболов и трахит-риодацитового расплава с содержаниями воды 3–4 мас.%. Прямых данных по температурным характеристикам кристаллизации не было получено, поскольку работа велась с природнозакаленными включениями. Расчетные и экспериментальные показатели температур для дацитовых расплавов вулкана Ичинский, приведенные в [1], составляют 1030–1120°C.

Многие элементы характеризуются $Kd > 1$, в частности, для плагиоклаза это ожидаемые Rb, Eu, Sr, а также менее ожидаемые Cu, Be, для амфиболов – все редкоземельные и некоторые высоkozарядные элементы, а также Cr, V, Si. Причем для

двух пар амфибол-расплав значения различаются довольно существенно. Первая пара (табл. 1, NN ан. 3,4, табл. 2, N 2) фиксирует наименее дифференцированную разность расплава среди всех изученных включений в минералах дацитовый тефры вулкана Ичинский. Именно этот расплав ближе всего по составам к стеклам андезитов этого вулканического центра [1,3].

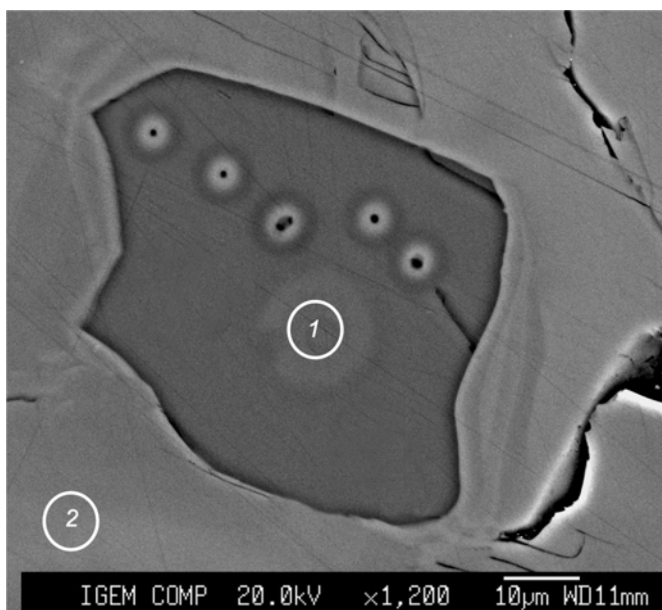


Рис. 1. Крупное включение в плагиоклазе.

1, 2 – центры площадок для анализа концентраций микроэлементов. Черные точки в ореолах – следы профиля электронного зонда (пучок малого диаметра).

Таблица 1. Химические составы (масс.%) изученных стекол расплавных включений и минералов-вкрапленников.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	72,29	58,47	70,06	46,28	73,5	44,36
TiO ₂	0,18	0,03	0,26	2,11	0,19	2,05
Al ₂ O ₃	11,68	24,97	13,34	8,17	13,32	8,83
FeO	0,86	0,26	1,33	11,55	0,8	14,09
MnO	0,06	0,03	0,11	0,4	0,04	0,52
MgO	0,23	0,01	0,24	15,37	0,15	14,09
CaO	0,41	6,91	0,95	11,2	0,56	11,35
Na ₂ O	2,55	7,85	2,32	2,74	3,09	1,66
K ₂ O	4,23	0,5	4,36	0,6	4,54	0,58
P ₂ O ₅	0,31	0,37	0,09	0,03	0,01	0,6
Cl	0,09	0,04	0,07	0,02	0,06	0,09
F	0,1	0,02	0,02	0,2	0,04	0,12
H ₂ O	3,58	-	3,12	-	3,95	-
n	5		3		3	
Сумма	96,57	99,46	93,15	98,67	96,3	98,34

Примечания. 1, 3, 5 – усредненные составы стекол расплавных включений; 2 – плагиоклаз; 4,6 – амфибол; - компонент не определялся; n - количество измерений.

Таблица 2. Коэффициенты распределения (Kd) в парах минерал/расплав.

Эл-т	1	2	3	Эл-т	1	2	3
Li	0,28	0,16	0,11	La	0,90	0,32	1,43
Be	1,23	0,61	0,73	Ce	0,66	0,57	3,11
B	0,02	0,01	0,02	Pb	0,26	0,18	0,30
Cr	0,92	54,39	40,82	Sr	16,00	0,31	0,34
V	1,06	16,31	11,37	Nd	0,42	1,13	9,69
Cu	2,51	3,88	4,87	Zr	0,01	0,61	0,41
Rb	16,05	0,17	0,17	Hf	0,08	1,79	2,17
Ba	0,81	0,06	0,12	Sm	0,25	1,70	14,75
Th	0,00	0,01	0,02	Eu	3,54	1,30	8,43
U	0,00	0,02	0,01	Gd	0,81	2,43	23,29
Nb	0,00	1,58	1,85	Dy	0,11	2,77	19,64
Ta	0,29	1,53	3,07	Y	0,06	4,16	14,95
K	0,14	0,16	0,20	Er	0,07	3,75	13,03
Ti	0,10	6,63	6,13	Yb	0,00	4,56	11,35

Примечания. 1 – плагиоклаз/расплав, 2,3 – амфибол/расплав.

Сравнение с имеющимися литературными данными приводится на рис. 2.

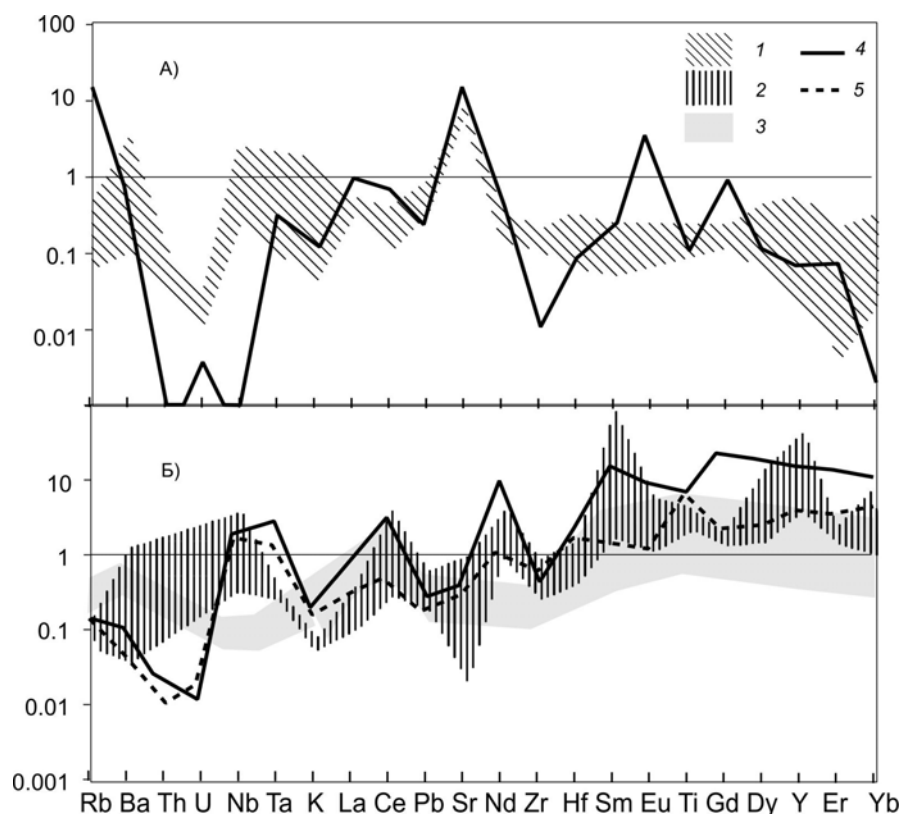


Рис. 2. Коэффициенты распределения редких элементов для пар плагиоклаз/расплав (А) и амфибол/расплав (Б).

1, 2 – диапазоны колебаний Kd минерал/дацит-риолитовый расплав по данным [6]

3 – поле значений для Kd минерал/андезитовый расплав [7]. 4, 5 - распределение микроэлементов на примере расплавов и минеральных фаз тефры вулкана Ичинский.

Полученные K_d для плагиоклаза (рис. 1А) близки к полю значений K_d для плагиоклаза и расплавов кислого состава, нанесенных по [6], с несколько более высокими пиками значений для Eu и Gd, и более низкими – для Th и U.

Для амфиболов, в одном случае (рис. 2 Б, линия 5) кривая практически целиком вписывается в поля значений по [6, 7], построенных для амфиболов и расплавов кислого (поле 2) и среднего (поле 3) составов; эта линия характеризует вышеописанный менее дифференцированный расплав. В паре амфибол/более дифференцированный расплав (рис. 2Б, линия 4) изученный минерал обогащен тяжелыми редкоземельными элементами. И в том, и в другом случае содержания Th и U в минералах значительно ниже описываемых в литературе величин.

Таким образом, в кислых водонасыщенных расплавах поведение несовместимых элементов существенно отличается от менее дифференцированных систем, во-первых, в связи с возможностью кристаллизации концентраторов редких элементов, таких как амфибол или биотит, а во-вторых, с ростом совместимости многих элементов с увеличением кремнекислотности расплавов. Следовательно, некоторые геохимические особенности пород и расплавов (в частности, обогащение стронцием адакитоподобных пород или обеднение РЗЭ кислых расплавов) может быть обусловлено процессами фракционирования или накопления минеральных фаз.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 17-05-00112а (полевые работы) и № 18-05-00224а (аналитические работы).

Список литературы.

1. Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Котляров А.В., и др. Физико-химические параметры кристаллизации расплавов в промежуточных надсубдукционных камерах (на примере вулканов Толбачинский и Ичинский) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 7. С.1265—1291.
2. Соболев А.В. Включения в минералах как источник принципиальной геохимической информации // Петрология. 1996. Т. 4. №3. С. 228-239.
3. Толстых М.Л., Певзнер М.М., Наумов В.Б., Бабанский А.Д. Характеристика расплавов, формировавших тефру плейстоцен-голоценовых извержений вулкана Ичинский (Камчатка) // Геохимия. 2018. В печати
4. Blundy J.D., Wood B.J. Crystal-chemical controls on the partitioning of Sr and Ba between plagioclase feldspar, silicate melts, and hydrothermal solutions// Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. Т. 55. С. 193-209,
5. Ellison A.J.G., Hess P.C. Solution properties of rare earth elements in silicate melts: Inferences from immiscible liquids// Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. № 53. P. 1965- 1974.
6. GERM Partition Coefficient (K_d) Database// URL: earthref.org/KDD.
7. Green T.H. Experimental studies of trace element partitioning applicable to igneous petrogenesis-Sedona 16 years later//Chemical Geology. 1994. V.117, P.1-36.