

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВОДА–ЛЕД

Савенко А.В. (геол. ф-т МГУ)

Alla_Savenko@rambler.ru; факс: (495) 939 10-01; тел.: (495) 939 54-70

Ключевые слова: *алюмосиликаты, основные петрогенные элементы, выветривание, замораживание*

Известно, что при снижении температуры происходит замедление скоростей химических реакций. Вместе с тем при замерзании воды, находящейся в трещинах или порах минералов, механическое воздействие льда на твердую фазу может приводить к ее диспергированию и образованию свежей поверхности, влекущему за собой усиление интенсивности взаимодействия вода–порода.

Для выяснения влияния фазового перехода вода–лед на подвижность химических элементов в процессе выветривания были проведены эксперименты по моделированию взаимодействия алюмосиликатов с водой в условиях повторяющихся циклов замораживания–оттаивания.

В опытах использовалось 5 мономинеральных фракций основных породообразующих алюмосиликатов: роговая обманка, мусковит, микроклин, лабрадорит и альбит, химический состав которых приведен в табл. 1. Образцы измельчались до размера 0.25-0.5 мм и смешивались с дистиллированной водой в массовом соотношении 1 : 10. Со всеми минералами проводилось по два параллельных опыта, один из которых через каждые 12 часов переносился из помещения с температурой $22\pm 1^\circ\text{C}$ в морозильную камеру с температурой -18°C и обратно, а другой (контрольный) выдерживался при постоянной температуре $22\pm 1^\circ\text{C}$. Всего было выполнено 34 цикла замораживания–оттаивания.

По истечении времени экспозиции пробы фильтровались через мембранный фильтр 0.22 мкм, и в фильтрате определялось содержание кремния колориметрическим методом с молибдатом аммония [1], а также концентрации магния, кальция, натрия и калия методом капиллярного электрофореза [2]. Погрешность измерений не превышала $\pm 3\%$.

Таблица 1

Химический состав образцов алюмосиликатов, использовавшихся в экспериментах, вес. %

Компонент	Роговая обманка	Мусковит	Микроклин	Лабрадорит	Альбит
SiO ₂	37.63	58.26	68.11	51.61	67.93
TiO ₂	1.87	0.69	<0.01	1.23	<0.01
Al ₂ O ₃	13.86	17.39	16.55	23.32	18.97
Fe ₂ O ₃	19.57	6.01	0.12	5.85	0.22
MnO	0.16	0.03	<0.01	0.06	<0.01
MgO	11.93	1.91	0.01	1.36	0.01
CaO	10.68	0.73	0.26	9.59	0.06
Na ₂ O	2.12	0.18	2.86	4.26	11.28
K ₂ O	0.36	7.42	10.66	0.84	0.24
P ₂ O ₅	0.02	0.15	0.05	0.29	<0.01
п.п.п.	1.34	7.18	0.49	0.96	0.34
Сумма	99.54	99.95	99.11	99.37	99.05

Результаты экспериментов показали (табл. 2), что в опытах с замораживанием–оттаиванием переход основных петрогенных элементов в раствор происходил с меньшей интенсивностью, чем в контрольных опытах при постоянной комнатной температуре, однако ряды подвижности элементов, представляющей собой отношение их концентраций в сухом остатке воды и исходном минерале, в обеих сериях экспериментов совпадали:

роговая обманка –	K > Ca > Na > Mg > Si,
мусковит –	Na > K, Ca > Mg > Si,
микроклин –	Mg > Ca > Na > K > Si,
лабрадорит –	Mg > Ca > K > Na > Si,
альбит –	Ca > Mg > K > Na > Si.

При этом периодическое замораживание в равной степени замедляло выделение в раствор всех изученных элементов, о чем свидетельствует тесная корреляционная связь между их концентрациями в опытах с замораживанием–оттаиванием (C_3 , мг/л) и при постоянной температуре (C_K , мг/л), описываемая зависимостью:

$$\lg C_3 = 0.932 \lg C_K - 0.346, \quad r = 0.95.$$

Исключение составляла концентрация кремния в пробах с образцами альбита и микроклина, обладающими наибольшей устойчивостью к выщелачиванию этого элемента, для которых замораживание привело к практически полному отсутствию выделения кремния в раствор (рис. 1).

Таблица 2

Выщелачивание основных петрогенных элементов из алюмосиликатов в условиях периодических фазовых переходов вода–лед и при постоянном нахождении воды в жидкой фазе

Минерал	Опыт*	Концентрация, мг/л				
		Si	Mg	Ca	Na	K
Роговая обманка	З	0.31	0.60	8.41	1.01	0.91
	К	1.44	1.60	20.37	2.71	3.63
	З – К	-1.13	-1.00	-11.96	-1.70	-2.72
Мусковит	З	2.09	0.23	2.13	4.19	26.30
	К	8.26	0.73	4.33	9.27	48.37
	З – К	-6.17	-0.50	-2.20	-5.08	-22.07
Микроклин	З	0.03	0.15	4.89	0.52	1.24
	К	0.94	0.86	13.99	1.44	3.06
	З – К	-0.91	-0.71	-9.10	-0.92	-1.82
Лабрадорит	З	0.97	4.07	14.67	0.82	0.71
	К	2.78	11.20	34.98	1.05	1.22
	З – К	-1.81	-7.13	-20.31	-0.23	-0.51
Альбит	З	0.01	0.28	2.50	0.92	0.37
	К	0.85	0.22	4.67	1.45	0.57
	З – К	-0.84	0.06	-2.17	-0.53	-0.20

Примечание: * З – опыты с повторяющимися циклами замораживания–оттаивания, К – контрольные опыты при постоянной температуре $22 \pm 1^\circ\text{C}$

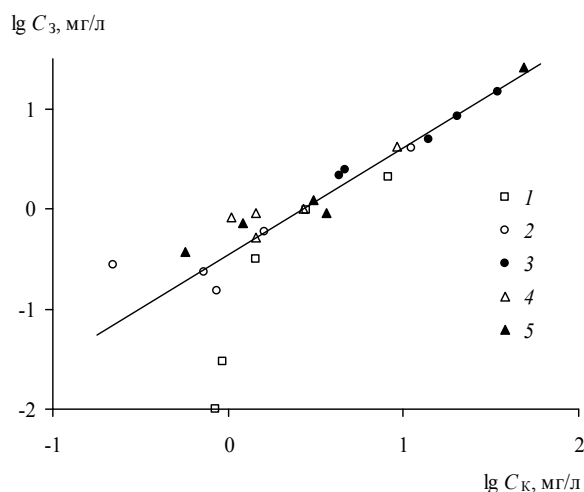


Рис. 1. Зависимость между концентрациями растворенных форм основных петрогенных элементов в опытах с повторяющимися циклами замораживания–оттаивания (C_3 , мг/л) и при постоянной температуре $22 \pm 1^\circ\text{C}$ (C_K , мг/л): 1 – Si, 2 – Mg, 3 – Ca, 4 – Na, 5 – K

Четко выраженной связи между концентрациями выделившихся в раствор петрогенных элементов и их содержанием в исходных минералах не наблюдается, однако прослеживается тенденция к увеличению интенсивности выщелачивания элементов из тех образцов, в которых они присутствуют в больших количествах по сравнению с другими образцами. Так, наибольшие концентрации растворенных кальция ($Ca_3 = 14.7$ мг/л, $Ca_K = 35.0$ мг/л) и магния ($Mg_3 = 4.1$ мг/л, $Mg_K = 11.2$ мг/л) зафиксированы при выветривании лабрадорита, который содержит 9.59 и 1.36

вес. % CaO и MgO, тогда как для роговой обманки, имеющей в своем составе максимальное количество оксидов кальция и магния (соответственно 10.68 и 11.93 вес. %), характерна заметно меньшая, хотя и превышающая значения для других образцов, интенсивность перехода этих элементов в раствор: $Ca_3 = 8.4$ мг/л, $Ca_K = 20.4$ мг/л; $Mg_3 = 0.6$ мг/л, $Mg_K = 1.6$ мг/л (рис. 2). Максимальное выделение в раствор калия ($K_3 = 26.3$ мг/л, $K_K = 48.4$ мг/л), натрия ($Na_3 = 4.2$ мг/л, $Na_K = 9.3$ мг/л) и кремния ($Si_3 = 2.1$ мг/л, $Si_K = 8.3$ мг/л) отмечалось для мусковита, содержащего соответственно 7.42, 0.18 и 58.26 вес. % K_2O , Na_2O и SiO_2 . Другие минералы обладали значительно большей устойчивостью к выщелачиванию этих элементов, несмотря на более высокое содержание K_2O в микроклине (10.66 вес. %), SiO_2 в микроклине и альбите (68.11 и 67.93 вес. %), а Na_2O -во всех остальных образцах (от 2.12 вес. % в роговой обманке до 11.28 вес. % в альбите).

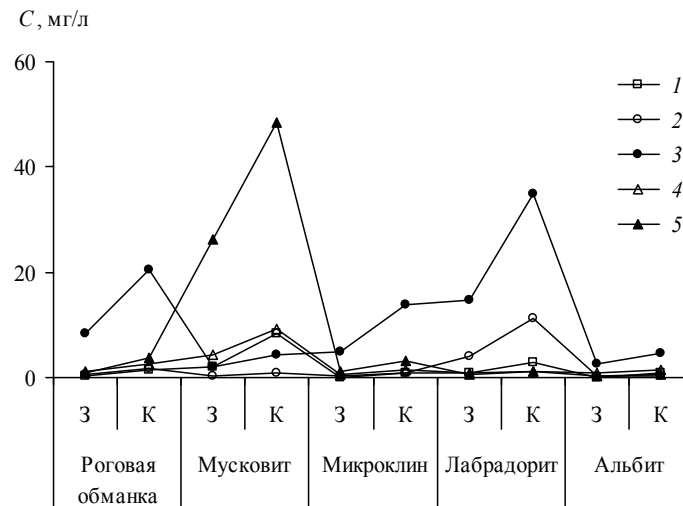


Рис. 2. Концентрации (C , мг/л) растворенных форм основных петрогенных элементов при выщелачивании из алюмосиликатов в условиях периодических фазовых переходов вода-лед (З) и при постоянном нахождении воды в жидкой фазе при температуре $22 \pm 1^\circ C$ (К): 1 – Si, 2 – Mg, 3 – Ca, 4 – Na, 5 – K

Таким образом, экспериментально установлено, что взаимодействие основных породообразующих алюмосиликатов с водой в условиях периодических фазовых переходов вода-лед происходит менее интенсивно, чем при постоянном нахождении воды в жидкой фазе, причем выделение всех изученных петрогенных элементов в раствор снижается в равной степени при отсутствии четко выраженной связи между их содержанием в растворе и исходных минералах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 06–05–72552)

Литература

1. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод // М.: Химия. 1971. 375с.
2. Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза “КАПЕЛЬ” // СПб.: Веда. 2006. 212с.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/geoecol-12.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009*

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна