РАСТВОРЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ В ВОДЕ: ЭФФЕКТ ВТОРОЙ ФАЗЫ**Савенко А.В., Савенко В.С.***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, E-mail: Alla_Savenko@rambler.ru*

АННОТАЦИЯ: Проведены эксперименты по растворению роговой обманки, мусковита, ортоклаза, микроклина, альбита и лабрадорита в дистиллированной воде: 1) по отдельности, 2) в парах, 3) в присутствии и в отсутствие аморфного кремнезема. Установлено, что при постоянной общей массе пар минералов состав раствора меняется в первом приближении пропорционально долям минералов в твердой фазе. Присутствие аморфного кремнезема снижает концентрации продуктов растворения минералов.

1. ВВЕДЕНИЕ

В процессах выветривания и формирования химического состава материкового стока исключительную роль играет растворение алюмосиликатов, составляющих основную массу пород земной коры. В течение нескольких последних десятилетий было выполнено значительное количество фундаментальных исследований, в первую очередь экспериментальных, направленных на выяснение физико-химических механизмов растворения силикатов и алюмосиликатов в водной среде [1-3 и др.]. В соответствии с поставленной задачей изучалось растворение отдельных минералов, хотя в природе горные породы, как правило, представлены различными полиминеральными ассоциациями, а мономинеральные породы не имеют широкого распространения. Исходя из общих соображений, можно предположить, что при взаимодействии с водой полиминеральных образцов процесс растворения не будет аддитивным, и его протекание будет отлично от растворения отдельных минералов. Этот вопрос экспериментально не изучен, поэтому целью настоящей работы стало выяснение степени взаимного влияния разных минералов-алюмосиликатов на процесс их совместного растворения.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В опытах использовали мономинеральные фракции роговой обманки, мусковита, ортоклаза, микроклина, альбита и лабрадорита с размером зерен <0.1 мм, химический состав которых приведен в табл. 1.

Было выполнено две серии экспериментов, проводившихся при комнатной температуре. В первой серии изучали растворение в воде пар минералов (микроклина, лабрадорита и роговой обманки) при постоянной общей массе (20 г/л) и разной доле (0, 25, 50, 75 и 100%) каждого из них. Суспензии ежедневно перемешивали на шейкере по 6–8 ч. в течение 3 мес. до прекращения изменения pH, после чего 4 мес. выдерживали без перемешивания. Затем раствор отфильтровали через мембранный фильтр 0.22 мкм и анализировали.

Во второй серии экспериментов в тех же условиях (3 мес. перемешивания на шейкере и 4 мес. без перемешивания) изучали растворение роговой обманки, мусковита, ортоклаза, микроклина, альбита и лабрадорита при добавлении и в отсутствие аморфного кремнезема (химический реактив марки х.ч., массовая доля воды 14.51%).

Таблица 1. Химический состав минералов, использовавшихся в экспериментах (масс. %)

Компонент	Роговая обманка	Мусковит	Ортоклаз	Микроклин	Альбит	Лабрадорит
SiO ₂	37.63	58.26	59.48	68.11	67.93	51.61
TiO ₂	1.87	0.69	0.04	<0.01	<0.01	1.23
Al ₂ O ₃	13.86	17.39	20.23	16.55	18.97	23.32
Fe ₂ O ₃	19.57	6.01	0.59	0.12	0.22	5.85
MnO	0.16	0.03	0.03	<0.01	<0.01	0.06
MgO	11.93	1.91	0.02	0.01	0.01	1.36
CaO	10.68	0.73	0.19	0.26	0.06	9.59
Na ₂ O	2.12	0.18	4.34	2.86	11.28	4.26
K ₂ O	0.36	7.42	12.09	10.66	0.24	0.84
P ₂ O ₅	0.02	0.15	0.17	0.05	<0.01	0.29
п.п.п.	1.34	7.18	3.00	0.49	0.34	0.96
Сумма	99.54	99.95	100.18	99.11	99.05	99.37

Таблица 2. Совместное растворение пар породообразующих алюмосиликатов в дистиллированной воде

Образец	m, г/л			pH	Концентрации в растворе, мг/л							
	микроклин	лабрадорит	роговая обманка		Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	Si
Дистилли- рованная вода	—	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	0.16	<0.01	<0.01	0.61	<0.01
	20	—	—	8.08	3.27	13.00	0.14	0.65	0.54	0.89	30.5	5.83
	15	5	—	8.11	2.87	10.12	3.61	8.15	0.40	1.59	62.2	4.68
	10	10	—	8.16	2.59	7.24	5.58	13.20	0.36	2.26	79.3	4.35
	5	15	—	8.21	2.50	4.72	7.03	16.63	0.35	2.87	89.1	4.22
	—	20	—	8.27	2.45	2.35	7.96	18.64	0.34	3.53	94.6	4.12
σ^*			0.01	0.16	0.26	1.07	2.36	0.06	0.03	11.3	0.45	
1 М-Р	20	—	—	8.08	3.27	13.00	0.14	0.65	0.54	0.89	30.5	5.82
2 М-Р	15	—	5	8.09	2.86	10.96	1.24	2.24	0.62	4.36	31.1	5.79
3 М-Р	10	—	10	8.11	2.53	8.50	2.69	4.20	0.72	7.80	33.6	5.52
4 М-Р	5	—	15	8.13	2.21	4.96	3.98	6.20	0.79	10.81	36.6	4.99
5 М-Р	—	—	20	8.16	1.89	1.10	5.69	8.58	0.87	13.59	43.9	4.17
σ^*				0.01	0.04	0.87	0.22	0.31	0.01	0.33	2.7	0.34
1 Л-Р	—	20	—	8.27	2.45	2.35	7.96	18.64	0.34	3.53	94.6	4.00
2 Л-Р	—	15	5	8.25	2.16	2.00	7.60	17.88	0.47	7.09	89.1	4.01
3 Л-Р	—	10	10	8.23	1.99	1.66	7.02	15.71	0.60	9.71	78.1	4.04
4 Л-Р	—	5	15	8.20	1.93	1.35	6.52	12.89	0.73	11.69	64.1	4.08
5 Л-Р	—	—	20	8.16	1.89	1.10	5.69	8.58	0.87	13.59	43.9	4.15
σ^*				0.01	0.12	0.05	0.17	1.46	0.01	0.75	6.1	0.02

* Стандартное отклонение от расчетных значений C_i по уравнению (1).

Таблица 3. Влияние аморфного кремнезема на растворение породообразующих алюмосиликатов в дистиллированной воде

Образец	m, г/л		pH	Концентрации в растворе, мг/л								
	минерал-алюмосиликат	аморфный кремнезем		Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	Si	
Роговая обманка												
[AlSi] _{УВРС} *	20	—	—	1.14	0.60	0.38	2.11	0.58	2.34	7.44	<0.30	
[AlSi]	20	—	8.17	1.85	1.04	5.80	8.91	0.91	12.3	43.9	4.23	
[AlSi]+ SiO ₂	20	4	7.95	1.85	0.94	3.34	5.50	0.89	11.8	24.4	45.0	
Мусковит												
[AlSi] _{УВРС} *	20	—	—	2.38	3.23	0.43	2.01	2.02	1.77	12.4	<0.30	
[AlSi]	20	—	8.10	2.47	4.38	1.39	7.20	2.10	2.06	37.8	2.24	
[AlSi]+ SiO ₂	20	4	7.74	2.42	3.55	0.95	5.13	2.07	2.06	27.5	44.8	
Ортоклаз												
[AlSi] _{УВРС} *	20	—	—	3.50	0.72	0.03	0.24	0.23	0.32	9.98	<0.30	
[AlSi]	20	—	8.17	11.9	4.15	0.04	0.27	0.31	0.48	37.2	5.46	
[AlSi]+ SiO ₂	20	4	7.68	7.28	2.23	0.03	0.24	0.30	0.47	23.2	37.2	
Микроклин												
[AlSi] _{УВРС} *	20	—	—	1.02	4.00	0.02	0.31	0.38	0.48	8.98	<0.30	
[AlSi]	20	—	7.79	3.35	12.1	0.09	0.61	0.94	1.02	27.5	5.71	
[AlSi]+ SiO ₂	20	4	7.68	3.18	10.6	0.03	0.32	0.73	0.90	22.6	45.7	
Альбит												
[AlSi] _{УВРС} *	20	—	—	2.63	0.12	0.03	0.26	0.31	0.87	5.78	<0.30	
[AlSi]	20	—	8.08	10.5	0.13	0.04	0.32	1.05	1.04	26.8	6.16	
[AlSi]+ SiO ₂	20	4	7.79	7.15	0.12	0.04	0.30	0.61	0.99	17.7	44.9	
Лабрадорит												
[AlSi] _{УВРС} *	20	—	—	1.04	0.44	0.76	2.54	0.26	0.88	12.3	<0.30	
[AlSi]	20	—	8.43	2.37	2.10	7.18	17.4	1.04	3.32	92.7	4.08	
[AlSi]+ SiO ₂	20	4	8.30	2.37	2.09	7.01	14.8	0.90	3.19	82.4	45.0	

* Содержание условно “водорастворимых” солей.

В этой серии в образцах минералов также определяли содержание условно “водорастворимых” солей, которые извлекали путем интенсивного взбалтывания 1 г образца с 20 мл дистиллированной воды в течение 1 мин., последующего 4-минутного отстаивания и фильтрации через мембранный фильтр 0.22 мкм.

Определения концентраций компонентов основного солевого состава (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄) в фильтрате проводили методом капиллярного электрофореза, величины общей щелочности ($\approx \text{HCO}_3^-$) – объемным ацидиметрическим методом, содержания кремния – колориметрическим методом.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментов приведены в табл. 2 и 3. В опытах с парами минералов величина pH, концентрации ионов основного солевого состава и растворенного кремния располагаются между значениями в суспензиях отдельных минералов (конечные члены ряда) и в первом приближении пропорциональны массовым долям (X) минералов A и B в смесях. Состав раствора будет аддитивно зависеть от масс разных минералов при наличии линейных зависимостей между концентрациями элементов i в растворе C_i и массовыми долями минералов в твердой фазе X_A и X_B :

$$\begin{aligned} C_i &= X_A C_{i(A)} + X_B C_{i(B)} = \\ &= X_A C_{i(A)} + (1 - X_A) C_{i(B)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $C_{i(A)}$ и $C_{i(B)}$ – концентрации i в растворах с чистыми фазами A и B . Данные табл. 2 указывают на приближенное соответствие полученных результатов (1). Отсюда следует, что состав вод, образующихся в результате растворения алюмосиликатов горных пород, аддитивно зависит от массовых долей минералов в породах.

Опыты по растворению порообразующих алюмосиликатов в присутствии и в отсутствие аморфного кремнезема имели целью установить влияние на состав водной среды не удаляемых из системы нерастворимых продуктов реакции рас-

творения. Например, при выветривании происходит инконгруэнтное растворение альбита с образованием каолинита и кремнезема:

Бикарбонат натрия хорошо растворим и удаляется с инфильтрационными водами. Кремнезем растворим в значительно меньшей степени, но в то же время он не относится к труднорастворимым соединениям и при интенсивном промывном режиме может быть практически полностью удален, т.е. в одних случаях остается в системе, в других – не сохраняется. Проведенные эксперименты показали (табл. 3), что в присутствии кремнезема содержание растворенных компонентов для всех изученных минералов несколько ниже такового в опытах без кремнезема. Это свидетельствует, что остающиеся в системе твердые продукты растворения алюмосиликатов в большей или меньшей степени тормозят дальнейшее протекание реакции. В случае с кремнеземом этот фактор не имеет критического значения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально установлено, что состав вод, образующихся при растворении алюмосиликатов горных пород, аддитивно зависит от массовых долей минералов, слагающих породы. Присутствие аморфного кремнезема в системе снижает концентрацию продуктов растворения минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова Г.Н. О выщелачивании алюмосиликатных изверженных горных пород // Гидрохимические материалы. 1966. – Т. 42. – С. 231-36.
2. Colman S.M., Dethier D.P. (Eds.) Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals. Orlando: Acad. Press, 1986. – 603 p.
3. Keller W.D., Balgord W.D., Reesman A.L. Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. Part I // J. Sediment. Petrol. 1963. V. 33. № 1. – P. 191-204.

DISSOLUTION OF ALUMINOSILICATES IN WATER: EFFECT OF THE SECOND PHASE

Savenko A.V., Savenko V.S.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT: Experiments on the dissolution of hornblende, muscovite, orthoclase, microcline, albite, and labradorite in distilled water were carried out: 1) separately, 2) in the pairs, 3) in the presence and absence of amorphous silica. It was found that at the constant total mass of mineral pairs, the solution composition varies at a first approximation in proportion to the parts of minerals in the solid phase. Presence of the amorphous silica decreases the concentrations of mineral dissolution products.