

УДК 550.42

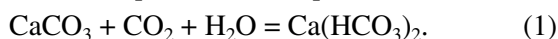
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА КРУПНЫХ РЕК РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН

© 2004 г. В. С. Савенко, О. С. Покровский, Б. Дюпре, Г. Н. Батурич

Представлено академиком А.П. Лисицыным 16.04.2004 г.

Поступило 20.04.2004 г.

Основная масса химических элементов, поступающих в океан с материковым стоком, содержится в составе речных взвесей [1, 2]. Даже кальций и магний – преобладающие катионы основного солевого состава речной воды – примерно в одинаковой степени представлены растворенными и взвешенными формами [1, 5, 6]. Исключение составляют лишь хлориды и сульфаты, присутствие которых в материковом стоке обусловлено в основном атмосферным переносом морских циклических солей и антропогенными источниками [6], а также растворенные карбонаты, наполовину представленные связанной атмосферной углекислотой, образующейся в процессе растворения преимущественно карбонатных пород [5]:



При выветривании и транспортировке продуктов, образующихся в ходе этого процесса, происходит фракционирование элементов, которое играет существенную роль в химической дифференциации осадочного материала и пространственном распределении различных типов осадочных пород. Несмотря на большое внимание, уделяемое геохимии взвешенного вещества речного стока, имеющихся данных недостаточно для получения надежных выводов о его среднем химическом составе и отличительных особенностях, свойственных регионам с различными климатическими и геоморфологическими условиями, литологическим составом пород водосборных бассейнов и другими характеристиками.

В настоящей работе представлены результаты изучения химического состава образцов речных взвесей из коллекции Г.Н. Батурича, отобранных в разное время в низовьях девяти крупных рек России и сопредельных стран: Амударья (устье,

июнь 1965 г.), Урала (Гурьев, май 1953 г.), Волги (дельта, образец 1 – май 1953 г., образец 2 – май 1957 г., образец 3 – июнь 1955 г.), Дона (Аксай, апрель 1952 г.), Кубани (Краснодар, июнь 1970 г.), Риони (Сако Чаки, июнь 1970 г.), Северной Двины (устье, июнь 1969 г.), Оби (устье, сентябрь 1993 г.) и Енисея (устье, март 1993 г.). Для химического анализа образцов речных взвесей использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Предполагалось, что благодаря большим площадям водосборов полученные данные могут отражать специфические черты процессов выветривания в разных физико-географических условиях.

Полученные данные для основных петрогенных элементов (табл. 1) показывают четко выраженную тенденцию снижения концентрации кальция по мере уменьшения степени аридности климата водосборных бассейнов. Максимальное содержание кальция наблюдалось во взвеси Аму-Дарьи и Урала; существенно меньшая концентрация кальция была характерна для взвеси Дона и Кубани, и, наконец, еще более низкие концентрации были свойственны взвесям других рек за исключением Риони, протекающей в горной местности. При исключении циклических солей и растворенных веществ, поступающих из антропогенных источников, основную роль в формировании ионного стока играет растворение карбонатных пород, чем и объясняется преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав речных вод. С этим процессом связано обеднение речных взвесей кальцием, которое заметно ослабевает в аридной зоне, где химическое выветривание подавлено.

При сравнении средних концентраций оксидов основных петрогенных элементов во взвеси изученных рек и осадочной оболочке континентов видно, что взвеси обеднены кальцием, натрием, магнием и обогащены железом, алюминием, кремнием, калием и титаном (табл. 2). Сильное обогащение речных взвесей марганцем и фосфором нуждается в подтверждении с использованием значительно большего объема информации, хотя можно указать возможные причины этого явления: марганец может накапливаться в форме труднораство-

Московский государственный университет

им. М.В. Ломоносова

Лаборатория геохимии

Университета им. Р. Сабатьера, Тулуза, Франция

Институт океанологии им. П.П. Ширшова

Российской Академии наук, Москва

Таблица 1. Содержание оксидов основных петрогенных элементов во взвеси рек России и сопредельных стран, % от общей суммы оксидов

Компонент	Аму-Дарья	Урал	Волга	Дон	Кубань	Риони	Северная Двина	Обь	Енисей	Осадочная оболочка континентов [3]
SiO ₂	54.60	59.68	63.77	61.40	63.40	63.89	64.47	64.81	60.48	55.41
TiO ₂	0.67	0.77	0.84	0.81	0.85	0.75	0.81	0.80	1.04	0.79
Al ₂ O ₃	15.80	16.47	17.63	18.47	17.70	15.14	15.92	16.02	15.80	13.96
Fe ₂ O ₃	6.51	7.70	8.86	8.26	7.48	6.37	8.75	10.42	11.41	6.43
MnO	0.11	0.15	0.17	0.09	0.10	0.56	0.26	0.52	0.23	0.12
MgO	3.96	3.27	2.90	2.57	2.41	2.53	3.09	2.29	3.68	3.83
CaO	13.68	8.25	1.96	4.76	3.87	6.53	2.49	1.56	3.16	15.19
Na ₂ O	1.61	0.95	0.88	0.64	1.30	1.66	1.17	0.89	1.89	1.80
K ₂ O	2.93	2.58	2.74	2.77	2.68	2.34	2.69	2.28	1.96	2.32
P ₂ O ₅	0.13	0.17	0.24	0.21	0.19	0.24	0.36	0.42	0.33	0.16
Σ	100.00	99.99	99.99	99.98	99.98	100.01	100.01	100.01	99.98	100.01
ΣMe _x O _y	85.67	86.14	87.14	84.82	89.13	89.31	84.43	86.10	80.95	86.18
C _{орг}	0.37	0.72	1.44	2.02	1.24	–	2.98	1.97	–	0.50

Примечание. ΣMe_xO_y – суммарное содержание оксидов основных петрогенных элементов по результатам химического анализа.

римого диоксида, а фосфор – концентрироваться в живых организмах и органическом детрите.

По степени обогащения речных взвесей относительно среднего состава осадочных пород континентов основные петрогенные элементы располагаются в ряд: Fe (30.9%) > Al (18.6%) > Si (11.6%) > K (9.9%) > Ti (3.8%) > Mg (–22.5%) > Na (–32.2%) > Ca (–66.2%). Этот ряд отражает реальную подвижность химических элементов в зоне гипергенеза, которая зависит не только от их химиче-

Таблица 2. Среднее содержание оксидов основных петрогенных элементов во взвеси изученных рек и осадочной оболочке континентов

Компонент	Среднее содержание, % от суммы		Разность, %
	взвесь изученных рек	осадочная оболочка континентов [4]	
SiO ₂	61.83	55.41	11.6
TiO ₂	0.82	0.79	3.8
Al ₂ O ₃	16.55	13.96	18.6
Fe ₂ O ₃	8.42	6.43	30.9
MnO	(0.24)	0.12	(100.0)
MgO	2.97	3.83	–22.5
CaO	5.14	15.19	–66.2
Na ₂ O	1.22	1.80	–32.2
K ₂ O	2.55	2.32	9.9
P ₂ O ₅	0.25	0.16	56.3

ских, но и от геохимических свойств. В частности, как отмечалось раньше [6], большая подвижность кальция по сравнению, например, с натрием обусловлена растворением широко распространенных карбонатных пород. Хорошо растворимый хлорид натрия имеет в осадочной оболочке значительно меньшую распространенность, и основная масса натрия в зоне гипергенеза представлена труднорастворимыми алюмосиликатами. Интересно положение титана, который по подвижности превосходит калий, хотя обычно относится к инертным в зоне гипергенеза элементам. Несмотря на то, что для уверенного отнесения титана к группе умеренно подвижных элементов необходимо детальное изучение этого вопроса, отметим некоторые косвенные данные, подтверждающие такую возможность. В частности, об этом свидетельствует накопление титана некоторыми организмами и образование титаном достаточно прочных комплексов с органическими лигандами.

Содержание микроэлементов в речной взвеси подтверждено значительно более сильным колебанием по сравнению с основными петрогенными элементами. Тем не менее можно утверждать, что микроэлементный состав взвешенных веществ из всех изученных рек близко соответствует среднему составу глин и глинистых сланцев (табл. 3). Близкая распространенность микроэлементов во взвеси разных рек, по-видимому, связана с большой площадью их водосборов, благодаря чему происходит элиминирование локальных литологических неоднородностей эрозионных бассейнов.

Таблица 3. Химический состав взвешенного вещества рек России и сопредельных стран, мкг/г

Элемент	Аму-Дарья	Урал	Волга			Дон	Северная Двина	Обь	Енисей	Глины и глинистые сланцы [3]
			1	2	3					
Be	2.25	–	–	–	2.06	2.03	1.61	1.57	1.31	3
Na	10200	10900	5700	5640	6600	4200	7300	5700	11400	9600
Mg	20400	10600	15260	15200	15000	13100	15700	11900	17900	15000
Al	71700	49200	81300	79800	76000	81400	71100	73000	67700	80000
Si	218600	318900	259700	256900	255100	240300	254400	260800	224700	273000
P	480	520	920	960	1130	870	1310	1570	1180	700
K	20800	15200	19840	20100	18600	19000	18900	16300	13200	26600
Ca	83800	34000	12200	12700	13800	27870	15000	9580	18300	22100
Ti	3400	3120	4380	4200	4320	4080	4080	4140	1620	4600
V	104	74	144	142	141	124	110	141	153	130
Cr	94.9	270	152	154	151	116	140	111	–	90
Mn	700	620	1160	850	2000	700	1700	3480	1470	850
Fe	39000	24800	54000	51300	53200	48100	51700	62700	64600	47200
Co	15.8	12.5	20.0	19.7	21.7	14.9	19.5	25.0	27.7	19
Ni	43.7	74.7	84.6	83.3	97.9	54.5	59.4	60.2	–	68
Cu	35.5	21.3	58.6	50.6	44.7	60.0	–	34.1	–	45
Zn	98.1	50.0	134	197	221	137	–	115	–	95
Ga	16.9	10.7	20.0	20.6	19.0	19.7	16.7	17.3	17.2	19
Ge	1.25	1.29	1.54	1.75	1.54	1.68	1.71	1.48	1.37	1.6
As	18.0	6.80	8.08	10.9	14.8	13.1	16.6	9.58	8.79	13
Rb	98.1	56.0	104	105	95.6	111	90.2	95.5	62.5	140
Sr	247	191	195	168	171	187	153	125	226	300
Y	20.9	18.5	25.0	25.1	27.6	24.2	20.7	24.2	23.5	26
Zr	113	238	165	169	190	147	178	119	130	160
Nb	8.87	7.24	11.4	11.2	11.4	10.8	10.7	9.87	8.95	11
Mo	1.09	0.48	0.71	0.74	0.79	1.14	0.74	0.55	(3.31)	2.6

Таблица 3. Окончание

Элемент	Аму-Дарья	Урал	Волга			Дон	Северная Двина	Обь	Енисей	Глины и глинистые сланцы [3]
			1	2	3					
Cd	–	–	0.43	0.41	0.48	–	–	(1.18)	0.3	
Sn	2.71	4.42	2.80	3.04	7.06	7.00	–	5.36	6	
Sb	1.72	–	0.77	0.91	1.17	1.00	–	0.99	1.5	
Cs	5.91	2.54	5.21	5.46	5.11	6.66	4.26	2.93	5	
Ba	424	362	432	505	436	384	715	431	550	
La	24.6	19.6	30.9	30.8	34.5	31.0	27.9	22.7	32	
Ce	49.4	39.9	63.9	62.0	71.1	61.4	59.6	47.6	59	
Pr	5.64	4.77	7.18	6.97	7.90	7.45	6.55	5.46	5.6	
Nd	21.1	18.7	26.9	26.6	30.6	28.5	25.0	21.5	24	
Sm	4.20	3.65	5.61	5.41	6.07	5.58	4.80	4.33	6.4	
Eu	0.964	0.850	1.18	1.23	1.45	1.18	1.10	1.14	1.0	
Gd	3.99	3.41	4.89	4.57	5.41	4.70	4.04	4.13	6.4	
Tb	0.617	0.526	0.687	0.709	0.811	0.726	0.596	0.612	1.0	
Dy	3.44	3.06	4.04	4.30	4.62	4.15	3.63	3.76	4.6	
Ho	0.719	0.648	0.796	0.855	0.980	0.847	0.732	0.759	1.2	
Er	1.91	1.78	2.47	2.40	2.71	2.33	1.92	2.16	2.5	
Tm	0.308	0.290	0.351	0.339	0.422	0.350	0.285	0.327	0.2	
Yb	2.06	1.95	2.07	2.23	2.56	2.52	2.25	2.33	2.6	
Lu	0.321	0.316	0.407	0.393	0.433	0.371	0.332	0.331	0.7	
Hf	3.16	5.93	4.11	4.47	4.95	4.04	4.62	3.33	2.8	
Ta	0.83	0.64	0.86	0.91	0.95	0.96	0.94	0.71	0.8	
W	1.86	0.95	1.37	1.33	1.29	1.59	1.18	4.16	1.8	
Pb	19.5	13.8	21.7	25.2	23.3	25.9	–	–	20	
Bi	0.37	0.15	0.29	0.27	0.31	0.34	0.96	0.19	–	
Th	10.2	5.77	9.23	9.48	9.40	10.3	8.56	6.12	12	
U	2.73	1.54	2.12	2.31	2.26	2.17	2.11	1.82	3.7	

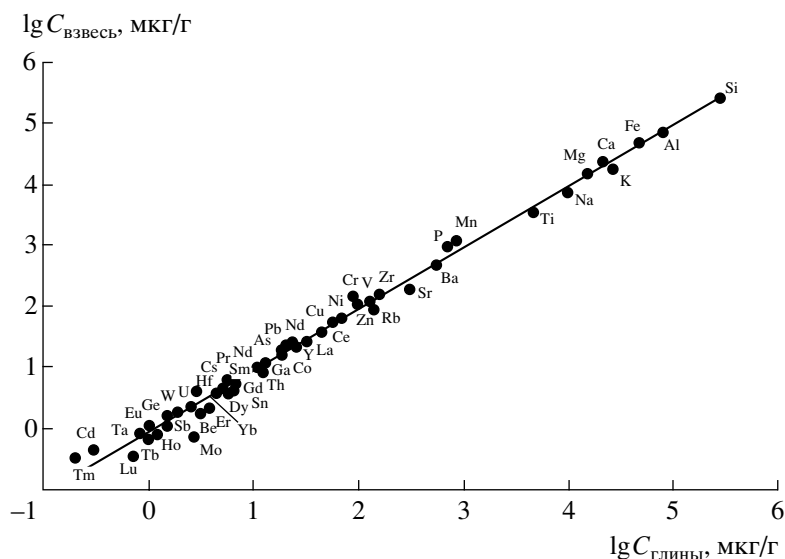


Рис. 1. Зависимость между концентрациями химических элементов в речных взвесах (среднегеометрические значения для изученных рек) и глинах осадочной оболочки [3].

При сопоставлении среднегеометрических значений концентраций химических элементов во взвесах изученных нами рек со средним составом глин [3] обнаруживается тесная корреляционная зависимость (рис. 1):

$$C_{i, \text{взвесь}} = 0.84 C_{i, \text{глины}}^{1.0071} \quad (2)$$

где $C_{i, \text{взвесь}}$ и $C_{i, \text{глины}}$ – концентрации элемента i в речной взвеси и глинах. Близость химических составов речных взвесей и глинистых осадочных пород континентального блока земной коры проявляется, прежде всего, в практически точном равенстве единице (1.0071) показателя степени для концентрации элементов в глинах. Объяснение имеет и меньший, чем единица, коэффициент пропорциональности (0.84): по сравнению с глинами и глинистыми сланцами – литифицированными породами – речные взвеси имеют значительно большее содержание гигроскопической воды.

Полученные данные позволяют с высокой долей уверенности говорить о близком соответствии составов речных взвесей и осадочных глинистых по-

род. Это означает, что вторичные диагенетические и катагенетические процессы не приводят к сильным изменениям первоначального химического состава глинистых отложений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 01–05–64852).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
2. Лисицын А.П. Процессы морской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
3. Мейсон Б. Основы геохимии. М.: Недра, 1971. 367 с.
4. Ронов А.Б. Осадочная оболочка Земли. М.: Наука, 1980. 79 с.
5. Савенко В.С. // ДАН. 1995. Т. 340. № 6. С. 815–817.
6. Савенко В.С. Глобальные изменения природной среды – 2001. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. С. 279.