



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ
ИМ. П.П.ШИРШОВА РАН



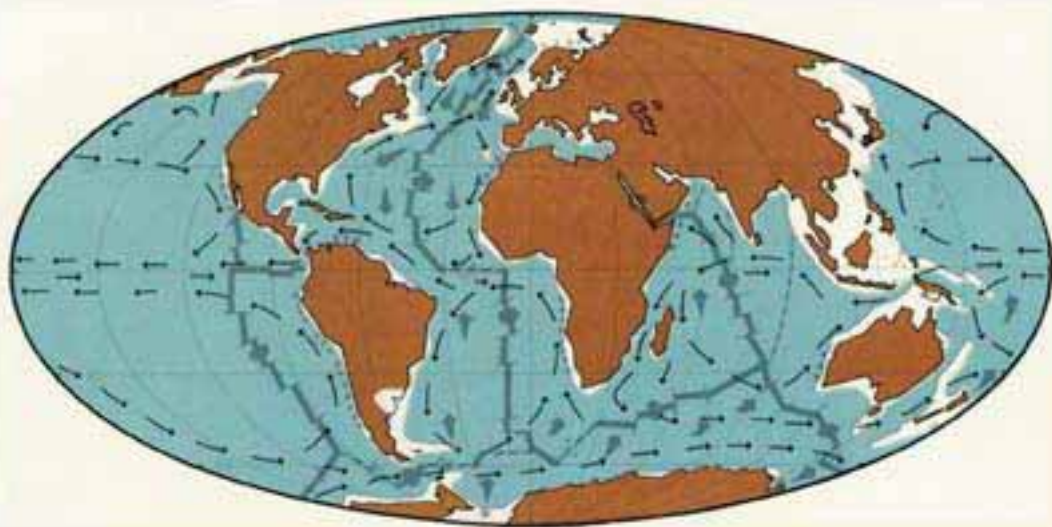
Материалы
XXI
Международной
научной
конференции
(Школы)
по морской
геологии

Москва

2015

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том III



*РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. ШИРШОВА РАН*

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

**Материалы XXI Международной научной конференции
(Школы) по морской геологии**

Москва, 16–20 ноября 2015 г.

Том III

GEOLOGY OF SEAS AND OCEANS

**Proceedings of XXI International Conference
on Marine Geology**

Moscow, November 16–20, 2015

Volume III

Москва / Moscow
ГЕОС / GEOS
2015

ББК 26.221
Г35
УДК 551.35

Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ГЕОС, 2015. – 383 с.

В настоящем издании представлены доклады морских геологов, геофизиков, геохимиков и других специалистов на XXI Международной научной конференции (Школе) по морской геологии, опубликованные в пяти томах.

В томе III рассмотрены проблемы изучения нано- и микрочастиц и потоков вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито-, седиментосферы), а также исследований по проблемам «Система Белого моря» и «Система Каспийского и Аральского морей».

Материалы опубликованы при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН, Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 15-05-20419), издательства ГЕОС.

Ответственный редактор
Академик *А.П. Лисицын*

Редакторы к.г.-м.н. *Н.В. Политова*, к.г.-м.н. *В.П. Шевченко*

Geology of seas and oceans: Proceedings of XXI International Conference on Marine Geology. Vol. III. – Moscow: GEOS, 2015. – 383 p.

The reports of marine geologists, geophysics, geochemists and other specialists of marine science at XXI International Conference on Marine Geology in Moscow are published in five volumes.

Volume III includes reports devoted to the problems of investigations of nano- and microparticles and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho-, sedimentospheres), and the investigations on problems “White Sea system” and “Caspian and Aral seas system”.

Chief Editor
Academician *A.P. Lisitzin*
Editors Dr. *N.V. Politova*, Dr. *V.P. Shevchenko*

ISBN 978-5-89118-705-4
ББК 26.221

© ИО РАН 2015

Савенко А.В., Савенко В.С.

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru)

Трансформация состава поглощенного комплекса твердых веществ речного стока в морской среде

Savenko A.V., Savenko V.S.

(Moscow M.V. Lomonosov State University)

Transformation of the exchangeable fraction composition of river runoff solid matter in seawater

Ключевые слова: поглощенный комплекс, речной сток, твердые вещества, главные катионы, ионообменная трансформация, геохимический баланс океана

В теории литогенеза фазовая дифференциация вещества рассматривается в качестве одного из главных факторов, контролирующих миграцию и пространственное распределение химических элементов. В настоящее время имеются сводки по валовому химическому составу растворенных и взвешенных веществ материкового стока [1–5], тогда как сведения о формах нахождения химических элементов в должной мере не систематизированы и рассеяны по многочисленным публикациям.

В осадочном процессе миграция химических элементов происходит в разных формах: в кристаллической решетке минералов, в водных растворах в виде простых ионов и комплексных соединений, в форме коллоидов, газообразных веществ, в составе живых организмов, а также в адсорбированной форме – особом физико-химическом состоянии вещества на границе раздела вода – твердая фаза. Совокупность компонентов, адсорбированных на поверхности твердой фазы, называют поглощенным комплексом, который легко и относительно быстро трансформируется при изменении состава растворов, контактирующих с твердой фазой. Для грубых взвесей доля адсорбированных элементов в их общем содержании невелика, однако поглощенный комплекс тонких взвесей, обладающих большой удельной поверхностью, может содержать значительные количества химических элементов, сравнимые с количеством их растворенных форм.

В настоящем докладе представлены результаты обобщения данных натурных наблюдений и экспериментальных исследований по содержанию главных катионов в поглощенном комплексе твердых веществ речного стока и его трансформации в морской среде, которые позволили сделать несколько выводов, касающихся количественной оценки роли поглощенных катионов в гипергенной миграции вещества и геохимическом балансе океана.

1. Удельная поверхность речных взвесей находится в диапазоне 6–52 м²/г, составляя в среднем ~20 м²/г, что близко соответствует среднему значению для слаболитифицированных осадочных пород, тогда как в результате катагенеза происходит снижение удельной поверхности примерно на порядок. Между величинами удельной поверхности, с одной стороны, и общей обменной емкости разных минералов и почвенного гумуса, с другой, имеется положительная корреляционная связь (рис.).

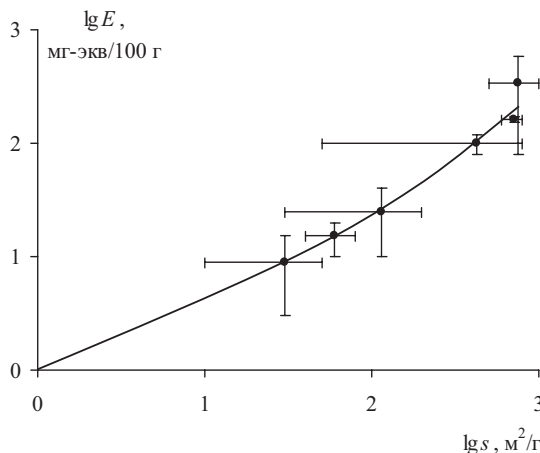


Рисунок. Зависимость емкости поглощенного комплекса глинистых минералов и почвенного гумуса (E) от величины их удельной поверхности (s), по данным [6–10].

2. Общая обменная емкость взвешенных веществ и донных отложений рек и водоемов суши изменяется в широком диапазоне значений: от 1–2 до 60–70 мг-экв/100 г. Наблюдается отчетливо выраженная положительная корреляция между общей обменной емкостью и степенью дисперсности материала. Наиболее тонкие взвеси (фракция <1 мкм) имеют максимальную обменную емкость – около 50 мг-экв/100 г. Общая обменная емкость взвесей и донных отложений рек, относимых к пескам, алевритам и глинам, составляет в среднем соответственно 5, 15 и 36 мг-экв/100 г.

Связь между величиной общей обменной емкости частиц и степенью их дисперсности является, по-видимому, одной из главных причин того, что взвесь и донные отложения рек Центральной Азии характеризуются низкими и примерно одинаковыми величинами общей обменной емкости (около 11 мг-экв/100 г). На водосборах этих рек доминирует механическая денудация, в результате чего происходит значительное увеличение содержания грубых взвесей. В других районах, где механическая денудация не столь сильно превосходит химическую эрозию, общая обменная емкость взвесей

и донных отложений существенно выше, составляя в среднем соответственно 30 и 19 мг-экв/100 г.

Если считать, что последние цифры характеризуют общую обменную емкость взвешенных и влекомых наносов, на долю которых в речном стоке приходится соответственно 80 и 20% [3], средняя величина общей обменной емкости твердых веществ материкового стока будет равна ~28 мг-экв/100 г, или 280 г-экв/т транспортируемого терригенного материала.

3. Среднее значение общей обменной емкости донных отложений океанов и морей (19 мг-экв/100 г) совпадает с величиной, характерной для донных отложений рек и водоемов суши. То же свойственно и тонкой фракции <1 мкм (49 мг-экв/100 г).

4. В речном стоке доля поглощенных катионов в составе их подвижных форм (сумма растворенных и адсорбированных компонентов) зависит от концентрации взвешенных частиц ($C_{\text{взвесь}}$, мг/л) и равна 4% при содержании последних 500 мг/л, увеличиваясь соответственно до 6.5, 11 и 22% при концентрации взвесей 1000, 2000 и 5000 мг/л:

$$\lg \left(\frac{C_{\text{сорб}}^{\text{кат}}}{C_{\text{раств}}^{\text{кат}} + C_{\text{сорб}}^{\text{кат}}} \right) = 0.768 \lg C_{\text{взвесь}} - 3.49, \quad r = 0.923.$$

По наиболее обоснованной оценке [11], материковый сток твердых веществ составляет 15 млрд т/год. При средней общей обменной емкости твердых веществ материкового стока 28 мг-экв/100 г (280 г-экв/т) поток обменных катионов в океан равен 4.2×10^{12} г-экв/год. В растворенной форме с речным стоком в океан поступает 57.6×10^{12} г-экв/год катионов [12]. Отсюда следует, что сток в океан катионов поглощенного комплекса составляет около 7% их общего потока в растворенном и адсорбированном состояниях.

5. Состав поглощенного комплекса речных взвесей, а также донных отложений рек и водоемов суши принципиально отличается от состава поглощенного комплекса донных отложений океанов и морей: в первом случае количественно преобладает кальций, во втором – натрий (табл. 1). При поступлении терригенного материала речного стока в океаны и моря происходит ионообменная трансформация состава поглощенного комплекса, выражающаяся в замещении ~80% обменного кальция в основном на натрий, а также калий и магний морской воды (табл. 2).

6. За счет ионообменной трансформации состава поглощенного комплекса привносимого с суши терригенного материала в океан ежегодно поступает 45.5 млн т растворенного кальция и удаляется соответственно 37.3, 12.8 и 3.9 млн т натрия, калия и магния (табл. 3). В относительных величинах это составляет +7.5, -12.3, -22.4 и -2.6% поступления кальция, натрия, калия и магния в океан с речным стоком.

Таблица 1. Сравнение состава поглощенного комплекса взвесей и донных отложений рек, водоемов суши, океанов и морей, %-экв^{*}

Материал	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Речные взвеси ^{**}	4.0	5.8	18.8	71.4
Донные отложения рек и водоемов суши ^{**}	3.2	2.2	16.4	78.2
Материковый сток твердых веществ ^{***}	3.6	4.0	17.6	74.8
Донные отложения Мирового океана	43.8	15.2	26.5	14.5

^{*} Состав рассчитан как среднее для %-экв, вычисленных по абсолютному содержанию ионов в поглощенном комплексе (мг-экв/100 г) и полученных путем осреднения относительного содержания в %-экв. ^{**} За исключением рек Центральной Азии.

^{***} Среднее для речных взвесей и донных отложений рек и водоемов суши.

Таблица 2. Баланс ионов поглощенного комплекса при взаимодействии терригенного материала с морской водой, %-экв

Материал	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Терригенный материал речного стока (по данным натурных наблюдений)	-40.2	-11.2	-8.9	60.3
Глинистые минералы, равновесные с речной водой (по данным эксперимента)	-37.1	-4.3	-6.5	47.9
Среднее	-38.6	-7.8	-7.7	54.1

Таблица 3. Поступление растворенных катионов основного солевого состава с речным стоком в океан с учетом ионного обмена в поглощенном комплексе твердых веществ

Ион	Поступление в океан, млн т/год			Вклад ионного обмена в поступление в океан (% от поступления с речным стоком)
	речной сток, [12]	ионный обмен в поглощенном комплексе твердых веществ речного стока	поступление с поправкой на ионный обмен	
Na ⁺	300	-37	263	-12.3
K ⁺	58	-13	45	-22.4
Mg ²⁺	152	-4	148	-2.6
Ca ²⁺	613	46	567	7.5

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-05-00624).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martin J.M., Meybeck M. Chemical composition of river-borne particulates // Marine Chem. 1979. V. 7. № 2. P. 193–206.

2. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // *Treatise on Geochemistry*. V. 5. Oxford: Elsevier–Pergamon, 2003. P. 225–272.
3. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.
4. Viers J., Dupre B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database // *Sci. Total Environ.* 2009. V. 407. № 2. P. 853–868.
5. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.
6. Грим Р.Е. Минералогия глин. М.: ИЛ, 1959. 452 с.
7. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Ч. 1. М.: Наука, 1973. 448 с.
8. Forstner U., Wittmann G.T.W. Metal pollution in the aquatic environment. Heidelberg: Springer-Verlag, 1979. 486 p.
9. Дривер Дж. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. 440 с.
10. Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А. и др. Почвоведение. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.
11. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Сафина Г.Р., Гусаров А.В. Глобальный сток наносов и его изменчивость. Университеты России – фундаментальные исследования. География // *Материалы Всероссийской научн. конф.*, Новороссийск, 19–21 сентября 2000 г. М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 70.
12. Савенко В.С. Геохимия континентального звена глобального гидрологического цикла // *Глобальные изменения природной среды–2001*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. С. 274–287.

The results of generalization of natural observations and experimental studies data on major cations content in the exchangeable fraction of river runoff solid matter and on its transformation in seawater are presented. It is shown that the inflow of terrigenous material of river runoff into oceans and seas causes transformation of the exchangeable fraction composition consisting in the replacement of ~80% of exchangeable calcium mostly on sodium, but also potassium and magnesium of seawater. Quantitative estimation of the role of exchangeable cations in supergene migration of the substance and geochemical balance of the ocean is made.