

УДК 551.31

ГЕОХИМИЯ РУСЛОВЫХ НАНОСОВ РЕКИ КАЙ (ВЬЕТНАМ) И ОСАДКОВ ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЫ

© 2014 г. Г. Н. Батури¹, Н. В. Лобус¹, В. И. Пересыпкин¹, В. Т. Комов²¹Институт океанологии им. П.П. Шуршова РАН, Москва
e-mail: galibatur@list.ru²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок

Поступила в редакцию 26.06.2013 г.

Выполнено комплексное литолого-геохимическое исследование системы река–море, включая распределение 56 элементов в донных отложениях вдоль профиля: русло реки Кай–дельта реки–шельф Южно-Китайского моря (Вьетнам). По отношению к среднему составу речных взвесей и глинистых пород континентов рассматриваемые осадки в целом обогащены серой, щелочными элементами (натрием, литием, рубидием, цезием) и рудными металлами (серебром, ураном, висмутом, молибденом, вольфрамом), но на каждом участке профиля элементный состав осадков варьирует при минимальной концентрации тяжелых металлов в начале и в конце профиля. В составе осадков доминирует терригенный материал, с которым связаны рудные компоненты. Несмотря на загрязнение морской воды промышленными и бытовыми стоками, содержание тяжелых металлов в осадках шельфа не превышает допустимых экологических норм, что, вероятно, обусловлено частым взмучиванием осадков волнами и течениями и выносом коллоидного и пелитового материала в открытое море. Проведенное исследование показывает, что значительная или преобладающая часть терригенного материала может поступать в морские бассейны в составе влекомых наносов наряду со взвешенным веществом.

DOI: 10.7868/S0030157414050025

Речные системы являются одним из важных объектов исследования природной среды в фундаментальном и прикладном плане в связи с проблемами экологии, водоснабжения и катастрофическими наводнениями, периодически происходящими на всех континентах в связи с разливом рек, что приводит к размыву и к переотложению значительных масс русловых и прибрежных морских осадков. Наряду с этим речной материал является существенным, а в приустьевых зонах доминирующим компонентом в составе морских и океанских осадков [12], внося также весомый вклад в баланс рудных элементов в океане [5]. В связи с этим материал речного стока является одним из потенциальных источников для процессов океанского рудогенеза.

Изучение режима речного стока, а также состава речной взвеси и русловых наносов проводится в течение многих лет на всех континентах. Результаты этих работ описаны в сотнях публикаций и в нескольких обобщающих обзорах [7–9, 14, 17, 18, 24–27, 29, 30], но реки Вьетнама исследованы в этом плане недостаточно, поскольку в первых работах по гидрологии и гидрохимии рек этого региона рассматривались лишь некоторые из редких элементов [1, 2, 20, 28] и вопрос о полном химическом составе речных наносов оставался открытым. Кроме того, в водах Южно-Китайского моря обнаружено высокое содержание

нитратов, фосфатов и тяжелых металлов, что связано со стоком промышленных и бытовых отходов [16, 28], но степень загрязнения морских осадков изучена слабо.

В 2010 г. сотрудники ИО РАН продолжили эту работу и провели экспедицию для изучения состава вод, взвеси и русловых отложений реки Кай – крупнейшей из рек, впадающих в Южно-Китайское море. Настоящее сообщение посвящено первым результатам этого исследования, выполненного с учетом нашего предшествующего опыта по исследованию геохимии речного стока [4–6, 13, 15, 18].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы речных наносов были собраны Н.В. Лобусом вручную при помощи малогабаритного дночерпателя. Морские осадки с глубин свыше 10 м собраны В.И. Пересыпкиным грунтовой трубкой с катера вьетнамской береговой службы и частично при погружении с аквалангом.

Общее количество рассматриваемого материала – 8 проб, включая русловые наносы р. Кай, осадки ее дельты и конуса выноса, простирающегося вдоль прибрежной части моря с севера на юг (рис. 1), что позволило представить геохимический профиль, отражающий динамику формиро-

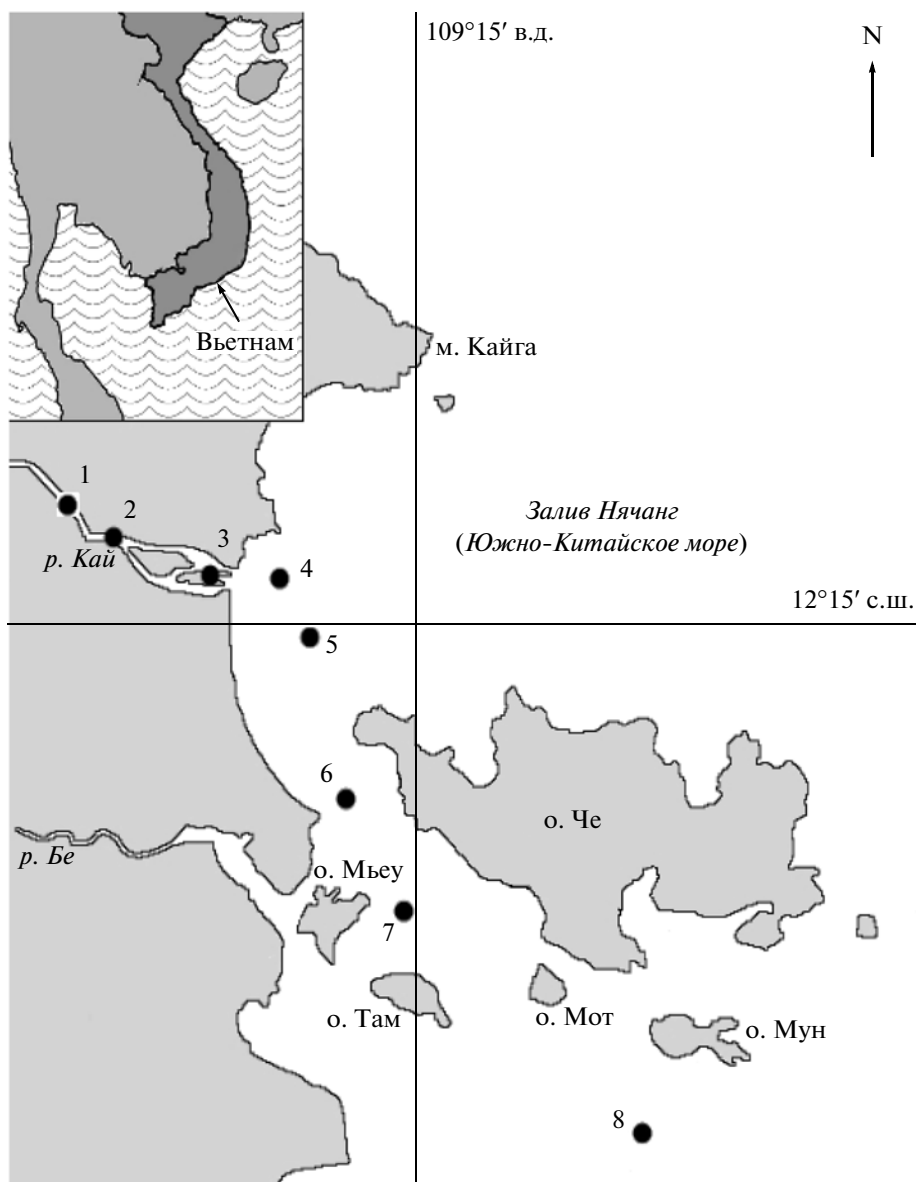


Рис. 1. Карта района работ.

вания состава осадочного материала в системе река–море.

Все исследованные пробы представлены терригенными песчано-глинистыми осадками и собраны с глубин от 2–3 м (русло реки), 8–15 м (дельта) и 17–42.3 м (шельф) (табл. 1).

Элементный состав материала определялся методом ИСП-МС в Аналитическом сертификационном испытательном центре ИПТМ РАН под руководством В.К. Карандашева. Содержание ртути определяли методом беспламенной атомной абсорбции в аналитической лаборатории Института биологии внутренних вод РАН под руководством В.Т. Комова. Органический и карбонат-

ный углерод определяли в лаборатории химии океана ИО РАН (аналитик В.Ю. Гордеев).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты о содержании в осадках макроэлементов, микроэлементов и редкоземельные элементы приведены в таблицах 2–4, что позволяет проследить изменение полного состава осадков вдоль профиля: река–устье–конус выноса–зона морского шельфа. В таблицах приводится также среднее содержание элементов в речных взвешах [17, 30] и частично также в осадочных породах [10] по литературным данным.

Таблица 1. Место отбора и типы отложений

№ станции	Место отбора проб	Глубина, м	Метод сбора	Тип осадка
1	Русло реки	2–3	Пластиковый пробоотборник	Илистый песок
2	То же	3	То же	Песчанистый ил
3	Устье реки	8	»	То же
4	То же	15	»	Пелитовый ил
5	Шельф близ устья	17	Грунтовая трубка	Песчанистый ил
6	То же	19.6	То же	Пелитовый ил
7	Шельф южнее устья	22.7	»	То же
8	То же	42.7	»	То же

Таблица 2. Основной химический состав осадков (%)

Элемент	№ образца								Среднее		
	1	2	3	4	5	6	7	8	А	Б	В
Al ₂ O ₃	11.60	16.80	14.60	17.90	16.30	22.30	16.80	15.60	16.5	16.31	16.48
TiO ₂	0.27	0.36	0.38	0.62	0.48	0.70	0.63	0.62	0.50	0.65	0.73
Na ₂ O	0.55	1.60	2.30	2.70	1.80	3.20	2.50	2.90	2.18	1.10	0.96
K ₂ O	1.80	1.7	2.30	2.50	2.30	2.20	2.40	2.50	2.20	2.58	2.03
CaO	1.40	0.40	0.36	0.58	3.10	0.70	8.20	5.40	2.33	3.63	3.63
MgO	0.27	0.51	0.63	0.93	1.30	1.30	1.90	2.10	2.40	2.40	2.10
Fe ₂ O ₃	2.40	3.70	3.30	4.80	4.60	6.20	5.20	5.50	4.48	7.19	8.31
MnO	0.037	0.026	0.026	0.049	0.046	0.046	0.062	0.077	0.046	0.148	0.21
P ₂ O ₅	0.032	0.075	0.017	0.14	0.072	0.11	0.11	0.11	0.083	0.225	0.46
S _{общ}	0.11	0.16	0.27	0.42	0.51	0.59	0.30	0.26	0.33	0.12	–
C _{орг}	0.74	0.92	0.78	0.73	1.02	0.50	1.00	1.95	0.98	2.0	–
CO ₂	1.23	–	–	0.02	2.50	0.80	–	0.03	1.14	4.0	–

Примечание. А – наши данные, Б и В – среднее для взвеси рек мира по данным [17] и [30].

Основной состав осадков. Результаты определения основного химического состава материала (табл. 2) показывают, что в целом содержание породообразующих элементов колеблется в относительно умеренных пределах.

Первый образец из русла реки обеднен по сравнению со всеми остальными алюминием, титаном, натрием, магнием, железом и серой; второй образец из русла также обеднен, но в меньшей степени, натрием, магнием и серой.

В двух образцах из устья реки (№ 3 и № 4) содержание названных компонентов повышается, причем особенно заметно – в четвертом образце, обогащенном по сравнению с предыдущими алюминием, титаном, магнием, железом и серой, что, видимо, свидетельствует об осаждении из речной воды взвешенного терригенного материала в связи с уменьшением скорости течения.

В морской части профиля образцы (№ 5–№ 8) близки между собой по основному составу за ис-

ключением того, что шестой образец обогащен алюминием (22.3%), титаном (0.7%), натрием (3.20%), железом (6.20%) и серой (0.59%).

Сопоставление средних содержаний этих элементов в рассматриваемых речных и морских осадках показывает, что вторые относительно обогащены алюминием, титаном, натрием, железом, марганцем, органическим углеродом и особенно кальцием и магнием. При этом наблюдается тренд к изменению содержаний и соотношений между макроэлементами в ряду: русловые осадки–дельтовые осадки–морские осадки.

С другой стороны, сопоставление суммарного среднего содержания макроэлементов во всем рассматриваемом осадочном материале со средними данными по взвесям рек мира (табл. 2) и глинистым породам [10] показывает, что содержание алюминия, титана, калия и магния во всех трех сравниваемых объектах почти одинаковы; натрием и серой рассматриваемые отложения обогаще-

Таблица 3. Содержание микроэлементов в осадках (г/т)

Элемент	№ образца									Среднее		
	1	2	3	4	5	6	7	8	от—до	А	Б	В
Ag	1.2	0.23	11.6	12.0	3.3	0.36	2.0	2.4	0.23–12	4.1	0.3	—
As	7.4	13.8	12.4	18.6	18.0	23.6	16.1	11.7	7.4–23.6	15	14	36
Ba	297.0	189.0	217.0	222.0	292.0	237.0	292.0	359.0	189–359	260	500	522
Be	2.3	2.0	2.8	2.4	3.5	2.5	2.4	1.7	1.7–3.5	2.5	1.7	—
Bi	1.1	1.8	1.2	1.6	1.3	2.1	1.0	0.95	0.95–2.1	1.4	0.3	0.85
Cd	0.09	0.06	0.10	0.13	0.06	0.15	0.04	0.02	0.02–0.13	0.09	0.5	1.55
Co	4.3	4.8	4.8	8.1	8.0	9.4	9.6	12.2	4.3–12.2	7.7	19	22.5
Cr	24.7	28.1	34.0	151.0	62.0	53.5	63.0	75.7	24.7–151	60	85	130
Cs	5.8	5.7	6.6	7.9	8.4	8.6	8.2	8.6	5.7–8.6	7.5	5.2	6.25
Cu	18.9	18.5	69.2	74.6	28.2	27.3	27.0	30.6	18.5–74.6	35.8	45	75.9
Ga	14.2	18.3	23.4	19.6	29.0	18.5	19.6	22.4	14.2–29	22	20	18.1
Hf	1.6	2.7	3.3	2.3	2.4	1.8	1.6	1.8	1.6–3.3	2.2	4.4	4.04
Hg	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03–0.06	0.04	0.077	—
Li	26.3	32.0	34.0	44.4	55.5	56.3	62.4	65.8	26–65.8	47	35	8.5
Mo	1.7	3.8	2.5	4.5	2.5	4.1	1.2	0.78	0.78–4.5	2.6	1.8	2.98
Nb	8.9	12.8	18.3	15.8	19.5	13.5	13.3	15.2	8.9–19.5	14.7	13	13.5
Ni	10.8	12.4	20.5	96.6	36.7	19.3	32.4	35.8	10.8–96.6	42.7	50	74.5
Pb	32.2	47.0	86.2	82.5	50.9	49.8	46.5	46.1	32.2–86.2	55	25	61.1
Rb	89	106	88.3	118	83.6	131	124	98.3	89–131	105	77	78
Sb	0.65	0.52	2.7	2.9	1.2	1.0	1.1	1.2	0.65–2.9	1.4	1.4	2.2
Sc	6.7	7.9	12.0	12.6	13.8	12.6	11.2	7.0	6.7–13.8	10.5	14	18.2
Sn	3.3	4.9	4.4	5.4	4.2	6.1	4.2	3.7	3.3–6.1	4.5	2.9	4.57
Sr	70.3	37.1	45.7	59.2	220.0	70.3	544.1	331.0	37–544	172	150	187
Ta	0.86	1.3	1.8	1.4	2.0	1.1	1.2	1.6	0.86–2.0	1.4	0.88	1.27
Th	15.3	19.2	20.2	19.9	21.7	16.7	20.5	22.1	15.3–22.1	19	10	12.1
Tl	0.59	0.77	0.91	0.71	0.95	0.72	0.76	0.75	0.59–0.95	0.77	0.56	0.53
U	3.3	4.7	4.2	4.5	3.6	5.1	3.4	2.8	2.8–5.1	4.0	2.4	3.3
V	43.3	54.9	51.4	76.8	79.9	97.2	83.7	101.0	43.3–101	73	12	129
W	2.6	3.1	4.6	2.8	5.4	2.1	3.1	3.9	2.6–5.4	3.5	1.4	2.0
Y	12.8	14.9	14.9	19.8	18.8	15.5	18.5	12.2	12.2–19.8	16	25	21.9
Zn	65.1	64.5	63.9	96.4	85.3	119.0	93.9	97.0	63.9–119	84	130	208
Zr	42.0	43.30	63.4	96.7	55.0	66.3	74.8	66.6	42–96.7	64	15	160

Примечание. А — наши данные, Б и В среднее для речных взвесей по данным [17] и [30].

ны существенно, но железом — слабо; при этом они значительно обеднены марганцем, серой и в меньшей степени кальцием.

Характерной чертой геохимии всего профиля является то, что дельтовые осадки обогащены по сравнению с речными и морскими большинством породообразующих элементов, включая алюминий, титан, кальций, магний, железо и серу.

Для общего представления об элементном составе осадочного материала необходимо определе-

ние содержания главного породообразующего элемента — кремнезема, который мы не анализировали. Но поскольку среднее соотношение Si/Al во взвесах рек мира, в осадочных породах и в осадочной оболочке Земли находится в пределах от 3 до 3.5 [10, 17, 21, 30], можно предположить, что в рассматриваемых осадках среднее содержание кремнезема составляет 50–55%. Максимальное содержание кремнезема должно приходиться на долю русловых осадков как наиболее обогащенных

Таблица 4. Содержание редкоземельных элементов (г/т)

Элемент	№ образца								Среднее		
	1	2	3	4	5	6	7	8	А	Б	В
La	21.5	15.7	18.8	14.3	31.2	17.2	34.4	34.8	23.5	32	37.4
Ce	55.5	57/4	57.9	42.5	73.2	43.1	81.0	76.8	60.9	68	73.6
Pr	4.7	3.5	4.6	4.0	7.5	4.8	7.6	8.4	5.6	7.7	7.95
Nd	17.5	15.3	17.3	15.9	26.7	19.3	29.9	29.5	21	29	32.2
Sm	3.5	2.8	3.7	3.5	5.3	4.3	5.9	5.6	4.3	5.8	6.12
Eu	0.46	0.36	0.44	0.44	0.78	0.60	0.90	0.97	0.62	1.4	1.29
Gd	2.9	2.5	3.3	3.3	4.6	4.2	4.9	4.6	3.8	5.6	5.25
Tb	0.45	0.41	0.51	0.54	0.70	0.68	0.73	0.66	0.58	0.79	0.82
Dy	2.5	2.4	2.9	3.2	3.8	4.1	3.9	3.5	3.3	4.5	4.25
Ho	0.49	0.49	0.58	0.63	0.72	0.81	0.77	0.64	0.64	0.90	0.88
Er	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.4	2.1	1.8	1.9	2.6	2.23
Tm	0.21	0.23	0.27	0.29	0.34	0.37	0.37	0.25	0.29	0.38	0.38
Yb	1.4	1.5	1.9	2.0	2.0	2.5	2.0	1.7	1.9	2.5	2.11
Lu	0.22	0.22	0.27	0.30	0.28	0.35	0.29	0.24	0.27	0.40	0.35
ΣTR	112.7	102.3	112.0	92.8	159.2	104.7	174.8	169.5	128.6	161.6	174.5
Ce*	1.21	1.63	1.35	1.21	1.04	1.03	1.09	0.98	1.15	0.94	0.93
Eu*	0.63	0.58	0.55	0.56	0.61	0.70	0.73	0.84	0.67	1.076	1.00

Примечание. А – наши данные, Б, В – среднее в речных взвесах по данным [17] и [30]. Ce* и Eu* – цериевая и европиевая аномалии.

алюминием и титаном – традиционными членами этой триады породообразующих элементов.

Микроэлементный состав осадков. Распределение микроэлементов (табл. 3) представляет собой пеструю картину в связи с различиями геохимической подвижности элементов в зоне гипергенеза.

Так, содержание Ba, Be, Bi, Cs, Ga, Hf, Hg, Nb, Rb, Sc, Sn, Th, Ti, U, W, Zn, Zr колеблется не более чем в полтора–два раза, в то время как содержание Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sb, Sr меняется в пределах от трех до двадцати раз.

Графическое изображение средних содержания микроэлементов в рассматриваемых отложениях в сочетании со средним составом взвесей рек мира показано на рис. 2, демонстрирующем значительное сходство суммарного состава исследованных речных и мелководных морских отложений, а также речных взвесей в целом. На этом фоне наиболее рельефно выделяется повышенное содержание серебра в наших образцах.

Для более детальной и наглядной оценки распределения микроэлементов вдоль рассматриваемого литологического профиля целесообразно

разделить все станции отбора проб на четыре группы: а) речные станции (№ 1, № 2); б) устьевые (№ 3, № 4); в) морские ближние к устью (№ 5, № 6); г) морские удаленные от устья (№ 7, № 8). В каждой из этих групп выделяются по два или три элемента с относительно пониженным и с относительно повышенным содержанием из всей рассматриваемой совокупности.

При таком подходе оказывается, что в первой группе (русло реки) нет ни одного микроэлемента с максимальным или минимальным содержанием.

Во второй группе (устьевая зона) наблюдается повышенное содержание серии как рудных элементов (включая серебро, олово, хром, медь, ртуть, молибден, никель, свинец, уран), так и некоторые малоподвижные нерудные (гафний, иттрий, цирконий).

В третьей группе (начало морской части профиля) также наблюдается относительная концентрация серии микроэлементов, отличающейся от предыдущей. Рудные микроэлементы представлены здесь висмутом, оловом, вольфрамом, ураном и цинком, а прочие – мышьяком, бериллием,

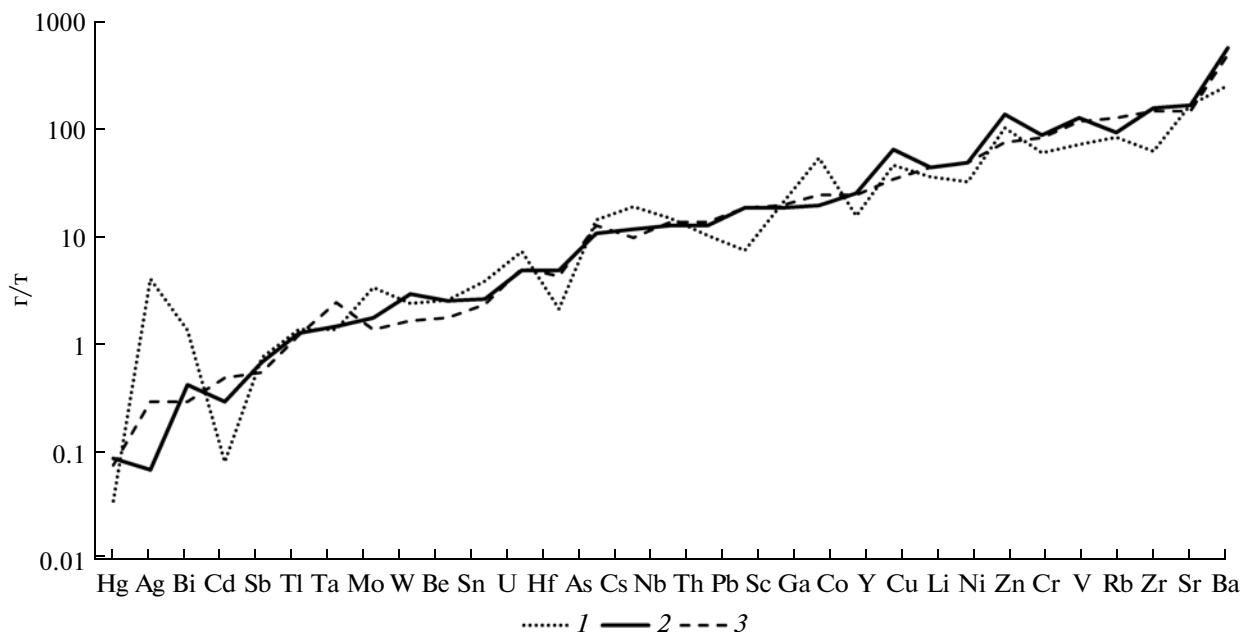


Рис. 2. Распределение средних содержаний микроэлементов (г/т): 1 – в глинистых осадочных породах [10], 2 – в исследованных отложениях, 3 – в речных взвесьях [17].

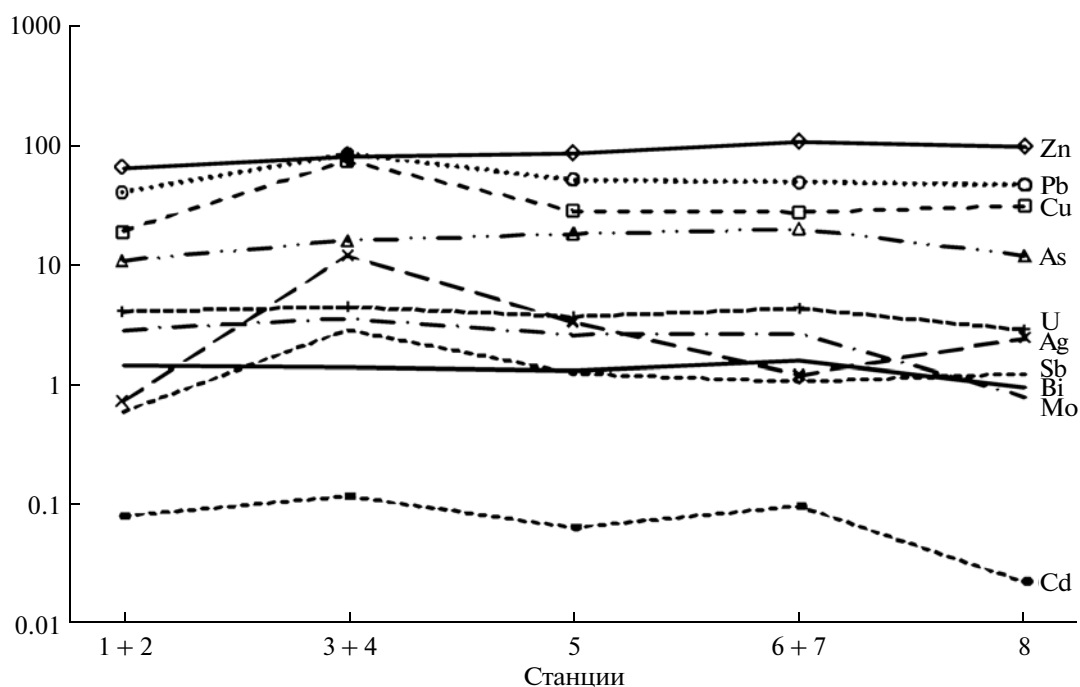


Рис. 3. Распределение (г/т) 10 наиболее характерных микроэлементов в осадках профиля: река Кай (ст. №№ 1,2) – эстуарий (ст. №№ 3, 4) – начало морского участка профиля (ст. № 5) – середина морского участка (ст. №№ 6, 7) – завершение морского участка (ст. № 8).

кадмием, цезием, галлием, ниобием, рубидием, скандием и танталом.

На последних двух станциях профиля (№ 7 и № 8) фиксируются повышенные содержания бария, кобальта, лития, стронция, тория и ванадия

и минимальные содержания бериллия, кадмия, гафния, ртути, молибдена, скандия, олова, урана, иттрия.

Общая картина распределения нескольких металлов вдоль всего профиля показана на рис. 3.

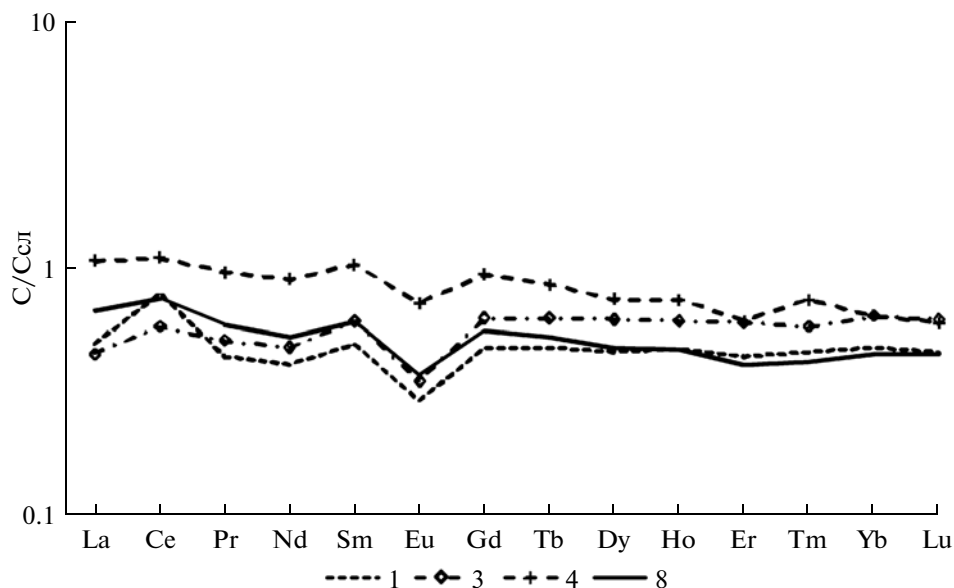


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов в отложениях четырех станций профиля. Содержание РЗЭ нормализовано по сланцам [23].

Рассмотрение этого графика совместно с табл. 3 показывает, что в речной части профиля, где дно промывается течением, обогащенные микроэлементами тонкие фракции не осаждаются. В русловой зоне, где скорость течения падает, на дне накапливается более тонкозернистый и обогащенный микроэлементами материал, как влекомый донным течением, так и взвешенный. В прилегающей к устью зоне шельфа этот процесс продолжается, но ослабевает, а в дальней части шельфа, видимо, затухает.

В ходе этого процесса некоторые элементы распределяются однотипно, образуя определенные ассоциации.

Так, цинк, свинец и мышьяк распределяются на профиле относительно равномерно, с незначительными согласующимися минимумами и максимумами, что обусловлено их принадлежностью к тиофильным элементам.

В состав второй ассоциации входят уран, молибден и висмут, распределение которых на профиле также характеризуется согласующимися подъемами и спадами концентраций.

К третьей ассоциации относятся серебро, медь, свинец и сурьма, отличающиеся наиболее резкими перепадами концентраций, с максимумами в образцах №№ 3, 4, 5 и минимумами в образцах №№ 1, 2, 6, 7.

Еще одна, видимо, менее устойчивая ассоциация намечается в шестом образце, более отдаленном от устья. В ней участвуют мышьяк, висмут, кадмий, молибден, олово, уран и цинк.

Таким образом, некоторые элементы, например, уран и молибден, могут быть членами двух ассоциаций.

Редкоземельные элементы (РЗЭ) в рассматриваемом материале распределены неравномерно, при изменении их суммарного содержания от 92.8 г/т (обр. № 4) до 174.8 г/т (обр. № 7). Аналогичная тенденция характерна для поведения индивидуальных РЗЭ (табл. 4).

Величина цериевой аномалии, рассчитываемая как отношение нормализованного по сланцам (рис. 4, [23]) содержания церия к полусумме нормализованных по сланцам содержаний двух соседних элементов (лантана и празеодима) [3, 11], меняется в пределах от 0.98 (обр. № 8) до 1.63 (обр. № 2), т.е. от нейтральной до повышенной величины. Европиевая аномалия, рассчитываемая аналогичным образом, оказывается во всех случаях отрицательной – от 0.55 (обр. № 3) до 0.84 (обр. № 8).

Сопоставление среднего содержания РЗЭ и средних величин цериевой и европиевой аномалий в речной и морской частях профиля показывает, что по мере движения от реки к морю состав РЗЭ в осадочном материале меняется: их суммарное содержание возрастает, величина цериевой аномалии уменьшается, а величина европиевой аномалии становится менее резкой и приближается к нейтральной (т.е. к 1.0).

В осадках, породах и рудных отложениях океана подобный тип состава РЗЭ не описан [3, 11].

Предшествующие исследования геохимии РЗЭ свидетельствуют, что повышенные значения цериевой аномалии свойственны, во-первых,

Таблица 5. Геохимические индикаторы среды осадконакопления

№ станции	1	2	3	4	5	6	7	8	Ср. 1–4	Ср. 5–8
$C_{орг}$	0.72	0.92	0.78	0.73	1.02	0.50	1.00	1.95	0.78	1.12
U + Mo + Bi (г/т)	6.1	10.3	8.9	10.6	7.4	11.3	5.6	4.5	9.5	7.2
Mo/Mn ($\times 10^3$)	6.5	21	14	13	7.8	13	3	1.5	13.6	6.3
Cd/Mn ($\times 10^4$)	3.2	3.15	5.0	3.4	1.8	4.2	0.8	0.4	3.9	1.8
Fe/S	14.8	15.3	16.2	8.6	12.1	6.3	8.0	7.4	13.7	8.6
Ce*	1.21	1.63	1.35	1.21	1.04	1.03	1.09	0.98	1.35	1.03
Eu*	0.63	0.58	0.55	0.56	0.70	0.61	0.72	0.84	0.58	0.72

Примечание. Ce* и Eu* – цериевая и европиевая аномалии.

магматическим породам среднего состава (с содержанием кремнезема менее 60%) и некоторым гранитам [3], и во-вторых глубокоководным железомарганцевым отложениям гидрогенного типа, накапливающим избыточный церий за счет его окисления и осаждения из морской воды [11].

По поводу отрицательной величины европиевой аномалии можно предположить, что она связана с материалом выветривающихся магматических пород, обедненных европием, к которым относятся, в частности, дациты и граниты, а также некоторые осадочные глинистые породы [3]. Но столь низкие величины европиевой аномалии в осадочных породах – явление необычное.

В данном случае состав пород площади водосбора р. Кай нам неизвестен, а содержание гидроксидов железа и марганца в исследованном материале фоновое. Поэтому решение этого вопроса может быть найдено только путем исследования геохимии пород водосборной площади.

Геохимические индикаторы среды осадконакопления. В качестве индикаторов среды осадконакопления используются концентрации и соотношения элементов с контрастными химическими свойствами, что влияет на характер их распределения. К их числу относятся железо, марганец, сера и некоторые металлы, в частности, уран, молибден, кадмий и другие, которые могут концентрироваться в восстановительной среде. Так, в работе [19] для реконструкции среды осадконакопления использовано соотношение Mo/Mn, а в работе [22] для оценки среды фосфатонакопления – отношение Cd/Mn, что в общем равноценно.

В данном случае целесообразно попытаться оценить окислительно-восстановительную среду осадконакопления на литологическом профиле с контрастными геохимическими характеристиками, включая следующие:

а) содержание в осадках органического углерода: 0.50–1.95%;

б) суммарное содержание элементов-индикаторов восстановительной среды – урана, молибдена и висмута: 4.5–11.3 г/т;

в) отношение Mo/Mn: $(1.5–21) \times 10^3$;

г) отношение Cd/Mn: $(0.4–5.0) \times 10^4$;

д) отношение Fe/S: 6.3–16.2 (как показатель возможного присутствия пирита);

е) средние величины цериевой и европиевой аномалий: соответственно 0.98–1.63 и 0.55–0.84.

Как показывает это сопоставление (табл. 5), осадки речной части профиля заметно отличаются от морских: они вдвое богаче органическим углеродом, ураном и его спутниками; отношение в них молибдена и кадмия к марганцу в 2.5–3 раза выше, а отношение железа к сере несколько ниже, что, возможно, обусловлено наличием в осадках восстановленных форм железа.

Что касается РЗЭ, то в речной части профиля наблюдается максимальная положительная цериевая и минимальная европиевая аномалия, а в морской части – слабая положительная и относительно умеренная отрицательная европиевая аномалия.

В целом эти данные демонстрируют существенные различия геохимии осадков речной и морской части профиля.

Так, диапазон изменчивости величин рассмотренных параметров в речных отложениях меньше, чем в морских. Содержание органического углерода в первом случае равномерно, а во втором меняется от 0.5 до 1.95%. То же относится, но в разной степени к прочим параметрам, при различии средних величин до двух раз, а в отдельных образцах до десяти раз.

Обращает на себя внимание то, что в образце № 6 (морская часть профиля) минимальное содержание органического углерода (0.5%) сочетается с максимальным содержанием тяжелых металлов и высокими величинами отношений

Mo/Mn и Cd/Mn. Но в образце № 8 (конец профиля) картина противоположная: максимальное содержание органического углерода (1.95%) сочетается с минимальным содержанием металлов и соотношений Mo/Mn и Cd/Mn. Но при этом отношение Fe/S в обоих случаях почти одинаково низкое несмотря на большую разницу в содержании органического углерода.

Все это свидетельствует о нетрадиционных соотношениях между халькофильными элементами и $C_{орг}$ в осадках большинства водоемов, где углеродистые отложения обогащаются металлами в ходе седименто- и диагенеза. Причина рассматриваемого явления в том, что в данном случае состав осадков контролируется доминирующей поставкой терригенного материала, который подвергается взмучиванию, переотложению и частичному вымыванию наиболее тонких и легких фракций, накапливающих металлы при замедленных темпах осадконакопления. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты многолетних гидрологических наблюдений в Южно-Китайском море, где активны вдольбереговые течения и часты штормы, взмучивающие донные осадки до значительной глубины [16, 28].

Возможно, именно этим объясняется тот факт, что наши аналитические определения ряда элементов в осадках шельфа Южно-Китайского моря частично отличаются от прежних данных 1998 г. [28]:

	Fe (%)	Mn (%)	P (%)	Cu (г/т)	As (г/т)	Pb (г/т)
Наши определения:	3.25	0.0356	0.0362	35.8	15	55
Определения 1998 г.:	2.6	0.032	0.0248	13.5	7.6	1.3

Как видим, по марганцу наши результаты совпадают, по железу и фосфору наши данные незначительно выше, по мышьяку выше вдвое, по меди — втрое и по свинцу — в сорок раз.

Значит ли это, что за последние годы произошло интенсивное загрязнение осадков свинцом или результат 1998 г. является аналитической ошибкой — остается неясным, но по данным французских авторов [30] среднее содержание свинца в речных взвешях составляет 62 г/т, что совпадает с нашими результатами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование литологического профиля река—море, включая русловые наносы р. Кай, осадки дельты и осадки ближней и отдаленной части шельфа Южно-Китайского моря, выявило черты сходства и различия в элементном составе четырех разновидностей этого осадочного материала и позволяет сделать следующие выводы.

1. Суммарный средний состав исследованного материала близок к среднему составу взвесей рек мира и к среднему составу глинистых пород, при наличии единичных отклонений.

2. В среднем составе породообразующих элементов осадков наблюдается относительно небольшое обогащение натрием и серой и обеднение титаном, фосфором и марганцем.

3. По мере перехода от начала к концу профиля в осадках возрастает содержание макроэлементов: натрия, кальция и магния, в меньшей степени титана, железа, марганца и фосфора.

4. Содержание микроэлементов в осадках профиля значительно варьирует. В русловых осадках оно относительно равномерно, без максимальных и минимальных значений, и лишь в одном образце отмечено обогащение молибденом (3.8 г/т). Дельтовые осадки относительно обогащены Ag, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Y, Zr. В осадках ближайшей к дельте шельфовой станции накапливаются малоподвижные элементы Be, Ga, Nb, Sc, Sn, Ta, Th, W, в осадках следующей станции — более подвижные As, Bi, Cd, Hg, U, V, Zn, а в осадках завершающей части профиля — только Ba, Sr, Li, Co и Th.

5. В составе редкоземельных элементов установлена положительная цериевая и резко отрицательная европиевая аномалия, ослабевающие от начала к концу профиля. Это необычное для морской среды явление связано с терригенными компонентами осадков.

6. Распределение в осадках элементов—индикаторов окислительно-восстановительной среды не согласуется с содержанием $C_{орг}$, что обусловлено переотложением осадочного материала.

7. Относительно низкое содержание в осадках тяжелых металлов в сочетании со сведениями о загрязнении морской акватории промышленными и бытовыми отходами также свидетельствует о периодическом взмучивании осадков и вымывании тонких и легких фракций, обогащенных загрязняющими компонентами.

8. Элементный состав осадков свидетельствует об их преимущественно терригенном происхождении. Высокая скорость накопления терригенного материала препятствует процессу аутигенного накопления в осадках элементов, связанных с органическим веществом.

9. Существенное обогащение дельтовых осадков серебром и сопутствующими элементами может быть признаком наличия обогащенных металлами пород на площади водосбора.

10. Близость состава русловых наносов р. Кай и терригенных осадков шельфа Южно-Китайского моря свидетельствует, что этот материал поступает в море как в виде речных взвесей, так и в виде влекомых речных наносов, роль которых может

быть преобладающей. Для создания полной картины речного стока необходимо исследовать наряду со взвесью также и речные наносы, в составе которых могут быть элементы, отсутствующие во взвеси.

Работа выполнена при поддержке Программы № 23 Президиума РАН "Мировой океан".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникиев В.В., Боцул А.И., Дударев О.В.* Распределение, фракционирование и потоки редкоземельных элементов в системе взвесь – донные отложения эстуария рек Меконг, Сайгон – Южно- Китайское море // *Геохимия*. 2001. № 9. С. 986–996.
2. *Аникиев В.В., Дударев А.В., Колесов Г.М., Шумилин Е.М.* Распределение и фракционирование элементов во взвеси эстуариев системы: река Сайгон– Южно–Китайское море // *Геохимия*. 1993. № 5. С. 709–719.
3. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
4. *Батури Г.Н.* Соотношение форм миграции урана в водах некоторых рек СССР // *Докл. АН СССР*. 1968. Т. 178. № 3. С. 268–272.
5. *Батури Г.Н., Коченов А.В.* Миграция урана в реках и время его пребывания в водах Мирового океана, морей и озер // *Геохимия*. 1969. № 6. С. 715–722.
6. *Батурины Г.Н., Лобус Н.В., Персыткин В.И., Комов В.Т.* Геохимия русловых наносов реки Кай (Вьетнам) // *Матер. XX Междун. конфер. по морской геологии*. М.: ГЕОС, 2013. Т. 4. С. 4–7.
7. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
8. *Гордеев В.В.* Геохимия системы река–море. М.: Сам Полиграфист, 2013. 452 с.
9. *Гордеев В.В., Лисицын А.П.* Средний химический состав взвесей рек мира и питание океана речным осадочным материалом // *Докл. АН СССР*. 1978. Т. 238. № 1. С. 225–228.
10. *Григорьев Н.А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // *Геохимия*. 2003. № 7. С. 785–792.
11. *Дубинин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.
12. *Лисицын А.П.* Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 440 с.
13. *Лобус Н.В.* Содержание ртути в донных отложениях водоемов Южного Вьетнама // *Токсикологический вестник*. 2012. № 2. С. 47–52.
14. *Лопатин Г.В.* Наносы рек СССР. М.: Географгиз, 1952. 366 с.
15. *Морозов Н.П., Батури Г.Н., Гордеев В.В., Гурвич Е.Г.* О составе взвесей и осадков устьевых районов Северной Двины, Мезени, Печоры и Оби // *Гидрохим. материалы*. 1974. Т. 60. С. 60–74.
16. *Павлов Д.С., Новиков Д.Д., Левенко Д.А.* (ред.). Особенности структуры и функционирования прибрежных экосистем южно-Китайского моря. Москва–Ханой: ГЕОС, 2006. 289 с.
17. *Савенко В.С.* Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.
18. *Савенко В.С., Покровский В.С., Дюпре Д., Батури Г.Н.* Химический состав взвешенного вещества крупных рек России и сопредельных стран // *Докл. РАН*. 2004. Т. 398. № 1. С. 97–101.
19. *Холодов В.Н., Недумов Р.И.* О геохимических критериях появления сероводородородного заражения в водах древних водоемов // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1991. № 12. С. 74–82.
20. *Шулькин В.М., Христофорова Н.К.* Геохимия металлов в устьевой зоне реки Меконг // *Докл. АН СССР*. 1988. Т. 301. № 1. С. 206–209.
21. *Ярошевский А.А.* Распространенность химических элементов в земной коре // *Геохимия*. 2006. № 1. С. 54–62.
22. *Baturin G.N.* Compositional variability in the oceanic phosphorites along the profile from the shelf to the pelagic zone // *Oceanology*. 2002. V.42. Suppl. 1. P. S122–S134.
23. *Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L.* The North American "shale composite": Its compilation, major and trace elements characteristics // *Geochm. et cosmochim. acta*. 1984. V. 48. № 12. P. 2469–2482.
24. *Martin J.M., Gorgeev V.V.* River input to ocean systems: a reassessment // *Estuarine Processes*. Paris: UNEE-SCO Workshop, 1986. P. 203–240.
25. *Martin J.M., Guan D.M., Elbaz-poulichet F., Thomas A.J., Gorgeev V.V.* Preliminary assessment of the distribution of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in a pristine aquatic environment: the Lena river delta (Russia) // *Mar. Chem.* 1993. V. 43. № 1–4. P. 185–200.
26. *Martin J.M., Meybeck M.* Elemental mass-balance of material carried by major world rivers // *Marine Chemistry*. 1979. V. 7. № 2. P. 173–206.
27. *Meybeck M.* Pathways of major elements from land to ocean through rivers // *River inputs to the Ocean Systems*. UNESCO, 1981. P. 18–30.
28. *Pham Van Tom.* Environmental quality of Nhatrang bay // *Workshop on SIDA, SAREC, CMC, IMO, MOST project Pollution Prevention and Management in the Coastal Waters of Vietnam*, 31 March–1 April. Nhatrang, 1998. P. 1–19.
29. *Rachold V.* Major, trace and rare earth element geochemistry of suspended particulate material of East Siberian Rivers draining to the Arctic Ocean // *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: dynamic and history* // Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 199–222.
30. *Viers J., Dupre B., Gaillardet J.* Chemical composition of suspended sediments in World Rivers // *Science Direct*. 2009. V. 407. P. 853–868.

Geochemistry of Bed Deposits of Kay River (Vietnam) and Sediments of River Mouth Zone

G. N. Baturin, N. V. Lobus, V. I. Peresipkin, V. T. Komov

The combined litological and geochemical investigation of river – sea system including distribution of 56 elements in bottom sediments along the profile: river Kay bed - river mouth – shelf of South–China Sea (Vietnam) was accomplished. The sediments in whole are enriched relative to average concentration of elements in river suspensions and continental clays in sulfur, alkaline elements (sodium, potassium, lithium, rubidium, cesium) and ore metals (silver, uranium, bismuth, molybdenum, tungsten), but the elemental composition is variable on each part of the profile with reduced concentration of heavy metals at the beginning and end of profile. The terrigenous matter prevails in sediments and is hosting the ore components. In spite of staining of the sea water by industrial and live wastes the concentration of heavy metals in shelf sediments does not exceed the ecological limits which is possibly related to repeated returbation of sediments by waves and currents and transportation of colloidal and polymeric material into open sea. This investigation demonstrates that essential or prevailing part of terrigenous material might be carried into marine basins in form of bottom streams along with suspended matter.