

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. АМУР

О.А. Сорокина¹, Н.В. Зарубина²

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, пер. Релочный 1, г. Благовещенск, 675000,
e-mail: library@ascnet.ru

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток,
690022, e-mail: nat-zarubina@yandex.ru

Поступила в редакцию 22 февраля 2010 г.

Проведен анализ химического состава донных отложений р. Амур с помощью современных аналитических методик. Состав донных осадков и характер распределения редкоземельных элементов обусловлены влиянием нескольких источников. Установлено, что наиболее вероятным источником донных отложений исследованного участка р. Амур могут являться кремнекислые магматические или метаосадочные породы.

Ключевые слова: донные отложения, редкоземельные элементы, мультиэлементные диаграммы, р. Амур.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы большое внимание уделяется исследованиям распределения, фракционирования химических элементов в взвесах, донных отложениях рек, эстуариев, прибрежно-морских и океанических зон различных регионов мира [1–4, 8, 16, 19–23, 25–31, 34]. Так, в серии работ В.В. Анিকেва с соавторами рассмотрены факторы трансформации состава терригенного материала и определены природные процессы, регулирующие поведение редкоземельных элементов в эстуарной системе рек Меконг–Сайгон–Южно-Китайское море [3], проведена оценка роли биологического и литодинамического факторов в фракционировании химического состава взвеси по отношению к осадочным породам [1], идентифицировано влияние природных и антропогенных факторов на трансформацию состава терригенного материала на изучаемой территории [4]. Необходимо отметить также работу Д.М. Полякова [15], в которой представлены результаты изучения накопления элементов субколлоидной и пелитовой фракций донных отложений на разрезе р. Раздольная–Амурский залив. В работе В.С. Савенко [16] обобщены данные о содержании химических элементов во взвешенных наносах рек мира, показано закономерное их изменение на территориях водосборных бассейнов, выявлены региональные геохимические аномалии. Кроме

того, необходимо отметить работу А.В. Дубинина [8], в которой дан полный анализ поведения редкоземельных элементов в океанических осадках, взвесах, отдельных минеральных фазах осадков.

В то же время вопросы, касающиеся закономерностей формирования химического состава донных отложений крупных рек российского Дальнего Востока, остаются слабо изученными. Здесь следует отметить работы Ф.С. Кота [11], в которых исследованы концентрации ртути и некоторых рассеянных металлов в донных отложениях среднего и нижнего течения р. Амур. В настоящее время, в связи с развитием аналитической базы, имеется возможность выявить основные закономерности распределения широкого круга элементов, в том числе редкоземельных, в отложениях р. Амур, а также выявить ассоциации элементов, повышенное содержание которых обусловлено влиянием техногенеза.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе был исследован химический состав донных отложений р. Амур в интервале от пос. Радде (N=48°34'38", E=130°36'44") до приустьевой части р. Туловчиха (N=48°05'23", E=130°40'14") (рис. 1). Таким образом, была исследована часть долины среднего течения р. Амур протяженностью около 60 км.

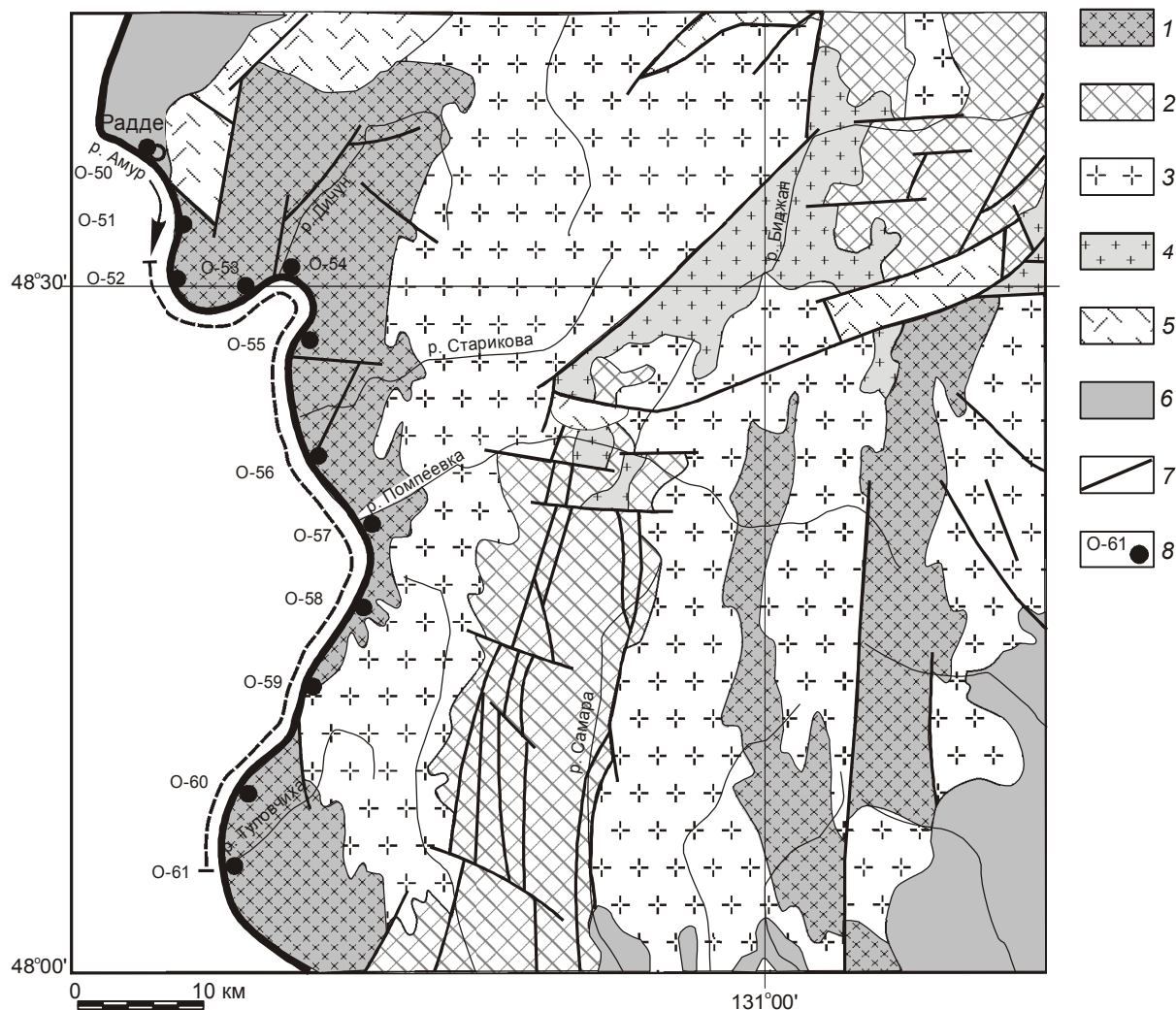


Рис. 1. Геологическая схема района исследования (составлена по [17]).

1 – метаморфические комплексы амурской серии (ранний докембрий), 2 – кембрийские терригенно-карбонатные отложения, 3 – раннепалеозойские граниты и лейкограниты, 4 – позднепалеозойские и раннемезозойские граниты, гранодиориты; 5 – меловые вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования, 6 – кайнозойские рыхлые отложения, 7 – разломы, 8 – точки отбора проб. Пунктирной линией показан участок исследования.

В районе исследования долина р. Амур достаточно узкая. Ширина русла составляет 600–1000 м, и этот участок долины с крутыми обрывистыми склонами известен как “Хинганские ворота”. По бортам долины выделяется серия речных террас и их фрагментов. В частности, развиты вторая и первая надпойменные террасы высотой 10–20 м и 5–10 м, соответственно, сложенные разнозернистыми песками, песчано-гравийно-галечными отложениями, глинами. Кроме того, отчетливо выражены низкая и высокая поймы, разрез которых имеет двучленное строение. Нижняя часть представлена русловой фацией и сложена гравийниками, галечниками с редкими валунами и заполнителем из разнозернистого песка. Верхняя часть пойменной фации

сложена сложно переслаивающимися песками, суглинками, глинами, илами [5].

В пределах указанного интервала долина р. Амур пересекает разновозрастные геологические образования (рис. 1). Наиболее древние из них представлены метаморфическими комплексами, условно относимыми к раннему докембрию и известными в геологической литературе как “амурская серия” [5, 7]. С полями развития метаморфических комплексов пространственно ассоциируют древнебуреинский, салокачинский и амурский магматические комплексы [5, 7]. На всех геологических картах они условно отнесены к раннему докембрию, однако недавно получена серия изотопных определений, свидетельствующих об их более молодом возрасте [12, 13].

Значительным распространением в пределах описываемого участка пользуются разновозрастные гранитоидные комплексы, традиционно относимые к трем основным возрастным уровням: ордовикскому, средне-позднекаменноугольному, пермо-триасовому [5, 7, 14]. Наконец, наиболее молодые образования представлены раннемеловыми андезитами станолірской свиты и кислыми вулканическими породами солонечной свиты, имеющими локальное распространение выше по долине р. Амур от исследуемого участка (рис.1).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Опробование донных отложений проводилось вдоль левого берега р. Амур, с шагом 6–7 км. В пределах рассматриваемого участка реки эти отложения представляют собой глинисто-песчаные и глинистые рыхлые породы. Отбор проб производился с помощью самодельного пробоотборника из верхних (до 10 см) горизонтов отложений. Вес отобранной пробы составлял приблизительно 0.5 кг. Пробы высушивались до воздушно-сухого состояния, затем из этого материала выделялась фракция частиц размером менее 1 мм, которая измельчалась с помощью механического истирателя.

Определение содержаний породообразующих оксидов в породах выполнено рентгенофлуоресцентным методом в Институте геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск), а содержаний элементов-примесей – рентгенофлуоресцентным методом в Институте геологии и природопользования ДВО РАН (Zr, Nb) и методом ICP MS (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Mo, Cd, Cs, Ba, REE, Ta, W, Pb, Th, U) в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН (г. Владивосток).

Гомогенизация порошковых проб для рентгенофлуоресцентного анализа выполнялась путем сплавления со смесью метабората и тетрабората лития в муфельной печи при 1050–1100° С. Измерения проводились на рентгеновском спектрометре Pioneer 4S (Брукер, Германия). Величины интенсивности аналитических линий корректировались на фон, эффекты поглощения и вторичной флуоресценции. Вскрытие образцов для определения содержаний элементов-примесей методом ICP-MS осуществлялось по методике кислотного разложения в смеси кислот HF, HNO₃, HClO₄ [9, 10] в отношении 2.5:1:0.5. Измерения проводились на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США).

Для реконструкций источников химических элементов в донных отложениях были использованы данные по химическому составу коренных пород, распространенных в пределах рассматриваемого

района, любезно предоставленные А.Б. Котовым (ИГГД РАН, Санкт-Петербург) и А.А. Сорокиным (ИГиП ДВО РАН), а также опубликованные в [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты анализа концентраций химических элементов в донных отложениях исследованного участка р. Амур приведены в табл. 1.

Распределение редкоземельных элементов в исследованных образцах умеренно дифференцировано (рис. 2), величина отношения $[La/Yb]_n = 9.6–14.9$, при преобладающих значениях от 10 до 12. Характерной чертой распределения также является обогащение легкими лантаноидами по отношению к средним и относительно пологий график в области средних и тяжелых лантаноидов, о чем свидетельствуют отношения $[La/Sm]_n = 3.3–4.1$ и $[Gd/Yb]_n = 1.1–2.2$ (в единичном образце до 2.5). Все спектры редкоземельных элементов имеют отчетливо выраженную отрицательную европиевую аномалию – $Eu/Eu^* = 0.7–0.9$.

Оценивать закономерности распределения химических элементов можно, опираясь как на абсолютные, так и на относительные концентрации. Учитывая, что р. Амур пересекает разновозрастные и разнообразные по составу геологические образования, представляется целесообразным в качестве эталона для сравнения донных осадков этой реки использовать средневзвешенный состав верхней континентальной коры. Анализ мультиэлементных графиков (рис. 3), где в качестве нормировочного фактора использован состав верхней континентальной коры по С. Тэйлору и С. Макленнану [32], свидетельствует о следующем. Составы донных отложений р. Амур в сравнении с указанным эталоном характеризуются относительным дефицитом редкоземельных элементов, а также Mg, Ca, P, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Nb, Pb, Mo, Ta, в меньшей степени – Ti, Fe, Na, K, Sr, Rb, W. Концентрации Ba, наоборот, незначительно повышены. Содержания Pb, Th, U, Mn варьируют, при этом в одних образцах отмечается некоторый дефицит этих элементов, в других – избыток. Аналогичный вывод следует и из таблицы 2.

В целом, можно отметить, что уровень концентраций и характер распределения химических элементов в донных осадках исследуемого участка р. Амур соответствует таковым в породах верхней континентальной коры.

В то же время, представляется интересным сравнить состав исследуемых донных отложений с такими геохимическими “реперами”, как усредненный состав глинистых сланцев и почв. Донные отложения Амура вполне близки как первому, так и вто-

Таблица. 1. Химический состав представительных образцов донных отложений.

Обра- зец	O-50- Д	O-51- Д	O-52- Д	O-53- Д	O-54- Д	O-55- Д	O-56- Д	O-57- Д	O-58- Д	O-59- Д	O-60- Д	O-61- Д
SiO ₂	70.96	69.83	72.19	70.75	61.57	72.41	71.62	60.72	71.01	71.99	73.16	74.34
TiO ₂	0.50	0.62	0.75	0.65	0.83	0.56	0.66	0.77	0.39	0.52	0.52	0.55
Al ₂ O ₃	12.82	13.62	12.55	13.38	15.22	13.27	13.06	15.02	14.43	13.24	12.87	12.04
Fe ₂ O ₃	2.66	4.01	3.70	3.80	6.08	3.36	3.08	5.52	2.68	3.09	3.10	2.95
MnO	0.07	0.13	0.01	0.11	0.21	0.09	0.09	0.17	0.05	0.09	0.07	0.08
MgO	0.71	0.86	0.76	0.88	1.32	0.73	0.81	1.39	0.70	0.76	0.73	0.61
CaO	2.00	1.88	2.16	1.85	1.83	1.80	2.16	1.96	2.20	1.90	2.05	2.11
Na ₂ O	3.01	2.39	2.66	2.62	2.15	2.64	2./82	2.18	3.52	2.92	2.75	2.56
K ₂ O	3.11	2.98	3.31	3.00	2.62	3.12	3.25	2.63	2.77	3.14	3.31	3.48
P ₂ O ₅	0.10	0.14	0.11	0.13	0.21	0.11	0.12	0.22	0.10	0.11	0.10	0.09
Ba	660	683	722	719	669	714	739	550	837	774	747	760
Rb	93	82	77	80	94	80	79	108	80	87	80	75
Sr	340	349	340	290	270	320	321	280	343	340	350	340
Cs	2.79	4.94	3.69	4.50	7.80	3.97	3.61	6.94	3.11	4.35	3.53	3.04
La	17.56	18.57	20.53	24.48	28.52	16.79	21.48	27.86	13.74	20.86	16.44	16.97
Ce	37.08	40.47	45.52	50.37	63.85	37.00	45.43	59.74	28.96	43.51	35.37	35.57
Pr	4.36	4.79	5.36	5.61	7.23	4.30	5.19	6.96	3.42	4.93	4.13	4.04
Nd	16.75	18.43	20.35	20.84	27.84	16.50	19.97	26.79	13.15	18.57	15.57	15.04
Sm	3.08	3.47	3.76	3.80	5.18	3.17	3.45	4.91	2.36	3.28	2.84	2.60
Eu	0.82	0.87	0.84	0.85	1.09	0.83	0.86	1.03	0.71	0.84	0.77	0.71
Gd	2.73	3.07	3.06	3.36	4.65	2.78	3.16	4.44	2.09	2.85	2.44	2.26
Tb	0.39	0.44	0.40	0.46	0.65	0.39	0.42	0.60	0.29	0.38	0.33	0.30
Dy	2.12	2.39	2.12	2.58	3.59	2.25	2.31	3.37	1.57	2.10	1.90	1.69
Ho	0.43	0.48	0.42	0.49	0.71	0.45	0.47	0.66	0.31	0.41	0.37	0.33
Er	1.14	1.27	1.08	1.34	1.93	1.21	1.26	1.76	0.81	1.09	0.98	0.92
Tm	0.17	0.20	0.15	0.20	0.29	0.17	0.19	0.26	0.12	0.16	0.14	0.13
Yb	1.06	1.20	0.98	1.29	1.81	1.19	1.17	1.61	0.75	1.05	0.90	0.86
Lu	0.16	0.19	0.15	0.19	0.26	0.17	0.17	0.25	0.11	0.15	0.13	0.12
Y	12.3	11.3	9.6	12.1	17.5	11.2	11.5	18.8	7.8	10.5	9.5	8.6
Zr	41.5	34.8	26.3	34.1	53.4	37.3	31.0	60.3	18.5	25.6	21.2	20.5
Nb	5.77	4.22	4.14	4.60	6.22	3.84	5.34	8.45	4.26	4.19	3.89	3.93
Ta	0.38	0.39	0.27	0.38	0.21	0.22	0.28	0.32	0.28	0.26	0.27	0.29
Th	6.00	5.71	5.97	7.29	10.13	5.48	5.20	11.86	3.90	6.75	4.16	3.80
U	1.74	2.03	10.47	2.06	4.02	1.73	1.44	5.47	1.08	1.51	1.04	0.30
Sc	5.1	5.6	4.2	5.6	9.0	5.1	5.0	9.4	3.6	5.1	4.3	3.7
V	32.6	36.5	29.8	35.9	60.8	31.4	32.1	62.9	18.7	31.7	27.8	22.5
Co	5.2	6.9	5.3	6.1	11.7	5.8	5.3	11.5	3.8	5.8	4.8	3.9
Cu	7.2	7.3	4.7	7.1	15.9	8.5	4.8	16.0	4.1	6.9	4.0	2.7
Ni	12.9	16.3	15.5	12.1	28.0	44.2	40.11	32.9	46.9	18.1	27.3	13.4
Cr	25.0	25.0	25.4	25.7	40.9	56.1	31.4	49.7	46.3	41.0	40.4	28.7
Pb	18.9	18.2	24.3	18.2	24.4	20.2	18.1	24.1	16.7	18.1	15.0	14.6
Mo	0.52	0.84	0.74	1.15	0.83	1.50	1.74	0.99	1.50	1.50	1.70	0.70
W	1.32	1.77	1.11	1.19	1.23	1.53	1.18	1.82	2.19	1.25	1.40	1.10
Zn	36.2	48.3	41.0	38.8	73.7	37.8	36.1	75.4	40.0	37.6	25.9	30.1
Cd	0.086	0.110	0.350	0.340	0.310	0.210	0.300	0.193	0.160	0.184	0.180	0.153

*Примечание. Концентрация основных элементов (от SiO₂ до P₂O₅) выражена в %, микроэлементов – в мкг/г.

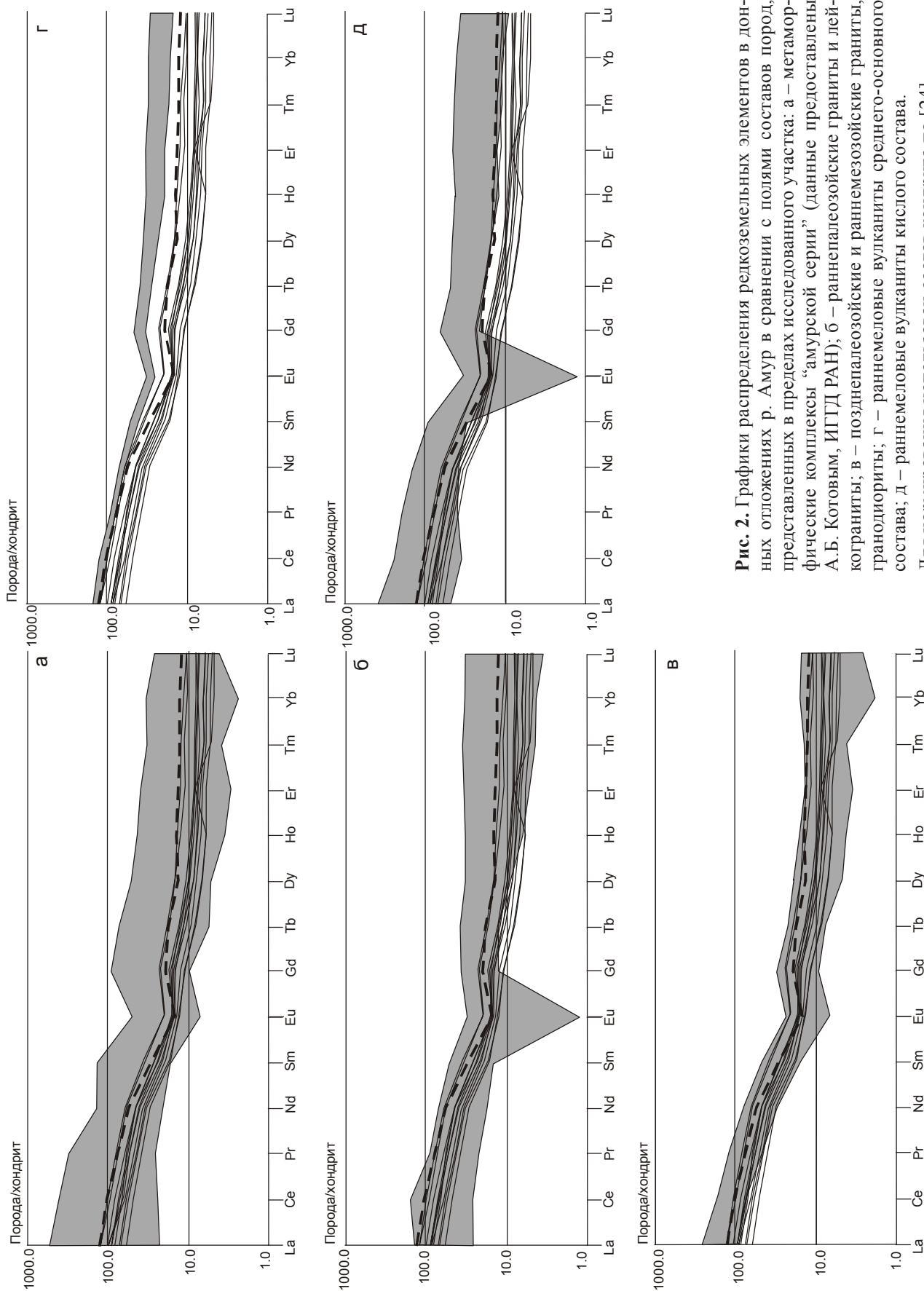


Рис. 2. Графики распределения редкоземельных элементов в донных отложениях р. Амур в сравнении с полями составов пород, представленных в пределах исследованного участка: а – метаморфические комплексы “амурской серии” (данные предоставлены А.Б. Коговым, ИГГД РАН); б – раннепалеозойские граниты и лейкокраниты; в – позднепалеозойские и раннемезозойские граниты, гранодиориты; г – раннемеловые вулканиты среднего-основного состава; д – раннемеловые вулканиты кислого состава. Для нормирования использован состав хондрита по [24].

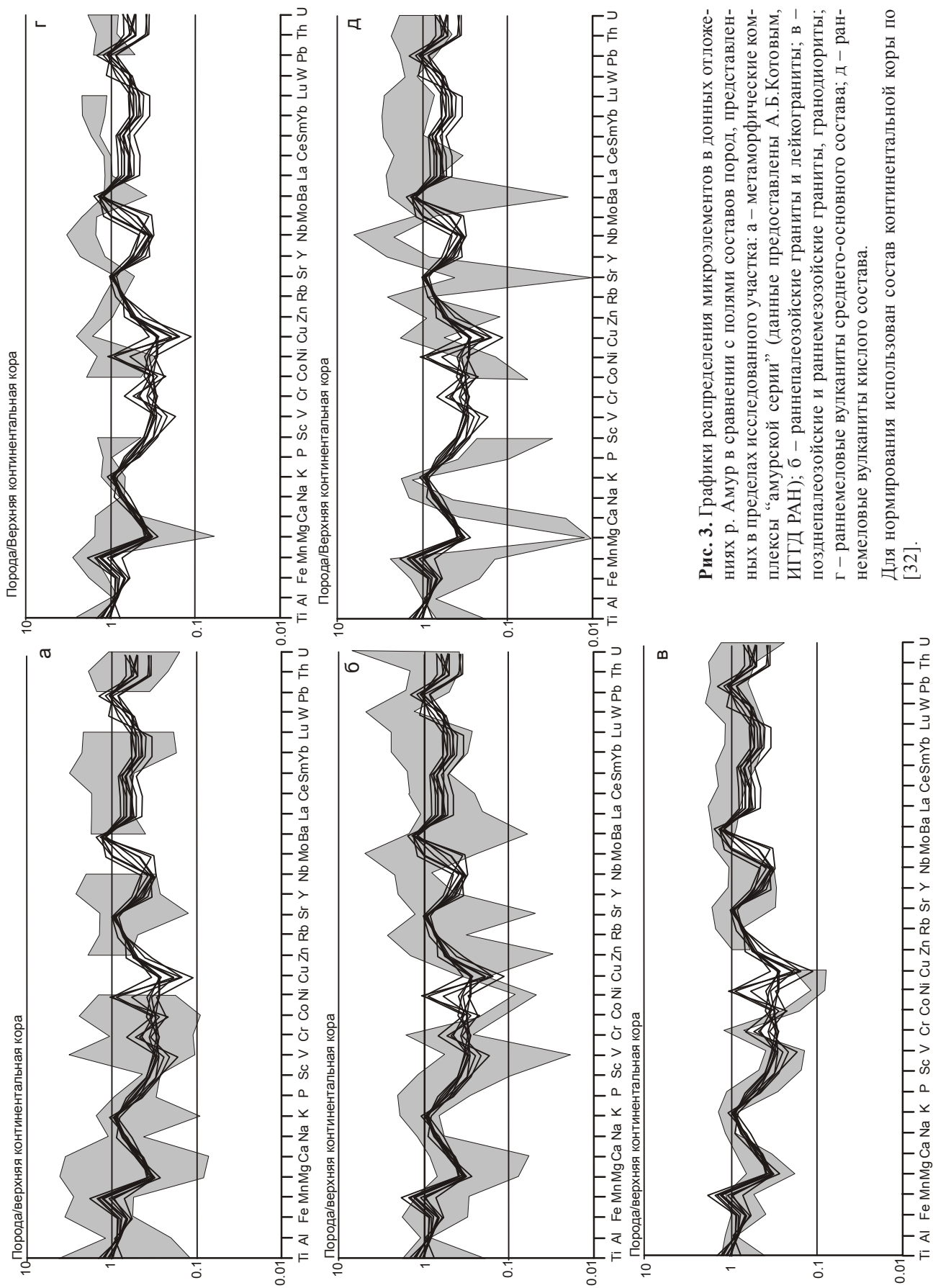


Рис. 3. Графики распределения микроэлементов в донных отложениях р. Амур в сравнении с полями составов пород, представленных в пределах исследованного участка: а – метаморфические комплексы “амурской серии” (данные предоставлены А.Б.Котовым, ИГГД РАН); б – раннепалеозойские граниты и лейкограниты; в – позднепалеозойские и раннемезозойские граниты, гранодиориты; г – раннемеловые вулканиты среднего-основного состава; д – раннемеловые вулканиты кислого состава.
Для нормирования использован состав континентальной коры по [32].

Таблица 2. Состав донных отложений р. Амур и распространенность химических элементов в верхней континентальной коре, осадочных породах и почвах.

	Донные отложения р. Амур		Распространенность химических элементов		
	Средние значения	Min–max	Верхняя континентальная кора [32]	Сланцы, глина [33]	Почва [6]
SiO ₂	70.05	60.7–74.3	65.89	51.0	70.66
TiO ₂	0.61	0.39–0.83	0.50	0.75	0.76
Al ₂ O ₃	13.46	12.04–15.22	15.17	19.77	13.48
Fe ₂ O ₃	3.67	3.1–6.08	4.49	4.80	5.48
MnO	0.11	0.01–0.21	0.07	0.05	0.07
MgO	0.86	0.61–1.32	2.20	2.22	1.04
CaO	2.00	1.83–2.20	4.19	3.54	1.92
Na ₂ O	2.69	2.15–3.52	3.89	0.89	0.85
K ₂ O	3.06	2.62–3.48	3.39	2.75	1.96
P ₂ O ₅	0.13	0.09–0.22	0.20	0.18	0.18
Ba	715	550–837	550	800	500
Rb	84.4	75–108	112	200	100
Sr	324	270–350	350	450	300
Cs	4.36	2.79–7.80	4.6	12	5
La	20.35	13.74–28.52	30	40	40
Ce	43.66	35.37–63.85	64	50	50
Pr	5.03	3.42–7.23	7.1	5	6.7
Nd	19.2	13.15–27.84	26	23	25
Sm	3.5	2.36–5.18	4.5	1	6.4
Eu	0.85	0.71–1.09	0.88	6.5	0.76
Gd	3.08	2.09–4.65	3.8	1	4.2
Tb	0.45	0.29–0.65	0.64	0.9	0.7
Dy	2.34	1.57–3.59	3.5	-	3
Ho	0.47	0.31–0.71	0.8	1.2	0.7
Er	1.32	0.92–1.93	2.3	2.5	0.8
Tm	0.19	0.12–0.29	0.33	0.25	0.7
Yb	1.19	0.86–1.81	2.2	3	0.8
Lu	0.18	0.11–0.26	0.32	0.7	0.7
Y	11.7	7.8–18.8	22	30	50
Zr	12	18.5–53.4	190	200	300
Nb	4.9	3.84–8.45	12	20	-
Ta	0.296	0.21–0.39	1.0	3.5	-
Th	6.35	3.8–11.86	10.7	11	6
U	1.99	0.3–10.47	2.8	3.2	5
Sc	5.46	3.6–9.4	13.6	10	7
V	35.23	18.7–62.9	107	130	100
Co	6.34	3.8–11.7	17	20	8
Cu	7.43	2.7–16.0	85	57	20
Ni	25.6	12.1–46.9	25	95	40
Cr	36.3	25.0–56.1	85	100	200
Pb	19.2	14.6–24.4	17	20	10
Mo	1.14	0.52–1.74	1.5	2	2
W	1.42	1.10–2.19	2.0	2	
Zn	43.41	25.9–75.4	71	80	50
Cd	0.21	0.09–0.35	0.098	0.3	0.5

*Примечание. Концентрация основных элементов (от SiO₂ до P₂O₅) выражена в %, микроэлементов – в мг/кг.

рому (табл. 2). В частности, в сравнении со средним составом почв [6] в донных отложениях Амура отмечается незначительный дефицит Mg, Fe, Al, Ca, Cr, Cu, V. Кроме того, содержания Ni, Co, Zn, Pb не превышают таковых в породах, представленных в пределах изучаемого участка. Заметим, что в пределах бассейна р. Амур расположены горнопромышленные предприятия, оказывающие влияние на практически все компоненты долинных ландшафтов. Учитывая результаты исследования, отметим, что повышенные концентрации элементов, которые могут быть обусловлены влиянием техногенеза, не выявлены.

Выше было показано, что в пределах исследованного участка долины р. Амур наибольшим распространением пользуются метаморфические комплексы амурской серии, а также палеозойские и раннемезозойские гранитоиды, меньшим – раннемеловые вулканические комплексы (рис.1). В этой связи можно предположить, что указанные породы внесли свой (большой или меньший) вклад в формирование донных отложений этого участка реки.

Сопоставление характера распределения редкоземельных элементов в донных осадках р. Амур и в различных горных породах, представленных в пределах исследованного участка, приведено на рис. 2, 3. Из него следует, что графики распределения лантаноидов в донных осадках р. Амур в наибольшей степени соответствуют полям составов пород метаморфических комплексов, а также раннепалеозойских и раннемезозойских гранитоидов (рис. 2 а, б, в; 3 а, б, в). В пользу этого свидетельствуют также приведенные выше значения отношений $[La/Yb]_n$, $[La/Sm]_n$, $[Gd/Yb]_n$, Eu/Eu^* , указывающие на то, что наиболее вероятным источником донных отложений исследованного участка долины р. Амур могут являться кремнекислые магматические или метаосадочные породы. Существенные различия в распределении редкоземельных элементов в донных осадках и раннемеловых вулканических породах (рис. 2 г, д; 3 г, д), обладающих геохимическими признаками внутриплитного происхождения [18], позволяют предполагать, что последние, по-видимому, не оказали существенного влияния на состав донных осадков. К аналогичному выводу можно прийти, сравнивая мультиэлементные графики для донных осадков р. Амур и таковых для различных горных пород, представленных в пределах исследованного участка.

ВЫВОДЫ

Резюмируя проведенные исследования, можно отметить, что они не претендуют на полноту, однако позволяют сделать следующие выводы:

В целом уровень содержаний и характер распределения химических элементов в донных осадках

исследуемого участка р. Амур хорошо согласуются с таковыми как в раннепалеозойских и раннемезозойских гранитоидах и метаморфических породах “амурской серии”, представленных в пределах данного участка, так и в верхней континентальной коре.

Необходимо также отметить, что в рассматриваемых образцах не выявлено повышенных концентраций химических элементов (V, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb), которые могли бы быть обусловлены влиянием промышленного производства.

Авторы выражают признательность А.Б. Котову за предоставленные сведения о химическом составе пород “амурской серии”.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-05-00372-а), инициативного проекта ДВО РАН (грант № 09-III-09-496) и Президиума ДВО РАН (Программа “Комплексные исследования в бассейне р.Амур”).

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность О.В. Чудаеву и рецензентам за ценные советы, конструктивные замечания и пожелания при обсуждении рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникеев В.В., Дударев О.В., Касаткина А.П. и др. Влияние терригенных и биогенных факторов на формирование седиментационных потоков химических элементов в прибрежной зоне Японского моря // Геохимия. 1996. № 1. С. 59–72.
2. Аникеев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М. и др. Факторы, определяющие мезомасштабную изменчивость распределения взвешенного вещества и химических элементов в водах эстуария р. Амур – Охотское море // Геохимия. 2001. № 1 С. 71–94.
3. Аникеев В.В., Боцул А.И., Дударев О.В. и др. Распределение, фракционирование и потоки редкоземельных элементов в системе взвесь – донные отложения эстуария рек Меконг, Сайгон – Южно-Китайское море // Геохимия. 2001. № 9. С. 989–996.
4. Аникеев В.В., Шумилин Е.Н., Дударев О.В. и др. Пространственная изменчивость распределения литологических характеристик и химических элементов в донных осадках шельфа Южно-Китайского моря, примыкающего к дельтам рек Меконг-Сайгон // Геохимия. 2004. № 12. С. 1301–1318.
5. Атрашенко А.Ф., Жевержеева М.К. Геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Изд-е. 2. Бурейнская серия. Лист М-52-(XXXV), XXXVI. СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.
6. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
7. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2500000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
8. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука. 2006. 360 с.
9. Зарубина О. В., Кузнецова А. И., Склярова О. А. и др. Контроль правильности определения микроэлементов в почвах

- и донных грунтах с использованием разных методов анализа // Аналитика и контроль. 2002. Т. 6, № 5. С. 579–583.
10. Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А. и др. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в элементном анализе окружающей среды // Заводская лаборатория. 2007. Т. 73, № 1. С. 12–22.
 11. Кот Ф.С. Рассеянные металлы в донных отложениях р. Амур и зоны смешения в Охотском море // Геохимия. 1998. № 1. С. 102–107.
 12. Котов А.Б., Великославинский С.Д., Сорокин А.А. и др. Возраст амурской серии Буря-Цзямусинского супертеррейна Центрально-Азиатского складчатого пояса): результаты Sm-Nd изотопных исследований // Докл. РАН. 2009. Т. 428, № 5. С. 637–640.
 13. Котов А.Б., Сорокин А.А., Сальникова Е.Б. и др. Раннепалеозойский возраст габброидов амурского комплекса (Буря-Цзямусинский супертеррейн Центрально-Азиатского складчатого пояса) // Докл. РАН. 2009. Т. 424, № 5. С. 644–647.
 14. Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондрагьева В.А. Объяснительная записка к схеме корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области. Хабаровск: Дальгеология, 1990. 215 с.
 15. Поляков Д.М. Геохимия накопления металлов донными осадками маргинального фильтра р. Раздольная – Амурский залив. 1. Пелитовая фракция // Геохимия. 2009. № 1. С. 63–71.
 16. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.
 17. Селиванов В.А., Святогорова Н.И., Барсукова Л.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Новая серия. 1:1 000 000. М-52(53) / Ред. Е.М. Заблочкий. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995.
 18. Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Сорокин А.П. и др. Геохронология и корреляция мезозойских магматических образований северной окраины Амурского супертеррейна // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т.12, № 6. С. 38–54.
 19. Albanese S., Vivo B. De, Lima A., Cicchella D. Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy) // Jour. Geochem. Explor. 2007. V. 93, N 1. P. 21–34.
 20. Jain C.K., Singhal D.C., Sharma M.K. Metal pollution assessment of sediment and water in the River Hindon, India // Environmental Monitoring and Assessment. 2005. V 105, N 1–3. P. 193–207.
 21. Lesven L., Lourino-Cabana B., Billon G. et al. On metal diagenesis in contaminated sediments of the Deûle river (northern France) // Applied Geochem. 2010. V. 25, N 9. P. 1361–1373.
 22. Marmolejo-Rodrigues A.J., Prego R., Meyer-Willerer A. et al. Rare earth elements in iron oxy-hydroxide rich sediments from the Marabasco River-Estuary system (Pacific coast of Mexico). REE affinity with iron and aluminium // J. Geochem. Explor. 2007. V. 94, N 1–3. P. 43–51.
 23. Martin C.E., McCulloch M.T. Nd-Sr isotopic and trace element geochemistry of river sediments and soils in a fertilized catchment, New South Wales, Australia // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1999. V. 63, N 2. P. 287–305.
 24. McDonough, Sun S-s. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V.120, N 3–4. P. 223–253.
 25. Nakajima T., Terakado Y. Rare earth elements in stream waters from the Rokko granite area, Japan: Effect of weathering degree of watershed rocks // Geochem. Journ. 2003. V. 37, N 1. P. 181–198.
 26. Pekka L., Ingri J., Widerlund A. et al. Geochemistry of the Kola River, northwestern Russia // Applied Geochem. 2004. V. 19, N 12. P. 1975–1995.
 27. Pustelnikovas O. Geocological estimation of sedimentation peculiarities of chemical element genetic forms in some basins of the South Baltic // Geologija. 2007. N 57. P. 1–13.
 28. Ranasinghe P.N., Fernando G.W.A.R., Dissanayke C.B. et al. Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains // J. of Geochem. Explor. 2009. V. 109, N 2–3. P. 97–114.
 29. Roy S., Gaillardet J., Allegre C.J. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Siene river, France: Anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1999. V. 63, N 9. P. 1277–1292.
 30. Segura R., Arancibia V., Zúñiga M.C., Pastén P. Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho river in Santiago, Chile // J. Geochem. Explor. 2006. V. 91, N 1–3. P. 71–80.
 31. Song Y., Ji J., Mao C. et al. Heavy metal contamination in suspended solids of Changjiang River – environmental implications // Geoderma. 2010. V. 159, N 3–4. P. 286–295.
 32. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publ., 1985. 312 p.
 33. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59, N 7. P. 1217–1232.
 34. Xie S., Cheng Q., Xing X. et al. Geochemical multifractal distribution patterns in sediments from ordered streams // Geoderma. 2010. V. 160, N 1. P. 36–46.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым