

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАСЕЙНА РЕКИ АМУР¹

© 2011 г. В. А. Чудаева*, В. П. Шестеркин**, О. В. Чудаев***

*Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук

690041 Владивосток, ул. Радио, 7

**Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения
Российской академии наук

680000 Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

***Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Российской академии наук

690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

Поступила в редакцию 16.06.2010 г.

Рассмотрен широкий круг микроэлементов в растворе и взвеси водных объектов бассейна р. Амур, испытывающих разную антропогенную нагрузку. Установлены их значительные вариации на отдельных участках, связанные как с природными условиями, так и с воздействием антропогенных факторов в районах крупных городов (Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре), а также с трансграничным переносом с территории Китая. В качестве трассеров такого переноса предлагаются растворенные Мо, Вг, I.

Ключевые слова: р. Амур, микроэлементы, растворенная форма, взвешенные вещества, загрязнение.

Р. Амур — одна из наиболее крупных рек мира с огромной площадью водосбора (1840 тыс. км²), определяющей большое разнообразие природных условий, в частности климатических: от влажных прибрежных районов Тихого океана на востоке до континентальных пространств Восточной Сибири, Монголии и северного Китая на западе. На водосборе представлены породы почти всех геологических систем и групп. По составу это разнообразные осадочные и вулканогенно-осадочные породы, прорванные интрузиями и эффузивами.

К бассейну р. Амур привлечено внимание ученых разных стран, что связано с большим влиянием стока реки на морскую среду (выносом растворенных и взвешенных веществ в Амурский лиман, и Охотское моря) и с экологическими проблемами — загрязнением речной воды, осадков и гидробионтов (в том числе и за счет выноса с территории Китая, особенно после крупной аварии в 2005 г. на химическом комбинате в г. Цзилинь, когда в р. Амур поступило большое количество растворенных веществ) [10, 24, 27].

Химический состав поверхностных вод в бассейне р. Амур изучался и изучается относительно де-

тально (в отношении макросостава, биогенных и органических веществ (ОВ), гидробиологических параметров) Росгидрометом и рядом исследователей [9, 10, 12–14, 24–28]). Значительно хуже исследовался микроэлементный состав. Историческое значение имеют в настоящее время работы [5, 6]. Позднее в [7, 8] было рассмотрено распределение микроэлементов в донных осадках р. Амур. Исследования в 1982–1989 гг. [17, 18] — наиболее детальные до настоящего времени. Однако изменившиеся аналитические возможности позволяют дополнить их более современными и расширить круг элементов. В данной работе приведена сводка авторских данных, что позволяет оценить концентрации микроэлементов в р. Амур и некоторых притоках при разной антропогенной нагрузке, а также дополнить и уточнить полученные ранее данные, сопоставить их с имеющимися литературными сведениями для крупнейших рек мира.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы воды отбирались на разных участках бассейна р. Амур в различные периоды времени в основном его русле и в некоторых притоках разного порядка. Наиболее детально проведены исследования в бассейне р. Усури, дренирующей большую часть территории Приморья, а в нижней части основного русла — и с территории Китая (рис. 1).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проекты 09П-А09-518, 09-1-ОНЗ-20, 09-1-П16-03, 09-П-СО-08-008, 09-П-А08-414, 09-П-А09-494) и РФФИ (проект 10-05-00658).

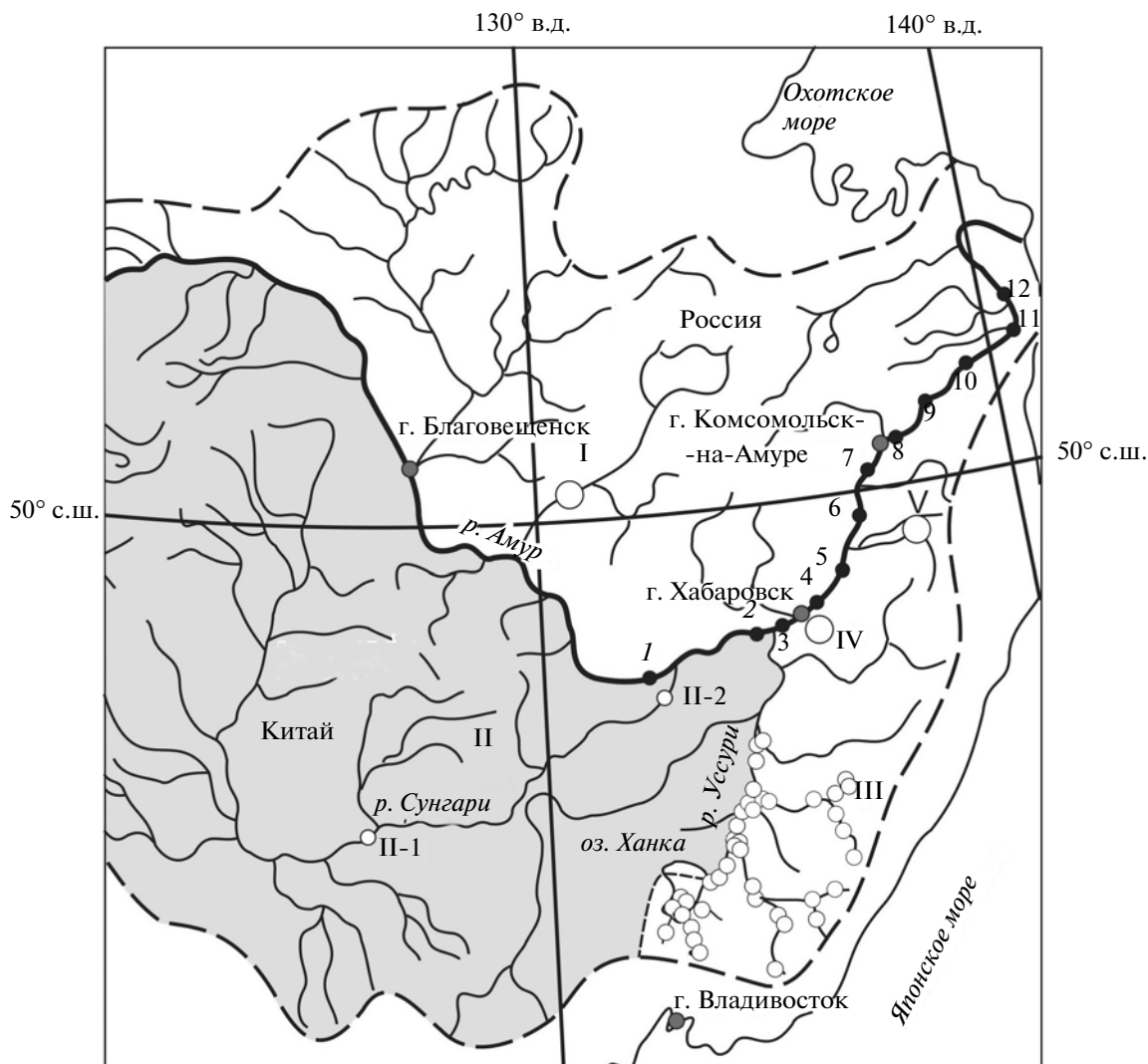


Рис. 1. Карта-схема опробования поверхностных вод в бассейне р. Амур. Основное русло: 1 – Средний Амур ниже с. Амурзет; 2 – выше г. Хабаровск (створ 1); 3 – Амурская протока; 4 – район г. Хабаровска (створ 2); 5 – Нижний Амур, пос. Сикачи-Алян; 6, 7 – села Троицкое, Малмыж; 8 – г. Комсомольск-на-Амуре; 9–11 – поселки Нижнетамбовское, Циммермановка, Софийск; 12 – с. Богородское. Водосбор: I – Бурейское водохранилище, II – р. Сунгари (II-1 – г. Харбин; II-2 – г. Тунцзян), III – бассейн р. Усури (Приморье), IV – р. Березовая, V – р. Аной.

По единой методике были проанализированы также две пробы в р. Сунгари, крупном правом притоке, дренирующем территорию Китая. Опробован створ р. Амур выше г. Хабаровска, позволяющий проследить возможное загрязнение, поступающее с р. Сунгари.

В 2003–2006 гг. трижды был исследован створ р. Амур у г. Хабаровска, где вносится в реку и местное загрязнение. Локальное загрязнение хорошо прослеживается на примере летнего и зимнего отборов проб в малом притоке р. Амур – р. Березовая, протекающей по территории Хабаровска. В разные годы опробованы выборочные участки на Нижнем Амуре. В качестве фона были взяты 2 участка на р. Аной и 9 (3 створа с разных глубин) – на Бурей-

ском водохранилище. В общей сложности исследовано >110 проб.

Пробы воды фильтровались непосредственно в процессе их отбора или в ближайшее время после на мембранных фильтрах с размером пор 0.45 мкм, что позволяло разделять микроэлементы на взвешенную и растворенную формы. Кроме того, для трех проб на участке отбора проведено их последовательное перефильтровывание на фильтрах 0.1 мкм для установления доли “растворенной” формы (в виде коллоидного и тонкодисперсного вещества) размером 0.1–0.45 мкм.

Фильтры со взвесью перед определением разлагались сильными кислотами.

Определение микроэлементов проводилось масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой в Токийском университете на приборе фирмы “Hewlett Packard-4500” в трех повторностях. Дополнительные исследования выполнены аналогичным методом в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН на приборе Agilent 7500С.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные материалы по микроэлементному составу вод р. Амур и некоторых его притоков, хотя и не дают единовременной картины распределения отдельных элементов, но позволяют оценить их значения и соотношения на разных участках. Поскольку воды р. Амур и притоков имеют преимущественно слабощелочную реакцию, это не способствует миграции многих элементов (в том числе Fe, Mn и многих связанных с их окислами микроэлементов, прежде всего сульфидной группы).

Растворенная форма

Концентрация Al в р. Амур сравнительно низкая в сравнении со средним значением в речном стоке (50 мкг/л [2, 35]), хотя в отдельных случаях встречаются и повышенные значения (до ≥ 100 мкг/л, чаще — в бассейне р. Усури, одного из наиболее крупных притоков Амура) (табл. 1, 2). В [41] показано, что при высокой концентрации Al (в наиболее тонкой фракции < 5 мкм) он преимущественно коррелирует с гидроокислами Fe, а его замеренные растворенные концентрации зависят от размеров пор фильтров. В настоящем исследовании около половины растворенного Al (Al_p) (на основании трех проб) находилось во фракции 0.45–0.1 мкм, т.е. присутствовало в условно растворенной форме (фильтрат < 0.45 мкм) — в виде тонкой предколлоидной или коллоидной фракции [41]. Это позволяет судить о том, что Al_p имеет в целом более низкие значения, зависящие в разных случаях и от количества взвешенных веществ, и от их гранулометрического распределения, а также от состава пород водосборной площади, степени выветренности алюмосиликатных минералов.

Содержание Fe_p в р. Амур и водах его бассейна несколько выше средних его значений для рек мира (40 мкг/л [3, 35]). Причина — присутствие обширных заболоченных территорий, определяющих образование устойчивых Fe-органических комплексов (прежде всего коллоидного размера). Повышенная мутность вод р. Амур определяет и возрастание роли тонкодисперсного вещества в растворенной фракции (фильтрате < 0.45 мкм) при общепринятой методике фильтрации. Вероятно, это определило заметно повышенное (до 1 мг/л) (табл. 1) значение Fe_p в одной из проб — в Амурской протоке. В то же время в воде р. Березовой, наиболее загрязненной среди рек Хабаровского края, рас-

творенные концентрации Fe были невысокими (табл. 2). В фоновых водах (р. Анной) встречено всего 7–14 мкг Fe/л (табл. 1, 2).

Таким образом, многочисленные данные, полученные в последние годы, а также ранее [17, 18], не дают основания говорить о высоких (нередко > 1 мг/л) концентрациях Fe_p в водах р. Амур, как приводится в [4, 11, 39, 42]. В этих случаях в основном использованы результаты для нефилтрованных проб воды или фильтрованных на бумажных фильтрах, что определяет повышение значений Fe_p за счет растворения подвижной части взвешенной формы в процессе анализа. Известно, что подавляющая часть суммарного Fe (часто $> 90\%$) переносится именно взвешенным веществом, в том числе и в Амуре, что фиксировалось и ранее [17, 18].

На примере трех проб, отобранных в бассейне р. Усури, установлено, что, аналогично Al_p , около половины Fe_p может переноситься в виде тонкодисперсной фазы (0.45–0.1 мкм), что хорошо согласуется с [41], где до 60% Fe_p в карельских реках, богатых ОВ, находится в коллоидной фракции 0.22–0.8 мкм.

Содержания Mn_p были более изменчивы (табл. 1, 2), но в целом ниже, чем для глобального речного стока, — 2.3 мкг/л [3]. Значительное повышение Mn_p (до 360 мкг/л) было отмечено в Амурской протоке и у г. Хабаровска, где сказывается заметное загрязнение вод (особенно зимой). В крупнейших реках мира отмечаются сравнительно невысокие концентрации Mn_p : в Миссисипи 0.4–0.9 [45], в Маккензи < 1 –3 мкг/л [41], хотя в целом по литературным данным для речных вод отмечается большая разброс значений Mn_p . Кроме некоторых методических различий в определении, это связано в первую очередь с чувствительностью Mn к изменениям щелочных и окислительно-восстановительных условий, обусловленных природными процессами (в частности, восстановительными условиями зимой — прежде всего подо льдом) и антропогенным фактором. По данным авторов настоящей статьи более половины Mn_p приходилось на фракцию 0.1–0.45 мкм.

Концентрации Br, I в водах бассейна р. Амур невысокие (табл. 1, 2). Повышенные их значения в р. Березовой можно отнести за счет характерного здесь загрязнения вод, в то время как в р. Сунгари это, скорее всего, обусловлено поступлением вещества с пустынных районов северного Китая. Их повышенные концентрации фиксировались и в Приморье в снеге (нередко окрашенном), приносимом из этих районов. Соотношения Br/Na и Br/Cl в снеговой воде окрашенной пробы в 2002 г. на порядок превышало величину, характерную для морской воды, что указывает на аридный источник выноса вещества в атмосферу [21].

Концентрация Mo, Sb, As в основном составляет десятые доли мкг/л с минимальными значениями в

Таблица 1. Содержание растворенных элементов в р. Амур, мкг/л (здесь и в табл. 2 числитель – пределы изменения, знаменатель – среднее значение; в скобках – количество проб; прочерк – отсутствие данных)

Элемент	Место отбора проб				
	Средний Амур	Амур, створ выше Хабаровска (до впадения р. Усури)	Амур в районе Хабаровска (после впадения р. Усури)	Нижний Амур	Амурская протока
Al	$\frac{78.4-98.6}{88.5(2)}$	$\frac{1.9-20.0}{9.2(5)}$	$\frac{1.9-74.7}{17.5(15)}$	$\frac{16.4-138.4}{53.8(12)}$	137.5 (1)
Fe	$\frac{172.4-182.8}{177.6(2)}$	$\frac{65.4-173.3}{105.8(5)}$	$\frac{34.8-331}{170(5)}$	$\frac{15.6-390.1}{130.8(12)}$	1064.3 (1)
Mn	$\frac{4.38-6.8}{5.6(2)}$	$\frac{0.46-2.17}{1.28(5)}$	$\frac{35.4-167}{85.8(15)}$	<1–1.8 (12)	361.2 (1)
Br	–	$\frac{6.7-11.5}{9.3(5)}$	$\frac{3.2-13.3}{8.4(11)}$	$\frac{6.1-9.4}{7.5(6)}$	–
I	–	$\frac{1.7-3.7}{2.7(5)}$	$\frac{1.14-9.4}{3.82(15)}$	$\frac{0.77-6.6}{2.6(10)}$	–
Ge	–	$\frac{0.05-0.07}{0.06(5)}$	$\frac{0.013-0.36}{0.1(13)}$	$\frac{0.007-0.14}{0.074(6)}$	0.005 (1)
Mo	$\frac{0.24-0.37}{0.31(2)}$	$\frac{0.72-1.1}{0.9(5)}$	$\frac{0.38-1.33}{0.71(15)}$	$\frac{0.30-1.37}{0.72(12)}$	0.23 (1)
Sb	$\frac{0.071-0.072}{0.07(2)}$	$\frac{0.15-0.21}{0.18(5)}$	$\frac{0.14-0.86}{0.25(15)}$	$\frac{0.12-0.24}{0.27(12)}$	0.08 (1)
As	$\frac{0.40-0.62}{0.51(2)}$	$\frac{0.85-1.1}{0.96(5)}$	$\frac{0.33-0.92}{0.61(14)}$	$\frac{0.52-1.4}{0.78(13)}$	1.17 (1)
V	$\frac{0.34-0.58}{0.46(2)}$	$\frac{0.42-0.65}{0.55(5)}$	$\frac{0.04-0.57}{0.22(13)}$	$\frac{0.26-0.44}{0.37(12)}$	0.86 (1)
Cr	$\frac{0.33-0.46}{0.39(2)}$	$\frac{0.016-0.076}{0.04(5)}$	$\frac{0.1-1.9}{0.58(15)}$	<0.1–0.37 (13)	0.48 (1)
Co	$\frac{0.039-0.045}{0.042(2)}$	–	$\frac{0.05-0.31}{0.09(15)}$	–	1.23 (1)
Ni	–	$\frac{0.52-0.77}{0.67(5)}$	$\frac{0.60-1.42}{0.96(15)}$	$\frac{0.19-1.1}{0.60(9)}$	–
Cu	$\frac{0.91-7.4}{4.2(2)}$	$\frac{1.36-1.94}{1.76(5)}$	$\frac{1.63-3.8}{2.5(15)}$	$\frac{0.9-2.9}{1.4(13)}$	10.6 (1)
Zn	$\frac{5.45-7.0}{6.2(2)}$	$\frac{0.35-1.89}{0.87(5)}$	$\frac{1.05-24.3}{7.28(15)}$	$\frac{0.1-5.7}{2.5(12)}$	30.9 (1)
Cd	$\frac{0.001-0.020}{0.011(2)}$	$\frac{0.007-0.016}{0.0104(5)}$	$\frac{0.007-0.14}{0.057(10)}$	<0.01–0.018	0.007 (1)
Li	$\frac{0.72-1.35}{1.04(2)}$	$\frac{1.68-2.27}{1.9(5)}$	$\frac{0.66-2.2}{1.43(15)}$	$\frac{0.73-2.44}{1.26(13)}$	0.74 (1)
Rb	$\frac{0.49-0.65}{0.57(2)}$	$\frac{0.61-0.72}{0.65(2)}$	$\frac{0.94-1.61}{1.18(15)}$	$\frac{0.36-1.1}{0.66(13)}$	0.95 (1)
Cs	$\frac{0.003-0.005}{0.004(2)}$	$\frac{0.017-0.18}{0.050(5)}$	$\frac{0.003-0.01}{0.006(15)}$	$\frac{0.005-0.045}{0.014(9)}$	0.010 (1)
Sr	$\frac{43.3-59.8}{51.6(2)}$	$\frac{102.5-130}{116.8(5)}$	$\frac{57.9-112.4}{89.1(15)}$	$\frac{40.8-84.4}{58.9(13)}$	40.3 (1)
Ba	$\frac{9.5-10.9}{10.2(2)}$	$\frac{16.1-22.7}{19.4(5)}$	$\frac{13.0-25.7}{20.0(15)}$	$\frac{8.2-20.1}{11.5(13)}$	13.7 (1)
Th	$\frac{0.020-0.030}{0.025(3)}$	$\frac{0.086-0.11}{0.098(5)}$	$\frac{0.05-0.31}{0.16(15)}$	$\frac{0.012-0.23}{0.14(10)}$	0.026 (1)
U	$\frac{0.09-0.21}{0.15(2)}$	$\frac{0.23-0.43}{0.32(5)}$	$\frac{0.04-0.27}{0.18(15)}$	$\frac{0.09-0.21}{0.17(12)}$	0.066 (1)

Таблица 2. Содержание растворенных элементов в р. Амур, мкг/л

Элемент	Место отбора проб					
	Бассейн р. Усури (с бассейном оз. Ханка)	р. Усури, (нижний участок)	р. Березовая	р. Сунгари	р. Анюй	Бурейское водохранилище
Al	$\frac{1.04-308.3}{51.5(58)}$	$\frac{9.1-56.7}{33.4(8)}$	—	<1–9.3 (2)	$\frac{1.9-3.3}{2.6(2)}$	$\frac{1.2-1.9}{1.55(9)}$
Fe	$\frac{4.9-288.5}{57.5(50)}$	$\frac{5-50.1}{25.1(6)}$	$\frac{5.9-115.2}{39.2(5)}$	$\frac{66.2-88.2}{77.2(2)}$	$\frac{6.9-13.6}{10.2(2)}$	$\frac{52.2-162.7}{98.2(9)}$
Mn	$\frac{0.05-23.5}{2.4(48)}$	$\frac{0.77-3.36}{1.58(6)}$	$\frac{0.3-165}{35.0(12)}$	—	$\frac{0.44-2.1}{1.25(2)}$	$\frac{0.18-0.40}{0.26(9)}$
Br	$\frac{1.8-40.7}{18.6(24)}$	$\frac{12-17}{14.5(2)}$	$\frac{4.5-643}{80.2(12)}$	$\frac{15.7-19.0}{17.35(2)}$	$\frac{0.4-1.1}{0.73(2)}$	$\frac{1.1-8.7}{2.47(9)}$
I	$\frac{0.51-7.1}{3.1(26)}$	$\frac{0.51-1.8}{1.24(3)}$	$\frac{3.0-52.9}{15.2(12)}$	$\frac{5.5-6.5}{6.0(2)}$	<1 (2)	<1–17.9 (9)
Mo	$\frac{0.2-1.2}{0.37(28)}$	$\frac{0.25-0.42}{0.34(3)}$	$\frac{0.44-1.9}{1.1(12)}$	$\frac{1.16-1.52}{1.34(2)}$	0.24 (2)	$\frac{0.33-0.54}{0.43(9)}$
Sb	$\frac{0.06-0.3}{0.16(28)}$	$\frac{0.14-0.22}{0.18(3)}$	$\frac{0.13-0.74}{0.35(12)}$	$\frac{0.3-0.35}{0.33(2)}$	$\frac{0.01-0.06}{0.04(2)}$	$\frac{0.1-0.16}{0.13(9)}$
As	$\frac{0.28-2.1}{0.8(63)}$	$\frac{0.45-1.18}{0.87(9)}$	$\frac{0.02-11.4}{3.6(12)}$	$\frac{1.35-1.66}{1.50(2)}$	$\frac{0.41-0.78}{0.59(2)}$	$\frac{0.44-0.65}{0.51(9)}$
V	$\frac{0.06-0.86}{0.35(53)}$	$\frac{0.20-0.57}{0.36(7)}$	$\frac{0.1-2.89}{1.11(11)}$	$\frac{1.0-1.4}{1.21(2)}$	$\frac{0.03-0.07}{0.05(2)}$	$\frac{0.80-0.94}{0.86(9)}$
Cr	$\frac{0.01-0.89}{0.29(42)}$	$\frac{0.03-0.79}{0.57(6)}$	$\frac{0.02-2.42}{0.68(8)}$	$\frac{0.5-1.1}{0.8(2)}$	—	$\frac{0.25-1.08}{0.35(9)}$
Co	$\frac{0.008-0.31}{0.11(46)}$	$\frac{0.05-0.27}{0.13(7)}$	<0.01–0.16	$\frac{0.03-0.05}{0.04(2)}$	—	$\frac{0.11-0.15}{0.13(9)}$
Ni	$\frac{0.2-2.3}{1.07(40)}$	$\frac{0.60-1.81}{1.16(7)}$	$\frac{0.1-4.6}{1.66(12)}$	$\frac{1.16-1.33}{1.25(2)}$	—	$\frac{0.25-0.66}{0.45(9)}$
Cu	$\frac{0.3-2.5}{1.4(51)}$	$\frac{0.97-2.51}{1.61(5)}$	$\frac{1.18-6.1}{3.1(12)}$	$\frac{2.44-2.47}{2.46(2)}$	$\frac{0.24-0.25}{0.245(2)}$	$\frac{0.94-4.2}{2.14(9)}$
Zn	$\frac{0.6-8.8}{3.0(59)}$	$\frac{0.9-4.43}{2.76(8)}$	$\frac{0.3-77.7}{10.1(12)}$	$\frac{0.8-4.0}{2.4(2)}$	$\frac{0.1-0.46}{0.28(2)}$	$\frac{1.43-12.1}{4.6(9)}$
Cd	$\frac{0.001-0.1}{0.03(57)}$	$\frac{0.008-0.078}{0.038(9)}$	<0.01–0.22 (12)	<0.01 (2)	<0.01–0.015 (2)	$\frac{0.05-0.10}{0.065(9)}$
Li	$\frac{0.28-8.0}{1.44(65)}$	$\frac{0.55-1.9}{1.09(9)}$	$\frac{0.65-6.7}{2.4(12)}$	$\frac{2.14-2.58}{2.36(2)}$	$\frac{0.21-0.49}{0.35(2)}$	$\frac{1.27-2.0}{1.47(9)}$
Rb	$\frac{0.26-2.7}{1.04(64)}$	$\frac{0.56-1.5}{0.98(9)}$	$\frac{0.67-4.8}{2.8(12)}$	$\frac{1.2-1.4}{1.3(2)}$	$\frac{0.71-0.81}{0.76(2)}$	$\frac{0.77-0.94}{0.86(9)}$
Cs	$\frac{0.004-0.058}{0.011(50)}$	$\frac{0.002-0.013}{0.005(7)}$	<0.1–0.15 (12)	$\frac{0.007-0.009}{0.008(2)}$	$\frac{0.033-0.091}{0.062(2)}$	$\frac{0.004-0.076}{0.005(9)}$
Sr	$\frac{33.4-278}{67.2(64)}$	$\frac{40.4-52.9}{47.8(9)}$	$\frac{49.0-494}{156.5(12)}$	$\frac{116.4-139.2}{127.8(2)}$	$\frac{31.5-58.7}{45.1}$	$\frac{31.5-57.4}{44.2(9)}$
Ba	$\frac{4.8-38.2}{14.5(64)}$	$\frac{6.9-12.1}{10.0(9)}$	$\frac{10.4-66.4}{22.1}$	$\frac{21.7-24.5}{23.1(2)}$	$\frac{6.1-7.0}{6.6(2)}$	$\frac{2.59-9.66}{7.8(9)}$
Th	$\frac{0.001-0.19}{0.056(49)}$	$\frac{0.009-0.05}{0.034(6)}$	$\frac{0.11-0.24}{0.15(12)}$	$\frac{0.194-0.196}{0.195(2)}$	$\frac{0.069-0.074}{0.072(2)}$	$\frac{0.17-0.27}{0.25(9)}$
U	$\frac{0.005-0.34}{0.083(57)}$	$\frac{0.011-0.13}{0.057(9)}$	$\frac{0.05-0.78}{0.25(12)}$	$\frac{0.18-0.22}{0.20(2)}$	—	$\frac{0.13-0.27}{0.24(9)}$

фоновых водах и максимальными в сильно загрязненной воде рек Березовой и Сунгари (табл. 1, 2). Повышенные величины Mo_p отмечены и в атмосферных осадках, переносимых с территории Китая (до 0.34 мкг Mo_p /л; 0.23 мкг Sb_p /л; 1.8 мкг As_p /л [21]). Вместе с тем в бассейнах крупнейших рек мира концентрации указанных элементов в целом сходны или даже несколько выше, чем в бассейне р. Амур. В бассейне р. Миссисипи Mo – 0.6 [39], 0.84–2.6 [43], 1.1–1.9 мкг/л [45]; Sb – 0.32 мкг/л [39]. В бассейне р. Амазонки Mo – 0.44 [39], Sb – 4.9 мкг/л [39].

В наиболее тонкодисперсной фазе (0.1–0.45 мкм) содержание As , Sb , Mo , по данным авторов настоящей статьи, присутствуют незначительно.

Концентрации V и Cr в данном случае также были повышены в реках Сунгари и Березовой, хотя в целом это десятые и сотые доли мкг/л (табл. 1, 2). Присутствие V_p в атмосферных осадках аридного переноса достигало 0.62, а Cr_p лишь 0.03 мкг/л [21], что позволяет предположить повышение Cr прежде всего за счет загрязнения вод, в то время как часть V возможно вынесена из отложений водосбора.

По содержанию V в крупных реках мира данные сравнительно обширны: для Миссисипи это 1.9–2.3 [44], 1.3–4.0 [43], 1.6–3.6 мкг/л [45]; для бассейна Амазонки 0.3–1.3 мкг/л [44], для Янзы 2.7–3.6 мкг/л, для Ориноко 0.3–1.4 мкг/л [44]. Приведенные значения близки к таковым для р. Амур или выше.

По растворенному Cr значения в литературе по крупнейшим рекам более ограничены и противоречивы: для Миссисипи – 1.37 [38] и 0.045–0.15 мкг/л [42]; для бассейна Амазонки – 2.46 мкг/л [38] (что выглядит завышенным).

До трети растворенного V , по данным авторов статьи, переносится в виде тонкодисперсного вещества, вероятнее всего, связанного коллоидными окислами Fe , как было найдено для карельских рек с высоким содержанием Fe [40]. В то же время заметного различия в содержании Cr_p во фракциях <0.45 мкм и 0.45–0.10 мкм авторами не найдено.

Содержание Ni в растворе, в основном, <1 мкг/л (табл. 1), более высокие значения (первые единицы мкг/л) связаны с загрязнением вод, прежде всего в притоках. Это хорошо прослеживается на примере р. Березовой, а также в р. Сунгари (табл. 2). Существующие данные для Ni по крупным северным российским рекам – того же порядка: Обь – 1.2–1.4 [34] и 1.3 [3], Лена – 0.3 [3], Енисей – 0.5–0.6 мкг/л [3, 34]. Для крупных рек мира приводятся и более высокие значения: Миссисипи – 1.2–1.5 [43], 1.7–1.9 [45]; Маккензи <2–8 мкг/л [41] (возможно, последние – несколько завышены). Эксперимент по последовательному перефильтрованию проб показал, что ~10% Ni_p может находиться в тонкодисперсной (коллоидной) фазе (0.1–0.45 мкм).

Содержание растворенных Cu и Zn несколько выше, и их максимальные концентрации обусловлены антропогенным привнесом. Это наиболее ярко прослеживается в р. Березовой, а в отдельных случаях и у Хабаровска (на основном створе и в Амурской протоке) (табл. 1, 2).

Концентрация Cu_p в водах крупнейших сибирских рек имела близкие с р. Амур значения: Обь 1.9–2.4 [34] и 2.1 [3], Енисей 4.4–10.9 [34] и 1.6 [3], Лена 0.8 мкг/л [3]. Того же порядка и литературные данные для других крупных рек мира: р. Миссисипи 1.2–2.0 [43, 45], Маккензи 2–4 мкг/л [41]. До 18% Cu_p найдено во фракции 0.1–0.45 мкм. Более разнообразны и дискуссионные данные по Zn . По данным авторов настоящей статьи в р. Амур и его притоках концентрация Zn_p составляет десятки доли мкг/л. В фоновых водах (р. Анжуй) его содержания – 0.1–0.46 мкг/л. В водах повышенного загрязнения – единицы и выше. Наиболее загрязненные Zn воды р. Амур встречены у г. Хабаровска, что отмечалось ранее [17, 18]. В р. Березовой найдены концентрации Zn_p до 78 мкг/л, изменяющиеся существенно на участках по мере поступления загрязняющих веществ (табл. 2). Разнообразны и литературные данные по концентрациям и усредненным значениям Zn_p , в том числе по наиболее крупным рекам мира. По сибирским рекам (Обь, Енисей, Лена) приводятся значения Zn_p 0.4–1.3 мкг/л [3], в Нижней Волге – в среднем 10 мкг/л [1]. Более низкие значения, в сравнении с данными настоящего исследования, по содержанию Zn_p в бассейне р. Уссури приводятся в [29, 30], что, по мнению авторов настоящей статьи, – следствие иных методических приемов подготовки и анализа проб. В р. Маккензи Zn_p составлял 0.4–17 [41], а в р. Миссисипи – 0.04–0.3 [43] и 0.2–0.3 мкг/л [45]. Усредненные концентрации по рекам мира по [3] – 0.6 мкг/л, более ранние данные [2, 35] – выше. По данным авторов настоящей статьи, полученным на основании проб с бассейна р. Уссури, до 20% Zn_p мигрирует в тонкодисперсной (или крупноколлоидной) форме (0.1–0.45 мкм), что может немного завышать истинно растворенные концентрации Zn .

Растворенный Cd в р. Амур составляет тысячные и сотые доли мкг/л, что в основном соответствует и другим крупным рекам [3, 34, 41, 43]. Среднее значение Cd_p для рек мира составляет 0.01 мкг/л [3], хотя ранее приводимое значение несколько выше [2]. Характерно, что содержание Cd_p в пробах Бурейского водохранилища (табл. 2) возрастает ко дну в соответствии с возрастанием мутности. Очевидно, что часть растворенного кадмия находится в виде тонкого взвешенного вещества, что подтверждается экспериментальными данными по перефильтровыванию проб на более мелкопористых фильтрах (0.1 мкм). В эту промежуточную (тонкодисперсная взвесь + крупные коллоиды) фракцию попадает до 1/3 Cd_p .

Редкощелочные элементы (Li, Rb, Cs). Растворенный Li в целом был ниже (1.5–2 мкг/л) непосредственно в р. Амур и притоках, лишь изредка превышая эти величины (в частности, в реках Сунгари, Березовой и в бассейне р. Уссури) (табл. 1, 2). В фоновых низко минерализованных водах (р. Анюй) значения Li_p составляли лишь десятые доли мкг/л.

В соответствии с результатами перефильтрации трех проб лишь ~5% Li_p находилось в тонкодисперсной форме, что подтверждают и результаты ультрафильтрации [40] для карельских рек.

Содержания растворенного Rb составляли, в основном, десятые доли мкг/л, заметно повышаясь в загрязненных водах, в частности в р. Березовой, возрастая в несколько раз по мере поступления сбросов (табл. 2). Повышенные содержания Rb_p встречены и в р. Сунгари (до 1.4 мкг/л).

Rb_p находился преимущественно в растворенном состоянии (фракции <0.45 мкм), что согласуется с [40].

Cs в растворенной форме встречен в концентрациях на порядок более низких, чем Rb, в основном составляя тысячные и сотые доли мкг/л (табл. 1, 2), что соответствует [41] для крупных рек (Амазонка, Миссисипи).

Около половины Cs_p в выборочных пробах находилось во фракции 0.01–0.45 мкм.

Концентрации указанных выше редкощелочных элементов в других крупных реках мира имеют тот же порядок величин, что и в р. Амур. В частности, Li_p в бассейне Амазонки составлял 0.23–1.4 мкг/л [36], Маккензи <5–31 [41], Лене 1.5 [36], Янзы 4 [36], Ориноко 0.19–5 мкг/л [36]. Rb_p в Миссисипи у разных авторов имеет довольно близкие значения: 0.98 [31], 1.61 [38], 1.1–1.3 мкг/л [45], в бассейне Амазонки – 1.55 мкг/л [38], в бассейне Конго 1.97–3.84 мкг/л [32]. Cs_p в Миссисипи, согласно [39], составлял 0.019 мкг/л, такое же значение приводится и для р. Амазонки в [38].

Повышенные содержания редкощелочных элементов отмечены в атмосферных осадках аридного происхождения [21].

Sr и Ba. Содержания Sr_p, составляющие в основном десятки мкг/л, повышены прежде всего на створе у г. Хабаровска, как можно предполагать, благодаря поступлению его с р. Сунгари (в этом притоке содержание Sr_p было вдвое выше (116–140 мкг/л), чем в р. Амур) (табл. 2). Разбавление происходит за счет р. Уссури, хотя в ее бассейне в отдельных случаях также отмечались высокие содержания Sr_{раств} (до 280 мкг/л) (табл. 2). Высокие величины Sr_p найдены и в сильно загрязненном притоке (р. Березовая, где содержание Sr_p достигало ~500 мкг/л с наиболее высоким содержанием в холодный период).

В качестве фонового значения Sr_p для вод в бассейне р. Амур можно принять 40–50 мкг/л, что соответствует содержанию в р. Анюй, Бурейском водохранилище, Среднем Амуре.

Литературные сведения по содержанию Sr в крупных реках мира достаточно многообразны. В частности, в р. Миссисипи содержалось до 150 мкг/л Sr_p [31], а вариации Sr_p в бассейне р. Амазонки были 0.6–96 мкг/л [36]. В р. Маккензи колебания Sr_p составляли 0.04–7.3 мкг/л [41] (на 2 порядка выше, чем в приведенных реках, что заставляет усомниться в точности анализа). В р. Лене содержание Sr_p – 130 [37] и 96 мкг/л [36] (одного порядка), в то время как в р. Конго 0.9–42 мкг/л [32]. В реках Ганг, Брахмапутра, Янзы он составлял соответственно 70, 58 и 180 мкг/л [36]. В бассейне р. Амур содержания Sr и их вариации (табл. 1, 2) в целом близки к таковым в других крупных реках мира, хотя среднее мировое значение для глобального речного стока – 50 мкг/л [2].

Концентрация Sr во фракции 0.1–0.45 мкм, по данным авторов настоящей статьи, невысока (<10%), что соответствует и аналогичным результатам по другим рекам [40], так как Sr_p максимально связан с истинно растворенной формой.

Среднее значение Ba_p для рек мира – 20 [35], 40 мкг/л [2]. Найденные содержания Ba_p в бассейне р. Амур составляли 10–20 мкг/л, а в фоновых низко минерализованных водах <10 мкг/л (табл. 1, 2), что заметно ниже концентраций, приведенных для р. Миссисипи (50–73 мкг/л [45]). Повышение содержания Ba отмечено в р. Березовой.

Доля Ba в коллоидной фракции (0.1–0.45 мкм) составляла для трех проб от 4 до 30%. Отмечена роль фактора фильтрации при определении общего содержания Ba_h [41], хотя в отличие от указанной работы заметной связи с ОВ и Fe не выявлено.

Содержание U и Th в растворе в основном низкое – десятые и сотые доли мкг/л, а Th в целом ниже, чем U (табл. 1, 2). Заметного загрязнения U_p и Th_p со стороны р. Сунгари не выявлено, но в р. Березовой колебание концентраций U_p достигало одного порядка величин. Для U_p высокие (относительно всех исследованных вод) и устойчивые во времени значения (~6 мкг/л) найдены в водотоке у пос. Малые Лучки (водосбор р. Уссури), где вероятно загрязнение сбросами Ярославского ГОКа (табл. 2).

По литературным данным в крупных реках мира встречаются заметно более высокие концентрации этих элементов, чем в бассейне Амура, в частности, содержание U_p составляло в Миссисипи 1.3–2.5 [45], в Лене 2.8–3.7 мкг/л [41]. Вместе с тем, среднее значение U_p для рек мира – 0.5, Th_p – 0.1 мкг/л [2], что соответствует значениям, полученным авторами настоящей статьи.

По данным авторов до 30% U_p находится в составе тонкодисперсной фазы, вероятно, в связи с гидроксидами Fe; предполагается, что при высоком содержании ОВ он транспортируется в виде органических коллоидов [40]. Th в составе фракции 0.1–0.45 мкм составлял $\leq 5.5\%$.

Проведенное исследование показало, что загрязнение малых водотоков промышленно-бытовыми стоками и отходами горнопромышленного техногенеза может быть существенным. В бассейне р. Амур это рассматривалось для рек Силинки (в районе г. Комсомольска-на-Амуре [17, 18]), Березовой [23], Абрамовки [20, 22, 33] и других. В данном случае на примере р. Березовой в пределах г. Хабаровска можно судить о загрязнении малых рек водосбора промышленно-бытовыми отходами. Здесь возрастают концентрации не только тяжелых металлов, но и большой группы других элементов (табл. 2). В зимнее время отмечается резкое возрастание концентраций Br, I, As, V, Ni, Cr, в меньшей степени – Li, Rb, Sr, Cs, Cu, U.

Значительное влияние р. Сунгари на сток р. Амур проявляется прежде всего в выносе большого количества ОВ и биогенных веществ [10, 24, 28]. Вместе с тем, непосредственно в р. Сунгари найдены повышенные концентрации Mo, Sb, As, V, Cr, J, Br (табл. 2), в меньшей степени – Li, Rb, Sr, Ba, что в целом соответствует аналогичному спектру элементов в окрашенных атмосферных осадках, переносимых с северных районов Китая и Монголии. Наиболее низкие концентрации отмечаются в р. Анюй в силу низкой минерализации воды и отсутствия какого-либо ее загрязнения.

В Бурейском водохранилище отмечаются более высокие значения, и это связано как с разными источниками пространственного поступления, так и с вертикальным распределением, выполненном для трех участков одного створа, при этом однозначно увеличения концентраций элементов от поверхности к придонному горизонту не найдено. Более четко в связи с возрастанием мутности и, соответственно, тонкодисперсной гидроокисной части прослеживается увеличение концентраций Fe, Mn, Ni, Th, в меньшей степени – As, Zn, Co, Cd, Cr.

Значительные вариации концентраций микроэлементов были найдены в бассейне р. Уссури (табл. 2), поскольку здесь имеют место как разнообразные природные условия, так и различные по характеру источники загрязнения [19]. Вместе с тем, имеются сходные значения многих микроэлементов в нижней части р. Уссури и Амурской протоки, куда изначально поступают воды р. Уссури. Разобщенные во времени отборы проб не позволяют, однако, проводить полную аналогию. Так, в Амурской протоке в период разового отбора отмечались максимальные концентрации Fe, Mn, Al, Co, Zn, Cd, безусловно, антропогенного привноса, что, вероятно, не является стабильным. Ниже по течению три-

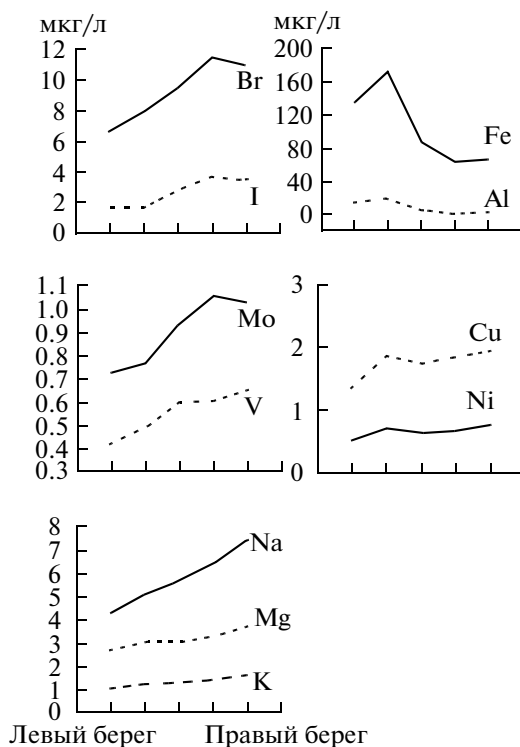


Рис. 2. Изменение содержания элементов в поперечном створе р. Амур в 5 км выше г. Хабаровска (выше впадения Амурской протоки).

жды исследованный створ р. Амура у Хабаровска показывает более низкие концентрации микроэлементов.

На исследованных створах основного русла р. Амур у г. Хабаровска и выше по течению реки при различных концентрациях элементов в разные периоды прослеживаются и общие закономерности. Растворенный Mo, как правило, выше у правого берега как у Хабаровска, так и выше его до впадения Амурской протоки. Это подтверждает его устойчивый вынос со стоком р. Сунгари, что может служить определенным маркером сунгарийской воды, хотя у Хабаровска Mo частично поступает и за счет загрязнения. Как правило, ближе к правому берегу наряду с основными ионами выше и содержание I, Br, a Sr, Ba, Li – выше как у правого берега, так и в центре реки (рис. 2). В то же время содержание Fe меньше Al в период всех отборов проб, они несколько повышены у левого берега и, вероятно, в большей степени поступают с водами р. Уссури и Амурской протоки.

На Нижнем Амуре концентрации микроэлементов в целом выравниваются, о чем свидетельствуют выборочные пробы, отобранные в разные годы (табл. 1). Однако в пределах единого опробования могут отмечаться определенные закономерности. В частности, на ограниченном количестве проб 2009 г. отмечается явное увеличение группы элементов ниже г. Хабаровска и частично – ниже г. Комсомольск-

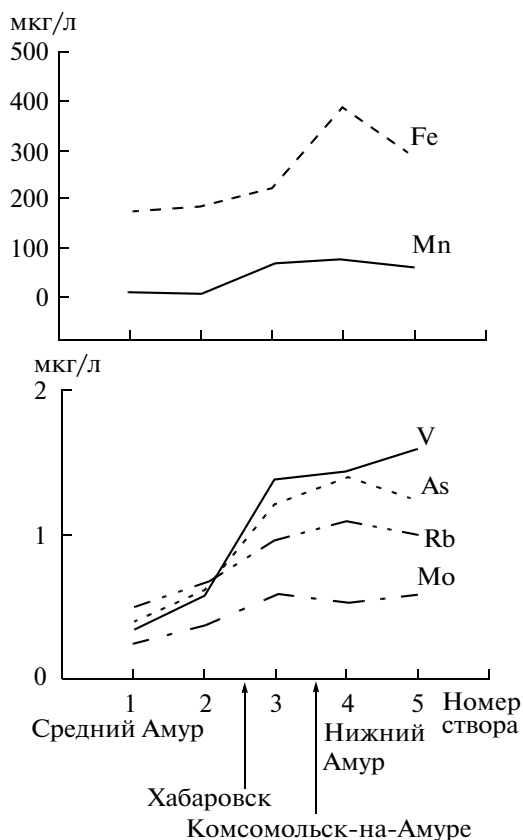


Рис. 3. Изменение концентраций элементов в р. Амур в июле 2009 г. 1 – Средний Амур, ниже с. Амурзет; 2 – выше г. Хабаровск (створ 1); 3 – Амурская протока; 4 – район г. Хабаровск (створ 2); 5 – Нижний Амур, пос. Сикачи-Алян.

на-Амуре (рис. 3). В это время в Амурской протоке отмечены максимальные концентрации приведенных элементов (табл. 2). Однако в основном увеличение концентраций микроэлементов в амурской воде пропорционально увеличению минерализации воды, т.е. приведенные к минерализации концентрации микроэлементов не показывают столь же заметных различий.

В поперечном створе в районе г. Комсомольска-на-Амуре значительных изменений не прослеживается, отмечается лишь некоторое увеличение содержания Mo, Sb, Li, Al, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Ba, U у левого берега (рис. 4), где влияние оказывают г. Комсомольск-на-Амуре и отчасти р. Силинка, дренирующая территорию горнорудного освоения [17, 18].

Взвешенная форма

Полученная информация о микроэлементном составе взвеси более ограничена в связи с небольшим количеством собранной на анализ взвеси. Тем не менее, можно говорить о том, что роль взвешенной формы, мкг/л, в водотоках меняется весьма су-

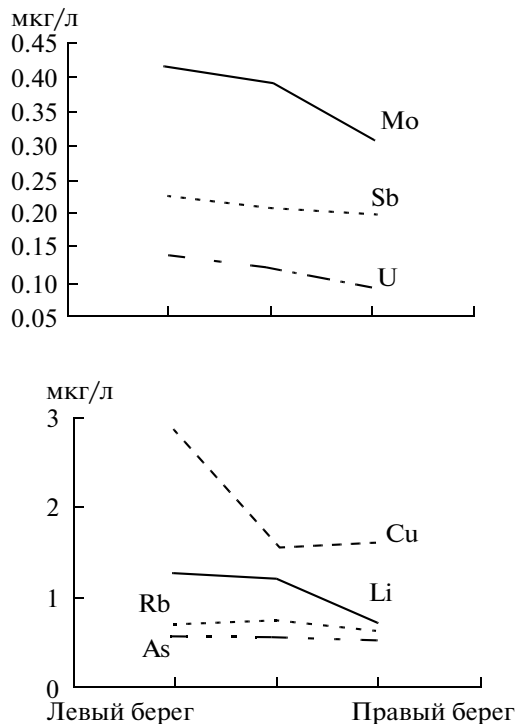


Рис. 4. Изменение содержаний элементов в р. Амур в районе г. Комсомольска-на-Амуре.

щественно в зависимости от мутности речной воды. Вместе с тем, соотношения концентраций элементов в целом сохраняются, так как их накопление во взвешенном веществе определяется, прежде всего, степенью индивидуальной растворимости и сорбируемости. На основании имеющихся наиболее достоверных данных по створу р. Амур элементы по уменьшению роли взвешенной формы можно выстроить в ряд Al, Fe, Mn, Cs, Co, V > As, Rb, Sb, Th, Ba, Zn, Li, U, Cu > Bi, Mo, Sr, который соответствует соотношению ограниченного количества элементов, полученному ранее [17]. Сходные черты характерны и для Приморья, бассейна р. Уссури [19]. При сопоставлении этих соотношений с распределением элементов в снеговых водах (взвесь—вода) (Al, Fe, Cs, V > Rb, Ba, Li, Cu, Co, As > Mo, Mn, Sr, Sb, Zn) [21] становится очевидным, что аналогично высокая взвешенная форма характерна для Al, Fe, Cs, V, низкая – для Sr, Mo, средняя – для Rb, Ba, Li, Cu. Это подтверждает сходные черты поведения элементов в водах.

В пересчете на сухое вещество взвеси, мкг/г, наиболее заметное возрастание найдено для Sb у г. Хабаровска, которое отмечается и вниз по реке (у г. Комсомольска-на-Амуре), причем в обоих случаях, прежде всего – у левого берега. Сопоставляя значения элементов во взвеси р. Сунгари с аналогичными в р. Амур у г. Хабаровска и усредненными значениями в правом притоке (р. Уссури) (табл. 3), можно говорить о более высоких концентрациях

Таблица 3. Среднее содержание элементов во взвеси рек в бассейне р. Амур, мкг/г, Fe, % (*n* – количество проб, использованных в расчете)

Элемент	Район				
	р. Усури (с бассейном оз. Ханка), <i>n</i> = 28	р. Сунгари, <i>n</i> = 2	р. Амур, район Хабаровска, <i>n</i> = 5	р. Амур, район Комсомольска-на-Амуре, <i>n</i> = 3	среднее для рек [16]
Al ($\times 10^3$)	79.8	32.3	42.6	39.2	86.3
Fe	4.3	1.5	2.3	2.1	5.0
Mn	1004	781	673	451.5	1150
Mo	1.01	1.03	1.34	0.82	1.8
Sb	2.5	2.67	9.1	9.0	1.4
As	13.9	28.6	46.1	34.7	14
V	53.3	30.3	41.6	34.4	120
Co	10.1	4.5	6.8	6.0	19
Cu	16.7	21.8	26.4	16.5	45
Zn	128.6	136.4	199.5	98.0	130
Cd	0.44	0.195	0.38	0.16	0.5
Pb	18.5	10.9	12.6	10.6	25
Bi	0.32	0.19	0.48	0.32	0.3
Li	21.4	10.5	18.4	19.2	35
Rb	51.9	34.7	41.6	39.5	77
Cs	4.4	2.63	3.72	3.79	5.2
Sr	53.3	40.5	54.7	45.2	150
Ba	227	171.3	243.3	204.9	500
Th	7.3	3.1	4.3	3.9	10
U	1.4	0.89	1.77	1.42	2.4

ряда элементов, приносимых в составе взвеси р. Усури (Li, Al, Co, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Pb, Bi, Th, U, V). В составе взвеси р. Сунгари выше концентрации Cu, Zn, хотя благодаря более высокой мутности содержание взвешенной формы Al, Fe, Mn, мкг/л, здесь все же выше наблюдаемой на створе р. Амур у Хабаровска.

Содержание бóльшей части элементов (Mo, Al, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Ba, Pb, Bi, Th, U, V) во взвеси р. Амур ниже Хабаровска (в частности, в районе г. Комсомольска-на-Амуре) уменьшается.

В целом, по данным авторов данной статьи, во взвеси рек бассейна р. Амур значения для большинства элементов ниже, чем средние значения для взвесей в реках мира [15, 16] (рис. 5, табл. 3), хотя вариации могут быть значительными и для крупнейших рек [15]. Отчасти более низкие значения могут быть связаны и с тем, что фильтры со взвесью перед озолением не прокаливались (не удалялась связанная вода), а сушились при $t = 80^\circ\text{C}$.

ВЫВОДЫ

Концентрации микроэлементов имеют значительные вариации на отдельных участках р. Амур,

которые связаны с природными условиями и с антропогенным воздействием в районах крупных городов (Хабаровска, Комсомольска-на-Амуре). Существенное влияние может оказывать и трансгра-

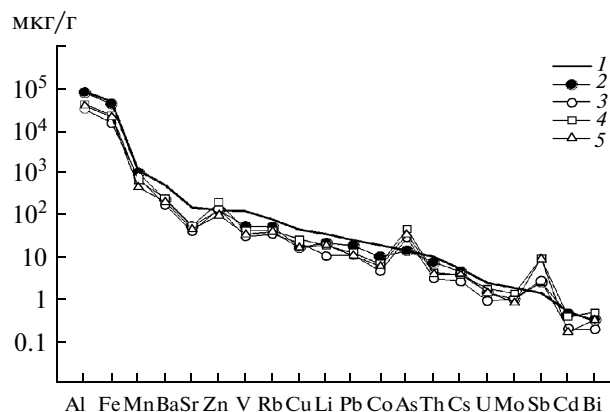


Рис. 5. Распределение элементов во взвеси бассейна р. Амур относительно среднемирового значения [16]. 1 – среднее для глобального речного стока; 2 – р. Усури; 3 – р. Сунгари; 4 – р. Амур, район г. Хабаровска; 5 – р. Амур, район г. Комсомольска-на-Амуре.

ничный перенос по р. Сунгари с территории Китая. Вынос большого количества ОБ сопровождается и некоторым увеличением потока микроэлементов. В качестве трассера этих вод в первую очередь можно выделить Mo_p (а также Bg , I). Набор элементов, приносимых р. Сунгари, скорее всего, отражает специфику водосбора, когда вещество выносится с обширных аридных пространств северного Китая, что соответствует в основных чертах и атмосферному переносу с этих территорий.

Содержание растворенных микроэлементов в р. Амур в основном сопоставимо с концентрациями в крупнейших реках мира или ниже последних, хотя литературные данные приводятся для ограниченного числа элементов, порой значительно различающихся даже для одной реки.

На имеющемся материале по р. Амур элементы ранжированы по уменьшению роли взвешенной формы ($Al, Fe, Mn, Cs, Co, V > As, Rb, Sb, Th, Ba, Zn, Li, U, Cu > Bi, Mo, Ni, Sr$), что в общих чертах соответствует и соотношению их в атмосферных водах Хабаровского края.

Концентрации элементов во взвешенных веществах основных притоков, приносящих материал в Нижний Амур, несколько различаются. В частности, во взвеси р. Сунгари выше концентрации Cu, Zn , в то время как Mo , имеющий малое содержание во взвешенной форме, здесь не характерен.

В целом, концентрации элементов во взвеси бассейна р. Амур, как правило, соответствуют средним мировым значениям для речных взвесей или ниже их.

Авторы выражают благодарность К. Сугимори, М. Матсуо, А. Куно (Токийский университет), С.Г. Юрченко (ТИГ ДВО РАН), Е.П. Молокоедовой (Примгидромет) за помощь в отборе проб и выполнении аналитических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бреховских В.Ф., Катунин Д.Н., Островская Е.А. и др.* Процессы переноса и накопления тяжелых металлов на нижней Волге // *Вод. ресурсы.* 1999. Т. 26. № 4 С. 451–461.
2. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 159 с.
3. *Гордеев В.В.* Реки Российской Арктики: Потоки осадочного материала с континента в океан // *Новые идеи в океанологии.* М.: Наука, 2004. Т. 2. С. 113–167.
4. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2008 г. Хабаровск: Принт Сити, 2009. 228 с.
5. *Коновалов Г.С., Иванова А.А., Колесникова Т.Х.* Микроэлементы в воде и во взвешенных веществах рек Азиатской территории СССР // *Гидрохим. материалы.* 1966. Т. 42. С. 112–123.
6. *Коновалов Г.С., Иванова А.А., Колесникова Т.Х.* Рассеянные и редкие элементы, растворенные в воде и содержащиеся во взвешенных веществах главных рек СССР // *Геохимия осадочных пород и руд.* М.: Наука, 1968. С. 72–87.
7. *Кот Ф.С.* Тяжелые металлы в донных отложениях Среднего и Нижнего Амура // *Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна р. Амур.* Владивосток: Дальнаука, 1994. С. 123–135.
8. *Кот Ф.С.* Рассеянные металлы в донных отложениях р. Амур и зоны смешения в Охотском море // *Геохимия.* 1998. № 1. С. 102–107.
9. *Левшина С.И.* Органическое вещество в поверхностных водах бассейна р. Амур // *Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах.* Владивосток: Дальнаука, 2005. Вып. 15. С. 218–225.
10. *Левшина С.И.* Растворенное и взвешенное вещество вод Амура и Сунгари // *Вод. ресурсы.* 2008. Т. 35. № 6. С. 745–753.
11. *Матюшина Л.А., Левшина С.И., Юрьев Д.Н.* О миграции железа в почвах и поверхностных водах Нижнего Амура // *Биохимические и экологические исследования наземных и водных экосистем.* Владивосток: Дальнаука, 2006. Вып. 16. С. 185–194.
12. *Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л.* Река Бурей. Гидрология. Гидрохимия. Ихтиофауна. Хабаровск: ДВО РАН, 2006. 148 с.
13. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1966. Т. 18. Вып. 1. 781 с.
14. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1970. Т. 18. Вып. 2. 591 с.
15. *Савенко В.С.* Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 176 с.
16. *Савенко В.С.* Химический состав материкового стока твердых веществ // *Геохимия.* 2007. № 8. С. 889–897.
17. *Чудаева В.А.* Тяжелые металлы в р. Амур // *Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных объектов экосистем Дальнего Востока.* Владивосток: Дальнаука, 1995. С. 147–183.
18. *Чудаева В.А.* Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 391 с.
19. *Чудаева В.А.* Микроэлементный состав поверхностных вод в бассейне оз. Ханка и р. Усури (Приморье) // *Матер. совещ. “Регионы нового освоения: экологические проблемы и пути их решения.* Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2008. С. 639–643.
20. *Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г.* Некоторые предварительные результаты исследований воздействия Павловского угольного разреза на окружающие природные воды // *Матер. регион. науч.-практ. конф. “Вклад науки и высшего образования в устойчивое развитие Дальнего Востока”.* Владивосток: ВГУЭС, 2003. С. 255–262.
21. *Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г.* Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // *Вод. ресурсы.* 2008. Т. 35. № 1. С. 60–71.
22. *Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г.* Влияние внешних факторов на химический состав рек Абрамовки и Илестой (бассейн оз. Ханка) // *Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур.* Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 37–44.

23. Чудаева В.А., Юрченко С.Г. Состояние поверхностных вод городов юга Дальнего Востока как показатель уровня антропогенного воздействия // Дружининские чтения. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2003. Вып. 1. С. 170–174.
24. Шестеркин В.П. О влиянии р. Сунгари на качество вод Амура // Переход Хабаровского края на модель устойчивого развития: Экология. Природопользование. Сборник работ научно-технического совета при крайкомэкологии. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2000. С. 19–27.
25. Шестеркин В.П. Основные этапы формирования химического состава воды Нижнего Амура // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 11–17.
26. Шестеркина Н.М., Таловская В.С., Ри Т.Д., Шестеркин В.П. Гидрохимия притоков Бурейского водохранилища // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 18–27.
27. Шестеркин В.П., Чудаева В.А., Шестеркина Н.М., Юрченко С.Г. Особенности миграции химических элементов в воде Амура в летнюю межень 2002 г. // Биогеохимические и гидроэкологические исследования техногенных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2004. Вып. 14. С. 163–171.
28. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды р. Сунгари // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2009. № 1. С. 50–53.
29. Шулькин В.М. Изменчивость химического состава речных вод Приморья как индикатор антропогенной нагрузки и ландшафтной структуры водосборов // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 103–114.
30. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Киселев В.И. Металлы в речных водах Приморского края // Геохимия. 2007. № 1. С. 79–88.
31. Andersson P.S., Wasserburg G.L., Ingry J., Stordal M.S. Strontium, dissolved and particulate loads in fresh and brackish waters: the Baltic Sea and Mississippi Delta // Earth Planet. Sci. Lett. 1994. V. 124. № 1–4. P. 195–210.
32. Negrel Ph., Allegre C.J., Dupre B., Lewin E. Erosion sources determined by inversion of major and trace element ratios and strontium isotopic ratios in river water: The Congo Basin case // Earth and Planetary Science Letters. 1993. V. 120. № 1–2. P. 59–76.
33. Chudaev O.V., Chudaeva V.A., Yrchenko S.G. Chemical composition of the waters at the Pavlovsky coal quarry (Far East Russia) and surrounding areas // Regularities of the structure and evolution of the geospheres. Proc. VII Intern. Interdisciplinary Scientific Sump. and Intern. Geoscience Programme (IGCP-467). Vladivostok: Dalnauka, 2005. P. 323–328.
34. Dai M.-H., Martin J.-M. First data on trace metal level and behavior in two major Arctic river-estuarine systems (Ob and Yenisey) and in the adjacent Kara Sea, Russia // Earth Planetary Science Letters. 1995. V. 131. № 3–4. P.127–141.
35. Hitchon B., Perkins E.N., Gunter W.D. Introduction to the Ground Water Geochemistry. Sherwood Park; Alberta: Geoscience Publishing Ltd., 1999. 310 p.
36. Huh Y., Chan L.H., Edmond J.M. Lithium and isotopes in major world rivers: Implications for weathering and the oceanic budget // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62. № 12. P. 2039–2051.
37. Huh Y., Panteleyev G., Babich D. et al. The fluvial geochemistry of the rivers of Eastern Siberia: II. Tributaries of the Lena, Omolon, Indigirca, Kolima and Anadyr draining the collisional/accretionary zone of the Verhoyansk and Chersky ranges // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62. № 12. P. 2053–2075.
38. Kharkar D.P., Turekian K.K., Bertine K.K. Stream supply of dissolved silver, molybdenum, antimony, selenium, chromium, cobalt, rubidium and cesium to the oceans // Geochim. Cosmochim. Acta. 1968. V. 32. № 7. P. 285–298.
39. Nagao S., Terashima M., Takata H. et al. Geochemical behavior of dissolved iron in waters from the Amur River, Amur-liman and Sakhalin Bay // Report on Amur-Okhotsk Project. 2008. № 5. P. 21–26.
40. Pokrovsky O.S., Shott J. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia) // Chem. Geol. 2002. V. 190. № 1–4. P. 141–179.
41. Reeder S.M., Hitchon B., Levinson A.A. Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada-1. Factors controlling inorganic composition // Geochim. Cosmochim. Acta. 1972. V. 36. № 8. P. 825–865.
42. Shibata H. Processes of Iron Transport from Terrestrial Ecosystem to River: Preliminary Analysis of Spatial and Temporal Patterns of Iron Concentrations in Amur River // Proc. Intern. Kyoto Sympos. Rep. Amur-Okhotsk Project. Kyoto: RIHN, 2005. № 3. P. 97–104.
43. Shiller A.M., Boyle E.A. Variability of dissolved trace metals in the Mississippi River // Geochim. Cosmochim. Acta. 1987. V. 51. № 12. P. 3273–3277.
44. Shiller A.M., Boyle E.A. Dissolved vanadium in rivers and estuaries // Earth Planetary Science Letters. 1987. V. 86. № 2–4. P. 214–224.
45. Shiller A.M. Dissolved trace elements in the Mississippi River: Seasonal, interannual, and decadal variability // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. V. 61. № 20. P. 4321–4330.