

ПРОБЛЕМЫ ВОД СУШИ

УДК 550.42

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОД
УСТЬЕВОГО УЧАСТКА р. КОЛЫМЫ

© 2023 г. А. В. Савенко^{1,*}, В. С. Савенко¹, В. А. Ефимов¹, О. С. Покровский²

Представлено академиком РАН С.А. Добролюбовым 9.12.2022 г.

Поступило 09.12.2022 г.

После доработки 15.12.2022 г.

Принято к публикации 16.12.2022 г.

Определено содержание ионов основного солевого состава и 50 растворенных микроэлементов (Li, Rb, Cs, Be, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Tl, Pb, Al, Sc, Ga, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ti, Zr, Hf, Th, U, F, B, Si, Ge, P, V, As, Sb, Cr, Se, Mo, W) в водах устьевого участка р. Колымы во время спада весенне-летнего половодья и летне-осенней межени. Установлено наличие тесной положительной корреляции между концентрациями растворенных микроэлементов в водах р. Колымы и рек водосборов Белого и Карского морей. Различия концентраций растворенных микроэлементов в речных водах Российской Арктики в целом пропорциональны отношению величин их минерализации.

Ключевые слова: микроэлементы, растворенные формы, речные воды, Колыма

DOI: 10.31857/S2686739722602800, EDN: NZFQEA

В настоящее время накоплены обширные сведения об основном солевом составе вод крупных рек мира [1]. В отношении растворенных микроэлементов, в том числе сильно токсичных, объем соответствующей информации значительно меньше [2, 3], что существенно осложняет количественную характеристику влияния материкового стока на химию океана, в том числе на экологотоксикологическое состояние акваторий, прилегающих к устьям крупных рек. Особенно слабо изучен микроэлементный состав арктических рек, геохимический мониторинг которых представляет повышенный интерес в связи с происходящими изменениями климата, влияющими на формирование химического состава вод суши. Целью настоящей работы послужили представление новых данных о концентрациях растворенных микроэлементов в водах устьевого участка р. Колымы и их сравнение с микроэлементным составом речного стока в Белое и Карское моря [4].

Речной границей устьевого участка р. Колымы длиной 282 км принято считать пос. Колымское выше впадения р. Омолон [5, 6]. На протяжении широкопойменного придельтового отрезка встре-

чается несколько крупных очагов размыва едомных отложений, в том числе Дуванный Яр длиной >10 км. Река имеет дельту с вершиной у пос. Черский, подверженную слабому влиянию нагонов. Дельта разделяется на два основных рукава — протоки Походская Колыма и Каменная Колыма, доля стока последнего из которых составляет >70% [5].

Работы проводили на придельтовом отрезке р. Колымы, начиная с речной границы устьевого участка, в вершине дельты и в судоходном рукаве Каменная Колыма на спаде весенне-летнего половодья (2–8 июля 2020 г.) и дважды в период летне-осенней межени (28 июля–10 августа 2019 г. и 20–31 июля 2021 г.). Расходы воды в вершине дельты в эти фазы водного режима составляли соответственно 7680 ± 1400 и 7060 ± 160 м³/с при среднемноголетнем значении 3340 м³/с [5]. Всего было отобрано 20 проб воды.

Пробы воды отбирали пластиковой емкостью с поверхности или пластмассовым батометром из глубинных слоев и сразу после этого подготавливали их для лабораторных исследований. Отфильтрованные через плотный бумажный фильтр в полипропиленовые флаконы растворы использовали для определения содержания хлоридов и сульфатов методом капиллярного электрофореза на установке Капель 103Р, величины щелочности ($\approx \text{HCO}_3$) объемным ацидиметрическим методом и концентрации фторидов методом прямой ионометрии с фторидным ионоселективным электро-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

*E-mail: Alla_Savenko@rambler.ru

Таблица 1. Средний химический состав вод устьевого участка р. Колымы в июле–августе 2019–2021 гг.

Компонент	$C_{\text{Кол}}$, мкг/л	Компонент	$C_{\text{Кол}}$, мкг/л	Компонент	$C_{\text{Кол}}$, мкг/л	Компонент	$C_{\text{Кол}}$, мкг/л
M^*	78900	Fe	71.9	Nd	0.055	U	0.028
Na	2120	Co	0.050	Sm	0.018	F	84.9
K	510	Ni	0.67	Eu	0.0043	B	3.98
Mg	4160	Cu	0.76	Gd	0.016	Si	2240
Ca	13300	Zn	1.52	Tb	0.0023	Ge	0.014
Cl	230	Cd	0.004	Dy	0.013	P	5.8
SO ₄	30800	Tl	0.0011	Ho	0.0024	V	0.19
HCO ₃	27800	Pb	0.086	Er	0.0066	As	0.44
Li	0.92	Al	33.8	Tm	0.0009	Sb	0.070
Rb	0.28	Sc	0.027	Yb	0.0056	Cr	0.061
Cs	0.0017	Ga	0.016	Lu	0.0009	Se	0.085
Be	0.0058	Y	0.065	Ti	0.45	Mo	0.142
Sr	85.6	La	0.046	Zr	0.027	W	0.0019
Ba	11.4	Ce	0.078	Hf	0.0012		
Mn	3.61	Pr	0.013	Th	0.0030		

Примечание. * – Минерализация.

дом в присутствии ацетатного солевого буфера. Концентрации главных катионов и растворенных микроэлементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7500se в растворах, полученных путем фильтрации через мембранный ацетат-целлюлозный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм во флаконы с предварительно добавленными туда

аликвотами 5 N азотной кислоты марки ос.ч. (0.25 мл на 10 мл пробы). Относительная погрешность измерений составила ±3%. Правильность анализов оценивали с помощью международных стандартов речной воды SLRS-4 и SLRS-5, для которых расхождение измеренных и сертифицированных концентраций изученных элементов не превышало 20%.

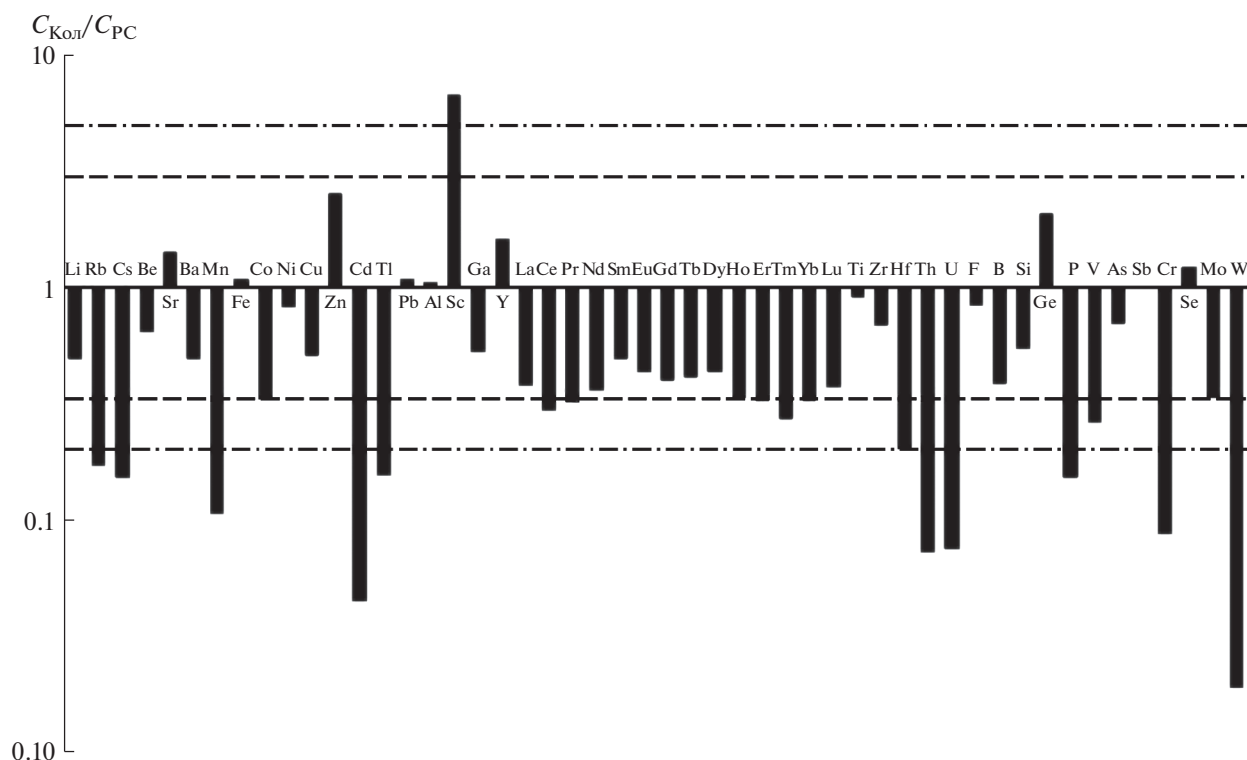


Рис. 1. Сравнение средних концентраций растворенных микроэлементов в водах устьевого участка р. Колымы ($C_{\text{Кол}}$, данная работа) с мировым уровнем (C_{PC} [3]). Штриховыми и штрихпунктирными линиями показаны соответственно различия в 3 и 5 раз.

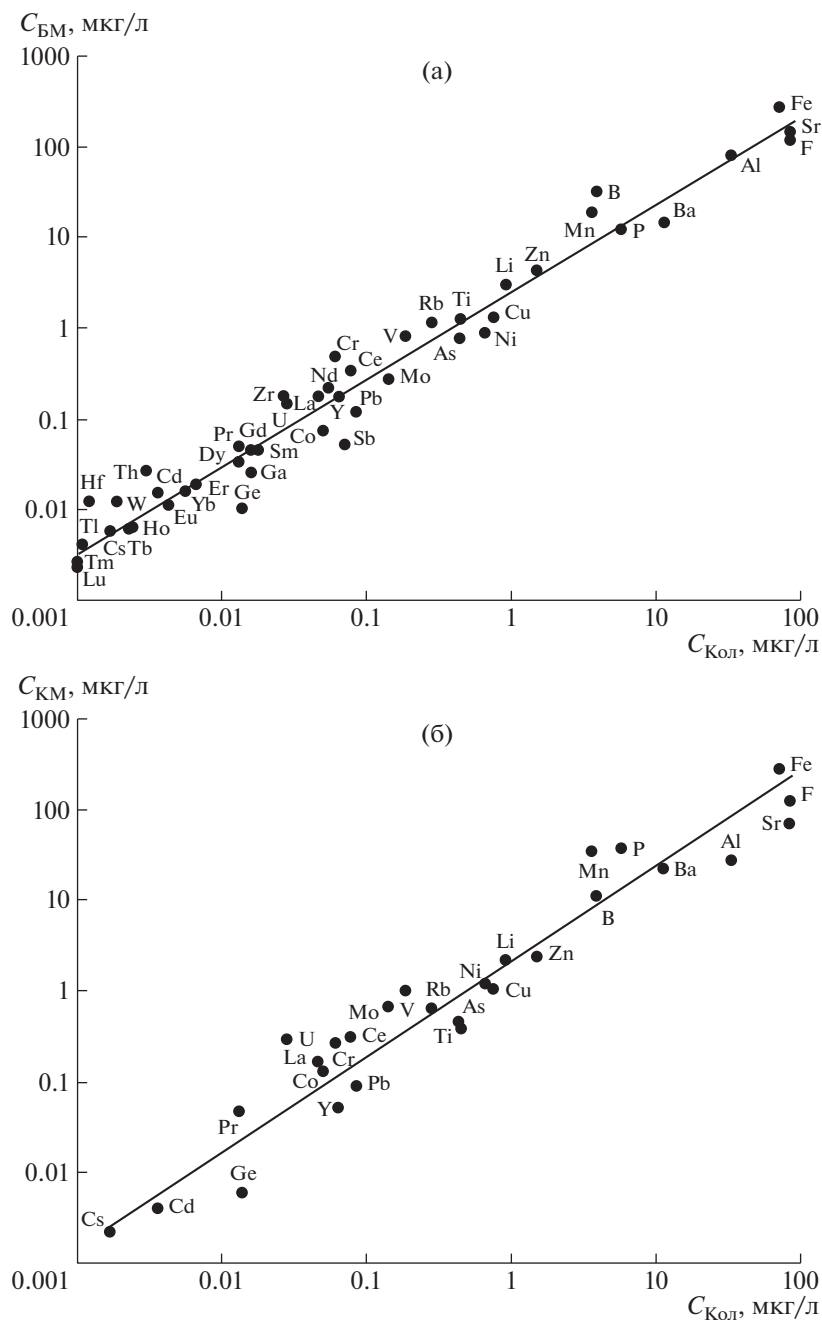


Рис. 2. Взаимосвязь средних концентраций растворенных микроэлементов в водах устьевых участков р. Колымы ($C_{\text{Кол}}$, данная работа) и рек водосборов Белого (а) и Карского (б) морей ($C_{\text{БМ}}$ и $C_{\text{КМ}}$ [4]).

Среднее содержание ионов основного солевого состава и растворенных микроэлементов в водах устьевых участков р. Колымы приведено в табл. 1. По сравнению со средними концентрациями растворенных микроэлементов в реках мира [3] их содержание в стоке р. Колымы в большинстве случаев в несколько раз ниже (рис. 1). Поскольку минерализация вод р. Колымы (78.9 мг/л) не сильно отличается от среднемирового значения (85.1 мг/л [1]), отмеченная тенденция, по-видимому, обусловлена пониженной интенсивно-

стью водной миграции микроэлементов в условиях холодного арктического климата, при котором снижается скорость химического и биологического выветривания и возрастает относительная роль сорбционной иммобилизации.

Наряду с этим в сходных природно-климатических условиях (в пределах арктической зоны) наблюдается зависимость концентраций растворенных микроэлементов в речных водах от величины их минерализации. Как показано на рис. 2, установлена тесная положительная корреляция

между средними концентрациями растворенных микроэлементов в водах устьевых участков р. Колымы ($C_{\text{Кол}}$, мкг/л), с одной стороны, и рек водосборов Белого и Карского морей ($C_{\text{БМ}}$ и $C_{\text{КМ}}$, мкг/л), с другой:

$$C_{\text{БМ}} = 2.15C_{\text{Кол}}, \quad r = 0.90, \quad (1)$$

$$C_{\text{КМ}} = 1.80C_{\text{Кол}}, \quad r = 0.80, \quad (2)$$

причем коэффициенты пропорциональности в этих уравнениях близки к отношению величин минерализации соответствующих речных вод. Так, среднемноголетняя минерализация речного стока в Белое и Карское моря (166 и 124 мг/л [7, 8]) превышает среднюю минерализацию вод р. Колымы в период наблюдений (78.9 мг/л) в 2.1 и 1.6 раза, что достаточно хорошо согласуется коэффициентами пропорциональности в уравнениях (1) и (2). Отсюда следует, что при нормировании на величину минерализации (суммарное содержание растворенных веществ) микроэлементный состав речного стока со всего арктического побережья России должен быть примерно одинаков. Это позволяет аппроксимировать (с приближением ~30%) микроэлементный состав вод неизученных рек Российской Арктики с использованием имеющихся данных по рекам арктических водосборов.

Таким образом, концентрации растворенных микроэлементов в водах устьевого участка р. Колымы тесно коррелируют с таковыми в речном стоке с других арктических территорий России: водосборов Белого и Карского морей. Различия концентраций растворенных микроэлементов в речных водах крупных арктических водосборов пропорциональны отношению величин их мине-

рализации. Нормированные на минерализацию концентрации растворенных микроэлементов характеризуют химический состав речного стока с арктического побережья в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Meysbeck M.* Global occurrence of major elements in rivers // *Treatise on Geochemistry*. V. 5. Amsterdam: Elsevier–Pergamon, 2004. P. 207–223.
2. *Гордеев В.В.* Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.
3. *Gaillardet J., Viers J., Dupre B.* Trace elements in river waters // *Treatise on Geochemistry (Second Edition)*. V. 7. Amsterdam et al.: Elsevier, 2014. P. 195–235.
4. *Савенко А.В., Савенко В.С., Покровский О.С.* Новые данные по содержанию растворенных микроэлементов в водах рек Российской Арктики // *ДАН. Науки о Земле*. 2020. Т. 491. № 2. С. 82–88.
5. *Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Ефимов В.А., Василенко А.Н., Сазонов А.А., Ефимова Л.Е.* Гидрологические условия в устье реки Колымы летом 2019 года // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2022. № 1. С. 134–151.
6. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
7. *Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Шевченко В.П., Дара О.М.* Особенности геохимии речного стока в Белое море // *Система Белого моря*. Т. 2. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.
8. *Gordeev V.V., Andreeva E.N., Lisitzin A.P., Kremer H.H., Salomons W., Marshall Crossland J.I.* Russian Arctic Basins. LOICZ Reports and Studies No. 29. Geesthacht: LOICZ, 2006. 97 p.

TRACE ELEMENT COMPOSITION OF THE WATERS OF THE KOLYMA RIVER MOUTH SECTION

A. V. Savenko^{a,#}, V. S. Savenko^a, V. A. Efimov^a, and O. S. Pokrovsky^b

^a *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

^b *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

[#] *E-mail: Alla_Savenko@rambler.ru*

Presented by Academician of the RAS S.A. Dobrolyubov December 9, 2022

The content of ions of the main salt composition and 50 dissolved trace elements (Li, Rb, Cs, Be, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Tl, Pb, Al, Sc, Ga, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ti, Zr, Hf, Th, U, F, B, Si, Ge, P, V, As, Sb, Cr, Se, Mo, W) in the waters of the Kolyma River mouth section the spring–summer flood decline and on the summer–autumn period was determined. A close positive correlation was established between the dissolved trace elements concentrations in the waters of the Kolyma River and of the rivers in the White and Kara seas catchment areas. Differences in the concentrations of dissolved trace elements in the river waters of the Russian Arctic are generally proportional to the ratio of their mineralization values.

Keywords: trace elements, dissolved forms, river waters, Kolyma River