

УДК 551.465.7

**Оценка антропогенного загрязнения р. Енисей
по содержанию металлов
в основных компонентах экосистемы на участках,
расположенных выше и ниже г. Красноярска**

**О.В. Анищенко^{а,б*} М.И. Гладышев^{а,б},
Е.С. Кравчук^{а,б}, Г.С. Калачёва^а, И.В. Грибовская^а**
*^а Институт биофизики Сибирского отделения
Российской академии наук,
Россия 660036, Красноярск, Академгородок, 50
^б Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 4.03.2010, received in revised form 11.03.2010, accepted 18.03.2010

Для оценки антропогенного загрязнения р. Енисей определены концентрации металлов, фенолов, нефтепродуктов в воде и содержание металлов в основных компонентах экосистемы на участках выше и ниже г. Красноярска. Концентрации металлов и веществ в воде не превышают российских и зарубежных нормативов, за исключением Al и нефтепродуктов. Ниже г. Красноярска содержание Fe, Cu, Mn, Ni, Cr, фенолов, нитритов и нитратов в воде статистически достоверно больше такового на условно фоновом участке. На участке ниже г. Красноярска донные отложения (ДО) характеризуются повышенным содержанием Cu, Zn и Pb, не превышающим уровень вредного воздействия на биоту. Содержание Mn в гаммаридах на загрязнённом участке статистически выше, чем на условно фоновом, что, вероятно, определяется более высоким содержанием этого элемента в воде. Содержание тяжёлых металлов в мышечной ткани хариуса сибирского не превышает нормативов, установленных для рыбопродуктов российскими и международными стандартами.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, антропогенное загрязнение, речная экосистема.

Загрязнение тяжёлыми металлами (ТМ) – одна из причин ухудшения качества природных вод, поэтому большое значение имеет мониторинг содержания металлов в водных экосистемах. Однако содержание металлов в воде, особенно в реках с высокой скоростью течения, отражает только краткосрочное воздействие и не всегда свидетельствует о за-

грязнении биоты и донных отложений (ДО) металлами (Никаноров, Жулидов, 1991). Содержание ТМ в организмах зообентоса, растениях, рыбах и ДО используется для адекватной оценки загрязнения водных объектов (Besser et al., 2001; Bervoits, Blust, 2003; Fernandez et al., 2006; Богатов, Богатова, 2009). Известно, что ТМ способны мигрировать и накапли-

* Corresponding author E-mail address: hydrakt@rambler.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

ваться в высших звеньях трофических цепей, в том числе в рыбе (Никаноров, Страдомская, 2007), что представляет опасность для здоровья человека, потребляющего продукцию водных экосистем (Gladyshev et al., 2009).

Цель данной работы – оценить антропогенное загрязнение экосистемы р. Енисей на основе сравнительного анализа содержания металлов в воде, ДО и гидробионтах на двух участках реки. В задачи исследования входило: определить содержание металлов, фенолов и нефтепродуктов в воде; исследовать содержание металлов в ДО, гаммарусах, водном мхе и харнусае сибирском на условно фоновом и условно загрязнённом участках р. Енисей.

Материал и методы исследований

Исследования проводились с мая 2008 г. по апрель 2009 г. на двух участках среднего течения р. Енисей – условно фоновом (55°58'С.Ш, 92°43'В.Д.), расположенном 30 км ниже плотины Красноярской ГЭС, на 9 км выше г. Красноярска, и условно загрязнённом (56°08'С.Ш, 93°15'В.Д.) – на 56 км ниже фонового участка. Скорость течения в районе исследования около 2 м/с. Отбор проб сначала проводили на верхнем участке (станции), а через сутки – на нижнем.

В период исследования температура воды колебалась в пределах 0 – 12,6 °С на верхней станции и 0 – 12,9 °С – на нижней, при этом средняя годовая температура на верхнем участке составила 4,9±1,3, а на нижнем 5,5 ±1,3. рН воды измеряли портативным рН-метром (Hanna Instruments, USA), летом – непосредственно при отборе проб, а в остальное время – в лаборатории. Значения рН с января по апрель 2009 г. на верхней станции изменялись от 7,3 до 7,4, а на нижней – от 7,5 до 7,7.

Пробы воды на содержание металлов и веществ отбирали согласно (ГОСТ Р 51592-2000) у поверхности и фильтровали через

планктонный газ с размером ячеек ~100 мкм. Определение содержания фенолов проводили экстракционно-фотометрическим методом (РД 52.24.480-2006), нефтепродуктов – методом газовой хроматографии (ГОСТ Р 52406 – 2005). Содержание биогенных элементов устанавливали по общепринятым методикам: аммонийный азот – по методу Несслера с использованием светофильтра 400-425 нм (РД 52.24.486-95); нитритный азот – колориметрическим методом с использованием реакции с сульфаниламидом и а-нафтиламином (реактив Грисса) (РД 52.24.381-2006); нитратный азот переводили в нитритный редуцией на кадмиевой колонке (РД 52.24.380-2006). Содержание общего и минерального фосфора определяли фотометрическим методом согласно (РД 52.24.387 – 2006, РД 52.24.382 – 2006).

Отбор проб бентоса проводили путем взмучивания гальки с глубины 0,5 м с помощью пробоотборника Сайбера (Siber kick bottom sampler) с сетчатым конусом (ячейка 0,25 мм), перед входным отверстием которого (0,4×0,4 м) проводится взмучивание донных отложений внутри рамки определенной площади (0,14 м²). Рамка располагалась выше по течению, чем входное отверстие. В лабораторных условиях особей *Eulimnogammarus viridis* Dybowsky отбирали из общей пробы, помещали в отстоянную воду и содержали в течение суток для освобождения кишечника.

Дно реки сложено каменисто-галечными и песчаными грунтами. Пробы грунта объемом около 400 мл отбирали с глубины 0,25 – 0,50 м пластиковым совком. В лаборатории пробу, из которой предварительно была убрана крупная галька, помещали в стеклянный стакан и отстаивали в течение нескольких дней. Излишки воды сливали, ДО помещали в чашки Петри и сушили на воздухе, затем про-

сеивали через лабораторное сито с диаметром пор 1 мм.

Для анализа на содержание металлов были взяты высечки мышечной ткани под спинным плавником хариуса *Thymallus arcticus* Pallas (размер рыбы 17 – 25 см), которые сушили при температуре 105 °С в течение суток.

Водный мох *Fontinalis antipyretica* L. Ex. Hedw промывали дистиллированной водой в лаборатории и сушили на воздухе. Сухую пробу измельчали в лабораторной мельнице.

Перед минерализацией пробы ДО, мха, гаммарид и мышечной ткани хариуса измельчали до однородной консистенции в агатовой ступке, затем сушили при температуре 105 °С в течение 24 ч. Пробы воды концентрировали в 20 раз для определения содержания металлов. Все отобранные образцы проб минерализовали в смеси азотной и хлорной кислот (1:1). К полученному осадку добавляли дистиллированную воду, после двукратного выпаривания каждую пробу переносили в мерную пробирку и доводили дистиллятом до определенного объема.

Концентрации Na и K определяли на пламенном фотометре FLAPHO-4 (Carl Zeiss, Jena) в воздушно-пропановом пламени (ГОСТ 30503 – 97, ГОСТ 30504 – 97, РД 52.24.391 – 95). Ca и Mg определяли атомно-абсорбционным методом в воздушно-ацетиленовом пламени на спектрофотометре ASS-1N (Carl Zeiss, Jena) (ГОСТ 26570 – 95, ГОСТ 30502 – 97, ИСО 7980 – 2000), Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd и Pb – на спектрофотометре «ААС Квант 2А» (ГОСТ 30692 – 2000, ИСО 8288 – 86), Al – на эмиссионном спектрографе PGS-2 (Carl Zeiss, Jena) (ГОСТ 30538-97). Пределы обнаружения (мг/л) для Na и K составляют 0,1, Ca – 0,1, Mg – 0,01, Fe, Ni, Pb и Co – 0,01, Cr – 0,006, Cu и Mn – 0,003, Zn – 0,001. Анализы прово-

дили в двух повторностях. В качестве эталонов определяемых элементов использовали государственные стандартные образцы (ОАО «Уральский завод химреактивов»).

Анализы выполнены в аккредитованной испытательной лаборатории Института биофизики Сибирского отделения РАН (аттестат аккредитации № ГСЭН.RU.ЦОА.086.324). Для статистической обработки данных использовали парный критерий Вилкоксона и t-критерий для неравночисленных выборок. Расчёты выполнены с использованием пакета Statistica 6.0 (StatSoft, Inc.).

Результаты

Концентрации Fe, Cu, Mn, Ni, Cr, Na, фенолов, нитратов и нитритов в воде р. Енисей ниже г. Красноярска достоверно превышали по парному критерию Вилкоксона таковые на условно фоновом участке, расположенном выше города (табл. 1). Содержание Zn, Al, нефтепродуктов и фосфора (общего и минерального) в среднем было выше на нижнем, загрязнённом участке реки, но различия не достоверны (табл. 1). Концентрация Cd в воде на двух участках исследования была ниже порога аналитического обнаружения.

В донных отложениях р. Енисей среди исследованных металлов отмечено максимальное содержание Al – до 3,5 % на верхнем участке и около 2,7 % ниже г. Красноярска (табл. 2). Концентрации Fe, Ca, Mg, K, Na, Co и Cd на фоновом участке в среднем превышали таковые на загрязнённом. Статистически значимые отличия отмечены для K и Co. Содержание Cu, Zn и Pb в ДО на загрязнённом участке статистически достоверно превышали значения, полученные на фоновом участке р. Енисей (табл. 2).

Содержание Co в водном мхе на загрязнённом участке было статистически достоверно выше фонового. На чистом участке

Таблица 1. Минимальные, максимальные и среднегодовые (май 2008 – апрель 2009) концентрации (\pm стандартная ошибка) (мг/л) элементов и веществ в воде р. Енисей на условно чистом и условно загрязнённом участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска (н.о. – не обнаружено, жирным шрифтом выделены концентрации, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водоёмов)

	Выше Красноярска		Ниже Красноярска		T*	P
	Миним.	Макс.	Среднее	Среднее		
Fe	0.018	0.064	0.037 \pm 0.004	0.065 \pm 0.021	10.0	<0.05
Cu	0.0006	0.0011	0.00079 \pm 0.00005	0.00098 \pm 0.00006	1.5	<0.01
Zn	0.0028	0.0335	0.0076 \pm 0.0024	0.0100 \pm 0.0035	20.5	>0.05
Mn	0.0010	0.0055	0.0031 \pm 0.0004	0.0049 \pm 0.0009	10.0	<0.05
Ni	н.о.	0.0006	0.0004 \pm 0.00006	0.00125 \pm 0.00079	5.0	<0.05
Pb	н.о.	0.0007	0.0002 \pm 0.00007	0.00013 \pm 0.00004	15.0	>0.05
Co	н.о.	0.00035	0.00006 \pm 0.00003	0.00003 \pm 0.00002	**	
Cr	н.о.	0.00100	0.00017 \pm 0.00010	0.00067 \pm 0.00027	0.0	<0.05
Cd		н.о.		н.о.		
Al	0.046	0.304	0.096 \pm 0.021	0.129 \pm 0.027	1.15	>0.05
K	0.60	0.92	0.75 \pm 0.03	0.79 \pm 0.04	19.5	>0.05
Na	2.46	3.25	2.80 \pm 0.07	3.14 \pm 0.15	6.0	<0.05
Ca	18.46	32.91	24.84 \pm 1.37	25.71 \pm 1.41	15.0	>0.05
Mg	2.49	3.93	3.00 \pm 0.10	3.20 \pm 0.20	16.0	>0.05
фенолы	0.0001	0.0010	0.0005 \pm 0.0001	0.0088 \pm 0.0074	2.0	<0.01
нефтепродукты	0.003	0.173	0.069 \pm 0.016	0.127 \pm 0.031	17.0	>0.05
P общ	0.007	0.029	0.018 \pm 0.004	0.021 \pm 0.005	7.0	>0.05
P неорг.	0.004	0.028	0.014 \pm 0.004	0.019 \pm 0.005	6.0	>0.05
NH ₄ -N		н.о.		0.008 \pm 0.008	**	
NO ₃ -N	0.275	0.524	0.415 \pm 0.042	0.622 \pm 0.053	0.0	<0.05
NO ₂ -N	н.о.	0.001	0.0003 \pm 0.0002	0.0023 \pm 0.0008	0.0	<0.05

* парный критерий Вилкоксона, число пар для металлов $n = 12$, для фосфора и азота $n = 5$.

** недостаточно значимых (ненулевых) пар для сравнения.

Таблица 2. Минимальные, максимальные и среднегодовые (май 2008 – апрель 2009) концентрации металлов (\pm стандартная ошибка) (мг/кг сух. веса) в донных отложениях р. Енисей на условно чистом и условно загрязнённом участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска, и достоверность различий средних по парному T -критерию Вилкоксона при числе пар $n = 9$

	Выше Красноярска			Ниже Красноярска			T	p
	Миним.	Макс.	Среднее	Миним.	Макс.	Среднее		
Fe *	16.82	22.37	19.9 \pm 0.6	14.13	21.54	17.9 \pm 1.0	12.0	>0.05
Cu	5.72	8.31	7.0 \pm 0.3	7.25	99.72	28.7 \pm 10.3	0.0	<0.01
Zn	39.62	47.21	43.0 \pm 0.9	55.07	116.54	83.9 \pm 7.3	0.0	<0.01
Mn*	0.284	0.666	0.43 \pm 0.04	0.294	0.353	0.33 \pm 0.01	6.5	>0.05
Ni	27.00	36.33	30.0 \pm 1.0	26.08	30.63	28.3 \pm 0.5	10.0	>0.05
Pb	3.20	4.49	3.8 \pm 0.2	6.80	56.95	25.2 \pm 5.6	0.0	<0.01
Co	8.07	9.16	8.7 \pm 0.1	7.41	8.87	8.0 \pm 0.2	0.0	<0.01
Cr	9.59	23.09	16.8 \pm 1.5	10.14	24.90	15.3 \pm 1.5	16.0	>0.05
Al *	27.0	42.0	35.3 \pm 1.5	20.0	35.0	26.7 \pm 1.9	3.0	<0.05
Cd	н.о.	0.331	0.037 \pm 0.037	н.о.	0.033	0.004 \pm 0.004	**	
K *	1.13	2.85	1.78 \pm 0.19	0.75	2.55	1.34 \pm 0.17	2.0	<0.05
Na *	0.33	0.69	0.52 \pm 0.04	0.35	0.68	0.49 \pm 0.04	14.5	>0.05
Ca *	6.37	14.82	10.5 \pm 0.9	5.62	13.65	10.2 \pm 1.0	22.0	>0.05
Mg *	6.57	7.95	7.0 \pm 0.2	5.79	8.10	6.7 \pm 0.3	8.0	>0.05

*г/кг.

** недостаточно значимых (ненулевых) пар для сравнения.

Таблица 3. Минимальные, максимальные и среднегодовые (май 2008 – апрель 2009) концентрации металлов (\pm стандартная ошибка) (мг/кг сух. веса) в водном мхе (*Fontinalis antipyretica*) р. Енисей на условно чистом и условно загрязнённом участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска, и достоверность различий средних по t -критерию Стьюдента при числе степеней свободы $\nu = 10$

	Выше Красноярска			Ниже Красноярска			T	p
	Миним.	Макс.	Среднее	Миним.	Макс.	Среднее		
Fe	1183.4	4014.5	2600 \pm 350	3031.0	3559.0	3244 \pm 112	1.25	>0.05
Cu	17.07	55.47	30.8 \pm 5.4	15.62	28.30	22.0 \pm 3.1	1.09	>0.05
Zn	49.51	177.55	70.0 \pm 15.7	63.41	102.23	78.4 \pm 8.4	0.36	>0.05
Mn	755	2699	2050 \pm 238	1809	3980	2813 \pm 476	1.62	>0.05
Ni	17.44	30.80	23.9 \pm 1.8	20.30	25.96	23.4 \pm 1.5	0.16	>0.05
Pb	н.о.	2.26	1.30 \pm 0.25	1.41	3.45	2.36 \pm 0.48	2.19	>0.05
Co	2.859	4.462	3.33 \pm 0.18	3.939	6.638	5.03 \pm 0.57	3.64	<0.01
Cr	9.12	30.08	15.5 \pm 2.5	19.89	24.71	22.4 \pm 1.1	1.84	>0.05
Al*	1.51	7.92	3.6 \pm 0.8	3.30	4.85	4.2 \pm 0.46	0.43	>0.05
Cd	0.122	0.481	0.271 \pm 0.042	0.110	0.320	0.174 \pm 0.049	1.39	>0.05
K *	4.35	12.00	7.83 \pm 0.78	5.10	7.80	6.62 \pm 0.57	1.02	>0.05
Na*	0.08	0.66	0.23 \pm 0.066	0.08	0.38	0.19 \pm 0.068	0.36	>0.05
Ca*	5.75	11.13	8.13 \pm 0.69	3.43	5.39	4.28 \pm 0.49	3.68	<0.01
Mg*	1.22	2.12	1.54 \pm 0.10	1.50	1.74	1.61 \pm 0.06	0.42	>0.05

* г/кг.

Таблица 4. Минимальные, максимальные и среднегодовые (май 2008 – апрель 2009) концентрации металлов (\pm стандартная ошибка) (мг/кг сух веса) в гаммарусе (*Eulimnogammarus viridis*) р. Енисей на условно чистом и условно загрязнённом участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска, и достоверность различий средних по парному T -критерию Вилкоксона при числе пар $n = 9$

	Выше Красноярска			Ниже Красноярска			T	p
	Миним.	Макс.	Среднее	Миним.	Макс.	Среднее		
Fe*	0.080	0.254	0.146 \pm 0.017	0.135	0.354	0.192 \pm 0.022	10.0	>0.05
Cu	39.44	67.53	53.8 \pm 3.3	38.94	63.244	54.5 \pm 3.3	16.0	>0.05
Zn	61.48	86.16	69.2 \pm 2.0	60.09	75.83	67.8 \pm 1.7	16.0	>0.05
Mn	23.03	52.28	34.4 \pm 2.2	33.27	69.37	46.8 \pm 3.9	5.0	<0.05
Ni	н.о.	1.690	0.741 \pm 0.149	н.о.	0.991	0.573 \pm 0.110	13.0	>0.05
Pb	н.о.	1.086	0.293 \pm 0.121	н.о.	0.802	0.213 \pm 0.089	14.0	>0.05
Co	н.о.	1.967	0.307 \pm 0.171	н.о.	3.674	0.644 \pm 0.387	17.0	>0.05
Cr	н.о.	4.88	2.60 \pm 0.47	1.41	3.18	2.20 \pm 0.17	9.0	>0.05
Cd	н.о.	0.202	0.071 \pm 0.022	н.о.	0.039	0.008 \pm 0.005	0.0	<0.05
Al*	1.50	3.23	2.37 \pm 0.87	4.40	4.66	4.53 \pm 0.13	**	
K*	6.06	8.44	7.18 \pm 0.21	6.10	7.57	6.79 \pm 0.17	13.0	>0.05
Na*	4.11	6.26	4.79 \pm 0.17	3.68	6.19	4.51 \pm 0.27	11.0	>0.05
Ca*	71.7	152.8	103.0 \pm 8.0	40.9	150.8	97.0 \pm 12.0	19.0	>0.05
Mg*	1.18	1.68	1.35 \pm 0.05	1.15	1.49	1.30 \pm 0.04	17.0	>0.05

*г/кг.

** недостаточно значимых (ненулевых) пар для сравнения.

Таблица 5. Минимальные, максимальные и среднегодовые (май 2008 – апрель 2009) концентрации металлов, мг/кг сухого веса (\pm стандартная ошибка) в хариусе (*Thymallus arcticus*) р. Енисей на условно чистом и условно загрязнённом участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска, и достоверность различий средних по t -критерию Стьюдента при числе степеней свободы $\nu = 19$

	Выше Красноярска			Ниже Красноярска			T	p
	Миним.	Макс.	Среднее	Миним.	Макс.	Среднее		
Fe	11.2	128.4	30.5 \pm 11.2	9.87	76.38	28.6 \pm 6.4	0.15	>0.05
Cu	0.92	1.48	1.29 \pm 0.07	0.96	1.43	1.19 \pm 0.05	1.24	>0.05
Zn	16.89	35.79	23.6 \pm 1.8	15.62	26.89	20.1 \pm 1.1	1.69	>0.05
Mn	0.52	16.22	2.61 \pm 1.52	0.60	1.36	0.91 \pm 0.07	1.17	>0.05
Ni	н.о.	0.098	0.025 \pm 0.012	н.о.	0.356	0.099 \pm 0.039	1.74	>0.05
Pb	н.о.	0.505	0.210 \pm 0.054	н.о.	0.718	0.247 \pm 0.069	0.42	>0.05
Co	н.о.	0.050	0.005 \pm 0.005	н.о.	0.050	0.005 \pm 0.005	0.07	>0.05
Cr	0.83	2.23	1.50 \pm 0.14	0.39	3.48	1.82 \pm 0.29	0.97	>0.05
Cd	н.о.	0.22	0.005 \pm 0.003	н.о.	0.65	0.015 \pm 0.006	1.38	>0.05
Al	н.о.	17.5	13.9 \pm 2.0	н.о.	17.3	5.7 \pm 2.4	2.48	<0.02
K*	18.19	22.50	20.7 \pm 0.5	18.75	22.50	20.9 \pm 0.4	0.30	>0.05
Na*	1.31	2.33	1.79 \pm 0.12	1.10	2.18	1.74 \pm 0.13	0.27	>0.05
Ca*	0.038	0.181	0.107 \pm 0.012	0.037	1.088	0.238 \pm 0.106	1.17	>0.05
Mg*	1.28	1.40	1.32 \pm 0.01	1.02	1.42	1.25 \pm 0.04	1.48	>0.05

*г/кг.

F. antipyretica содержал больше Са, чем на загрязнённом (табл. 3).

Статистически достоверные отличия по содержанию металлов в гаммаидах исследуемых участков реки обнаружены для Mn и Cd, однако концентрация Cd была выше на фоновом участке. Содержание Со в гаммаидах загрязнённого участка превышало фоновое, но различия не были статистически достоверными (табл. 4).

В мышечной ткани хариусов, пойманных на двух исследуемых участках, не обнаружено достоверных отличий по содержанию металлов, за исключением Al, концентрация которого была выше на фоновом участке (табл. 5).

Обсуждение

Содержание биогенных элементов, фенолов и металлов в воде р. Енисей в 2008-09 гг. в целом не превышает установленных российских нормативов для водоёмов рыбохозяйственного назначения (Перечень..., 1999), за исключением алюминия – в 2,4 раза на фоновом и в 3,2 раза на загрязнённом участках. Концентрации Cu, Zn, Pb и Cd в воде на загрязнённом участке находятся в пределах фоновых значений рек Европы, США, Южной Америки и ниже, чем на участках, подверженных антропогенному воздействию. Содержание Cu, Zn и Cd в Енисее соответствует уровню фоновых значений для рек территории бывшего СССР. Уровень содержания Cu, Zn, Pb, Ni, Cd и Cr в воде исследованных участков ниже стандартов, установленных для водных объектов в США и Европе (табл. 6). Повышенное содержание алюминия в воде р. Енисей, вероятно, связано с преобладанием данного элемента в составе ДО (табл. 2). Концентрация фенолов в р. Енисей ниже среднего фонового значения для рек и озёр территории бывшего СССР и рекомендованного для водных объектов рыбохозяйственного и рекре-

ационного значения (0,02 мг/л) (Sprynskyy, 2007). Концентрация нефтепродуктов в воде на загрязнённом участке р. Енисей в 2,5 раза превышает ПДК (Перечень..., 1999), но ниже, чем в реках европейской территории России и соответствует уровню, отмеченному в р. Северная Двина (0,10 – 0,12 мг/л), подверженной слабому хроническому загрязнению (Никаноров, Страдомская, 2007). Фоновая концентрация нефтепродуктов в р. Енисей незначительно превышает ПДК (0,05 мг/л).

Содержание Al, Fe, Ca, Mg, K, Na в ДО р. Енисей определяется минеральным составом залегающих пород, представленных преимущественно гранитами, а также серыми песчаниками, мергелями и известняками (Спицына, 2005). Химический состав этих пород включает алюмосиликаты калия, натрия, кальция, железа, магния, оксид кремния и карбонат кальция (www.webmineral.com). Содержание Cu и Zn в ДО на фоновом участке р. Енисей не превышает фоновых значений в реках Северной, Южной Америки, Европы и территории бывшего СССР и ниже норм, установленных для незагрязнённых почв, и пороговых концентраций воздействия на сообщества водных экосистем. Исключение – незагрязнённый ручей Васьяковская падь (Приморский край), в ДО которого содержание этих элементов ниже, чем в р. Енисей. Концентрация Pb в ДО фоновом участке р. Енисей не превышает фоновых значений рек Европы, Америки, Индии, Дальнего Востока и пороговых концентраций воздействия (табл. 7). Содержание Cu и Zn в ДО ниже г. Красноярска входит в пределы значений, зарегистрированных на загрязнённых участках рек Америки и Европы. Концентрация Cu и Zn в ДО загрязнённого участка р. Енисей не превышает уровня, оказывающего вредное воздействие на гидробионтов, и содержания в ДО незагрязнённых рек и фоновых биотопах

Таблица 6. Валовое содержание некоторых ТМ (мг/л) в воде разных рек и нормативы их содержания в водных объектах (прочерк – здесь и в табл. 7 и 8 – отсутствие данных)

Река	Fe	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr	Источник
Бассейн Пилкомайо Риве (Южная Америка), фоновые участки загрязнённый участок	–	0.0001–0.0041 0.098 – 0.463	0.002–0.058 1.49 – 10.557	0.0006–0.0042 0.911 – 2.111	–	0.070–0.280 0.0199 – 0.101	–	Smolders et al., 2003
Чусовая (Урал) верхнее течение	–	0.0118	0.035	0.003	0.0063	0.0005	0.002	Leslie et al., 1999
нижнее течение	–	0.0351	0.094	0.003	0.015	0.0006	0.922	
Авенко Риве (Испания)	0.916	–	0.0039	–	–	–	–	Blank et al., 2003
Лангмоссен Риве (Швеция), ненарушенные человеком	1.273	–	0.0353	–	–	–	–	
Домел Риве (Нидерланды), загрязнение цинком	1.149	–	2.263	–	–	–	–	Besser et al., 2001
Гота Алв Риве (Швеция), антропогенное воздействие	0.267	–	0.0268	–	–	–	–	
Энимэс Риве (США), фоновый участок	–	0.001–0.003 0.047–0.054	0.028–0.030 0.308–1.820	<0.0002 0.0062–0.0086	–	<0.0001–0.0001 0.0008–0.0026	–	
влияние добычи руды	–	0.120–0.400	0.00317	0.001	–	<0.0001	–	Никаноров, Страдомская, 2007
р. Нарва, умеренное загрязнение	–	0.0001–0.0031	0.0067 – 0.085	0.0005–0.0013	–	0.0001–0.016	–	
р. Дон (нижнее течение), умеренное загрязнение	–	0.00026–0.0247	0.0006–0.127	–	–	0.00001–0.00097	–	United States ..., 2006
Фоновые биотопы (реки СССР в целом)	–	0.013	0.12	0.065	0.470	0.002	0.016*	
СМС ¹ (США)	–	0.009	0.12	0.0025	0.052	0.00025	0.011*	Перечень...1999
ССС ² (США)	0.001	0.001	0.01	0.006	0.010	0.005	0.02*	
ПДК ³ рыбхоз (Россия)	0.1	0.0015	–	–	0.0018	0.00015	–	Моисеенко и др., 2006
Порог токсического действия на водные организмы	–	–	0.0094	0.0003	–	0.00008	–	
Допустимое превышение фона (Нидерланды)	–	–	0.030–2**	–	–	–	–	Directive..., 2008
ПДК Евросоюз	–	–	–	–	–	–	–	
Средняя годовая концентрация (Евросоюз)	–	–	–	0.0072	0.020	<0.00008-0.00025**	–	

1 – Criteria Maximum Concentration (СМС) – максимальная концентрация элемента, при краткосрочном воздействии которой водные сообщества не испытывают вредного влияния.

2 – Criterion Continuous Concentration (ССС) – максимальная концентрация элемента в воде, при которой водные сообщества могут находиться постоянно, не испытывая вредного влияния.

* – норматив для СГ⁶.

** – варьирует в зависимости от жёсткости воды.

Продолжение табл. 7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Река Нарва умеренное загрязнение	-	928-2000	6.5 – 37	-	5 – 21	-	490 – 800	-	-	-	Никаноров, Страдомская, 2007
Река Дон (нижнее течение) умеренное загрязнение	-	18 – 94	7.7 – 288	-	0.5 – 1.3	-	0.1 – 16.0	-	-	-	
Фоновые биотопы (реки СССР)	-	3.7 – 172	8.2 – 238	-	-	-	0.10 – 2.10	-	-	-	
ТЕС**	-	31.6	121	-	35.8	22.7	0.99	43.4	-	-	MacDonald et al., 2000
РЕС***	-	149	459	-	128	48.6	4.98	111	-	-	

**ТЭС – Threshold Effect Concentration (концентрация, ниже которой вредное воздействие не наблюдается).

***РЕС – Probable Effect Concentration (концентрация, выше которой наблюдается вредное воздействие).

рек территории бывшего СССР. Концентрация Pb в ДО загрязнённого участка р. Енисей соответствует уровню, отмеченному для загрязнённых рек (10 – 40 мг/кг), превышая общепринятый стандарт для глинистого сланца (Jain, 2004), но ниже пороговых концентраций, оказывающих вредное воздействие на биоту (табл. 7).

На загрязнённом участке р. Енисей водный мох содержит в среднем больше Fe, Mn, Pb, Cr, Al, чем на фоновом, но достоверные отличия отмечены только для Co (табл. 3). Однако в воде и в грунте загрязнённого участка содержание Co ниже, чем на фоновом (табл. 1 и 2). Водный мох фонового участка бассейна р. Юлла (Fernandez et al., 2006) содержал в 15 раз больше Co, чем на загрязнённом участке р. Енисей. В работе (Vazquez et al., 2000) наблюдалось увеличение содержания Co в *F. antipyretica* в 300 раз на загрязнённом металлами участке реки по сравнению с фоновой концентрацией. На чистом участке р. Енисей *F. antipyretica* содержит больше Ca, чем на загрязнённом (табл. 3). Следует отметить, что на загрязнённом участке пробы мха удалось отобрать только в период с сентября по декабрь. На данном участке встречались молодые растения с ярко-зелёными листьями, в отличие от фонового участка, где мох имел чаще тёмно-коричневую окраску. Известно, что Ca аккумулируется в более старых тканях мхов и его концентрация может значительно варьировать за счёт внеклеточного содержания (Glime, 2007). Вероятно, поэтому на фоновом участке растения большего возраста содержат больше Ca. Высокое содержание Al в *F. antipyretica* наблюдалось и ранее на фоновом участке (Анищенко и др., 2009), что определяется, вероятно, его высокой концентрацией в грунте и воде р. Енисей. Известно, что *F. antipyretica* способен аккумулировать ТМ и используется в качестве биосорбента

(Martins, Voaventura, 2002). В среде, близкой к нейтральной, накопление металлов мхом происходит в основном за счёт адсорбции на поверхности клетки, т.е. увеличения внеклеточного содержания металлов (в плазматической мембране, клеточной стенке и межклеточном пространстве), при этом негативное воздействие на метаболизм клетки отсутствует (Fernandez et al., 2006; Glime, 2007).

В гаммаридях фонового участка р. Енисей содержание ТМ не превышает фоновых значений, полученных для *Gammarus* sp. горных районов Приморского края (Богатов, Богатова, 2009), при этом в гаммарусе р. Енисей концентрация Fe и Ni ниже на порядок, а Pb, Cd и Co – в 40, 30 и 20 раз соответственно. Достоверно более высокий уровень содержания Mn в гаммаридях отмечен на участке р. Енисей ниже г. Красноярска, по сравнению с фоновым (табл. 4). Известно, что амфиподы (р. *Gammarus*) способны поглощать ионы жизненно важных элементов не только из пищи, но и непосредственно поверхностью тела, при этом наиболее важную роль играет поступление через жабры (Musibono, Day, 2000). Вероятно, более высокая концентрация Mn в гаммаридях на загрязнённом участке р. Енисей связана с повышенным содержанием этого элемента в воде. На данном участке р. Енисей содержание Pb и Cd в гаммаридях в 600 раз, Ni в 146 и Co в 15 раз ниже, чем в ручье Корейская Падь (Приморский край), подверженном воздействию техногенных сбросов свинцово-плавильного завода (Богатов, Богатова, 2009).

Содержание Al в мышечной ткани хариуса сибирского на чистом участке р. Енисей соответствует таковому в сиге р. Северная Двина, но в 2-4 раза превышает концентрацию этого металла в разных видах рыб Печоры и Волги (Моисеенко и др., 2006). Большее содержание Al в мышцах хариуса сибирского

Таблица 8. Содержание металлов в мышечной ткани хариуса (р. Енисей) в сравнении с российскими ПДК и международными стандартами (мг/кг сырой массы)

	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe	Cr	Ni	Источник
ПДК	0.1	1	10	40	30	-	0.5	ПДК...,1986; Моисеенко и др., 2006.
Гигиенические требования	0.2	1	-	-	-	-	-	СанПиН 2.3.21078 – 01
China National Standards	0.1	0.5	50	-	-	2	-	Cheung et al., 2008,
Hong Kong Government	2	6	-	-	-	1	-	Cheung et al., 2008,
Median international standards	0.3	2	20	45	-	1	-	Liang et al., 1999
Health Criteria	-	4	120	480	-	8	-	Ikem et al., 2003
CCFAC ML ¹	0.5	1	10	40	-	-	-	Ikem et al., 2003
FAO ²	0.5	0.5	30	30	-	-	-	Ikem et al., 2003
MAFF ³	0.2	2	20	50	-	-	-	Моисеенко и др., 2006
EU ⁴	0.1	0.4	-	-	-	-	-	Commission Regulation..., 2001
US FDA ⁵	-	-	-	-	-	13	80	Sivaperumal et al., 2007
Хариус (р. Енисей)								Данные настоящей работы
выше г. Красноярска	0.001	0.048	0.297	5.425	7.011	0.345	0.006	
ниже г. Красноярска	0.003	0.057	0.274	4.621	6.575	0.418	0.023	

¹ CCFAC ML – Codex committee on food additives and contaminants maximum levels,

² FAO – Food and Agriculture Organization

³ MAFF – Fishery and food. Aquatic environment monitoring report of Ministry of Agriculture, Directorate of Fisheries Research

⁴ EU – Евросоюз,

⁵ US FDA – United States Food and Drug Administration.

на чистом участке р. Енисей, вероятно, определяется поступлением с пищей (бентосом), поскольку в ДО концентрация Al достоверно выше, чем на загрязнённом участке. Концентрации Cd и Pb в мышцах хариуса на загрязнённом участке ниже значений, полученных для разных видов рыб рек Хорватии и Гонконга, подверженных антропогенному влиянию (Has-Schon et al., 2006; Zhou et al., 2002), и для карася серебряного фонового участка реки Каменушка (Приморский край) (Чернова и др., 2008). Однако концентрация Pb в мышцах хариуса сибирского превышает таковую в сиге (в 2 раза) Северной Двины, леще и окуне (в 5 раз), стерляди и щуке (в 10 раз) Волги (Моисеенко и др., 2006). Содержание Mn, Zn, Co и Ni в хариусе на загрязнённом участке р. Енисей не превышает значений, полученных для разных видов рыб в реках, подверженных

антропогенному воздействию, европейской части России (Моисеенко и др., 2006), Гонконга (Zhou et al., 1998), в фоновых участках рек Хорватии (Bervoets, Blust, 2003) и Перу (Gutleb et al., 2002). Концентрация Cu в мышцах хариуса р. Енисей не превышает значений, обнаруженных в рыбах других рек (Zhou et al., 1998; Моисеенко и др., 2006; Bervoets, Blust, 2003; Gutleb et al., 2002; Чернова и др., 2008), за исключением содержания этого элемента в сиге Северной Двины, Печоры и других видах рыб Волги. Концентрация хрома в мышечной ткани *T. arcticus* превышает значения, полученные для других видов рыб (Zhou et al., 1998; Моисеенко и др., 2006; Bervoets and Blust, 2003; Gutleb et al., 2002; Чернова и др., 2008). Содержание ТМ в мышечной ткани хариуса сибирского (на сырой вес при влажности 77 %) соответствует российским и зару-

бежным стандартам, установленным для рыбопродуктов (табл. 8). Следует отметить, что ранее на фоновом участке р. Енисей наблюдалось превышение содержания Сг в мышцах хариуса сибирского по усреднённом международному стандарту (Анищенко и др., 2009).

Заключение

Сравнительное исследование содержания ТМ и веществ в воде двух участков р. Енисей в 2008-2009 гг. показало, что участок, расположенный ниже г. Красноярска, характеризуется повышенным содержанием тяжёлых металлов Fe, Cu, Mn, Ni, Сг, фенолов, нитратов и нитритов. Содержание ТМ и загрязняющих веществ в р. Енисей не превышает установленных российских и зарубежных нормативов, за исклю-

чением Al и нефтепродуктов. Повышенное содержание Al в воде, вероятно, определяется составом залегающих пород. На участке ниже г. Красноярска концентрация нефтепродуктов в 2,5 раза превышает ПДК. В ДО р. Енисей отмечено достоверное увеличение содержания Cu, Zn и Pb на загрязнённом участке, но их концентрация не переходит пороговых значений, оказывающих вредное воздействие на биоту. Организмы зообентоса (*Eulimnogammarus viridis*) содержали достоверно больше Mn, что, вероятно, отражает повышенное содержание этого металла в воде загрязнённого участка. Содержание ТМ в мышцах хариуса сибирского соответствовало установленным стандартам для рыбопродуктов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 08-05-00095, 09-05-00607), Министерства образования и науки Российской Федерации и Американского фонда гражданских исследований и развития (гранты RUX0-002KR-06 и PG07-002-1), программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» и аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (Темплан СФУ, Б 4).

Список литературы

Анищенко О.В., Гладышев М.И., Кравчук Е.С., Сущик Н.Н., Грибовская И.В. (2009) Распределение и миграция металлов в трофических цепях экосистемы реки Енисей в районе г. Красноярска. Водные ресурсы. Т. 36. № 5. С. 623-632.

Богатов В.В., Богатова Л.В. (2009) Аккумуляция тяжёлых металлов пресноводными гидробионтами в горно-рудном районе юга Дальнего Востока России. Экология. № 3. С. 202-208.

ГОСТ Р 51592 – 2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000, 35 с.

ГОСТ Р 52406 – 2005. Вода. Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2006, 15 с.

ГОСТ 30503 – 97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Пламенно-фотометрический метод определения содержания натрия. Межгосударственный стандарт. Официальное издание. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1997, 8 с.

ГОСТ 30504 – 97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. Межгосударственный стандарт. Официальное издание. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1998, 11 с.

ГОСТ 26570 – 95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания кальция. Межгосударственный стандарт. Официальное издание. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1995, 16 с.

ГОСТ 30502 – 97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания магния. Межгосударственный стандарт. Официальное издание. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1998, 8 с.

ГОСТ 30692 – 2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия. Межгосударственный стандарт. Официальное издание. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 2000, 8 с.

ГОСТ 30538 – 97. Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом. Межгосударственный стандарт. Официальное издание. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1997, 27 с.

ИСО 7980 – 2000. Качество воды. Определение содержания кальция и магния. Спектрометрический метод атомной абсорбции. Международный стандарт. Международная организация по стандартизации и метрологии. Издательство стандартов. М., 2000, 14 с.

ИСО 8288 – 86. Качество воды. Определение содержания кобальта, никеля, меди, цинка, кадмия и свинца. Пламенные атомно-абсорбционные спектрометрические методы. Издательство стандартов. М., 1986, 20 с.

Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. (2006) Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 261 с.

Никаноров А.М., Жулидов А.В. (1991) Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 312 с.

Никаноров А.М., Страдомская А.Г. (2007) Хроническое загрязнение пресноводных объектов по данным о накоплении пестицидов, нефтепродуктов и других токсичных веществ в донных отложениях. Водные ресурсы. Т. 34. № 3. С. 337-344.

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. 1999. М.: Изд-во ВНИРО, 304 с.

ПДК тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Общесоюзные и санитарно-эпидемиологические правила и нормы 42123-4089-86. М.: Минздрав СССР, 1986, 245 с.

РД 52.24.382 – 2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2006, 21 с.

РД 52.24.381-2006 Массовая концентрация нитритов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса. Росгидромет. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2006, 20 с.

РД 52.24.380-2006 Массовая концентрация нитратов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редуторе. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Ростов-на-Дону, 2006, 24 с.

РД 52.24.387 – 2006. Массовая концентрация фосфора общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2006. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт. 27 с.

РД 52.24.480 – 2006. Массовая концентрация летучих фенолов в водах. Методика выполнения измерений ускоренным экстракционно-фотометрическим методом без отгонки, 30 с.

РД 52.24.391 – 95. Методика выполнения измерений массовой концентрации натрия и калия в поверхностных водах суши пламенно-фотометрическим методом. Методические указания. Ростов-на-Дону, 1995, 12 с.

РД 52.24.486 – 95 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой концентрации аммиака и ионов аммония в водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Росгидромет. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 1995, 16 с.

СанПиН 2.3.2.1078 – 01. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М., 2002, 144 с.

Спицына Т.П. (2005) Система оценки загрязнения естественных водотоков Красноярского промышленного региона: Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 174 с.

Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Марченко А.Л., Кавун В.Я., Ковалёв М.Ю. (2008) Содержание тяжёлых металлов в органах карася серебряного (*Carassius auratus gibelio*) из водоёмов Южного Приморья. Известия ТИНРО. Т. 154. С.1-17.

Besser J.M., Brumbaugh W.G., May T.W. et al. (2001) Bioavailability of metals in stream food webs and hazards to brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in the upper Animas river watershed, Colorado. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 40(1): 48-59.

Bervoets L., Blust R. (2003) Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor. Environ. Pollution. 126 (2): 9-19.

Blanck H., Admiraal W., Cleven R.F.M.J. et al. (2003) Variability in zinc tolerance, measured as incorporation of radio-labeled carbon dioxide and thymidine, in periphyton communities sampled from 15 European river stretches. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 44(1): 17-29.

Camusso M., Galassi S., Vignati D. (2002) Assessment of river Po sediment quality by micropollutant analysis. Wat Res. 36: 2491-2504.

Commission Regulation (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities

Cheung K. C., Leung H. M., Wong M. H. (2008) Metal Concentrations of Common Freshwater and Marine Fish from the Pearl River Delta, South China. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 54:705–715.

Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008. Official Journal of the European Union.

Fernandez J.A., Vazquez M.D., Lopez J., Carballeira A. (2006) Modelling the extra and intracellular uptake and discharge of heavy metals in *Fontinalis antipyretica* transplanted along a heavy metal and pH contamination gradient. Environ Pollut. 139. 21-31.

Has-Schön E., Bogut I., Strelec I. (2006) Heavy metal profile in five fish species included in human diet, domiciled in the end flow of River Neretva (Croatia). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 50: 545-551.

Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Anishchenko O.V., Makhutova O.N., Kalachova G.S., Gribovskaya I.V. (2009) Benefit-risk ratio of food fish intake as the source of essential fatty acids vs. heavy metals: A case study of Siberian grayling from the Yenisei River. *Food Chem.* 115(2): 545-550.

Glime J. M. (2007) *Bryophyte Ecology*. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook <http://www.bryocol.mtu.edu>

Gutleb A.C., Helsing A., Mitchell C. (2002) Heavy metal concentrations in fish from a Pristine rainforest valley in Peru: a baseline study before the start of oil-drilling activities. *Bull Environ Contam Toxicol* 69: 523-529.

Ikem A., Egiebor N.O., Nyavor K. (2003) Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee lake, southeastern USA. *Water, Air and Soil Pollution.* 149: 51-75.

Jain C.K. (2004) Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. *Water Res.* 38: 569-578.

Lahr J., Maas-Diepeveen J.L., Stuijzand S.C., Leonards P.E.G. et al. (2003) Responses in sediment bioassays used in the Netherlands: can observed toxicity be explained by routinely monitored priority pollutants? *Water Res.* 37: 1691-1710.

Liang Y., Cheung R.Y.H., Wong M. H. (1999) Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals in fish. *Water Res.* 33(11): 2690-2700.

Leslie H.A., Pavluk T.I., Bij de Vaate A., Kraak M.H.S. (1999) Triad assessment of the impact of chromium contamination on benthic macroinvertebrates in the Chusovaya river (Urals, Russia) *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 37(2): 182-189.

MacDonald D. D., Ingersoll C. G., Berger T. A. (2000) Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39: 20-31.

Martins R.J.E., Boaventura R.A.R. (2002) Uptake and release of zinc by aquatic bryophytes (*Fontinalis antipyretica* L. Ex. Hedw). *Water Res.* 36(20): 5005-5012.

Musibono D. E., Day J.A. (2000) Active uptake of aluminium, copper and manganese by the freshwater amphipod *Paramelita nigroculus* in acidic waters. *Hydrobiologia* 437: 213-219.

Rosales-Hos L., Carranza-Edwards A. (1998) Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60. 553-561.

Sivaperumal P., Sankar T.V., Viswanathan Nair P.G. (2007) Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chem.* 102 (3): 612-620.

Smolders A. J. P., Lock R.A.C., Van der Veld G. et al. (2003) Effects of mining activities on heavy metal concentrations in water, sediment, and macroinvertebrates in different reaches of the Pilcomayo River. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44(3): 314-323.

Sprynskyy M., Lebedynets M., Namiesnik J., Buszewski B. (2007) Phenolics occurrence in surface water of the Dniester river basin (West Ukraine): natural background and industrial pollution. *Environ. Geol.* 53:67-75.

Vázquez M. D., Fernández J. A., López J., Carballeira A. (2000) Effects of water acidity and metal concentration on accumulation and within-plant distribution of metals in the aquatic bryophyte *Fontinalis antipyretica*. *Water, Air and Soil Pollution* 120: 1-19.

United States Office of Water Environmental Protection Office of Science and Technology 2006 Agency (4304T). National Recommended Water Quality Criteria, 24 p.

Zhou H.Y., Cheung R.Y.H., Chan K.M., Wong M.H. (1998) Metal concentrations in sediments and *Tilapia* collected from inland waters of Hong Kong. Water Res. 32 (11): 3331-3340.

Assessment of the Yenisei River Anthropogenic Pollution by Metals Concentrations in the Main Ecosystem Compartments Upstream and Downstream Krasnoyarsk City (Russia)

**Olesya V. Anishchenko^{a,b},
Michail I. Gladyshev^{a,b}, Elena S. Kravchuk^{a,b},
Galina S. Kalacheva^a and Iliada V. Gribovskaya^a**

^a *Institute of Biophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

^b *Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

Metal and organic compound concentrations in water and metal concentrations in ecosystem compartments in the two sites of the Yenisei River, upstream and downstream Krasnoyarsk City, were studied for the assessment of anthropogenic pollution. Metal and organic compound concentrations in water didn't exceed upper limits, except Al and petrochemical products. Fe, Cu, Mn, Ni, Cr, phenols, nitrite and nitrate concentrations in water in the downstream were significantly greater than those of upstream. Cu, Zn u Pb concentrations in river sediments downstream were significantly higher than those upstream, but didn't exceed Probable Effect Concentrations. Mn concentrations in gammarides downstream were significantly higher than those upstream, probably because of higher aquatic concentration of this metal there. Metal concentrations in grayling muscles didn't exceed upper limits in the food set by Russian and international standards.

Keywords: heavy metals, anthropogenic pollution, river ecosystem.
