

Геохимия донных отложений рек Красноуральского промузла

Михаил Викторович ШАБАНОВ*

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Россия, Санкт-Петербург

Актуальность работы. Добыча и переработка медного сырья в районе города Красноуральск Свердловской области привели к существенному загрязнению донных отложений поверхностных водотоков. Сточные воды и аэропромвыбросы попадают в аквальные системы и оказывают существенное влияние на химический состав донных отложений. Главными водными артериями в районе города Красноуральска, испытывающими значительное влияние на антропогенные нагрузки, являются реки Салда, Айва и их притоки.

Цель работы. Анализ содержания халькофильных, сидерофильных и литофильных элементов в донных отложениях поверхностных водотоков в зоне влияния медеплавильного комбината.

Методология исследований. Проведена количественная оценка содержания химических элементов в донных отложениях вблизи медеплавильного комбината на примере города Красноуральска.

Результаты. В ходе исследования установлено, что воздействие Красноуральского металлургического комбината негативно сказывается на химическом составе донных отложений. В донных отложениях фоновых водотоков (река Айва в верхнем течении) уровень загрязнения средний. Наиболее сложная ситуация в реках Кушайке, Сорье и Сорьинском хвостохранилище, в них выявлены геохимические аномалии. Ведущими элементами являются As, Cu, Pb, Zn, S, уровень загрязнения высокий и очень высокий. Основным источником поступления загрязняющих веществ является 5-й тупик, где происходит окисление руд и продукты разрушения поступают в поверхностные водотоки и Сорьинское хвостохранилище.

Выводы. Выявлены возрастающие концентрации исследуемых элементов $As < Pb < Cu < S < Ba < Sr < Ni < Fe$. В изученных водотоках обнаружены элементы, которые создают напряженную экологическую обстановку. По показателю суммарного загрязнения исследуемые водотоки характеризуются высоким и очень высоким уровнем загрязнения.

Ключевые слова: поверхностные воды, донные отложения, коэффициент накопления, суммарный показатель загрязнения.

Введение
Эколого-геологические проблемы горнорудных районов в настоящее время представляют большой интерес, так как добыча, переработка рудного сырья негативно сказываются на химическом составе водных объектов. Загрязняющие вещества поступают в окружающую среду с аэропромвыбросами, оседают на прилегающих водосборах, после выпадения атмосферных осадков они смываются в ближайшие водотоки. Наличие отвалов, хвостохранилищ, шламохранилищ способствует поступлению тяжелых металлов в водотоки [1–3]. Наиболее опасными загрязнителями окружающей среды признаны вещества химической природы, в том числе и тяжелые металлы [4].

Природные воды характеризуются определенными физико-химическими условиями. Часть металлов, поступая в воду, выпадает в осадок, либо концентрируется в донных отложениях илистыми частицами [5–7], либо мигрируют с водотоком и при изменении физико-химических условий образует комплексные соединения.

В результате такой трансформации природные гидрологические системы изменяются и переходят в техногенные гидрологические системы, которые перестраиваются и переходят на новый этап развития. Любые процессы трансформации экосистемы могут привести к необратимым изменениям в составе донных отложений. Они, с одной стороны, за счет адсорбции и обменных реакций способствуют самоочищению водной среды, с другой, – могут являться источником вторичного загрязнения воды.

Экосистемы Уральского региона чувствительны к антропогенным нагрузкам. ОАО «Святогор» сбрасывает свои стоки в поверхностные воды, а также загрязняет аэропромвыбросами водосборную территорию. Положение ухудшается выпадением кислотных дождей, которые взаимодействуют с токсичными отходами переработки и в виде мелких ручейков, образуя большие потоки, стекают в пониженные элементы рельефа, в дальнейшем они поступают в поверхностные воды, где начинается новый цикл для тяжелых металлов.

В связи с этим целью данной работы является изучение современного состояния донных отложений и содержания в них тяжелых металлов, а также их накопления на различных участках и на разном удалении от комбината. Основная задача исследований направлена на выявление геохимических аномалий, которые создают экологическую напряженность в районе исследования.

Материалы и методы

Объектом изучения являются донные отложения поверхностных водотоков. Отбор проб проведен в зонах аккумуляции и смешивания в летний период (июль) в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01 [8].

В основу исследования положено изучение химического состава донных отложений. Донные отложения отбирали ковшовым методом в полиэтиленовые пакеты, высушивали при комнатной температуре и подвергали химическому анализу. Гранулометрический состав определяли по ГОСТу [9], химический состав донных отложений – на рентгеновском дифрактометре XRD 7000.

Исследования проводились на равнинной части бассейна среднего течения р. Салды. Основное питание река получает за счет главных притоков – рек Айвы, Ключевки, Кушайки и Нивы (рис. 1).

Река Салда берет начало на склоне горы Благодать, к востоку от города Кушвы, на высоте 250 м над уровнем моря. Протекает по территории Свердловской области, в основном по малозаселенной заболоченной местности, где почти не растет лес. У реки преобладает снеговое питание. Усредненный расход воды на расстоянии 36 км от устья – 11,5 м³/с. Протекает по делювиальным отложениям (dllsv) плейстоценового периода, верхнее звено – североуральский надгори-

* geohim@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4725-3673>

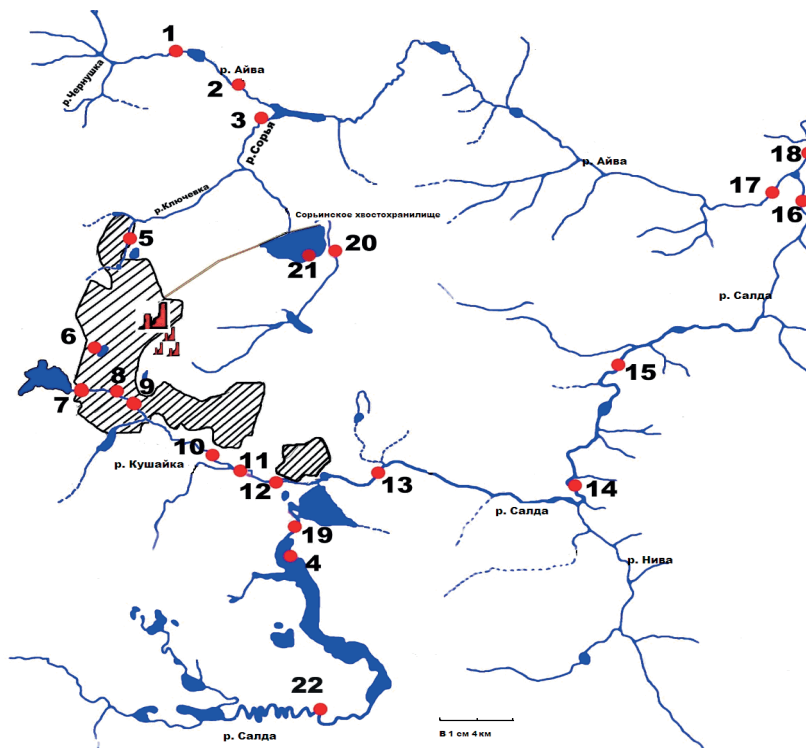


Рисунок 1. Изучаемая система водотоков, точки отбора проб.
Figure 1. The studied system of watercourses, sampling points.

зонт. Площадь водосбора 3670 км². Средняя скорость течения (кроме перекатов) – 0,5 м/с. Глубины средние верховья/ низовья вблизи устья – 1 м.

Айва – левый приток Салды. Длина реки составляет 28 км. В верхнем течении протекает по элювиально-делювиальным отложениям (е, dIII-H), в среднем течении и в месте впадения в реку Салду по делювиальным отложениям (dIIISV) плейстоценового периода. Берега реки крутые, в понижениях заболоченные. В среднем течении берега смыты вследствие работы драги.

Притоки р. Айвы – р. Ключевка, которая протекает в черте города Красноуральска, ширина русла 0,5–0,6 м, глубина 0,2–0,5 м, и р. Сорья, которая берет свое начало в болотах, протяженность 3 км, ширина 5 м, глубина 1,2–1,5 м, протекает вдоль Сорьинского хвостохранилища. Берега пологие, песчаные.

Река Кушайка берет свое начало в городском пруду, берега крутые, глубина 0,5–1 м. Длина реки составляет 12 км.

Река Нива является правым притоком реки Салды. Общая протяженность составляет 19 км, площадь водосбора 135 км², глубина 1,2–1,5 м. Протекает сквозь березово-сосновый лес. Берега частично нарушены драгой.

Сорьинское хвостохранилище сформировано на северо-западе от завода. На исследуемой территории выделены фоновые водотоки, не подверженные техногенной нагрузке (точки 1, 2, 22 и 4), зоны смешивания (точки 8 и 9, 11 и 12, 17 и 18) и пункты, находящиеся в непосредственной близости от комбината.

Основные фоновые водотоки имеют постоянный ионный состав, вещества, поступающие из атмосферы с боковым стоком, трансформируются в результате внутренних процессов водотоков и водоемов.

В зонах смешивания происходит резкий скачок окислительно-восстановительного потенциала, изменяются физико-химические условия, что приводит к образованию новых веществ, которые напрямую или косвенно воздействуют на донные отложения.

Показатель pH донных отложений колеблется в широком диапазоне – от 2,49 до 7,25. В фоновых водотоках реакция среды преимущественно слабокислая. В донных отложениях Сорьинского хвостохранилища (точка 21) реакция среды кислая, в отложениях озера, находящихся в непосредственной близости от пруда (точка 20), реакция среды сильнокислая.

Кислая реакция среды донных отложений выявлена в точках 10 и 17, в эти водотоки попадают продукты кислотного гидролиза с близлежащих территорий, которые выпадают в осадок.

В составе донных отложений преимущественно присутствует псаммитовая фракция (табл. 1), в ней преобладают грубо- и среднезернистые пески, но грубозернистого песка меньше, максимум его в точке 4, в точках 11 и 21 преобладают мелко- и тонкозернистые пески. Алевритовая и илистая фракции представлены в незначительном количестве, максимум алевритовой фракции в точках 3, 12 и 20, на илистую фракцию приходится менее 7%. В донных отложениях точек 2 и 19 преобладает грубообломочный материал размером более 10 мм.

Содержание пелитов и алевритов отражает гидродинамический режим рек: чем больше скорость течения, тем меньше алевритовой фракции и больше псаммитов.

Органическое вещество донных отложений играет активную роль в накоплении химических элементов. Из данных табл. 1 видно, что концентрация органического вещества отличается низким содержанием, что, очевидно, обусловлено гранулометрическим составом донных отложений, где преобладают грубозернистые и крупнозернистые пески. Наибольшее содержание органического вещества выявлено в точке 8. В остальных объектах его содержание не превышает 2,50%.

Таблица 1. Гранулометрический состав донных отложений.
Figure 1. The studied system of watercourses, sampling points.

Точки отбора проб	рН	Органическое вещество, %	Размер частиц, мм								
			> 10	10–2	2–1	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
1	5,66	2,03	38,80	43,45	2,50	0,42	0,21	4,44	2,94	0,58	5,00
2	5,13	1,14	100,00	–	–	–	–	–	–	–	–
3	2,49	0,90	–	1,05	4,00	22,90	8,82	55,29	0,59	0,59	6,76
4	6,82	1,82	12,40	15,95	36,20	22,25	1,50	4,12	0,88	1,76	5,00
5	5,89	1,37	20,00	18,30	5,15	19,70	11,85	18,53	1,77	3,53	1,17
7	7,25	1,82	6,50	33,70	20,35	25,30	5,33	7,06	0,88	0,30	0,58
8	5,80	12,66	–	12,43	7,20	19,24	24,20	11,60	2,54	15,35	7,44
9	5,85	1,53	–	41,90	27,95	22,00	3,45	4,12	0,00	0,29	0,29
10	4,08	1,12	–	7,95	27,15	42,45	9,12	9,70	1,48	1,76	0,29
11	6,27	1,84	–	1,35	1,25	20,90	52,97	14,71	3,53	4,71	0,58
12	6,62	1,09	–	0,85	0,75	8,15	31,43	45,59	5,88	5,88	1,47
13	6,36	1,53	–	–	1,15	18,15	30,70	31,18	5,00	7,94	5,88
15	6,93	1,09	–	14,25	26,70	42,75	7,18	7,65	–	1,47	–
16	5,62	2,15	12,30	15,55	19,30	20,50	23,23	7,94	0,29	0,88	–
17	4,55	1,68	–	1,65	11,30	66,55	16,38	3,53	–	0,58	–
18	5,32	1,24	24,55	7,00	3,75	15,00	16,76	28,82	0,30	2,35	1,47
19	5,50	1,65	100,00	–	–	–	–	–	–	–	–
20	2,75	1,12	–	–	–	1,05	12,48	82,95	0,30	3,22	–
21	4,86	0,99	5,40	74,85	15,45	2,75	64,08	2,32	–	–	–
22	5,75	1,72	–	1,60	2,90	29,10	24,93	17,06	9,41	11,18	3,82

Для характеристики содержания химических элементов в донных отложениях использовались данные среднего содержания микроэлементов в донных отложениях Уральского региона [10] и кларки химических элементов, по Виноградову, в литосфере [11].

Содержания халькофильных, литофильных и сидерофильных элементов в отложениях изученных водотоков представлены в табл. 2, в распределении их по течению рек наблюдается определенная неравномерность.

В фоновых водотоках (река Айва, точка 1, и в верхнем течении реки Салды, точка 22) содержание халькофильных элементов незначительно превышает фоновое. Высокие концентрации выявлены для цинка и свинца (точка 1), цинка и меди (точка 22). Для литофильных элементов только для стронция и бария (точка 1) и по хрому (точка 22). Незначительное превышение обуславливается не только природными геохимическими процессами, но и распространяющимися на значительное расстояние аэропромвыбросами комбината. Кроме перечисленных факторов, на накопление элементов существенное влияние оказывает гранулометрический состав отложений. Преобладание мелких фракций способствует сорбции тяжелых металлов, что также отражено в [12]. Сидерофильные элементы не превышают фоновое и кларковое содержание.

Для характеристики техногенных геохимических ассоциаций в донных отложениях рассчитаны коэффициент концентрации K_c (табл. 3) [13], коэффициент накопления R_x . Р. Моксхэма, показатель N_x , характеризующий количественный состав техногенной геохимической ассоциации и отражающий число входящих в нее химических элементов [14], и суммарный показатель химического загрязнения Z_c .

Как видно из данных табл. 3, активнее всего происходит накопление стронция, бария и свинца (точка 1), а также кобальта для точки 22. По показателю суммарного загрязнения фоновые водотоки относятся к среднему уровню загрязнения [15].

Основным источником поступления элементов в поверхностные водотоки являются отвалы пород вблизи станции «Медь» на западной окраине города, откуда после выпадения атмосферных осадков продукты окисления руд в ионной форме с временными русловыми потоками транспортируются в пониженные элементы рельефа.

В реке Кушайке установлено наивысшее содержание халькофильных элементов (точки 7, 8, 9 и 10), превышение относительно фонового содержания составляет сотни раз. Литофильные элементы, такие как стронций и барий, незначительно превышают фон. Данные табл. 3 свидетельствуют, что в реке Кушайке активнее всего накапливаются медь, мышьяк, свинец, сера, цинк, а также кобальт. Показатель суммарного загрязнения свидетельствует об очень высоком уровне загрязнения (точка 8) и высоком (точки 7, 9 и 10). Вниз по течению при впадении в реку Салду происходит разбавление концентрации металлов, часть сорбируется гидроксидами железа и уносится дальше. В этих точках (13, 15 и 16) – незначительное превышение концентрации халькофильных элементов. Сорьинское хвостохранилище (точка 21) организовано в пойме реки Сорья путем возведения плотины из суглинка и предназначено для складирования хвостовой пульпы, площадь хвостохранилища 500 га. Из хвостохранилища дебалансовые воды попадают в реку Сорью [16]. Ведущими элементами донных отложений являются As, Pb, Ba, Co, Sr и S, уровень загрязнения очень высокий. Тонкая взвесь хвостохранилища попадает в реку Сорью. Мелкие пруды вокруг хвостохранилища, возникающие в пониженных элементах рельефа за счет скапливающейся влаги, поступающей с откосов хвостохранилища (точка 20), характеризуются накоплением Pb, As, Ba, Co и Cu, уровень загрязнения высокий. В жаркое лето они пересыхают, и тонкодисперсные частицы ветром развеваются на близлежащие ландшафты.

Еще один объект, расположенный на значительном расстоянии от источника загрязнения (точка 4), – Красноуральское водохранилище, донные отложения также характеризуются геохимически аномальным содержанием элементов. Ведущими химическими элементами являются Pb, As, Zn и Ba. Уровень загрязнения высокий. Такое содержание, возможно, связано со строительством дамбы, где использовались породы, содержащие сульфидные руды.

Таблица 2. Химический состав донных отложений.
Table 2. The chemical composition of bed deposits.

Элемент	Кларк ¹ Фон	Точки отбора проб																			
		1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22
Si	$\frac{29,50}{*}$	27,9	25,01	18,19	25,56	30,53	1,56	11,79	24,94	28,25	25,04	27,23	26,75	26,26	36,64	26,84	26,34	26,11	21,33	28,35	26,87
Al	$\frac{8,05}{*}$	8,04	8,84	5,77	6,39	7,81	0,92	7,77	8,06	9,96	9,73	9,57	10,68	7,74	11,27	8,33	8,17	10,39	6,68	10,52	10,07
Fe	$\frac{4,65}{*}$	4,99	5,83	11,98	13,65	4,14	1,97	11,88	10,10	7,97	6,76	5,19	6,09	6,24	6,64	9,49	8,70	6,60	12,04	12,86	5,77
Ca	$\frac{2,96}{*}$	3,62	3,44	0,59	2,63	1,49	29,97	0,86	2,33	3,70	2,31	1,61	1,59	2,70	4,18	2,79	2,45	1,54	1,09	5,97	1,92
K	$\frac{2,50}{*}$	2,48	1,96	1,51	1,04	1,33	0,03	0,72	1,52	2,44	1,86	1,92	1,72	1,27	2,11	1,32	1,28	2,15	1,70	2,81	1,96
Na	$\frac{2,50}{*}$	2,39	3,46	0,69	1,33	1,27	0,08	0,36	1,15	2,75	1,45	1,03	1,10	1,75	2,16	1,43	1,59	0,95	0,93	3,28	1,20
Mg	$\frac{1,87}{*}$	0,72	0,85	0,51	0,82	0,83	0,80	0,40	0,93	1,21	0,99	1,57	1,24	3,65	1,72	1,15	1,16	0,98	0,77	2,89	1,58
Ti	$\frac{0,60}{*}$	0,32	0,32	0,23	0,21	0,33	0,03	0,17	0,37	0,62	0,46	0,48	0,44	0,34	0,69	0,47	0,38	0,55	0,35	0,68	0,39
Mn	$\frac{0,10}{*}$	0,10	0,27	0,02	0,21	0,06	0,04	0,04	0,15	0,13	0,08	0,15	0,23	0,18	0,16	0,09	0,07	0,17	0,03	0,22	0,11
Sr	$\frac{0,00227}{*}$	0,09	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,07	0,04	0,02	0,03	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,05
Ba	$\frac{0,00223}{*}$	0,08	0,05	0,19	0,14	0,02	0,02	-	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04	0,09	0,07	0,07	0,06	0,19	0,07	0,06
S	$\frac{0,047}{*}$	0,03	0,85	4,64	0,42	0,06	3,76	1,70	0,17	0,07	0,16	0,02	0,04	0,02	0,19	0,50	0,44	0,11	4,24	0,75	0,04
Cr	$\frac{0,0247}{*}$	0,02	0,04	0,01	0,06	0,05	0,009	0,01	0,04	0,02	0,02	0,06	0,02	1,04	0,17	0,11	0,07	0,03	0,01	0,02	0,04
Zn	$\frac{0,0073}{*}$	0,01	0,02	0,14	1,23	0,06	0,17	0,84	0,43	0,04	0,24	0,01	0,07	0,02	0,10	0,03	0,03	0,02	0,07	0,06	0,02
Cu	$\frac{0,0038}{*}$	0,008	0,04	0,09	0,16	0,02	0,15	13,44	0,29	0,01	0,08	0,008	0,03	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,08	0,05	0,01
Ni	$\frac{0,0037}{*}$	0,006	0,006	0,006	0,009	0,008	0,005	0,01	0,01	0,008	0,009	0,02	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,005	0,007	0,02
Pb	$\frac{0,00016}{*}$	0,003	-	0,06	0,07	0,005	0,007	0,03	0,02	0,005	0,007	0,002	0,004	-	-	0,01	0,01	0,003	0,08	0,02	0,002
Ga	$\frac{0,0013}{*}$	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,0008	-	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002
Co	$\frac{0,0008}{*}$	-	0,02	-	-	-	0,0049	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
As	$\frac{0,00017}{*}$	-	-	0,12	0,04	-	-	0,04	0,02	0,007	0,006	-	-	-	-	0,11	0,12	0,004	0,04	0,09	-
Se	$\frac{0,00227}{*}$	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0007	-	-	-	0,0006	-	0,002	-	-
Zr	$\frac{0,002}{*}$	-	-	-	0,009	0,01	-	0,01	0,02	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01

¹В числителе кларковое содержание, в знаменателе фоновое содержание.

Таблица 3. Геохимические ассоциации в донных отложениях.
Table 3. Geochemical associations in bed deposits.

Точки отбора проб	Значения K_c химических элементов	N_s	R_x	Z_c	Уровень загрязнения
1	$Sr_{39}-Ba_{35}-Pb_{18}-(Cu-Ni)_2$	5	19,59	24,49	Средний
2	$Co_{25}-(Sr-Ba)_{22}-S_{18}-Cu_{10}-(Zn-Mn)_3(Cr-Ni)_2$	9	11,85	13,33	Средний
3	$As_{700}-Pb_{375}-S_{98}-Ba_{85}-Cu_{24}-Zn_{19}-Sr_9-Fe_3-Ni_2$	9	146,64	165,09	Очень высокий
4	$Pb_{437}-As_{235}-Zn_{168}-Ba_{62}-(Sr-S)_9-Zr_5-Fe_3-(Ni-Mn-Cr)_2$	11	85,10	93,64	Высокий
5	$Pb_{31}-(Sr-Ba)_9-Zn_8-(Cu-Zr)_6-(Ni-Cr)_2$	8	7,67	10,24	Допустимый
7	$As_{294}-S_{80}-Pb_{43}-Cu_{39}-Zn_{23}-Ca_{10}-Ba_3-Co_6-Sr_4$	9	56,69	63,78	Высокий
8	$Cu_{3536}-Pb_{187}-Zn_{115}-Co_{37}-S_{36}-Zr_5-Sr_4-Ni_3-(Fe-Y)_2$	10	392,98	436,65	Очень высокий
9	$As_{235}-Pb_{125}-Cu_{76}-Zn_{58}-Ba_{31}-Co_{25}-Sr_{17}-Zr_{10}-(S-Ni)_3-(Fe-Cr-Y)_2$	13	45,48	49,27	Высокий
10	$As_{117}-(Pb-Ba)_{31}-Sr_{30}-Co_{25}-Zn_5-(Cu-Ni)_2$	8	30,79	35,19	Высокий
11	$Pb_{43}-As_{41}-Zn_{32}-Ba_{22}-Cu_{21}-Sr_{17}-Co_{12}-Zr_{10}-S_3-(Ni-Ga)_2$	11	18,27	20,75	Средний
12	$Ba_{26}-(Pb-Co)_{12}-Zr_{10}-Sr_9-Ni_5-(Cu-Cr)_2$	8	10,07	11,52	Средний
13	$(Co-Pb)_{25}-Ba_{22}-Sr_{13}-Zr_{10}-Zn_9-Cu_7-Ni_3-Y_2$	9	13,05	14,68	Средний
15	$Cr_{42}-Co_{25}-(Ba-Sr)_{17}-(Ni-Zr)_{10}-(Zn-Cu-Mg)_2$	9	14,53	16,34	Средний
16	$Ba_{40}-Sr_{30}-Zr_{25}-Zn_{13}-Co_{12}-Cr_7-Ni_5-S_4-Y_3$	9	15,71	19,22	Средний
17	$As_{647}-Pb_{62}-Ba_{31}-Sr_{17}-Co_{12}-(Zr-S-Cu)_{10}-Cr_4-(Fe-Ni)_2$	11	73,76	81,14	Высокий
18	$As_{705}-Pb_{62}-Ba_{31}-Co_{25}-Sr_{17}-Cu_{10}-S_9-Zr_5-Zn_4-Ni_3-Fe_2$	11	79,55	87,60	Высокий
19	$Ba_{26}-Co_{25}-As_{23}-Pb_{18}-Zr_{15}-Sr_{13}-Ni_3-(Zn-Cu-S)_2$	10	13,28	14,75	Средний
20	$Pb_{500}-As_{235}-Ba_{85}-Co_{37}-Cu_{21}-Sr_{17}-Zn_{10}-S_9-Zr_5-(Fe-Ga)_2$	11	84,12	92,53	Высокий
21	$As_{529}-Pb_{125}-Co_{37}-Ba_{31}-Sr_{30}-S_{15}-Cu_{13}-Zn_8-Zr_{10}-Fe_3-(Ni-Ga)_2$	12	67,36	73,49	Высокий
22	$Ba_{26}-Co_{25}-Sr_{22}-Pb_{12}-(Ni-Zr)_5-Zn_3-Cu_2$	8	9,64	14,59	Средний

K_c – коэффициент концентрации химического элемента; N_s – количественный состав техногенной геохимической ассоциации; R_x – коэффициент Р.Моксхема; Z_c – суммарный показатель химического загрязнения.
 K_c – concentration coefficient of the chemical element; N_s – is the quantitative composition of the technogenic geochemical association; R_x – R. Moxham coefficient; Z_c – the total indicator of chemical pollution.

Выводы

1. В составе донных отложений преобладает псаммитовая фракция (грубо- и среднезернистые пески). Алевролитовая и илстая фракции представлены в незначительном количестве. Содержание органического вещества в пределах 2,50–13,0 %. Реакция среды донных отложений слабкокислая, и только в отложениях, подверженных техногенному воздействию, – кислая и сильнокислая.

2. В районе воздействия Красноуральского медеплавильного комбината изученные элементы образуют возрастающие ряды по их среднему содержанию в изученных водотоках $As < Pb < Cu < S < Ba < Sr < Ni < Fe$. Полученные данные свидетельствуют о слабой самоочищающей способности рек в зоне техногенеза.

3. Геохимическое зонирование рек выявило металлы, которые создают напряженную экологическую обстановку на исследуемой территории для рек Кушайки – Cu, As, Pb, S, Zn; Сорьи – As, Pb, S, Ba и технологического пруда – As, Pb, Ba, Co, Sr, S. В фоновых водотоках Zn, Pb и Cu.

4. Донные отложения рек Кушайки, Сорьи и технологического пруда по показателю суммарного загрязнения характеризуются высоким и очень высоким уровнем загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yu K. C., Chang C. Y., Tsai L. J., Ho S. T. Multivariate analyses on heavy metal binding fractions of river sediments in Southern Taiwan // *Water Sci. Technol.* 2000. Vol. 42, issue 7–8. P. 193–199. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0569>
 2. Demirezen D., Aksoy A. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey) // *Chemosphere.* 2004. Vol. 56, issue 7. P. 685–696. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.04.011>
 3. Sasmaz A., Obek E., Hasar H. The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent // *Ecological Engineering.* 2008. Vol. 33. P. 278–284.
 4. Трапезников А. В. Радиоэкология пресноводных экосистем (на примере Уральского региона): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2001. 48 с.
 5. Nelson S. M., Rolin R. A., Thullen J. S., Sartoris J. J., Boutwell J. E. Invertebrate assemblages and trace element bioaccumulation associated with constructed wetlands // *Wetlands.* 2000. Vol. 20, issue 2. P. 406–415. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2000\)020\[0406:IAATEB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2000)020[0406:IAATEB]2.0.CO;2)
 6. Hollert H., Keiter S., König N., Rudolf M., Ulrich M., Braunbeck T. A new sediment contact assay to assess particle-bound pollutants using zebrafish (*danio rerio*) embryos // *Journal of Soils and Sediments.* 2003. Vol. 3. P. 197–207. <https://doi.org/10.1065/jss2003.09.085>
 7. Audry S., Schäfer J., Blanc G., Jouanneau J. M. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France) // *Environmental Pollution.* 2004. Vol. 132, issue 3. P. 413–426. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.025>
 8. ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. Введ. 01.01.82. М.: Изд-во стандартов, 1980.
 9. ГОСТ 12536–79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 01.07.80. М.: Изд-во стандартов, 1979.
 10. Попов Б. А., Лучинин И. Л., Гузовский Я. А., Болсун В. М., Гуткин В. Е., Петров В. Я. Геохимический атлас Среднего и Южного Урала // В. И. Вернадский и современные проблемы геологии (в ознаменовании 125-летия со дня рождения В. И. Вернадского). Свердловск, 1988, С. 4–5.

11. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
12. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 286 с.
13. Сает Ю. Е., Алексинская Л. Н., Янин Е. П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 74 с.
14. Moxham R. L. Minor element distribution in some metamorphic pyroxenes // Can. Mineral. 1960. Vol. 6. P. 522–545.
15. Сает Ю. А. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М.: ИМГРЭ, 1982. 53 с.
16. Бичукина И. А., Парфенова Л. П., Копенкина О. А. Факторы формирования геоэкологических условий территории Сорьинского хвостохранилища // Горный журнал. 2008. № 8. С. 192–194.

Статья принята в редакцию 22 января 2019 г.

Geochemistry of rivers bed deposits of the Krasnouralsk industrial hub

Mikhail Viktorovich SHABANOV*

Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russia

Relevance of the work. Extraction and processing of copper raw materials in the area of the town of Krasnouralsk, Sverdlovsk Region, led to significant pollution of bed deposits of open watercourses. Wastewater and airborne emissions enter aquatic systems and have a significant effect on the chemical composition of bed deposits. The main waterways in the area of the town of Krasnouralsk, which have a significant impact on anthropogenic pressures, are the Salda, the Ayva and their tributaries.

Purpose. Analysis of the content of chalcophilic, siderophilic and lithophilic elements in the bed deposits of open watercourses in the zone of influence of the copper smelter.

Research methodology. A quantitative assessment of the content of chemical elements in bed deposits near a copper smelter was carried out using the example of the town of Krasnouralsk.

Results The study found that the impact of the Krasnouralsk metallurgical complex negatively affects the chemical composition of bed deposits. In the bed deposits of regional watercourses (the Ayva river in the upstream), the level of pollution is average. The most difficult situation in the rivers Kushayka, Sorye and Sorya tailings, they revealed geochemical anomalies. The leading elements are As, Cu, Pb, Zn, S, the level of pollution is high and very high. The main source of pollutants is the 5th dead end, where ore is oxidized and the products of destruction enter the surface streams and the Sorya tailing dump.

Conclusions. Increasing concentrations of the studied elements $As < Pb < Cu < S < Ba < Sr < Ni < Fe$ were revealed. In the studied watercourses, elements have been discovered that create a tense ecological situation. In terms of total pollution, the studied streams are characterized by high and very high levels of pollution.

Keywords: open water, bed deposits, accumulation factor, consolidated figures for pollution.

REFERENCES

1. Yu K. C., Chang C. Y., Tsai L. J., Ho S. T. 2000, Multivariate analyses on heavy metal binding fractions of river sediments in Southern Taiwan. *Water Sci. Technol.*, vol. 42, issue 7–8, pp. 193–199. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0569>
2. Demirezen D., Aksoy A. 2004, Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, vol. 56, issue 7, pp. 685–696. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.04.011>
3. Sasmaz A., Obek E., Hasar H. 2008, The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary effluent. *Ecological Engineering*, vol. 33, pp. 278–284.
4. Trapeznikov A. V. 2001, *Radioekologiya presnovodnykh ekosistem (na primere Ural'skogo regiona)* [Radioecology of freshwater ecosystems (case study of the Ural region)], PhD thesis, Ekaterinburg, 48 p.
5. Nelson S. M., Roline R. A., Thullen J. S., Sartoris J. J., Boutwell J. E. 2000, Invertebrate assemblages and trace element bioaccumulation associated with constructed wetlands. *Wetlands*, vol. 20, issue 2, pp. 406–415. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2000\)020\[0406:IAATEB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2000)020[0406:IAATEB]2.0.CO;2)
6. Hollert H., Keiter S., König N., Rudolf M., Ulrich M., Braunbeck T. 2003, A new sediment contact assay to assess particle-bound pollutants using zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Journal of Soils and Sediments*, vol. 3, pp. 197–207. <https://doi.org/10.1065/jss2003.09.085>
7. Audry S., Schäfer J., Blanc G., Jouanneau J. M. 2004, Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environmental Pollution*, vol. 132, issue 3, pp. 413–426. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.025>
8. 1980, GOST 17.1.5.01–80. Protection of Nature. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water bodies for analysis of pollution. Moscow.
9. 1979, GOST 12536–79. Soils. Laboratory methods for determination of particle size (grain) and microaggregate composition. Moscow.
10. Popov B. A., Luchinin I. L., Guzovskiy YA. A., Bolsun V. M., Gutkin V. Ye., Petrov V. YA. 1988, *Geokhimicheskiy atlas Srednego i Yuzhnogo Urala* [Geochemical atlas of the Middle and Southern Urals], V. I. Vernadsky and modern issues of geology (to commemorate the 125th anniversary of the birth of V. I. Vernadsky). Sverdlovsk, pp. 4–5.
11. Vinogradov A. P. 1962, Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 7, pp. 555–571. (In Russ.)
12. Moore J., Ramamurti S. 1987, *Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh* [Heavy metals in natural waters]. Moscow, 286 p.
13. Saet Yu. E., Aleksinskaya L. N., Yanin E. P. 1982, *Metodicheskiye rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya poverkhnostnykh vodotokov khimicheskimi elementami* [Guidelines for the geochemical evaluation of pollution of surface watercourses by chemical elements]. Moscow, 74 p.
14. Moxham R. L. 1960, Minor element distribution in some metamorphic pyroxenes. *Can. Mineral.*, vol. 6, pp. 522–545.
15. Sayet YU. A. 1982, *Antropogennyye geokhimicheskiye anomalii (osobennosti, metodika izucheniya i ekologicheskoye znacheniye)* [Anthropogenic geochemical anomalies (features, methods of study and environmental significance)], PhD thesis, Moscow, 53 p.
16. Bichukina I. A., Parfenova L. P., Kopenkina O. A. 2008, Factors of the formation of geoecological conditions of the territory of the Sorya tailings dam. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], no. 8, pp. 192–194. (In Russ.)

The article was received on January 22, 2019

* geohim@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4725-3673>