

УДК 550.42:546.3:627.147(470.22)

ЗАХАР ИВАНОВИЧ СЛУКОВСКИЙ

аспирант кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет, старший лаборант-исследователь, Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
slukovsky87@gmail.com

ТАТЬЯНА ПЕТРОВНА БУБНОВА

научный сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
bubnova@krc.karelia.ru

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФРАКЦИИ <0,1 ММ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ НЕГЛИНКИ – ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОГО ВОДОТОКА

Донные отложения городских рек являются аккумуляторами загрязняющих веществ (например, тяжелых металлов), поступающих как из воздушной среды, так и из неочищенных промышленных и канализационных стоков. Основным фактором, обуславливающим формирование химического состава осадков, является их гранулометрический состав [5]. Целью данной работы являлось обоснование использования фракции <0,1 мм донных отложений малой реки Неглинки (г. Петрозаводск) для оценки экологического состояния городской части водотока. Гранулометрический анализ выполнялся при помощи анализатора частиц серии LS13 320. Химический состав донных отложений был определен на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Определялись концентрации Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mo, Sb, Sn, V, Mn и W. Проведен ранговый корреляционный анализ Спирмена между концентрациями металлов в валовой фракции <2,0 мм и их содержанием в образцах проб различных гранулометрических фракций. В результате установлена положительная (в ряде случаев высокая) корреляционная зависимость между концентрациями Zn, Cd, Pb, Co, Cu, Sb, Sn, V, Mn и W и самыми тонкими фракциями (<0,005, 0,005–0,05, 0,05–0,1 и 0,1–0,25 мм) отложений реки и отрицательная – относительно фракций >0,25 мм. Выявлена особая геохимическая ассоциация Cr-Ni-Mo, соответствующая, согласно литературным данным, подобной ассоциации в почвах г. Петрозаводска. Выявлен качественный вклад фракции <0,1 мм донных отложений Неглинки в валовый химический состав грунтов в накоплении тяжелых металлов. Лучшее всего в этой фракции отложений реки аккумулируются такие металлы, как Cd, W, Sn, Mn и V.

Ключевые слова: тяжелые металлы, донные отложения, малая река, гранулометрический состав, корреляционный анализ

ВВЕДЕНИЕ

Стремительный рост городов не может не сказываться на ухудшении состояния природных сред, затронутых процессом урбанизации. Город Петрозаводск – не исключение [1], [6], [9], [12], [13], [16] и др. Согласно государственным докладом о состоянии окружающей среды Республики Карелия, в 2010 и 2011 годах количество взвешенных веществ, в состав которых входят ионы тяжелых металлов (ТМ), в атмосферном воздухе над территорией столицы Карелии составляло 0,114 и 0,104 мг/м³ в среднем за год соответственно. По данным снеговой съемки Петрозаводска [9], установлено превышение концентраций Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mo, Sb, V, Mn и W относительно фоновых значений. Основными аккумуляторами загрязнителей, поступающих из воздушной среды, являются такие инертные геологические формации, как почва и донные отложения (ДО) водных объектов. Последние кроме атмосферных поллютантов накапливают вещества, поступающие из неочи-

щенных промышленных и/или дождевых канализационных стоков [1].

Согласно [5], наиболее значительным физическим фактором, обуславливающим формирование химического состава ДО, является гранулометрический (зерновой, или механический) состав осадков. У разных исследователей ([18], [19], [20]) можно обнаружить данные о положительной взаимосвязи между содержанием в речных ДО химических элементов, имеющих антропогенное происхождение, и составом тонких гранулометрических фракций (тонкопесчаных, алевритовых и глинистых).

По данным [8], в 1999 году в воде городской части р. Неглинки установлены превышения концентраций Pb (в 4,4 раза), Zn (3,6) и Cu (2,8) над концентрациями этих металлов в воде загородной части водотока. Кроме того, в [8] оценен уровень аккумуляции ТМ водорослями *Zygnema sp.*; превышения концентраций над фоновыми значениями установлены по Pb (2,9), Cu (2,9), Zn (2,2), Cd (1,5), Ni (1,5), Cr (1,4)

и Со (1,1). В настоящей работе представлены первые результаты исследования химического и гранулометрического состава русловых отложений городской части малой реки Неглинка. Показана экологическая значимость тонкопесчано-алевритово-глинистой фракции осадка, несущей информацию о значительном загрязнении водного объекта химическими элементами.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Неглинка – малая, типичная для Фенноскандинавского региона река длиной около 14 км [7]. В своем среднем и нижнем течении (около 8 км) она протекает по территории города Петрозаводска (Республика Карелия), впадая в Онежское озеро. Дно реки сложено как валунно-галечным ледниковым материалом, так и более современными глинисто-алевритово-песчаными отложениями. Ранее проведенные исследования [14] выявили значительное количество грубо-, крупно-, средне- и мелкозернистых песчаных частиц по сравнению с тонкозернистыми, алевритовыми и глинистыми наносами. В связи с этим ДО Неглинки нельзя назвать «классическими» техногенными илами (за исключением отдельных участков), которыми, по представлениям Е. П. Янина [17], характеризуются водные объекты урбанизированных территорий.

Полевые исследования проведены в июне 2011 года. Ширина реки в это время года достигает 3–5 м, глубина – до 2 м. Для исследований отобраны пробы из верхнего слоя (до 10 см) ДО в пределах русловой части водотока по всей длине его городской части (всего 12 образцов) и одна проба (№ 13) – в пригородной части реки (рис. 1а). Пробы отбирались при помощи дночерпателя системы Экмана – Берджи (площадь захвата – 225 см²). Вес образцов составлял 300–400 г. Использованы методические рекомендации по отбору проб ДО [4], [10]. Далее пробы

просушивались до воздушно-сухого состояния в комнатных условиях на чистых белых листах бумаги. Чтобы максимально сохранить зерна глинистой фракции всех образцов ДО, жидкая часть пробы просушивалась отдельно – в стеклянных чашках Петри.

После просушки пробы перемешивались и просеивались через сито с размером ячеек 2 мм. Часть каждой пробы для определения гранулометрического состава исследуемых образцов анализировалась при помощи многофункционального анализатора частиц серии LS13 320 (Beckman Coulter) методом лазерной дифрактометрии [14]. При описании гранулометрических фракций использована классификация Л. Б. Рухина, согласно которой фракция с размером зерен <0,005 мм соответствует глинистым, 0,005–0,05 мм – алевритовым, 0,05–0,1 мм – тонкопесчаным, 0,1–0,25 мм – мелкопесчаным, 0,25–0,5 – среднепесчаным и 0,5–2 мм – крупно- и грубопесчаным отложениям [11].

Определение элементного состава фракции <2 мм после истирания до порошкообразного состояния производилось на квадрупольном масс-спектрометре X-SERIES-2 с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Кроме того, часть каждой пробы просеивалась через сито с размером ячеек 0,1 мм и также анализировалась на масс-спектрометре. Контроль качества определения концентраций химических элементов проверялся по стандартному образцу ГСО 7126–94 – химический состав донного ила озера Байкал (БИЛ-1). Погрешности измерений указаны в табл. 1. Лабораторные исследования проводились на базе Института геологии Карельского научного центра РАН.

При определении корреляционных связей между полученными аналитическими данными химического и механического состава ДО Неглинки использовался ранговый корреляционный анализ Спирмена. Кластерный анализ проводился при помощи программы Statgraphics plus 2.1. Рисунки и диаграммы были выполнены при помощи программ MapInfo Professional 9.0.2, Microsoft Office PowerPoint и Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После проведения химического анализа были получены концентрации ТМ в пробах фракций <2,0 и <0,1 мм (табл. 1), соответствующих, согласно ГОСТу РФ 17.4.1.02–83 «Классификация химических веществ для контроля загрязнения», 3 классам опасности: Cd, Pb и Zn (высоко опасные), Co, Ni, Mo, Cu, Cr и Sb (умеренно опасные) и V, W и Mn (мало опасные) [2].

Корреляционные зависимости между полученными валовыми концентрациями металлов во фракции <2,0 мм и содержанием разных гранулометрических фракций во всех изученных образцах представлены в табл. 2. Из представ-

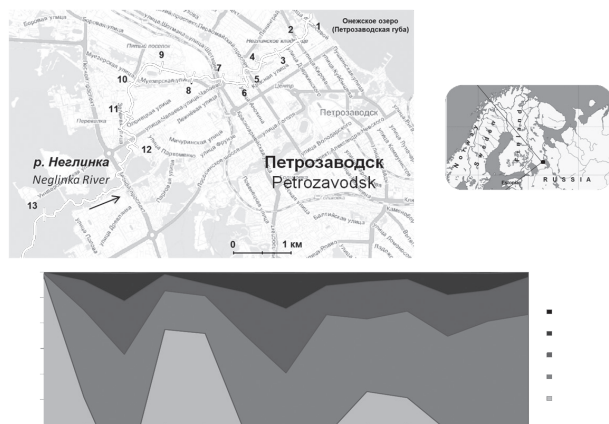


Рис. 1. а) Карта-схема отбора проб ДО р. Неглинка; б) диаграмма процентного соотношения гранулометрических фракций исследуемых образцов

Таблица 1

Концентрации ТМ в валовой фракции (<2,0 мм)
и фракции <0,1 мм ДО р. Неглинка

Гранул. фракции, мм		Тяжелые металлы, г/т												
		V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb
<2,0	хср.	77,2	52,6	734,3	11,5	36,1	63,8	104,2	3,1	2,1	2,3	1,0	2,5	28,7
	хmax	143,9	108,7	2688,4	24,2	70,4	121,3	225,3	7,3	3,7	5,4	2,3	9,5	67,0
	хmin	47,6	37,6	329,5	6,3	18,4	29,3	32,8	0,7	1,0	0,2	0,3	0,7	11,9
<0,1	хср.	148,2	58,9	1370,1	18,2	30,1	71,7	154,5	1,1	6,2	5,0	1,4	4,1	38,9
	хmax	175,3	71,0	3230,6	25,3	36,8	104,8	239,1	1,5	11,0	11,7	2,3	7,8	101,5
	хmin	72,6	48,1	443,8	8,5	20,5	12,0	41,1	0,7	3,32	1,1	0,2	0,4	15,5
хпогр.		3,5	1,2	15,7	0,3	1,1	1,1	2,4	0,2	0,4	0,3	0,1	0,1	0,4

Примечание. хср. – среднее (невзвешенное) значение концентрации ТМ (без учета пробы № 13), хmax и хmin – максимальное и минимальное значения концентрации ТМ, хпогр. – величина погрешности измерения.

ленных данных (крайняя правая колонка) видно, что по 10 из 13 элементов коэффициенты корреляции между концентрациями ТМ и содержанием фракции <0,1 мм в образцах ДО достигают высокого уровня ($r > 0,70$ при $p < 0,05$). Особенно это касается Sb и W: 0,92 и 0,96 соответственно. Коэффициенты корреляции остальных элементов выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): $V > Zn > Cd = Cu > Co > Sn > Pb > Mn > Ni > Cr > Mo$.

Тенденция увеличения коэффициента корреляции от фракции 0,05–0,1 мм к фракции <0,005 мм наблюдается по 5 элементам: Mn, Co, Zn, Sb и Pb. Чуть более низкое значение коэффициентов корреляции (по сравнению с фракцией 0,005–0,05 мм) между содержанием глинистой составляющей отложений реки и концентрациями таких металлов, как V, Cu, Cd, W, может

быть связано с особой ассоциацией между ними, а также с неизбежными потерями самых легких частиц при пробоподготовке. Таким образом, лучше всего взаимосвязь между химическим и гранулометрическим составом водных грунтов р. Неглинка иллюстрирует алевритовая фракция отложений.

Обращает на себя внимание низкое значение коэффициентов корреляции ($p > 0,05$) между концентрациями Ni, Cr и Mo и процентным содержанием фракции <0,1 мм и отдельно – содержанием тонкопесчаной, алевритовой и глинистой фракций. Однако концентрации Ni и Cr имеют среднюю значимую корреляционную связь ($r_{Ni-(0,1-0,25)} = 0,65$, $r_{Cr-(0,1-0,25)} = 0,64$) с содержанием мелкопесчаной фракции. Согласно данным кластерного анализа, между значениями рангов концентраций исследуемых ТМ (рис. 2), Ni, Mo

Таблица 2

Коэффициенты корреляции Спирмена между концентрациями ТМ в ДО р. Неглинка и содержанием различных гранулометрических фракций в исследуемых образцах проб (n = 13)

Элементы	Гранулометрические фракции, мм						
	<0,005	0,005–0,05	0,05–0,1	0,1–0,25	0,25–0,5	>0,5	<0,1
V	0,77	0,84	0,69	0,77	-0,41	-0,79	0,89
Cr	0,56	0,34	0,47	0,64	-0,74	-0,62	0,45
Mn	0,88	0,76	0,57	0,57	-0,36	-0,59	0,71
Co	0,73	0,71	0,58	0,74	-0,44	-0,75	0,79
Ni	0,51	0,41	0,55	0,65	-0,85	-0,63	0,58
Cu	0,66	0,73	0,69	0,79	-0,53	-0,81	0,84
Zn	0,80	0,77	0,70	0,89	-0,56	-0,90	0,85
Mo	0,23	0,07	0,25	0,52	-0,77	-0,49	0,23
Cd	0,66	0,78	0,74	0,73	-0,45	-0,71	0,84
Sn	0,78	0,74	0,75	0,70	-0,78	-0,72	0,77
Sb	0,87	0,84	0,76	0,84	-0,58	-0,85	0,92
W	0,84	0,88	0,81	0,75	-0,47	-0,75	0,96
Pb	0,78	0,72	0,65	0,68	-0,32	-0,69	0,73

Примечание. Полужирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции ($p < 0,05$).

и Cr образуют четкую ассоциацию между собой. Подобная ассоциация выделяется в химическом составе почв г. Петрозаводска [3], что может свидетельствовать о высокой роли процесса разрушения берегов (эрозии) в образовании донных отложений реки Неглинки, а следовательно, и переносе части загрязняющих веществ из одной геологической формации в другую. Высокие коэффициенты корреляции ($r > 0,70$ при $p < 0,05$) между мелкопесчаной фракцией ДО и концентрациями других металлов (V, Co, Cu, Zn, Cd, Sn, Sb и W) также могут быть связаны с загрязнением почвенного покрова территории, прилегающей к реке.

По геохимической классификации В. М. Гольдшмита 1924 года (в интерпретации В. В. Щербины) [15], тесная связь Cd, Cu, Zn и Sb (рис. 2) может быть объяснена сродством этих элементов с сульфидными минералами (халькофильная группа). Кроме того, есть основания выделить ассоциацию V и W, которые, согласно вышеупомянутой классификации, относятся к литофильным элементам, тяготеющим к силикатным минералам. К группе сидерофильных элементов, имеющих сродство с соединениями железа, по Гольдшмиту/Щербине относятся Co, Ni, Sn и Mo.

Стоит также отметить, что, по данным современных исследований [2], существуют разнообразные механизмы закрепления ТМ в почвах не только алюмосиликатами и гидроокислами Fe, но и различными соединениями Mn. Из рис. 3 видно, что Mn имеет статистически значимую положительную связь ($p < 0,05$) со всеми (кроме хрома и молибдена) изученными ТМ. Коэффициенты корреляции концентраций этих элементов с концентрацией марганца выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): Pb > Sn > Zn > Sb > W > Co > Cu > V > Cd > Ni. Согласно почвенной классификации по Водяницкому, к манганофильным ТМ относятся Zn, Pb, Cu, Cd, Ni и Co, что соответствует представленным выше результатам.

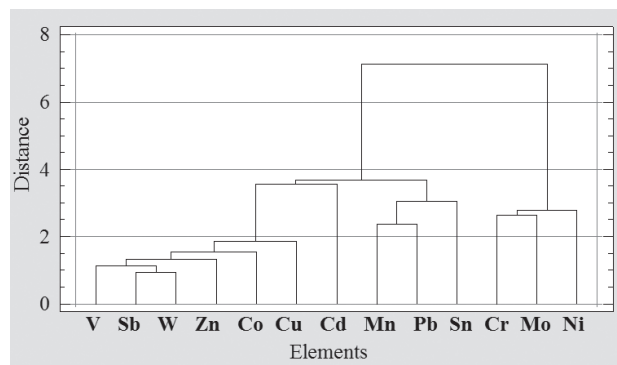


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа (метод «ближайшего соседа») по данным рангов концентраций ТМ в валовой фракции ДО р. Неглинки

Наконец, концентрации всех изученных ТМ отрицательно коррелируют со значениями содержаний фракций 0,25–0,5 и >0,5 мм. Данный факт указывает на низкую сорбционную способность средне-, крупно- и грубопесчаных зерен ДО Неглинки, по химическому составу которых, по видимому, нельзя объективно оценить уровень загрязнения экосистемы петрозаводской реки.

Таким образом, установлено, что к точкам отбора проб № 2, 3, 7, 8 и 11 (рис. 1б), где отмечены наибольшие значения легких фракций ДО Неглинки, приурочены самые высокие концентрации ТМ во фракции <2,0 мм. Самые низкие концентрации ТМ, наоборот, приурочены к местам накопления тяжелых фракций грунтов (0,25–2,0 мм). Особенно это относится к условно-фоновому пригородному участку реки (точка № 13), где минимальные значения концентраций отмечены по 6 элементам (V, Cd, Sn, Sb, W и Pb).

Результаты химического анализа фракции <0,1 мм ДО исследуемой петрозаводской реки (табл. 3) подтверждают представленную выше зависимость между гранулометрическим и валовым (фракция <2,0 мм) химическим составом грунтов. Элементы выявленной геохимической ассоциации Cr-Ni-Mo, концентрации которых имеют самую низкую корреляцию с тонкопесчано-алеврито-глинистой фракцией, составляют в ней менее 40 % (Cr) и менее 30 % (Ni и Mo) по всем образцам проб. Небольшой вклад концентраций свинца и меди во фракции <0,1 мм (<30 % по 7 пробам Pb и 10 Cu) в валовый химический состав отложений объясняется невысоким вкладом глинистой (только Cu) и тонкопесчаной (оба металла) фракций в химический состав ДО (табл. 1).

Наибольший вклад фракции <0,1 мм в накоплении ТМ отмечен по Cd (>40 % по 11 пробам ДО и >50 % – по 8), W (>40 % по 8 пробам ДО и >50 % – по 5), Sn (>40 % по 6 пробам ДО и >50 % – по 4), Mn (>40 % по 5 пробам

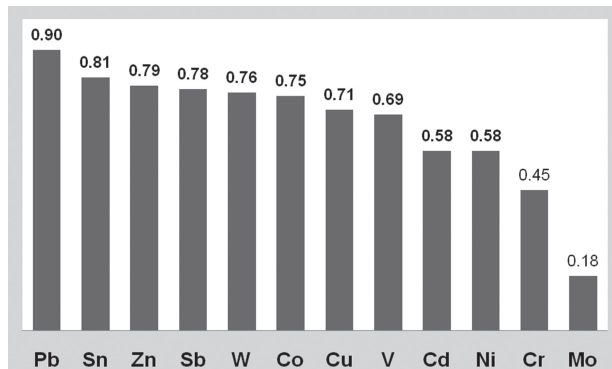


Рис. 3. Результат корреляционного анализа Спирмена между концентрациями Mn и другими ТМ в ДО р. Неглинки (фракция <2,0 мм)

Таблица 3

Вклад концентраций ТМ во фракции <0,1 мм
в валовый химический состав проб ДО р. Неглинка, %

№ п/п	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb	W
1	40,9	14,3	34,9	30,3	9,5	9,0	25,2	2,8	64,8	17,3	22,0	26,9	58,22
2	21,9	11,3	23,1	20,1	10,0	18,3	19,6	3,9	25,1	33,9	19,3	17,2	17,36
3	49,3	37,5	56,1	42,5	23,1	21,7	47,1	22,2	60,4	99,2	45,0	38,0	50,32
4	47,3	17,5	41,9	31,6	11,6	22,6	28,2	5,0	61,2	32,1	68,2	44,0	72,19
5	46,2	35,6	58,0	38,2	26,8	37,4	46,6	13,8	59,0	74,3	49,4	36,2	62,83
6	42,1	21,4	37,6	28,1	21,1	22,4	29,8	10,1	52,1	38,8	24,5	20,6	40,85
7	36,9	34,9	36,4	35,8	25,5	30,2	30,1	11,9	49,6	57,7	30,0	30,4	32,44
8	48,3	28,0	43,0	42,2	21,3	29,8	37,9	8,2	75,2	28,8	15,0	30,4	62,82
9	25,2	18,3	37,4	24,0	14,6	21,4	30,3	6,8	41,8	51,8	29,3	17,7	40,63
10	26,9	9,3	30,2	23,8	6,9	17,7	24,0	2,0	44,4	42,0	32,4	15,3	21,13
11	44,0	30,4	41,7	40,7	21,9	36,4	39,8	7,7	59,2	46,2	35,0	35,8	44,89
12	32,7	28,2	19,2	20,6	18,0	16,3	14,5	15,3	85,3	22,0	14,4	8,8	31,52
13	1,11	0,9	0,9	0,8	0,4	0,3	0,8	0,2	2,4	3,4	0,5	1,0	0,49

ДО и >50 % – по 2) и V (>40 % по 7 пробам ДО). Проба № 13, взятая в пригородной лесной зоне Петрозаводска, характеризуется низким (0,2–3,4 %) вкладом тонкопесчано-алевритово-глинистой фракции в аккумуляции всех изученных элементов. Поскольку остающиеся 99,8–96,6 %, вероятно, приходятся на фоновые концентрации ТМ, данный факт говорит о большой роли фракции <0,1 мм в процессе геохимического загрязнения грунтов городской части водотока. В образцах № 1–12 ДО Неглинка часть концентраций ТМ приходится на более крупные песчаные фракции, попадающие в реку в результате эрозии, то есть не напрямую, а мигрируя из загрязненного почвенного покрова, что требует отдельного (дополнительного) исследования.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по сопоставлению данных гранулометрического и химического состава ДО городской части малой реки

Неглинка выявили положительную (в ряде случаев высокую) корреляционную связь между концентрациями V, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Sn, Sb, W и Pb и тонкопесчано-алевритово-глинистой фракцией грунтов и ее составляющими. Оставшиеся элементы (Cr, Ni и Mo) входят в особую геохимическую ассоциацию, связанную со среднезернистыми и еще более крупными песчаными фракциями, привнесенными из почвы. Это подтверждается и литературными данными по исследованию почв г. Петрозаводска [3], и высокой корреляционной зависимостью между концентрациями этих ТМ. Кроме того, был оценен качественный вклад концентраций ТМ во фракции <0,1 мм в валовый химический состав изученных проб ДО. В этой фракции водных грунтов петрозаводской реки аккумулируются преимущественно Cd, W, Sn, Mn и V. Ранее проведенные исследования [13] выявили закономерное ухудшение видового разнообразия бентофауны реки Неглинка при увеличении валовых концентраций этих ТМ в ДО реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышев И. А., Хренников В. В., Лузгин В. К. Влияние городских стоков на бентосных беспозвоночных пороговых участков р. Лососинка (Карелия) // Биология внутренних вод. 2001. № 4. С. 73–78.
2. Водяницкий Ю. Н. Свойства тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Агрохимия. 2009. № 8. С. 85–94.
3. Геоэкологическая модель развития Республики Карелия: геохимические и климатические аспекты формирования экологических рисков: Отчет о научно-исследовательской работе / Д. С. Рыбаков, Н. В. Крутских, Т. С. Шелехова и др. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2012. 117 с.
4. ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.
5. Даувальтер В. А. Факторы формирования химического состава донных отложений озер: Учеб. пособие. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2002. 75 с.
6. Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. // Труды КарНЦ РАН. 2009. № 3. С. 50–55.
7. Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н. Н. Филатова, А. В. Литвиненко. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. 290 с.
8. Комулайнен С. Ф., Морозов А. К. Изменение структуры фитоперифитона в малых реках урбанизированных территорий // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 3. С. 356–363.

9. Крутских Н. В., Кричевцова М. В. Анализ техногенного загрязнения снежного покрова г. Петрозаводска // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: Материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2011. С. 32–34.
10. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами / Ю. Е. Саэт, Л. Н. Алексинская, Е. П. Янин. М.: ИМГРЭ, 1982. 74 с.
11. Рухин Л. Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. Л.: Недра, 1969. 704 с.
12. Рыбаков Д. С., Слуковский З. И. Геохимические особенности загрязнения донных осадков зарегулированной городской реки // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 4 (125). С. 67–73.
13. Слуковский З. И., Полякова Т. Н. Макрозообентос реки Неглинки и его связь с химическим составом донных отложений водоема // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: Материалы XXIII молодежной науч. конф., посвящ. памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца. Петрозаводск: КарНЦ, 2012. С. 89–91.
14. Слуковский З. И., Рыбаков Д. С., Бубнова Т. П. Гранулометрический состав донных отложений городской части малой реки Неглинки (Петрозаводск) // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2013. Вып. 15. С. 168–172.
15. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич и др. М.: Недра, 1990. 479 с.
16. Сущук А. А., Груздева Л. И. Влияние техногенного загрязнения промышленных центров Карелии на сообщества почвенных нематод // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 445–452.
17. Янин Е. П. Особенности гранулометрического состава русловых отложений малой реки в зоне влияния промышленного города // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. № 3. С. 69–74.
18. Skorbilowicz E., Skorbilowicz M. Metals in grain fractions of bottom sediments from selected rivers in north-eastern Poland // Physics and Chemistry of the Earth. 2011. № 36. P. 567–578.
19. Song Y., Ji J., Yang Z. et al. Geochemical behavior assessment and apportionment of heavy metal contaminants in the bottom sediments of lower reach of Changjiang River // Catena. 2011. № 85. P. 73–81.
20. Taylor M. P. Distribution and storage of sediment-associated heavy metals downstream of the remediated Rum Jungle Mine on the East Branch of the Finnis River, Northern Territory, Australia // Journal of Geochemical Exploration. 2007. № 92. P. 55–72.

Slukovsky Z. I., Institute of Geology of Karelian Research Centre of RAS,
Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Bubnova T. P., Institute of Geology of Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

FRACTION <0,1 MM CHEMICAL COMPOSITION OF NEGLINKA RIVER SEDIMENTS – CONTAMINATION INDICATOR OF URBAN STREAM

Bottom sediments of urban rivers accumulate pollutants (for example heavy metals) transported from air and contaminated industrial or sewerage runoffs. The particle-size distribution is a general physical factor forming chemical composition of the riverbed sediments. The authors of the research aimed to substantiate the use of the fraction <0,1 mm of Neglinka river sediment for the ecological assessment of the urban stream (Petrozavodsk, the Republic of Karelia). The grain-size composition of the sediments was measured by a laser diffraction method. Concentrations of Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mo, Sb, Sn, V, Mn and W were determined by the use of Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). The Spearman's correlation coefficient was used to define correlation of Zn, Cd, Pb, Co, Cu, Sb, Sn, V, Mn and W content in the fraction <2,0 mm. The percentage of samples with lightest fractions (<0,005 mm, 0,005–0,05 mm, 0,05–0,1 mm and 0,1–0,25 mm) is very significant ($p < 0,05$). Moreover, the authors detected a specific geochemical association of Cr-Ni-Mo, which correlates with similar associations found in Petrozavodsk soil. We estimated the sediment fraction <0,1 mm contribution into the bulk sample fraction (<2,0 mm) and chemical composition of the accumulated heavy metals. The concentration of Cd, W, Sn, Mn and V accumulated in the clay-silt-fine-sand fraction of the Neglinka sediments were higher than of other metals.

Key words: heavy metals, bottom sediments, small river, particle-size distribution, correlation analysis

REFERENCES

1. Baryshev I. A., Khrennikov V. V., Luzgin V. K. Effect of Municipal Sewages on Benthic Invertebrates in Rapids of the Lososinka River (Karelia) [Vliyanie gorodskikh stokov na bentosnykh bespozvonochnykh porogovykh uchastkov r. Lososinka (Karelia)]. *Biologia vnutrennikh vod* [Biology of Inland Waters]. 2001. № 4. P. 73–78.
2. Vodyanitsky Yu. N. Properties of Heavy Metals and Metalloids in Soil [Svoistva tyazhelykh metallov i metalloidov v pochvakh]. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. 2009. № 8. P. 85–94.
3. *Geoekologicheskaya model' razvitiya Respubliki Kareliya: geokhimicheskie i klimaticheskie aspekty formirovaniya ekologicheskikh riskov* [Geoecological development model the Republic of Karelia: geochemical and climatic aspects of the environmental risks formation]. Petrozavodsk: The Institute of Geology, Karelian Research Centre RAS, 2012. 117 p.
4. State standard 17.1.5.01–80. Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis [GOST 17.1.5.01–80. Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnykh otlozheniy vodnykh ob'ektov dlya analiza na zagryaznennost']. Petrozavodsk: The Institute of Geology, Karelian Research Centre RAS, 2012. 117 p.
5. Dauval'ter V. A. *Faktory formirovaniya khimicheskogo sostava donnykh otlozheniy ozer* [Factors of chemical composition formation as bottom sediments of the lakes]. Murmansk, MGTU Publ., 2002. 75 p.
6. Kaznina N. M., Titov A. F., Laidinen G. F., Batova J. V. Effect of industrial heavy metal pollution of soil on morphological characteristics of *Phleum Pratense* L. [Vliyanie promyshlennogo zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami na morfologicheskie priznaki rasteniy *Phleum Pratense* L.]. *Trudy KarNC RAN* [Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science]. 2009. № 3. P. 50–55.
7. *Katalog ozer i rek Karelii* [Catalogue of lakes and rivers of Karelia]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 2001. 290 p.

8. Komulainen S. F., Morozov A. K. Variations in phytoplankton structure in small rivers flowing over urbanized areas [Изменение структуры фитопланктона в малых реках урбанизированных территорий]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2007. Vol. 43. № 3. P. 356–363.
9. Krutskikh N. V., Krichevskaya M. V. Analysis of the industrial pollution of snow cover of Petrozavodsk [Анализ техногенного загрязнения снежного покрова г. Петрозаводска]. *Materialy vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regional'nye problemy"* [Proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference "Environmental geology: theory, practice and regional problems"]. Voronezh, 2011. P. 32–34.
10. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya poverkhnostnykh vodotokov khimicheskimi elementami* [Guidelines for the evaluation of geochemical pollution of surface waters by chemical elements]. Moscow, 1982. 74 p.
11. Rukhin L. B. *Osnovy litologii. Uchenie ob osadochnykh porodakh* [Fundamentals of lithology. The doctrine of the sedimentary rocks]. Leningrad, Nedra Publ., 1969. 704 p.
12. Rybakov D. S., Slukovskiy Z. I. Geochemical characteristics of contaminated bottom sediments of regulated urban river [Геохимические особенности загрязнения донных осадков зарегулированной городской реки]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State university. Natural & Engineering Sciences]. 2012. № 4. P. 67–73.
13. Slukovsky Z. I., Polyakova T. N. Macrozoobenthos of the Neglinka River and its correlation to the chemical composition of the stream bottom sediments [Макрозообентос реки Неглинки и его связь с химическим составом донных отложений водоёма]. *Materialy XXIII molodezhnoy nauchnoy konferentsii, posvjashhennoj pamjati chlena-korrespondenta AN SSSR K.O. Kratz "Aktual'nye problemy geologii dokembrija, geofiziki i geojekologii"* [Materials of the youth scientific conference in memory of a member of the USSR Academy of Sciences, KO Kratz "Actual problems, Precambrian Geology, Geophysics, and Geoecology"]. Petrozavodsk, 2012. P. 89–91.
14. Slukovsky Z. I., Rybakov D. S., Bubnova T. P. A particle-size distribution of bottom sediments of the small urban Neglinka River (Petrozavodsk) [Гранулометрический состав донных отложений городской части малой реки Неглинки (Петрозаводск)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and useful minerals of Karelia]. Petrozavodsk, 2013. Is. 15. P. 168–172.
15. Guide to geochemistry [Справочник по геохимии]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 479 p.
16. Sushchuk A. A., Gruzdeva L. I. Effect of anthropogenic pollution of Karelian industrial centres on soil nematode communities [Влияние техногенного загрязнения промышленных центров Карелии на сообщество почвенных нематод]. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo* [Journal Penza State pedagogical university]. 2011. № 25. P. 445–452.
17. Yanin E. P. Specific granulometric composition of fluvial deposits of a small river in the zone affected by an industrial town [Особенности гранулометрического состава русловых отложений малой реки в зоне влияния промышленного города]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* [Proceedings of the higher educational institutions. Geology and Exploration]. 2009. № 3. P. 69–74.
18. Skorbiłowicz E., Skorbiłowicz M. Metals in grain fractions of bottom sediments from selected rivers in north-eastern Poland // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2011. № 36. P. 567–578.
19. Song Y., Ji J., Yang Z., Yuan X., Mao Ch., Frost R. L., Ayoko G. A. Geochemical behavior assessment and apportionment of heavy metal contaminants in the bottom sediments of lower reach of Changjiang River // *Catena*. 2011. № 85. P. 73–81.
20. Taylor M. P. Distribution and storage of sediment-associated heavy metals downstream of the remediated Rum Jungle Mine on the East Branch of the Finniss River, Northern Territory, Australia // *Journal of Geochemical Exploration*. 2007. № 92. P. 55–72.

Поступила в редакцию 05.02.2013