

**ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Научная статья

УДК 504.453+504.4.054

doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-106-120

**ВЛИЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОД  
РЕКИ ЛОСОСИНКИ (Г. ПЕТРОЗАВОДСК)****Дмитрий Сергеевич Рыбаков**Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск, Россия  
rybakovd@krc.karelia.ru, SPIN-код: 8010-8790, AuthorID РИНЦ: 63119

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме загрязнения поверхностных вод. Цель работы – оценка влияния городской среды на элементный состав речных вод в сухую погоду и после дождя. Объектом исследования послужили воды реки Лососинки, протекающей как по лесным территориям, так и по территории города Петрозаводска. В мае 2018 г. (сухая погода) в зоне остаточного промышленного загрязнения в речных водах отмечались повышенные концентрации: Cu, Sb, Ag, Pb, Cr, Zn, Ni, V. В мае 2023 г. загрязнение речных вод в пределах лесных территорий отсутствовало. Выше по течению (город) возрастали концентрации Cd, U, Cu, Ag, Ti, Na, Pb и др. Установлена линейная зависимость элементного состава речных вод от состава коренных пород ( $p = 0,014$ ), отмечена связь с катионным составом подземных вод (Na, Ca, Mg, Fe, K). После слабого дождя (июнь 2018 г.) ниже, чем в сухую погоду, оказались концентрации Hg, Sc, W, Ag, Th, Sn и Cd, выше – Na, Ca, U, Mg, Sr, P, As, Mo. После сильного дождя (октябрь 2023 г.) концентрации выросли в сотни (Ag), десятки (Pb, Nb, Zn, Hf, Co, Mn, Sn, Cu, ΣTR, Ti, Cd, Fe, V, Sb) и несколько (Zr, Ba, Ni, Cr, Th, U, As и др.) раз. В стоках с бывшей промышленной территории по сравнению с рекой превышались концентрации: W, Na, Mg, Mo, Li, Sb, K, Ca, Sr, Pb, U (от 29,2 до 3,0 раза). Содержание ΣTR, Ti, Co, V, Zn, Th, Zr было выше в водах реки (от 5,3 до 1,5).

**Ключевые слова:** химические элементы, загрязнение поверхностных вод, городская река, дождевые осадки, поверхностный сток

**Финансирование.** Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

**Для цитирования:** Рыбаков Д.С. Влияние городской среды на элементный состав вод реки Лососинки (г. Петрозаводск) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 4 (71). С. 106–120. doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-106-120

**ECOLOGY AND NATURE USE**

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-106-120

**INFLUENCE OF THE URBAN ENVIRONMENT ON ELEMENTAL COMPOSITION  
OF THE LOSOSINKA RIVER WATERS (THE CITY OF PETROZAVODSK)****Dmitry S. Rybakov**

Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, Russia

rybakovd@krc.karelia.ru, SPIN-code: 8010-8790, AuthorID (RSCI): 63119

**Abstract.** The article is devoted to the topical problem of surface water pollution. The study aims to assess the influence of the urban environment on the elemental composition of river waters in dry weather and after rain. The object of the study is the waters of the Lososinka River, flowing both through forested areas and through the territory of the city of Petrozavodsk. In May 2018 (dry weather) increased concentrations of Cu, Sb, Ag, Pb, Cr, Zn, Ni, and V were observed in the zone of residual industrial pollution in the river waters. In May 2023 there was noted no pollution of the river waters within the forested territories. Upstream (in the city) the concentrations of Cd, U, Cu, Ag, Ti, Na, Pb, etc. increased. The study established a linear dependence of the elemental composition of the river waters on the composition of bedrock ( $p = 0.014$ ); a relationship with the cationic composition of groundwater (Na, Ca, Mg, Fe, K) was also noted. After a light rain (June 2018) Hg, Sc, W, Ag, Th, Sn, and Cd were found to have lower concentrations than in dry weather, while Na, Ca, U, Mg, Sr, P, As, and Mo showed higher concentrations. After a heavy rain (October 2023) the concentrations increased by hundreds (Ag), tens (Pb, Nb, Zn, Hf, Co, Mn, Sn, Cu, ΣTR, Ti, Cd, Fe, V, Sb), and several (Zr, Ba, Ni, Cr, Th, U, As, etc.) times. In the runoff from the former industrial area, in comparison with the river, the concentrations of W, Na, Mg, Mo, Li, Sb, K, Ca, Sr, Pb, and U were exceeded (from 29.2 to 3.0 times). The content of ΣTR, Ti, Co, V, Zn, Th, and Zr was higher in the river waters (from 5.3 to 1.5).

**Keywords:** chemical elements, surface water pollution, urban river, rainfall, surface runoff

## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

**Funding.** The research was financed from the federal funds allocated for the state assignment to be performed by the KarRC RAS (Institute of Geology at the Karelian Research Centre of the RAS). The studies were carried out on the scientific equipment of the Center for Collective Use of the Federal Research Center 'Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences'.

**For citation:** Rybakov, D.S. (2024). Influence of the urban environment on elemental composition of the Lososinka River waters (the city of Petrozavodsk). *Geographical Bulletin*. No. 4(71). Pp. 106–120. doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-106-120

## Введение

Поступление химических элементов в поверхностные водные объекты обусловлено как природными, так и антропогенными факторами [2, 3, 4–8, 12, 13, 22, 27–30, 32–34]. Последние в разной степени вносят свой вклад на территории городов, в районах промышленной и сельскохозяйственной деятельности.

Загрязняющие вещества поступают в поверхностные воды вследствие донной и боковой эрозии, склонового стока с водосборов [3], стока через ливневую канализацию в населенных пунктах, сбросов предприятий, стоков с мест захоронения отходов [4, 7], выпадений из атмосферы, например Cd, что фиксируется, в частности, по разнице его концентраций в водах притоков Онежского озера – медиана 0,01 мкг/л, максимум 0,12 мкг/л и в снеговом покрове – 0,03 и 0,30 мкг/л соответственно [12].

Все больше внимания уделяется исследованию химического состава и качества вод малых рек урбанизированных территорий Севера России [2, 21, 24], рассматривается участие речного стока в составе комплекса источников загрязнения крупных водоемов [10, 11].

Важнейшими критическими факторами, с которыми связана интенсивность загрязнения водных объектов, являются погодно-климатические явления, в том числе атмосферные осадки [34].

Целью работы является оценка влияния городской среды на элементный состав речных вод в сухую погоду и после дождя. В связи с этим изучалось распределение химических элементов в речных водах в зависимости: 1) от наличия/степени загрязнения; 2) дождевых осадков разной интенсивности.

## Материалы и методы

Объектом исследования послужили поверхностные воды городской реки Лососинки, являющейся самым протяженным водотоком из всех малых рек и ручьев в районе г. Петрозаводска (рис. 1).

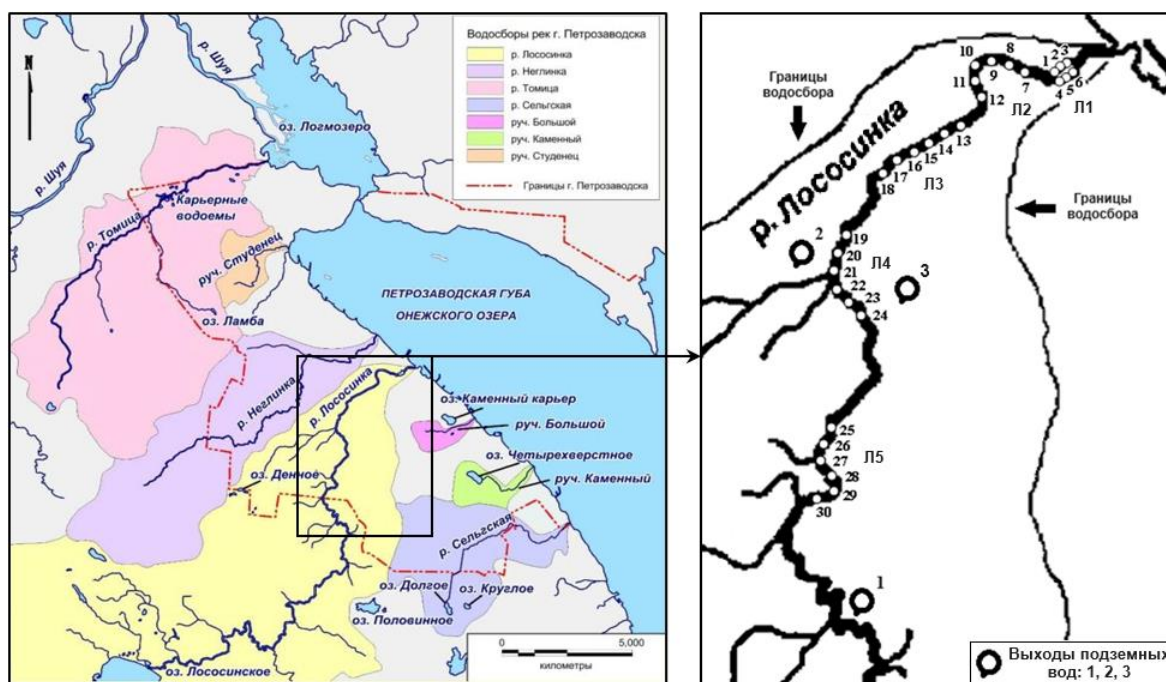


Рис. 1. Гидрографическая сеть Петрозаводска [2], расположение выходов подземных вод, участки (Л1...Л5) и точки (1...30) отбора проб речных вод. Родники: 1 – в 2 км южнее мкр. Кукковка, агробаза, 2 – Лососинское шоссе; колодец: 3 – ул. Совхозная, Курган

Fig. 1. Petrozavodsk hydrographic network [2], location of groundwater outlets, sites (Л1...Л5) and points (1...30) for sampling river waters. Springs: 1 – 2 km south of the Kukkovka microdistrict, agricultural base, 2 – Lososinskoe shosse (highway); a well: 3 – Sovkhoznoya st., Kurgan

Река Лососинка вытекает из оз. Лососинского в 17 км от г. Петрозаводска. Длина реки – 25 км, площадь водосбора – 302 км<sup>2</sup>. Бассейн расположен на западном побережье Онежского озера. Скорости течения колеблются от 0,1 м/с на плесах до 2,4 м/с на порогах. Глубина русла изменяется от 0,4–0,5 м на порожистых участках до 3 м и более на плесовых. Русло извилистое, зарастает слабо. Дно илистое и глинистое, на порогах валунное. Средний годовой расход воды в устье – 3,7 м<sup>3</sup>/с. Среднее многолетнее распределение объема годового стока: весна – 42 %, лето-осень – 38 %, зима – 20 % [2].

Экология и природопользование  
Рыбаков Д.С.

Река протекает в области развития нижнепротерозойских осадочных образований. В нижнем течении (в пределах г. Петрозаводска) это прежде всего песчаники и конгломераты петрозаводской свиты [16; 18]. По заимствованным данным Л.И. Тихомирова [24], в среднем в них содержится больше, чем в породах распространенной выше по течению шокшинской свиты (табл. 1): Mn, Pb, Ni, Co, Sn, Be, Zn, Cu, Sr, Ti, V, Mo, U, As, Fe. Для таких элементов, как Cr, Ba, Zr, Ga, Ag и Sc, соотношение содержания в породах названных свит обратное.

Таблица 1

Среднее содержание химических элементов в нижнепротерозойских породах, г/т [25]  
The average content of chemical elements in the Lower Proterozoic rocks, ppm [25]

Свита	n	Mn	Pb	Ni	Co	Sn	Be	Zn	Cu	Sr	Ti	V
Шокшинская	32	70	4	20	5	2	0,7	22	40	38	1600	50
Петрозаводская	40	490	16	66	15	6	2	50	89	78	2750	72
Свита	n	Mo	U	As	Fe	Y	Cr	Ba	Zr	Ga	Ag	Sc
Шокшинская	32	2,2	2,3	8,5	31000	12	310	350	200	17	0,26	15
Петрозаводская	40	3	3	10	32000	12	260	268	145	12	0,12	5

В табл. 2 подобраны те выходы подземных вод на поверхность, положение которых совпадает с водосбором изучаемого водотока (рис. 1). Как известно, в Карелии водосборы поверхностных и подземных вод совпадают, движение подземных вод направлено от водоразделов к ближайшим поверхностным водотокам и водоемам, где происходит их разгрузка [1]. В связи с этим можно предполагать, что влияние подземного стока будет отражаться на концентрации химических элементов в поверхностных водах.

Таблица 2

Величина pH, состав катионов и минерализация подземных вод (по данным за 1993–2012 гг.) [2]  
pH value, cation composition, and mineralization of groundwater (according to data for 1993–2012) [2]

Местоположение	pH	Na <sup>+</sup> , мг/л	K <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Fe <sub>общ.</sub> , мг/л	Минерализация, г/л
2 км южнее мкр. Кукковка, агробаза (1)	6,9–7,1	6–7	1–1,4	30–37	17–19	1–3	0,27–0,31
Лососинское шоссе (2)	7,1–7,5	6–7	2–3	54–60	30–35	0,4–1	0,40–0,45
Ул. Совхозная (пр. Комсомольский), Курган (3)	5,9–6,7	15–26	2–4	18–30	10–16	< 0,1	0,19–0,27

Примечание. Цифры в скобках соответствуют номерам выходов подземных вод на рис. 1.

Note. Numbers in parentheses correspond to these indicating underground water outlets in Fig. 1.

Водная система р. Лососинки подвергается загрязнению поверхностными сточными водами. На протяжении 4 км загрязняющие вещества могут поступать в реку с интенсивно застроенной территории, в том числе из выпусков необорудованной очистными сооружениями ливневой канализации (рис. 2).

На рис. 3 представлена блок-схема, характеризующая процесс проведения настоящего исследования.



Рис. 2. Расположение выпусков ливневой канализации в р. Лососинку [24]

Fig. 2. Location of storm sewer outlets into the Lososinka River [24]

## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

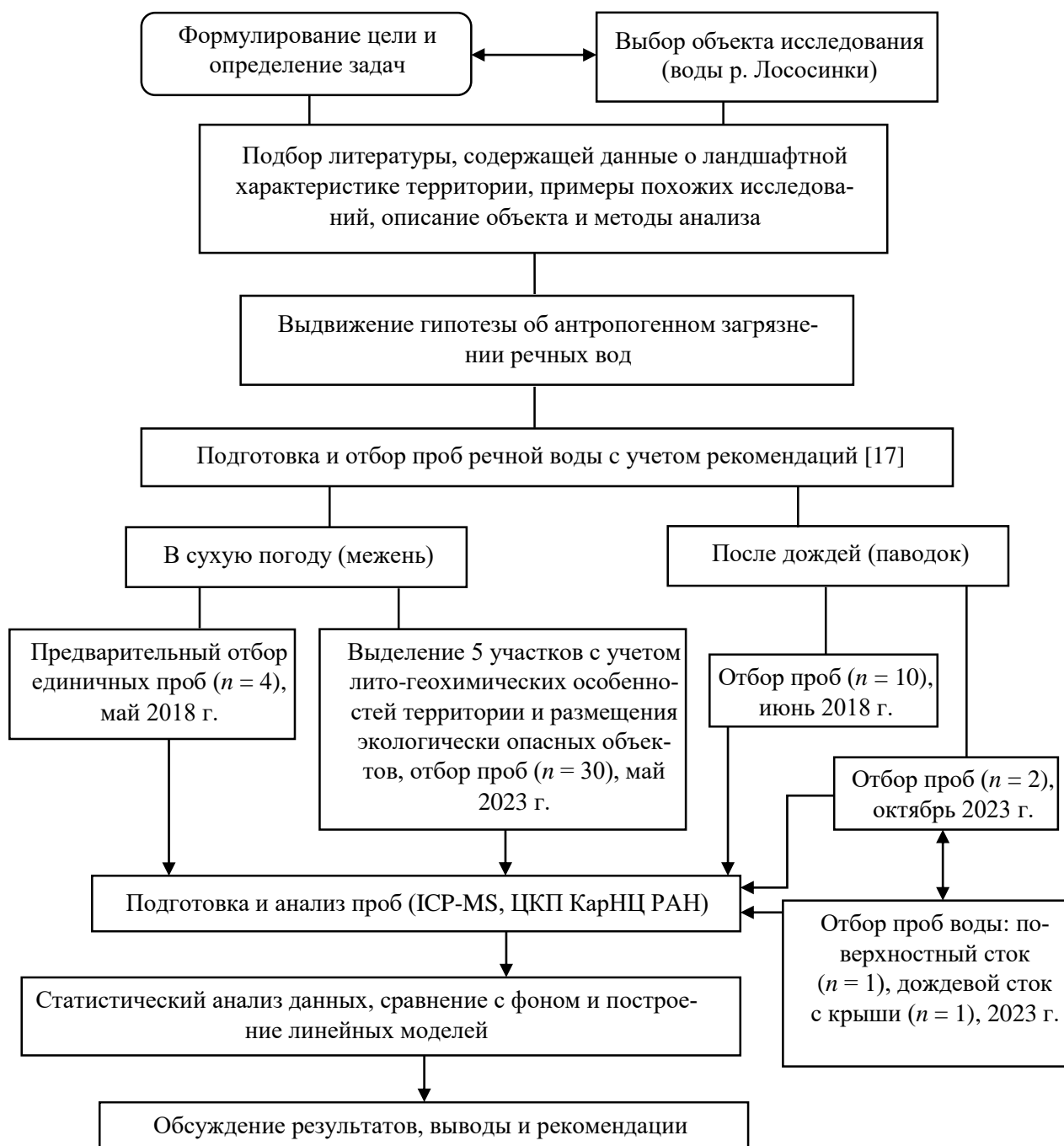


Рис. 3. Блок-схема методики исследования  
Fig. 3. Block diagram of the research methodology

Изучено пространственное распределение химических элементов в водах пяти участков реки общей протяженностью 7,5 км (рис. 1): Л5 – парки Фонтаны и Лососинка (лесная территория), Л4 – Курган (лесная территория), Л3 – набережная Ла-Рошель (озелененные территории и жилая застройка), Л2 – бывшая площадка тракторного завода (центр города), Л1 – Французский пруд (центр города, русловое водохранилище).

Таким образом, пробы отбирались в пределах как условно чистых лесных, так и городских территорий. Всего отобрано 46 проб речной воды (14 – 2018 г., 32 – 2023 г.) и две типичные пробы дождевых стоков с площадки бывшего завода: 1) крыша здания без водостока, 2) поверхность земли.

Взятие проб речных вод осуществлялось с берега, что допустимо согласно действующим рекомендациям [17]. Отбор производился в конические полипропиленовые пробирки объемом 50 мл с винтовой крышкой. Пробы в течение двух дней выдерживались в холодильнике. Фильтрация проб не проводилась с целью сохранения более полной информации об их загрязнении.

Экология и природопользование  
Рыбаков Д.С.

Пробы исследовались в Центре коллективного пользования КарНЦ РАН с помощью метода ICP-MS. Для анализа использовались квадрупольные масс-спектрометры X-Series 2 (Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) & UP-266Macro Laser Ablation attachment (New Wave Research) (2018 г.) и Agilent 7900 ICP-MS (Agilent Technologies, Singapore) (2023 г.).

Получены данные по 62 химическим элементам. Для части элементов (27 – 2018 г., 26 – 2023 г.) рассчитаны средние геометрические концентрации, которые сравнивались с региональным фоном – средним геометрическим содержанием элементов в поверхностных водах подзоны средней тайги (Северо-Запад России). Фоновые значения получены рядом авторов [25] по 75 анализам методом ICP-MS в ходе международного проекта «Экогеохимия Баренцева региона». Еще ряд элементов (Hf, Hg, Nb, Sc, Se, Sn, Ti, W, Zr, сумма редких земель – ΣTR), для которых региональный фон не определен, изучались в связи с их немаленькой важностью для экологической и геохимической оценки. Оценена связь элементного состава вод разных участков реки с элементным составом коренных пород и содержанием главных катионов в подземных водах. Также дана оценка влиянию на элементный состав речных вод слабых и сильных дождевых осадков.

Расчеты и графические построения выполнены с помощью пакета «Анализ данных» программы Microsoft Excel. Соответствие распределения данных нормальному закону проверялось с помощью показателей асимметрии ( $K_A$ ) и эксцесса ( $K_E$ ) [14], наличие статистических аномалий – с помощью критерия Граббса ( $U$ ) [31]. Распределение считалось близким к нормальному при выполнении условий  $|K_A| \leq 3$  и  $|K_E| \leq 3$ , отсутствие или наличие квази- и статистических выбросов контролировалось путем сравнения  $U_{\text{расч}}$  с табличными значениями двустороннего критерия Граббса при уровнях значимости ( $p$ ) 0,05 ( $U_{0,05}$ ) и 0,01 ( $U_{0,01}$ ) соответственно. Сравнение выборок осуществлялось путем проверки статистической значимости различия выборочных средних с учетом различия или сходства выборочных дисперсий. Для этого использовались двусторонние вероятности для  $t$ -распределения Стьюдента ( $p_t$ ) и  $F$ -распределения Фишера ( $p_F$ ). Различия признавались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### Результаты

В таблицах 3 и 4 приведены оценки средних концентраций химических элементов в водах р. Лососинки, полученные для разных участков (рис. 1) в 2018 и 2023 гг. соответственно.

Таблица 3

Концентрации химических элементов в воде р. Лососинки в сухую погоду и после дождя  
Concentrations of chemical elements in the Lososinka River waters in dry weather and after rain

Элемент	Фоновое содержание, мг/м <sup>3</sup>	Сухая погода, май 2018 г. (третья декада)				После дождя, участок Л2 (24 июня 2018 г.)		
		Участок Л2, мг/м <sup>3</sup> *	Участок Л1, мг/м <sup>3</sup>	Отношение к фону		Левый берег, мг/м <sup>3</sup>	Правый берег, мг/м <sup>3</sup>	Отношение к фону (в среднем)
				Участок Л2	Участок Л1			
Ag	0,002	0,004/0,006	0,003	<b>2,00/3,00</b>	<b>1,50</b>	0,002	0,002	0,97
Al	118,5	80,8/174,1	91,7	0,68/ <b>1,47</b>	0,77	64,6	61,0	0,55/0,51
As	0,49	0,707	0,731	<b>1,44</b>	<b>1,49</b>	1,28	1,08	<b>2,62/2,21</b>
Ba	10,92	6,21/8,85	7,44	0,57/0,81	0,68	10,92	10,36	0,97
Br	12,53	11,59	10,41	0,92	0,83	12,30	11,54	0,98/0,92
Ca	4541	5460	5731	<b>1,20</b>	<b>1,26</b>	13199	12093	<b>2,91/2,66</b>
Cd	0,01	0,0085	0,006	0,85	0,60	0,007	0,005	0,60
Co	0,17	0,072/0,151	0,087	0,42/0,89	0,51	0,088	0,078	0,52/0,46
Cr	0,44	0,527/0,798	0,602	<b>1,20/1,81</b>	<b>1,37</b>	0,694	0,637	<b>1,51</b>
Cu	0,61	1,21/3,22	1,30	<b>1,98/5,27</b>	<b>2,13</b>	1,13	1,23	<b>1,93</b>
Fe	1028	569,1	535,0	0,55	0,52	682,8	636,6	0,66/0,62
K	429,9	460,5	495,8	<b>1,07</b>	<b>1,15</b>	798,5	718,3	<b>1,86/1,67</b>
Hg	н/д	0,658	0,427	н/д	н/д	0,149	0,117	н/д
Li	0,75	0,802	0,739	<b>1,07</b>	0,99	1,11	1,06	<b>1,45</b>
Mg	1555	2221	2312	<b>1,43</b>	<b>1,49</b>	4416	4090	<b>2,84/2,63</b>
Mn	57,2	18,90/11,35	21,4	0,33/0,20	0,37	26,5	24,8	0,45
Mo	0,11	0,151/0,201	0,166	<b>1,37/1,83</b>	<b>1,51</b>	0,286	0,265	<b>2,60/2,41</b>
Na	1953	1822	1870	0,93	0,96	5385	4939	<b>2,76/2,53</b>
Ni	0,45	0,452/0,723	0,539	<b>1,00/1,61</b>	<b>1,20</b>	0,590	0,531	<b>1,24</b>
P	20,67	41,0	41,8	<b>1,98</b>	<b>2,02</b>	53,9	49,5	<b>2,61/2,40</b>
Pb	0,29	0,167/0,869	0,240	0,58/ <b>3,00</b>	0,83	0,210	0,223	0,72/0,77
Sb	0,03	0,055/0,141	0,067	<b>1,83/4,70</b>	<b>2,22</b>	0,067	0,062	<b>2,16</b>
Sc	н/д	4,00	3,76	н/д	н/д	1,38	1,19	н/д
Se	н/д	0,631	0,534	н/д	н/д	0,573	0,464	н/д
Sn	н/д	0,031/0,076	0,037	н/д	н/д	0,021	0,021	н/д

Экология и природопользование  
Рыбаков Д.С.

Окончание таблицы 3

Элемент	Фоновое содержание, мг/м <sup>3</sup>	Сухая погода, май 2018 г. (третья декада)				После дождя, участок Л2 (24 июня 2018 г.)		
		Участок Л2, мг/м <sup>3</sup> *	Участок Л1, мг/м <sup>3</sup>	Отношение к фону		Левый берег, мг/м <sup>3</sup>	Правый берег, мг/м <sup>3</sup>	Отношение к фону (в среднем)
				Участок Л2	Участок Л1			
Sr	21,2	15,11	15,96	0,71	0,75	29,82	27,49	<b>1,41/1,30</b>
Ti	н/д	2,44/11,69	3,18	н/д	н/д	2,62	2,30	н/д
Th	0,04	0,028/0,42	0,029	0,70/ <b>1,05</b>	0,73	0,020	0,023	0,50/0,58
Pt	0,005	0,0055	0,0040	<b>1,10</b>	0,80	0,0055	0,0044	<b>1,11/0,87</b>
U	0,03	0,045	0,047	<b>1,50</b>	<b>1,57</b>	0,090	0,095	<b>3,09</b>
V	0,56	0,390/0,829	0,455	0,70/ <b>1,48</b>	0,81	0,576	0,544	<b>1,03/0,97</b>
W	н/д	2,14	1,66	н/д	н/д	0,792	0,648	н/д
Zn	5,09	1,64/8,95	2,08	0,32/ <b>1,76</b>	0,41	1,80	1,65	0,32**
Zr	н/д	0,129/0,433	0,140	н/д	н/д	0,121	0,122	н/д
ΣTR	н/д	0,544/0,917	0,580	н/д	н/д	0,454	0,440	н/д
n	75	2	2			5	5	10(9**)

Примечание. 1. Расположение участков см. на рис. 1. 2. Фоновые значения – см. текст. 3. n – число проб. 4. \*В связи с большим разбросом концентраций приводятся два значения (см. текст). 5. \*\*Аномальная проба отобрана после дождя по левому берегу: Zn – 0,53 или 2,72 мг/м<sup>3</sup> (статистический выброс по логарифмированному значению:  $U_{расч} = 2,614 > U_{0,01} = 2,482$ ; n = 10). 6. н/д – нет данных.

Note. 1. See the location of the sites in Fig. 1. 2. Background values – see the text. 3. n – the number of samples. 4. \*Two values are given due to the large concentration variation (see the text). 5. \*\*Abnormal sample was taken after rain on the left bank: Zn – 0.53 or 2.72 mg/m<sup>3</sup> (outlier by logarithmic value:  $U_{calc} = 2.614 > U_{0.01} = 2.482$ ; n = 10). 6. н/д – no data available.

**Особенности элементного состава вод р. Лососинки в сухую погоду.** Как видно из табл. 3, концентрации ряда элементов в межень в разных точках на участке Л2 (речной поток) отличались друг от друга: Zn (в 5,5 раза) > Pb (5,2) > Ti (4,8) > Zr (3,4) > Cu (2,7) > Sb (2,6) > Sn (2,5) > Al (2,2) > V = Co (2,1) > ΣTR (1,7) > Ni (1,6) > Cr = Th = Ag (1,5) > Ba (1,4) > Mo (1,3). Меньшие из приведенных в таблице значений получены по левому берегу, большие – по правому, примыкающему к бывшей промплощадке. Исключение составил Mn, концентрация которого была в 1,7 раза выше у левого берега.

Через пять лет (табл. 4) в нижнем течении реки отмечено уменьшение среднего содержания: Sc (в 13,0 и 12,7 раза по участкам Л2 и Л1 соответственно), W (5,1 и 4,9), Sn (5,0 и 3,4), Cu (4,9 и 2,3), Zn (8,0 и 2,0), Ag (3,1 и 2,0), Cd (1,1 и 1,7), Pb (4,5 и 1,5), Ca (1,4 и 1,5), Fe (1,4 и 1,3), Sb (2,3 и 1,3), P (1,3) и увеличение – Mn (в 2,9 и 3,6 раза), Na (1,7), Sr, U (1,3 и 1,2).

Концентрации элементов увеличивались вниз по течению реки (табл. 4). При этом меньшие значения устанавливались в пределах лесных территорий, большие – на территории города.

Ряд элементов, концентрации которых в речном потоке повышались сильнее всего, выглядит следующим образом (Л2/Л1): Cd (7,7) > U (2,6) > Cu (1,8) > Nb (1,7) > Ag (>1,6) ≈ Hf (1,6) > **Na** ≥ Pb (1,5) > Ti ≥ Zn ≥ Th (1,4) > Ca ≥ Sr ≥ Co ≥ **Mg** ≥ Zr ≥ **K** (1,3) > V ≥ Sn ≥ **Mo** ≥ **Sb** ≥ ΣTR ≥ Ba (1,2). Из перечисленных элементов превышение известных фоновых значений (табл. 3) наблюдалось по U (участки Л3 и Л2), Na, Mg, K, Mo и Sb. К другим элементам, по которым региональный фон превышался, но концентрации изменялись в меньшей степени, отнесены **P**, **Cr** и **As**.

Таблица 4

Средние геометрические значения концентраций химических элементов в воде р. Лососинки  
Geometric mean values of the concentrations of chemical elements in the Lososinka River waters

Элемент	Участки, мг/м <sup>3</sup> (отбор проб 22 мая 2023 г.)				
	Л5	Л4	Л3	Л2	Л1
Ag	< 0,000	< 0,000	< 0,001*	0,0016	0,0015
As	0,574	0,574	0,582	0,591	0,619
Ba	6,87	6,66	7,59	8,01	8,86
Ca	2869	3022	3688	3868	3933
Cd	0,001	0,002	0,003	0,008*	0,004
Co	0,063*	0,058	0,070	0,082	0,102
Cr	0,482*	0,501	0,532	0,550	0,574
Cu	0,250	0,288	0,362*	0,450	0,558*
Fe	400,1	398,4	406,6*	406,1	410,7
Hf	0,004	0,005	0,004	0,006	0,008

Экология и природопользование  
Рыбаков Д.С.

Окончание таблицы 4

Элемент	Участки, мг/м <sup>3</sup> (отбор проб 22 мая 2023 г.)				
	Л5	Л4	Л3	Л2	Л1
K	445,1	469,6	555,1	557,3	577,6*
Li	0,633	0,655	0,730	0,719	0,736
Mg	2045	2144	2495	2589	2612
Mn	39,1	34,3	42,5	43,7	75,9
Mo	0,133	0,151	0,160	0,162	0,170
Na	1997	2154	2849	3050	3268
Nb	0,007	0,007	0,007	0,012	0,018
Ni	0,426	0,413	0,437	0,468	0,485
P	31,9	32,1	32,7	31,5	33,2
Pb	0,078	0,077	0,087	0,116	0,157
Sb	0,036	0,032	0,037	0,042	0,049
Sc	0,281	0,292	0,301	0,308	0,296
Se	0,624	0,732	1,01	0,853*	0,466
Sn	0,009*	0,005	0,007*	0,011*	0,011
Sr	14,7	15,0*	18,5	19,3	19,7
Ti	1,86*	1,97	2,22	2,63*	3,24
Th	0,021	0,021	0,019	0,029	0,032
U	0,022	0,023	0,043	0,057	0,056
V	0,314	0,332	0,356	0,390	0,433
W	0,611	0,550	0,461	0,424	0,336
Zn	0,474	0,497	0,672	0,664	1,03
Zr	0,131	0,130	0,154	0,165	0,175
ΣTR	0,660	0,658	0,650	0,778	0,777
$U_{расч} > U_{табл}$	Co 0,084, Cr 0,768, Ti 2,59 Sn < 0,000	Sr 16,4	Ag 0,003 Fe 391,1 Cu 0,483 Sn «0»	Sn 0,095 Se 0,164 Cd < 0,000 Ti 4,69	Cu 1,02 K 690,9
<i>n</i>	6(5*)		6(5*)		6(5*)

Примечание. 5\* – число проб после исключения статистических аномалий:  $U_{расч} = 1,977-2,041 > U_{0,01} = 1,973$  (максимумы: Ag, Cr, Co, Ti, минимумы: Fe, Sn, Se, Cd),  $U_{расч} = 1,890-1,981 > U_{0,05} = 1,887$  (максимумы: Cu, Ti, K, Sn, минимум: Sn).  
Note. 5\* – the number of samples after excluding statistical anomalies:  $U_{calc} = 1,977-2,041 > U_{0,01} = 1,973$  (maxima: Ag, Cr, Co, Ti; minima: Fe, Sn, Se, Cd),  $U_{calc} = 1,890-1,981 > U_{0,05} = 1,887$  (maxima: Cu, Ti, K, Sn; minimum: Sn).

Вниз по течению последовательно снижалась только концентрация W (табл. 4). В том числе это происходило несмотря на значительное содержание данного элемента в промышленно загрязненной почвенно-грунтовой толще в районе примыкания русла реки к бывшей промышленной площадке (участок Л2): в среднем для разных фракций крупности (от 1,0 до < 0,1 мм) 15,6–70,9 мг/кг при условном фоновом содержании в почвах города 1,06 мг/кг [20].

**Связь элементного состава речных вод и коренных пород.** На рисунке 4 показано распределение в речном потоке (участки Л5–Л2) и русловом водохранилище (участок Л1) концентраций U и главных катионов, характерных для природных вод.

Содержание U в породах петрозаводской свиты, определяющей лито- и гидрогеохимические особенности водосбора р. Лососинки в юго-восточной части г. Петрозаводска и на смежной территории, несколько выше по сравнению с распространенными в верхней части течения реки породами шокшинской свиты (табл. 1). Это обстоятельство в конечном итоге должно сказываться на распределении элемента в компонентах локальных геосистем. При этом следует учитывать высокую миграционную способность U в окислительной среде.

Экология и природопользование  
Рыбаков Д.С.

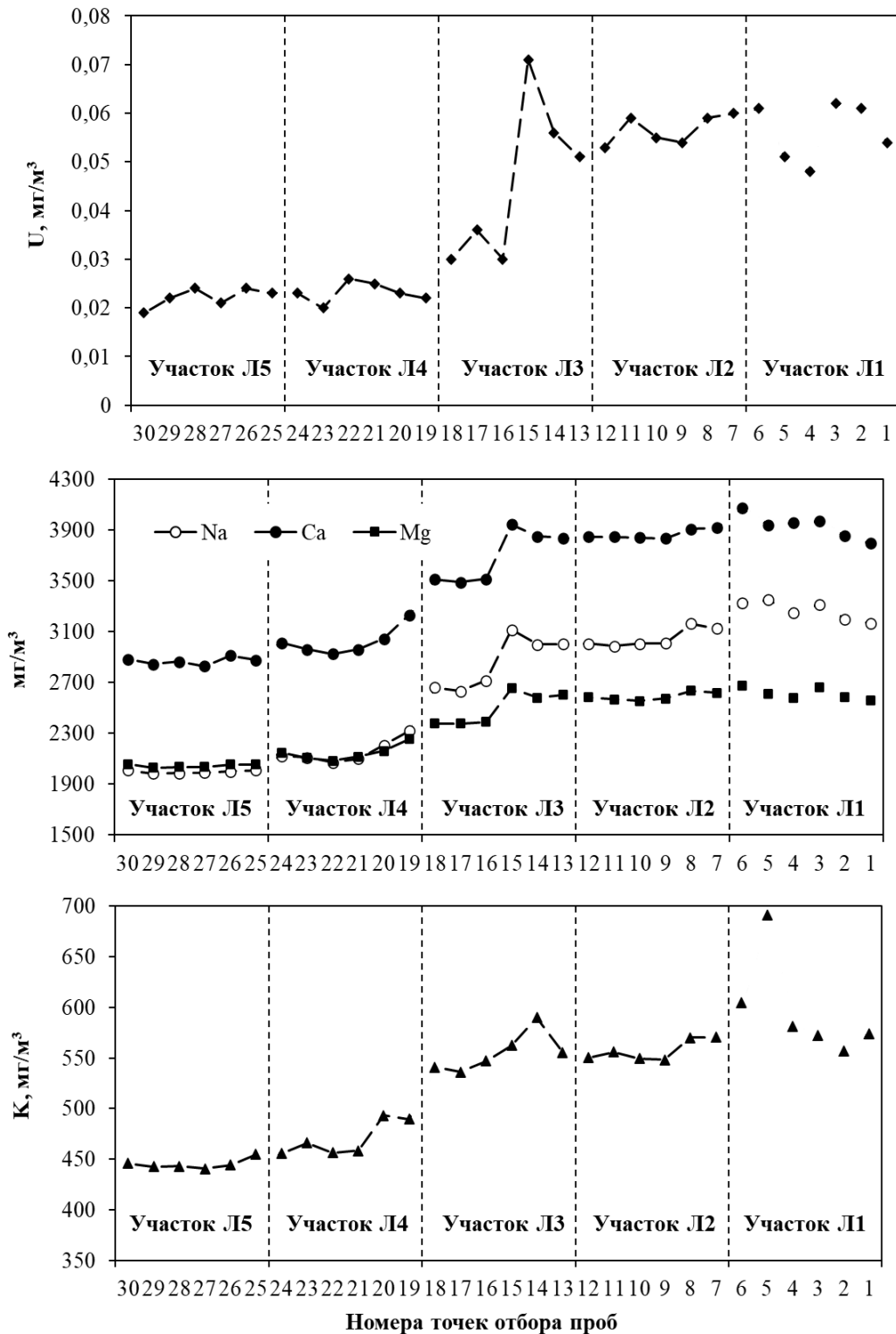


Рис. 4. Концентрации U, Na, Ca, Mg и K в воде р. Лососинки:  
 1. Наименование участков см. в табл. 2. 2. Расстояние между точками в пределах каждого участка 200 м.  
 3. Точки 1–3 – левый берег водохранилища, 4–6 – правый берег  
 Fig. 4. Concentrations of U, Na, Ca, Mg, and K in the waters of the Lososinka River:  
 1. See Table 2 for the names of the sites. 2. The distance between the points within each site is 200 m.  
 3. Points 1–3 – the left bank of the reservoir, 4–6 – the right bank

Для сопоставления изменчивости элементного состава коренных пород и речных вод сформированы две выборки значений логарифмов концентраций элементов в пробах, отобранных в речной воде в пределах лесных территорий (участки Л5 и Л4,  $n = 12$ ) и центральной части города (точки 15, 14 и 13 участка Л3 и участок Л2,  $n = 9$ ).



## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

В первой выборке ( $n = 12$ ) выделены статистически аномальные значения:  $С_{Г_{\max}}$  ( $U_{\text{расч}} = 3,090 > U_{0,01} = 2,636$ ),  $Sn_{\min}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,969$ ),  $Sr_{\max}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,894$ ),  $Sc_{\max}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,764$ ),  $Со_{\max}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,615 > U_{0,05} = 2,412$ ). После их исключения для использованных элементов принят нормальный закон распределения:  $|K_A| = 0,026-1,748$ ;  $|K_E| = 0,027-1,172$ .

Во второй выборке ( $n = 9$ ) аналогично выделены:  $Mn_{\max}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,415 > U_{0,01} = 2,215$ ),  $Sn_{\max}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,387$ ),  $Ti_{\max}$  ( $U_{\text{расч}} = 2,221$ ). После исключения статистических выбросов для использованных элементов также принят нормальный закон распределения:  $|K_A| = 0,089-1,648$ ;  $|K_E| = 0,031-1,569$ .

На рис. 5 показана статистически значимая линейная связь между соотношениями содержания элементов в породах и соотношениями концентраций элементов в речных водах. Из данной зависимости исключены искажающие общую модель показатели для Mn ( $C_{\text{pt}} / C_{\text{sh}} = 7,0$ ;  $C_{\text{город}} / C_{\text{лес}} = 1,2$ ) и U ( $C_{\text{pt}} / C_{\text{sh}} = 1,3$ ;  $C_{\text{город}} / C_{\text{лес}} = 2,5$ ). Меньшие отклонения от модели, в целом не приведшие к потере статистической значимости, выявлены для Cu, Zn и Ni.

**Оценка влияния подземного стока.** Для оценки влияния подземного стока на катионный состав речных вод проведено сопоставление данных табл. 4 и рис. 4 с данными табл. 2. В целом на водосборе р. Лососинки (рис. 1) концентрации Na, K, Ca, Mg и Fe значительно выше в изливающихся на поверхность подземных водах по сравнению с водами реки.

Как следует из табл. 2, концентрации K, Ca и Mg в воде источника 2 выше, чем в воде источников 1 и 3, что отвечало росту концентраций этих же элементов в водах реки вниз по течению, начиная с последних точек участка Л4 (рис. 4). Среднее содержание Fe в речных водах достаточно стабильно, однако для этого элемента статистически значимо различались колебания его концентраций на лесных ( $n = 12$ ) и городских участках ( $n = 9$ ):  $pF = 0,006$ ;  $pt = 0,132$ . Кроме того, в пределах участков Л5 и Л4 отмечено небольшое понижение концентраций Fe, что могло быть связано с относительно малыми концентрациями  $Fe_{\text{общ}}$  в воде источника 3 (табл. 2).

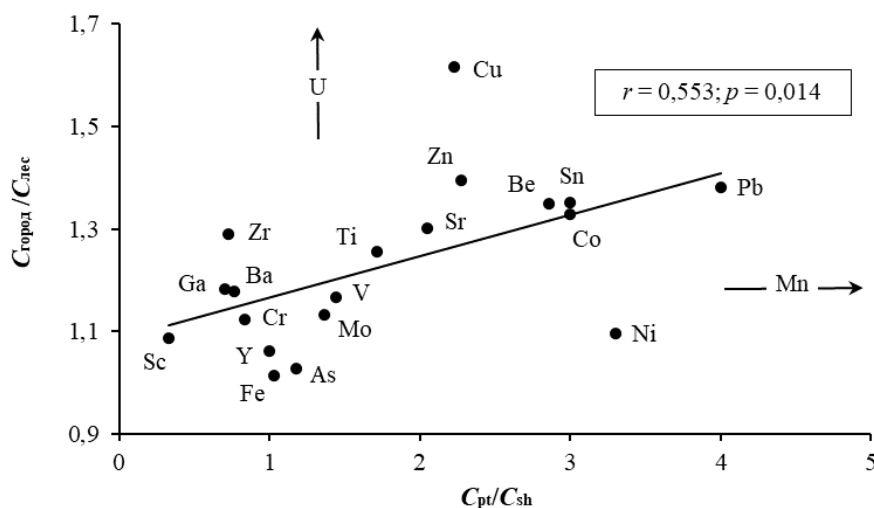


Рис. 5. Зависимость соотношений средних геометрических концентраций элементов в водах р. Лососинки в пределах центральной части г. Петрозаводска ( $C_{\text{город}}$ ) и лесных территорий ( $C_{\text{лес}}$ )

от соотношений среднего содержания элементов в породах петрозаводской ( $C_{\text{pt}}$ ) и шокшинской ( $C_{\text{sh}}$ ) свит  
Fig. 5. The dependence of the ratios between the average geometric concentrations of elements in the Lososinka River waters within the central part of Petrozavodsk ( $C_{\text{город}}$ ) and forested areas ( $C_{\text{лес}}$ ) on the ratios between the average content of element in the rocks of the Petrozavodskaya ( $C_{\text{pt}}$ ) and Shokshinskaya ( $C_{\text{sh}}$ ) suites

Пределы концентраций Na в источниках 1 и 2 одинаковы (табл. 2). Тем не менее в речной воде для этого элемента наблюдалась динамика, сходная с таковой для Ca, Mg и K (рис. 4). Это объясняется значительно более высокой концентрацией Na в воде источника 3 и в итоге смешением вод р. Лососинки на участке Л4 с подземными водами с различающимися соотношениями главных катионов.

Воды источников 2 и 3 сильно отличаются по величине  $pH$ , что сказывается на распределении в них и, соответственно, в связанных с подземными горизонтами водах реки химических элементов, включая ПТЭ. В целом поступающая в реку вода, состав которой характеризуется источником 3, является менее жесткой и одновременно более кислой.

Вниз по течению реки установлен рост величины Na/Ca соотношения:  $0,686-0,725 \text{ мг/м}^3$  (лесные территории),  $0,754-0,809 \text{ мг/м}^3$  (город, речной поток) и  $0,816-0,850 \text{ мг/м}^3$  (город, русловое водохранилище). Таким образом, данный критерий может быть применен для оценки неоднородности химического состава речных вод.

**Особенности элементного состава вод руслового водохранилища.** В пределах руслового водохранилища (участок Л1) в воде сильнее всего, по сравнению с примыкающей выше по течению частью водотока (участок Л2), увеличивались концентрации (табл. 4): Mn (в 1,7 раза), Zn (1,5), Pb (1,4). Причем фон превышался

Экология и природопользование  
Рыбаков Д.С.

только по Mn. Уменьшались концентрации: Cd (в 2,1 раза), Se (1,8), W (1,3). Между тем для участков Л1 и Л2 статистически значимыми оказались различия средних (здесь и далее вероятности рассчитаны по логарифмам концентраций с учетом различий дисперсий): по Na ( $pF = 0,869$ ;  $pt < 0,001$ ), Cu ( $pF = 0,644$ ;  $pt = 0,002$ ), Ba ( $pF = 0,091$ ;  $pt = 0,003$ ), Pb ( $pF = 0,600$ ;  $pt = 0,004$ ), Rb ( $pF = 0,024$ ;  $pt = 0,009$ ), Ti ( $pF = 0,619$ ;  $pt = 0,014$ ), Mn ( $pF < 0,001$ ;  $pt = 0,018$ ), K ( $pF = 0,310$ ;  $pt = 0,038$ ), Co ( $pF = 0,011$ ;  $pt = 0,049$ ) – увеличение концентраций, а также W ( $pF = 0,185$ ;  $pt = 0,039$ ) – уменьшение концентрации. Таким образом, наиболее очевидные статистически значимые различия средних зафиксированы по Na, дисперсий – по Mn.

**Изменчивость элементного состава речных вод в результате выпадения дождевых осадков.** После слабого дождя 4,3 мм за сутки концентрации элементов в воде реки, сильно различавшиеся в сухую погоду, выравнивались в сторону меньших значений (табл. 3). В то же время средние концентрации многих элементов у правого и левого берегов статистически значимо различались. Так, у *вогнутого левого берега* (со стороны заводского парка) были выше концентрации: Ca ( $pF = 0,994$ ;  $pt < 0,001$ ), Mg ( $pF = 0,947$ ;  $pt < 0,001$ ), Sr ( $pF = 0,234$ ;  $pt < 0,001$ ), Al ( $pF = 0,912$ ;  $pt = 0,001$ ), K ( $pF = 0,110$ ;  $pt = 0,002$ ), Na ( $pF = 0,731$ ;  $pt = 0,004$ ), V ( $pF = 0,437$ ;  $pt = 0,008$ ), Fe ( $pF = 0,157$ ;  $pt = 0,008$ ), W ( $pF = 0,851$ ;  $pt = 0,009$ ), Br ( $pF = 0,149$ ;  $pt = 0,009$ ), As ( $pF = 0,150$ ;  $pt = 0,013$ ), Co ( $pF = 0,944$ ;  $pt = 0,015$ ), Sc ( $pF = 0,001$ ;  $pt = 0,018$ ), Hg ( $pF = 0,916$ ;  $pt = 0,019$ ), Mo ( $pF = 0,499$ ;  $pt = 0,021$ ), Tl ( $pF = 0,681$ ;  $pt = 0,026$ ), P ( $pF = 0,681$ ;  $pt = 0,036$ ), Se ( $pF = 0,843$ ;  $pt = 0,043$ ). Для *выпуклого правого берега* (со стороны бывшей промплощадки) получены чуть большие концентрации Th ( $pF = 0,058$ ;  $pt = 0,042$ ) и Pb ( $pF = 0,120$ ;  $pt = 0,047$ ).

По данным 2018 г. (табл. 3), после дождя рост концентраций в нижнем течении реки составил (в среднем с учетом различий по берегам): Na (3,1–2,6 раза), Ca (2,4–2,2), U (2,2–2,0), Mg, Sr (2,0–1,8), Mn (1,4–2,2), As, K (1,8–1,5), Mo (1,9–1,3), Ba (1,8–1,2), Li (1,5–1,2), P (1,3–1,2). Одновременно снизилось содержание: Hg (в 4,7–5,2 раза), Sc (2,9–3,3), W (2,9–3,1), Ag (2,1–3,0), Sn (1,5–3,7), Th (1,4–1,8), Cd (1,2–1,7) и др.

Для определения особенностей изменчивости состава вод р. Лососинки во время сильного дождя (51,5 мм за сутки, кроме ночных часов) на участке Л2 (рис. 1) отобраны и проанализированы пробы речной воды, а также – в пределах бывшей заводской площадки – сточных вод с крыши заброшенного здания и с поверхности загрязненной почвенно-грунтовой толщи (табл. 5).

Таблица 5

Концентрации химических элементов в воде реки и поверхностных стоках с промышленно загрязненной территории во время сильного дождя, мг/м<sup>3</sup> (по состоянию на 04.10.2023 г.)

Concentrations of chemical elements in the river waters and surface runoff from an industrially polluted area during heavy rain, mg/m<sup>3</sup> (as of 4 October 2023)

Объект	W	Na	Mg	Mo	Li	Sb	K	Ca	Sr	Pb
Река 2	0,419	3404	3248	0,433	1,76	0,469	1642	7253	38,1	5,11
Река 1	0,436	3459	3250	0,451	1,69	0,552	1635	7227	37,9	8,89
Крыша	0,312	47,8	111,4	0,202	0,210	0,264	72,5	290,9	0,696	34,0
Сток	12,5	36505	31648	3,65	13,9	3,53	10039	43521	210,8	26,5
<b>Сток/река</b>	<b>29,2</b>	<b>10,6</b>	<b>9,74</b>	<b>8,27</b>	<b>8,07</b>	<b>6,90</b>	<b>6,13</b>	<b>6,01</b>	<b>5,55</b>	<b>3,78</b>
Объект	U	Ba	Sn	Cu	Fe	ΣTR	Ti	Co	V	Zn
Река 2	0,201	60,1	0,256	11,4	5530	14,5	46,6	2,77	4,84	34,1
Река 1	0,190	58,1	0,267	9,91	5333	14,1	46,3	2,75	4,64	30,4
Крыша	< 0,000	2,00	0,232	0,599	105,1	1,19	2,79	0,144	0,033	3,96
Сток	0,595	106,8	0,362	11,4	5716	2,68	11,3	0,697	1,42	15,7
<b>Сток/река</b>	<b>3,04</b>	<b>1,81</b>	<b>1,38</b>	<b>1,07</b>	<b>1,05</b>	<b>1/5,35</b>	<b>1/4,10</b>	<b>1/3,96</b>	<b>1/3,34</b>	<b>1/2,06</b>
Объект	Th	Zr	Cd	Mn	Ni	As	Cr	Nb	Hf	Ag
Река 2	0,148	1,33	0,126	1400	3,12	1,97	2,82	0,587	0,253	0,781
Река 1	0,133	1,29	0,107	1391	3,13	2,00	2,83	0,603	0,256	0,823
Крыша	0,045	0,293	0,279	4,14	0,40	< 0,000	0,219	0,512	0,216	0,774
Сток	0,073	0,847	0,086	1049	2,45	1,61	2,39	0,544	0,234	0,779
<b>Сток/река</b>	<b>1/1,92</b>	<b>1/1,54</b>	<b>1/1,35</b>	<b>1/1,33</b>	<b>1/1,27</b>	<b>1/1,23</b>	<b>1/1,18</b>	<b>1/1,09</b>	<b>1/1,09</b>	<b>1/1,03</b>

Примечание. Объекты: «Река 2» – вода р. Лососинки между точками 9 и 10 (рис.1), «Река 1» – то же между точками 8 и 9, «Крыша» – вода, стекающая с крыши здания без водостока (ул. Калинина, 1с43), «Сток» – сток в реку с поверхности нарушенной почвы без растительности.

Note. Objects: 'Река 2' – waters of the Lososinka River between points 9 and 10 (see Fig. 1), 'Река 1' – the same between points 8 and 9, 'Крыша' – water flowing down from the roof of a building without downpipes (Kalinina st., 1c43), 'Сток' – runoff into the river from the surface of disturbed soil without vegetation.

В поверхностных стоках выявлены (табл. 5) более высокие, чем в речном потоке, концентрации многих элементов, включая ПТЭ, которыми загрязнена территория бывшего завода: W, Mo, Sb, Pb, Sn и др. При этом в водах реки содержится больше: ΣTR, Ti, Co, V, Zn, Th, Zr и др.

## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

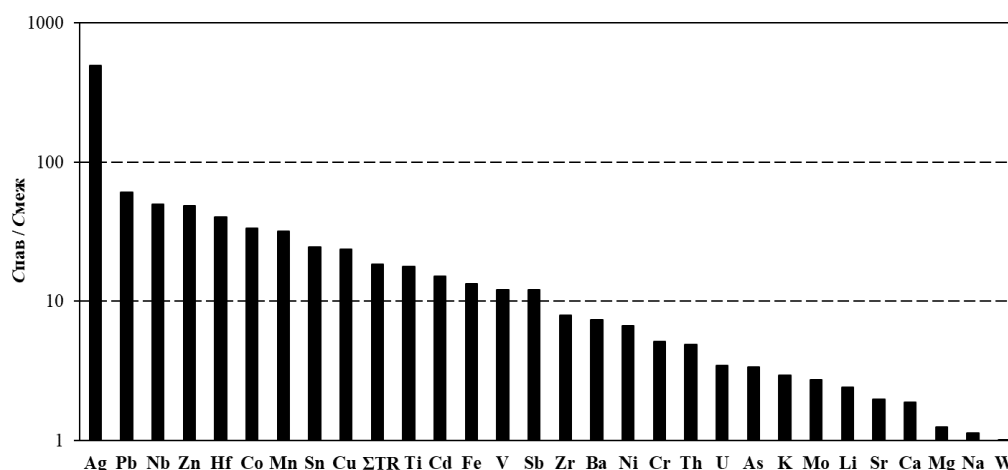


Рис. 6. Соотношения между концентрациями элементов в пробах речной воде, отобранных в октябрьский паводок (Спав) и майскую межень (Смеж): расчеты по участку Л2

Fig. 6. Ratios between the concentrations of elements in the river water samples during the October flood (Спав) and the May low water (Смеж): calculations for site Л2

Обращает на себя внимание резкое, по сравнению с данными для майской межени (табл. 4), увеличение концентраций в речных водах многих элементов из следующего ряда (рис. 6): Ag (в 495 раз), Pb (60,6), Nb (49,5), Zn (48,6), Hf (40,3), Co (33,6), Mn (31,9), Sn (24,4), Cu (23,6), ΣTR (18,4), Ti (17,7), Cd (15,1), Fe (13,4), V, Sb (12,1), Zr (7,93), Ba (7,38), Ni (6,68), Cr (5,14), Th (4,92), U (3,45), As (3,36), K (2,94), Mo (2,72), Li (2,40), Sr (1,97), Ca (1,87), Mg (1,25), Na (1,12), W (1,01).

В дождевой воде, стекающей с крыши здания, отмечены более высокие, чем в стоках, концентрации Cd и Pb (в 3,2 и 1,3 раза соответственно). Предположительно Cd может быть связан с атмосферным загрязнением, поскольку его концентрация в почвенно-грунтовой толще, по средним оценкам, в 2,4 раза ниже, чем в почвах г. Петрозаводска, в то время как Pb имеет локальное происхождение, связанное с выбросами литейного производства, функционировавшего в пределах заводской площадки [19].

#### Обсуждение

К особенностям природных вод р. Лососинки относится приуроченность их загрязнения в нижнем течении к зоне техногенно-измененных почв и грунтов. В частности, на участке, примыкающем к бывшей площадке тракторного завода, по состоянию на конец мая 2018 г. (сухая погода) в речных водах отмечаются высокие точечные концентрации потенциально токсичных элементов (превышение регионального фона в 5,3–1,5 раза по Cu, Sb, Ag, Pb, P, Zn, Mo, Cr, Ni, U, As, V), что может говорить о разгрузке загрязненных грунтовых вод в гипорейной зоне.

На конец мая 2023 г. (сухая погода) концентрации ПТЭ (кроме U) оказываются сниженными, а отношение к фону составляет: по U (1,9), Sb (1,4–1,6), P (1,5–1,6), Mo (1,5), Cr, As (1,2–1,3), Mn (до 1,3; увеличение в 2,3–3,9 раза). Для Pb и V превышений не установлено. Фоновые концентрации Sc, W и Sn в поверхностных водах для региона не определены, вместе с тем наиболее значительное уменьшение концентраций устанавливается именно по этим элементам (в 13–12,7; 5,1–4,9 и 7,1–2,9 раза соответственно). Причинами изменений могут быть: снижение загрязнения, разная интенсивность обменных процессов на границе «вода – дно», накопление биогенного Mn, в том числе его связь с диатомовыми комплексами [2; 19; 20].

В сухую погоду элементный состав вод р. Лососинки связывается прямой линейной зависимостью с составом распространенных в районе нижнепротерозойских пород. Предложенная модель представляет собой статистически значимую ( $p = 0,014$ ) зависимость соотношений средних концентраций элементов в водах р. Лососинки в пределах центральной части г. Петрозаводска и лесных территорий от соотношений среднего содержания элементов в породах петрозаводской и шокшинской свит. Отклонения от этой модели, не приводящие к потере статистической значимости, связываются с загрязнением городской территории Cu, в меньшей степени Zn. Эти элементы, судя, в частности, по их высокому содержанию в снеговом покрове, в больших количествах поступают в реку с тальми водами и накапливаются в донных осадках, в том числе в подвижных формах [19]. Благодаря повышенному содержанию последних формируется механизм катионного обмена на границе «донные осадки – вода реки». На интенсивность обмена Cu, в меньшей степени Zn, между водой и донными осадками оказывает влияние фактор  $pH$  среды, при этом для Ni (и Fe) такой зависимости нет, что статистически подтверждается примером р. Свияги [5]. В целом авторами установлена большая способность воды реки к самоочищению от Ni, меньшая – от Cu и Zn.

Не согласуются с общей моделью Mn и U. Можно предположить, что относительно выровненные концентрации Mn в водах лесной и городской части реки связаны с биогеохимическим циклом этого элемента, накладывающимся на следствия лито- и гидрогеохимических процессов. По отношению к региональному фону в воде р. Лососинки Mn является дефицитным элементом.

## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

Со своей стороны U также, как и главные катионы природных вод, обладает высокой миграционной способностью, что, вероятно, и приводит к обогащению им вод реки непропорционально по отношению к содержанию в геологических образованиях разных серий.

Изменения геолого-геохимической обстановки фиксируются в водах р. Лососинки в районе участка Л4 (лесной массив Курган). Так, если в пределах лесного участка Л5 (парки Фонтаны и Лососинка) изменчивость индикаторного Na/Ca соотношения определяется концентрацией в воде Ca, то под влиянием меняющегося ниже по течению состава пород и подземных вод она связывается с более интенсивным поступлением в речные воды Na по сравнению с Mg и Ca.

Под влиянием слабого кратковременного дождя наблюдается дополнительное поступление большого числа химических элементов в водоток с поверхностным стоком (увеличение от 3,1 до 1,2 раза): Na, Ca, U, Mg, Sr, Mn, As, K, Mo, Ba, Li, P. Одновременно в речной воде уменьшается (от 5,2 до 1,2 раза) содержание: Hg, Sc, W, Ag, Sn, Th, Cd. Эти временные изменения указывают на поступление в водоток подвижных и слабоподвижных элементов при уменьшении концентраций в воде реки наиболее важных ПТЭ.

Вынос щелочных и щелочноземельных металлов связывается не только с их естественным содержанием в почвах, но и с антропогенными «добавками» из разных источников. К последним относятся обломки имеющего щелочную реакцию строительного мусора (Ca), противогололедные реагенты (Na) и выбросы промышленных предприятий [26]. Концентрация Hg в воде может уменьшаться как в ходе ее аккумуляции в донных осадках в виде органических комплексов, так и в результате испарения из воды летучих форм металла, в частности диметилртути при  $pH > 7$  [9].

Концентрации Cu и Zn в воде реки после кратковременного дождя остаются практически такими же, как и в сухую погоду (без учета аномальных значений), а Cd оказываются более низкими. Для Карелии отмечается [15] высокая удерживающая способность почв к Pb, Zn и Cd, в связи с чем они не поступают в водные объекты, а задерживаются на водосборной территории. Таким образом, этот вывод в случае слабых осадков согласуется с данными по территории г. Петрозаводска.

В результате сильного дождя (октябрь) концентрации многих элементов, включая ПТЭ, в воде реки на участке, примыкающем к бывшей промышленной площадке, оказываются многократно выше по сравнению с сухой погодой (май): Ag (в сотни раз) > Pb > Nb > Zn > Hf > Co > Mn > Sn > Cu (в десятки раз) > ΣTR > Ti > Cd > Fe > V = Sb (от 20 до 10 раз) > Zr > Ba > Ni > Cr (от 10 до 5) > Th > U > As > K > Mo > Li > Sr (от 5 до 2) > Ca (в 1,9 раза) > Mg (1,25) > Na (1,12) > W (1,01). В то же время концентрации элементов, больше связанных с природными источниками, за исключением W и Mo, локально загрязнивших почвы и грунты в результате прошлой промышленной деятельности [18, 19], отличаются не столь значительно.

Высокие концентрации ПТЭ и сопутствующих им литофильных элементов (Na, Mg, Li, K, Ca, Sr) наблюдаются в стоках, поступающих в реку с поверхности загрязненной почвенно-грунтовой толщи. В стоках больше, чем в речных водах, обнаруживается: W (в 29,2 раза) > Na (10,6) > Mg (9,7) > Mo (8,3) > Li (8,1) > Sb (6,9) > K (6,1) > Ca (6,0) > Sr (5,5) > Pb (3,8) > U (3,0) > Ba (1,8) > Sn (1,4). В водах реки между тем больше, чем в стоках, фиксируется: ΣTR (5,3) > Ti (4,1) > Co (4,0) > V(3,3) > Zn (2,1) > Th (1,9) > Zr (1,5) > Cd (1,4) > Mn (1,3) > As, Cr (1,2).

Часть ПТЭ осаждается и интенсивно накапливается в донных осадках. Так, содержание W в донных осадках р. Лососинки (город) в 6,5 раза выше, чем в осадках р. Шуи (пригород), Mo – в 4,7 раза [18].

Под воздействием сильного дождя в общий водный поток привносятся элементы, обычно мигрирующие совместно с Fe в органических комплексах и во взвешях, в том числе ΣTR, Ti, Co, V, Th, Zr и др.

Определение специфики загрязнения городских водных объектов является трудной задачей, поскольку повышение концентрации конкретного элемента, как отмечено выше, может носить как природный, так и антропогенный характер. Например, содержание в почвах As, привносимого в речные воды, достаточно велико не только на части территории г. Петрозаводска, но и на его окраинах, в относительно слабо нарушенных ландшафтах. В последних As обуславливает наличие локальных зон с высоким уровнем загрязнения [19].

### Заключение

Таким образом, изучение химического (элементного) состава поверхностных вод городской р. Лососинки показало следующее:

1. Загрязнение речных вод практически отсутствует в пределах лесных массивов, но появляется и возрастает ниже по течению, что объясняется влиянием коренных пород, подземных вод и городской среды в целом. Как исключение, среднее содержание W в воде реки выше в пределах лесных участков и последовательно снижается вниз по течению.

2. На промышленно измененных участках возможно аномальное загрязнение вод тяжелыми металлами в количествах, превышающих региональный фон в 1,5–5,3 раза: Cu > Sb > Ag > Pb > Cr > Zn > Ni > V.

3. При прохождении слабых кратковременных дождевых осадков в воды городской реки попадает больше: U, Ca, Mg, Na, P, Sr, As и Mo. Одновременно уменьшаются концентрации таких потенциально опасных для биоты элементов, как Hg, Sc, W, Ag, Th, Sn и Cd, нивелируется точечное промышленно обусловленное загрязнение Zn, Pb, Cu, Sb и других ПТЭ.

4. В результате сильного дождя, наоборот, количество ПТЭ в водах реки резко возрастает: Ag >> Pb > Nb > Zn > Hf > Co > Mn > Sn > Cu > ΣTR > Ti > Cd > Fe > V = Sb > Zr > Ba > Ni > Cr и т. д., в то время как концентрации Na, Mg, Li, K, Ca, Sr увеличиваются довольно слабо.

## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

## Библиографический список

1. *Бородулина Г.С.* Родники Карелии – природные объекты научного и социального значения // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4 (32). С. 53–65. doi: 10.24852/2411-7374.2022.4.53.65
2. Водные объекты города Петрозаводска: учеб. пособие / под ред. А.В. Литвиненко, Т.И. Регеранд. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2013. 109 с.
3. Восстановление и охрана малых рек: Теория и практика / пер. с англ. А.Э. Габриэляна, Ю.А. Смирнова / под ред. К.К. Эдельштейна, М.И. Сахаровой.
4. *Гурьев В.А., Ахмадиев Г.М.* Научные основы и принципы сохранения и предотвращения загрязнения реки Волги // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2018. Т. 4, № 1. С. 132–136. doi: 10.5281/zenodo.1147039
5. *Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С.* Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / под науч. ред. Е.С. Климова. Ульяновск: УлГТУ, 2014. 167 с.
6. *Двинских С.А., Китаев А.Б.* Особенности формирования химического состава поверхностных вод гумидной зоны (на примере Пермского края) // Проблемы региональной экологии. 2011. № 5. С. 29–34.
7. *Джамалов Р.Г., Медовар Ю.А., Юшманов И.О.* Влияние полигона твердых бытовых отходов на качество подземных и поверхностных вод (на примере Владимирской области) // Сергеевские чтения: Выпуск 20: Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 22 марта 2018 г.). М.: Российский университет дружбы народов, 2018. С. 175–178.
8. *Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Луценко Т.Н., Шамов В.В., Еловский Е.В., Касуров Д.А.* Микроэлементы в речных водах горнолесных бассейнов (юг Дальнего Востока России) // Известия ТПУ. 2022. Т. 333, № 6. С. 190–205. doi: 10.18799/24131830/2022/6/3548
9. *Кузубова Л.И., Шувалева О.В., Аношин Г.Н.* Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения): аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. Ин-т неорг. химии. Аналит. центр Объедин. ин-та геологии, географии и минералогии СО РАН. Сер. Экология. Новосибирск, 2000. Вып. 59. 82 с.
10. *Лозовик П.А.* Антропогенные нагрузки на Онежское озеро от различных источников формирования химического состава воды // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения: сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Сочи, 2–7 окт. 2017 г.). М., 2017. С. 378–384.
11. *Лозовик П.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А.* Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 4. С. 62–73. doi: 10.17076/lim1189
12. *Лозовик П.А., Шкитерова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В.* Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям // Труды КарНЦ РАН. 2006. № 9. С. 130–143.
13. *Мазухина С.И., Маслобоев В.А., Сандимиров С.С., Пожиленко В.И., Иванов С.В.* Формирование химического состава поверхностных вод в Арктике на примере озера Инари и реки Паз // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 1–2. С. 252–260. doi: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-252-260
14. *Плохинский Н.А.* Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 364.
15. *Потанова И.Ю.* Роль атмосферных осадков в формировании химического состава поверхностных вод Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 134–137.
16. Р-(35),36 (Петрозаводск) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Балтийская серия. Геологическая карта дочетвертичных образований, масштаб: 1 : 1 000 000. ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2015. / под ред. Ю.Б. Богданова. URL: <http://www.geokniga.org/maps/17327> (дата обращения: 29.03.2020)
17. Рекомендации Р 52.24.353–2012. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Ростов н/Д, 2012. 36 с.
18. *Рыбаков Д.С., Крутских Н.В.* Геоэкологические закономерности распределения молибдена и вольфрама при антропогенной трансформации геосистем Прионежья // Географический вестник. 2021. № 1 (56). С. 81–95. doi: 10.17072/2079-7877-2021-1-81-95
19. *Рыбаков Д.С., Крутских Н.В., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Слуковский З.И., Кричевцова М.В., Лазарева О.В.* Климатические и геохимические аспекты формирования экологических рисков в Республике Карелия / отв. ред. А.В. Яблоков. СПб: Изд-во «ЭлекСис», 2013. 130 с.
20. *Рыбаков Д.С., Шелехова Т.С.* Диатомеи в донных осадках – индикаторы загрязнения водных экосистем в условиях урбанизации // Экология. Екатеринбург, 2014. № 1. С. 45–52. doi: 10.7868/S0367059714010119
21. *Рыжков Л.П., Горохов А.В., Марченко Л.П.* Трансформация химического состава вод реки Лососинки под воздействием природных и антропогенных факторов // Ученые записки ПетрГУ. Серия: Естественные и технические науки. 2012. Т. 1, № 8. С. 20–24.
22. *Саэт Ю.Е., Алексинская Л.Н., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 74 с.
23. Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. / отв. ред. Н.Н. Филатов и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 188 с.
24. *Теканова Е.В., Макарова Е.М., Калинин Н.М.* Экологическая оценка качества воды урбанизированного притока Онежского озера по химическим показателям // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 3 (87). С. 75–84. doi: 10.23968/2305-3488.2021.26.3.75-84
25. *Томилина О.В., Паламарчук С.Ф., Яхнин Э.Я., Егоров А.И.* Геохимическое картирование севера европейской территории России в рамках международной программы «Экогеохимия Баренцева региона» и проведение опережающего этапа составления геохимических основ Госгеолкарты-1000 третьего поколения на листы Р-35,36. Том 2: Отчет о научно-исследовательской работе / отв. исп. В.А. Чекушин. СПб, 2004. 146 с.
26. *Федорец Н.Г., Медведева М.В.* Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 96 с.
27. *Akhtar N., Syakir Ishak M.I., Bhawani S.A., Umar K.* Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review // Water. 2021. Vol. 13, No. 19: 2660. doi: 10.3390/w13192660
28. *Castro M.F., Almeida C.A., Bazán C., Vidal J., Delfini C.D., Villegas L.B.* Impact of anthropogenic activities on an urban river through a comprehensive analysis of water and sediments // Environ. Sci. Pollut. Res. 2021. Vol. 28, No. 2. P. 37754–37767. doi: 10.1007/s11356-021-13349-z

## Экология и природопользование

Рыбаков Д.С.

29. Chalov S., Platonov V., Erina O., Moreido V., Samokhin M., Sokolov D., Tereshina M., Yarinich Y., Kasimov N. Rainstorms impacts on water, sediment, and trace elements loads in an urbanized catchment within Moscow city: case study of summer 2020 and 2021 // *Theor. Appl. Climatol.* 2023. Vol. 151, Iss. 1. P. 871–889. doi: 10.1007/s00704-022-04298-9
30. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters / Eds H.D. Holland, K.K. Turekian. Treatise on geochemistry. Oxford: Elsevier-Perгамon, 2003. P. 225–272.
31. Grubbs F.E. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples // *Technometrics*. 1969. Vol. 11, No. 1. P. 1–21. doi: 10.1080/00401706.1969.10490657
32. Khatri N., Tyagi S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas // *Front. Life Sci.* 2015. Vol. 8, No. 1. P. 23–39. doi: 10.1080/21553769.2014.933716
33. Kulik N.V., Efremenko N.A., Belkina N.A., Strahovenko V.D., Gatskaya E.V. Geochemical features of river runoff and its influence on sedimentation processes in Lake Onego // *Limnology and Freshwater Biology*. 2022. No. 4. P. 1453–1455. doi: 10.31951/2658-3518-2022-A-4-145
34. Nabi M.M., Wang J., Baalousha M. Episodic surges in titanium dioxide engineered particle concentrations in surface waters following rainfall events // *Chemosphere*. 2021. 263:128261. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128261

## References

1. Borodulina G.S. (2022), “Springs of Karelia – natural objects of scientific and social significance”, *Russian journal of applied ecology*, no. 4(32), pp. 53–65. doi:10.24852/2411-7374.2022.4.53.65.
2. Litvinenko A.V., Regerand T.I. (eds) (2013), *Vodnye ob'ekty goroda Petrozavodsk* [Water bodies of Petrozavodsk city], KarRC of RAS, Petrozavodsk, Russia.
3. Edel'shteyn K.K., Sakharova M.I. (eds) (1989), *Vosstanovlenie i okhrana malyykh rek: Teoriya i praktika* [The Restoration of Rivers and Streams: Theories and Experience], transl. from eng. A.E. Gabrielyan, Yu.A. Smirnov, Agropromizdat, Moscow, Russia.
4. Gur'ev V.A., Akhmadiev G.M. (2018), “Scientific principles and principles of preservation and prevention of pollution of the Volga River”, *Bulletin of Science and Practice*, vol. 4, no. 1, pp. 132–136. doi:10.5281/zenodo.1147039.
5. Davydova O.A., Klimov E.S., Vaganova E.S., Vaganov A.S. (2014), *Vliyaniye fiziko-khimicheskikh faktorov na sodержaniye tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh* [Influence of Physical-Chemical Factors on the Content of Heavy Metals in Aquatic Ecosystems], Klimov E.S., Ed., UISTU, Ulyanovsk, Russia.
6. Dvinskikh S.A., Kitaev A.B. (2011), “Features of formation of the chemical composition of surface waters of the humid zone (for example Perm edge)”, *Problems of regional ecology*, no. 5, pp. 29–34.
7. Dzhamalov R.G., Medovar Yu.A., Yushmanov I.O. (2018), The impact of a solid waste landfill on the quality of underground and surface waters (on the example of the Vladimirskiy region), [Sergeyev's Readings : Issue 20 : Waste Management: Problems of geoecology and engineering geology. Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on problems of Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology (Moscow, March 22, 2018)], Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia, pp. 175–178.
8. Kozhevnikova N.K., Boldeskul A.G., Lutsenko T.N., Shamov V.V., Elovskiy E.V., Kasurov D.A. (2022), “Microelements in river water of mountain-forest basins (southern Russian Far East).”, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, vol. 333, no. 6, pp. 190–205. doi:10.18799/24131830/2022/6/3548.
9. Kuzubova L.I., Shuvaeva O.V., Anoshin G.N. (2000), *Prostranstvennyy analiz zagryazneniya akvatorii Finskogo zaliva v tekhnologii GIS* [Methylmercury in the environment (distribution, formation in nature, methods of determination)], GPNTB SB RAS, Novosibirsk, Russia.
10. Lozovik P.A. (2017), Anthropogenic loads on Lake Onega from various sources of formation of the chemical composition of water, [Water Resources: New Challenges and Solutions: Collection of Scientific Works Dedicated to the Year of Ecology in Russia and the 50th Anniversary of the Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Sochi, 2–7 October 2017], Lik Ltd., Novocherkassk, Russia, pp. 378–384.
11. Lozovik P.A., Kulik N.V., Efremenko N.A. (2020), “Lithophile elements and heavy metals in Lake Onego: sources, concentrations and transformation”, *Proceedings of KarRC of RAS*, no. 4, pp. 62–73. doi:10.17076/lim1189.
12. Lozovik P.A., Shkiperova O.F., Zobkov M.B., Platonov A.V. (2006), “Geochemical properties of Karelian surface water and their classification by chemical parameters”, *Proceedings of KarRC of RAS*, no. 9, pp. 130–143.
13. Mazukhina S.I., Masloboev V.A., Sandimirov S.S., Pozhilenko V.I., Ivanov S.V. (2017), “Forming chemical composition of surface waters in the Arctic. Case study of Lake Inari and the River Paz”, *Vestnik of MSTU*, vol. 20, no. 1–2, pp. 252–260. doi:10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-252-260.
14. Plokhinskii N.A. (1970), *Biometriya* [Biometrics], MGU Publ. Moscow, Russia.
15. Potapova I.Yu. (2011), “The role of atmospheric precipitation in the formation of the chemical composition of Karelian surface waters”, *Proceedings of KarRC of RAS*, no. 4, pp. 134–137.
16. Bogdanov, Yu.B. (ed.) (2015), *P-(35),36 (Petrozavodsk) Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Tret'e pokolenie. Baltijskaya seriya. Geologicheskaya karta dochetvertichnykh obrazovaniy, masshtab: 1:1 000 000* [P-(35),36 (Petrozavodsk) State Geological Map of the Russian Federation, Scale 1:1,000,000. Third generation. The Baltic series. Geological map of pre-Quaternary formations], FSBI VSEGEI, St. Petersburg, Russia, available at: <http://www.geokniga.org/maps/17327> (Accessed 29 March 2020).
17. *Rekomendatsii R 52.24.353–2012. Otkor prob poverkhnostnykh vod sushi i ochishchennykh stochnykh vod* [Sampling of land surface water and treated wastewater], Rosgidromet, FGBU “GKHI”, Rostov-on-Don, Russia.
18. Rybakov D.S., Krutskikh N.V. (2021), “Geoecological regularities of the molybdenum and tungsten distribution during anthropogenic transformation of the geosystems of Prionezhye”, *Geographical Bulletin*, no. 1(56), pp. 81–95. doi:10.17072/2079-7877-2021-1-81-95.
19. Rybakov D.S., Krutskikh N.V., Shelekhova T.S., Lavrova N.B., Slukovsky Z.I., Krichevtsova M.V., Lazareva O.V. (2013), *Klimaticheskie i geokhimicheskie aspekty formirovaniya ehkologicheskikh riskov v Respublike Kareliya* [Climatic and Geochemical Aspects of Environmental Risks Formation in the Republic of Karelia], ElekSis Ltd., St. Petersburg, Russia.
20. Rybakov D.S., Shelekhova T.S. (2014), “Diatoms in bottom sediments as indicators of pollution of urban aquatic ecosystem”, *Russian Journal of Ecology*, no. 1, pp. 45–52. doi:10.7868/S0367059714010119.

*Экология и природопользование*  
*Рыбаков Д.С.*

21. Ryzhkov L.P., Gorokhov A.V., Marchenko L.P. (2012), "Transformation of Chemical Composition of the Waters of the Lososinka River Under the Effect of Natural and Anthropogenic Factors", *Proceedings of Petrozavodsk state university. Natural & Engineering sciences*, vol. 1, no. 8, pp. 20–24.
22. Saet Yu.E., Aleksinskaya L.N., Yanin E.P. (1982), *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya poverkhnostnykh vodotokov khimicheskimi elementami* [Methodological recommendations for the geochemical assessment of surface water pollution by chemical elements], M.: ИМГРЭ.
23. Filatov N.N. et al. (eds) (1998), *Sovremennoe sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1992–1997 gg.* [Current state of water objects in the Republic of Karelia based on monitoring results of 1992–1997], KarRC of RAS, Petrozavodsk, Russia.
24. Tekanova E.V., Makarova E.M., Kalinkina N.M. (2021), "Ecological assessment of water quality in the Onego Lake urban tributary by chemical indicators", *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions], no. 3(87), pp. 75–84. doi:10.23968/2305-3488.2021.26.3.75-84.
25. Tomilina O.V., Palamarchuk S.F., Yakhnin E.Ya., Egorov A.I. (2004), *Geokhimicheskoe kartirovanie severa evropeyskoy territorii Rossii v ramkakh mezhdunarodnoy programmy «Ekogeokhimiya Barentseva regiona» i provedenie operzhayushchego etapa sostavleniya geokhimicheskikh osnov Gosgeolkarty-1000 tret'ego pokoleniya na listy R-35,36* [Geochemical Mapping of the North of the European territory of Russia within the framework of the international program "Ecogeochemistry of the Barents Region" and conducting the advanced stage of compiling the geochemical bases of the state geolcarta-1000 of the third generation on sheets P-35,36]. Vol. 2: Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote [Report on research work]. St. Petersburg, Russia.
26. Fedorets N.G., Medvedeva M.V. (2005), *Ekologo-mikrobiologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv goroda Petrozavodsk* [Eco-microbiological assessment of the status of soil in the city of Petrozavodsk], KarRC of RAS, Petrozavodsk, Russia.
27. Akhtar N., Syakir Ishak M.I., Bhawani S.A., Umar K. (2021), "Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review", *Water*, vol. 13, no. 19: 2660. doi:10.3390/w13192660.
28. Castro M.F., Almeida C.A., Bazán C., Vidal J., Delfin C.D., Villegas L.B. (2021), "Impact of anthropogenic activities on an urban river through a comprehensive analysis of water and sediments", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 37754–37767. doi:10.1007/s11356-021-13349-z.
29. Chalov S., Platonov V., Erina O., Moreido V., Samokhin M., Sokolov D., Tereshina M., Yarinich Y., Kasimov N. (2023), "Rainstorms impacts on water, sediment, and trace elements loads in an urbanized catchment within Moscow city: case study of summer 2020 and 2021", *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 151, iss. 1, pp. 871–889. doi:10.1007/s00704-022-04298-9.
30. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. (2003), "Trace elements in river waters", H.D. Holland, K.K. Turekian, Eds, "Treatise on geochemistry", Oxford: Elsevier-Pergamon, pp. 225–272.
31. Grubbs F.E. (1969), "Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples", *Technometrics*, vol. 11, no. 1, pp. 1–21, doi:10.1080/00401706.1969.10490657.
32. Khatri N., Tyagi S. (2015), "Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas", *Front. Life Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 23–39. doi:10.1080/21553769.2014.933716.
33. Kulik N.V., Efremenko N.A., Belkina N.A., Strahovenko V.D., Gatalskaya E.V. (2022), "Geochemical features of river runoff and its influence on sedimentation processes in Lake Onego", *Limnology and Freshwater Biology*, no. 4, pp. 1453–1455. doi:10.31951/2658-3518-2022-A-4-1453.
34. Nabi M.M., Wang J., Baalousha M. (2021), "Episodic surges in titanium dioxide engineered particle concentrations in surface waters following rainfall events", *Chemosphere*, 263:128261. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128261.

Статья поступила в редакцию: 27.09.23, одобрена после рецензирования: 22.07.24, принята к опубликованию: 12.12.24.

The article was submitted: 27 September 2023; approved after review: 22 July 2024; accepted for publication: 12 December 2024.

**Информация об авторе**

**Дмитрий Сергеевич Рыбаков**

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник Института геологии,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр  
Российской академии наук»;  
185910, Россия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

**Information about the author**

**Dmitry S. Rybakov**

Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences,  
Senior Scientist, Institute of Geology, Karelian  
Research Center of the Russian Academy of Sciences,  
Petrozavodsk, Russia;

11, Pushkinskaya st., Petrozavodsk, Republic  
of Karelia, 185910, Russia

e-mail: [rybakovd@krc.karelia.ru](mailto:rybakovd@krc.karelia.ru)