

УДК 550.42

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ В АККУМУЛЯЦИИ МЕДИ ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ И ГИДРОБИОНТАМИ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ПЕЧОРА

Мазур В.В., Доровских Г.Н.

*Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,
Сыктывкар, e-mail: mazur_vikusya@mail.ru*

В работе представлены результаты определения содержания меди в донных отложениях, гидробионтах и гидрофитах из разных типов водоемов и их участков, относящихся к бассейну верхнего и среднего течения р. Печоры. Возрастающая степень антропогенной трансформации водных объектов меняет экологическую среду для многих видов организмов, что привело к росту научного интереса к разработке и применению экологических индикаторов. Разработка индикаторов необходима для оценки экологического состояния экосистемы при разработке нормативных документов и принятии управленческих решений в области охраны природы. Для определения зависимости содержания меди в донных осадках, рыбе и хвоще от течения воды и факторов, связанных с ним, был использован однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ, для установления степени корреляционной связи между концентрацией металла в гидробионтах, высшей водной растительности и донных отложениях применен ранговый критерий Крускала-Уоллиса. Влияние скорости течения воды и факторов, связанных с этим, на накопление меди в грунтах и биологических объектах из пойменных водоемов, согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, статистически достоверно ($F = 110.6$; $\nu = 2$; $P < 0,01$). Также установлено, что аккумуляция меди в хвоще сопряжена с ее количеством в донных отложениях, тогда как связь концентрации меди в рыбе с таковой в иле и хвоще не доказана. Выявлена зависимость содержания меди в тушках голяна от наличия отложений ила в конкретном участке рассматриваемого бассейна. В период исследований во всех пунктах сбора материала по грунтам отмечено наличие значительных концентраций меди в донных отложениях, что связано с природными особенностями региона. Аккумуляция меди в старичных водоемах р. Печоры способствует мощному пласту ила, значительный подъем воды во время половодий, интенсивное зарастание водной растительностью и отсутствие течения.

Ключевые слова: медь, донные отложения, гидробионты, р. Печора, аккумуляция.

GEOECOLOGICAL ASPECT IN THE ACCUMULATION OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS AND HYDROBIONTS IN THE RIVER BASIN AND THE MIDDLE COURSE OF THE PECHORA RIVER

Mazur V.V., Dorovskikh G.N.

Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, e-mail: mazur_vikusya@mail.ru

The results of determination of the copper content in the bottom sediments, aquatic organisms and hydrophytes from different types of reservoirs and their sections belonging to the pool of the upper and middle course of the Pechora River. The increasing degree of anthropogenic transformation of water bodies is changing the ecological environment for many species of organisms, which has led to an increase in scientific interest in the development and application of environmental indicators. This emphasis on indicators stems from the need to assess the ecological state of the ecosystem when making normative, managerial decisions. For determining the dependence of the content of copper to, horsetail, minnows of water flow and associated factors used univariate and two-factor analysis of variance; to establish the degree of correlation between the metal concentration in fish, aquatic vegetation and sediments applied rank Kruskal-Wallis test. The influence of water flow and factors associated with it on the accumulation of copper in soils and biological objects from floodplain water bodies according to the outcome of the two-factor dispersion analysis is statistically significant ($F = 110.6$; $\nu = 2$; $P < 0.01$). It was also found that the accumulation of copper in the horsetail is associated with its amount in bottom sediments, while the relationship between the concentration of copper in fish and that in silt and horsetail has not been proved. The dependence of the copper content in minnow carcasses on the intensity of sediment deposition in a specific area of the basin under consideration was revealed. During the study period, significant concentrations of copper in bottom sediments were noted at all material collection points for soils, which is associated with the natural features of the region. Accumulations of copper in the old reservoirs of the Pechora River contribute to a powerful layer of silt, a significant rise in water during floods, intensive overgrowing of aquatic vegetation and the absence of flow.

Keywords: copper, bottom sediments, hydrobionts, hydrophytes, Pechora River, accumulation

Район р. Печоры в верхнем течении относится участкам западных склонов Северного и Приполярного Урала и прилегающим территориям Печорской низменности, схожим по генезису, структуре и экосистемным характеристикам. На Урале, как известно, с середины XX века усиленно разрабатываются месторождения полезных ископаемых и проводится заготовка древе-

сины. Рост степени антропогенной нагрузки на эти территории меняет природную среду для многих видов организмов, что ведет к увеличению научного интереса к выявлению и использованию экологических индикаторов для оценки антропогенной нагрузки на природные территории. Потребность в таких индикаторах возникает также при оценке экологического состояния

экосистемы для принятия управленческих решений и создания нормативных документов. Фоновое содержание металлов желательно определять на территориях, не испытывающих антропогенного воздействия.

В связи с этим в качестве объектов исследования выбраны водные объекты, расположенные на территории Печоро-Ильчского государственного биосферного заповедника.

Целью работы являлось выявление накопления Cu в донных отложениях, гидробионтах и гидрофитах из разных типов водоемов.

Физико-географические условия района исследования

Для Верхней Печоры характерно устойчивое русло, образованное древними террасами. Участки аллювиальной поймы сформированы лишь на аккумулятивных отрезках долины и в местах впадения притоков. Палеозойские породы девонского, каменноугольного и пермского возрастов, перекрытые сверху четвертичными отложениями, составляют основу исследуемых районов бассейна р. Печоры. Девонские отложения представлены карбонатными породами [1]. Характерной чертой верховьев р. Печоры являются сильно заиленные древние старицы, имеющие сообщение в нижних концах рукавов с руслом реки [2].

Водное питание Верхней Печоры в основном снеговое и дождевое, и лишь малую долю вносят грунтовые воды, следствием чего является слабая минерализация вод реки [1].

Река Большая Шайтановка на всем своем протяжении протекает по территории Печоро-Ильчского биосферного заповедника. Большая часть русла Б. Шайтановки прелегает по однородной заболоченной лесистой местности [3].

Материалы и методы исследования

Материалы были собраны в 2009–2010 гг. (третья декада июня – первая декада июля) из русловых и пойменных участков р. Печоры в верхнем и среднем течении (рис. 1).

Исследования выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 26929-94; ГОСТ 7631-85; ГОСТ 17.4.4.02-84; ГОСТ 17.8.1.02-88; ГОСТ 2874-82; ГОСТ 7731-85.

Для изучения pH, температуры и электропроводности воды использовали портативный анализатор «Анион-7051» (НПП «Инфраспек-Аналит», г. Новосибирск). Ошибка измерения pH ± 0,02, O₂ – от 0 до 10 мгO₂/дм³ ± 0,1, от 10 до 20 мгO₂/дм³ ± 0,2, темпера-

туры – ± 0,1, электропроводности – до 20 мСм/см ± 2%, более 20 мСм/см ± 4%.

Концентрацию металлов в образцах устанавливали на базе ЦКП научным оборудованием Воронежского государственного университета с использованием электронного сканирующего микроскопа JEOL JSM-6380 LV (Япония), оснащенного системой микроанализа INCA Energy 250 (Великобритания). Погрешность анализов 0,1–3,0%.

Все анализы выполнены в пяти повторностях. Каждая повторность представляет собой среднее значение в результате наложения пяти спектров.

Из участков р. Печоры в районе пос. Якша был собран хвощ болотный *Equisetum palustre* L., в других пунктах – хвощ речной *E. fluviatile* L. (syn.: *E. limosum*). Каждая анализируемая навеска хвоща составлена из смеси 10–20 растений.

Выборки гольяна *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) формировали из равного числа самок и самцов. Каждая анализируемая навеска состояла из смеси 10–20 экз. рыб. Рыбу для пробы брали одного размера и возраста.

Для перерасчета концентрации металла от сухой (минерализованной) к сырой массе проб использовали коэффициент усушки (K = 23,7 ± 0,2), полученный экспериментально. Коэффициент вычисляли как отношение сырой массы пробы к ее сухой массе.

Для установления зависимости накопления меди в донных осадках, гольяне и хвоще от течения воды и факторов, связанных с ним, использован однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ; для выявления степени корреляционной связи между концентрацией металла в рыбе, высшей водной растительности и донных отложениях применен ранговый критерий Крускала-Уоллиса.

В 1993–1994 гг. в Нидерландах приняты и опубликованы два вида экологических нормативов: «намеченный» (экологический) («Streewaarde» S) и «нормативы санации» («Interventiewaarde» I), на основании которых ранжируют донные отложения, почвы и грунтовые воды [цит. по: 4]. «Намеченным» (экологическим) стандартом является уровень стабильности экосистемы, при трансформации которого ей наносится ущерб. Превышение нормативов санации наносит вред окружающей среде и здоровью человека. В Российской Федерации предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в донных отложениях на данный момент не назначены [5].

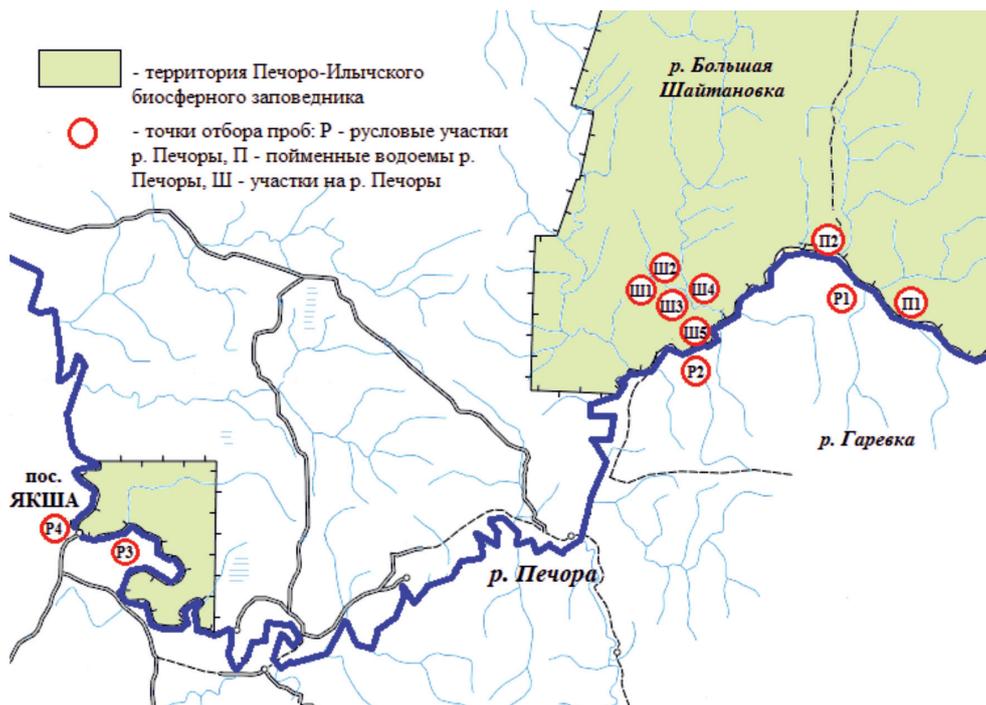


Рис. 1. Схематическое изображение района сбора материала.
 Русловые участки р. Печоры: P1 – район устья р. Гаревки; P2 – 1,0 км ниже устья р. Б. Шайтановки; P3 – 2,7 км выше пос. Якша; P4 – район пос. Якша.
 Пойменные водоемы р. Печоры: П1 – старица Манская; П2 – старица Кременная.
 Участки р. Б. Шайтановки: Ш1 – 5,0 км выше устья; Ш2 – 3,0 км выше устья; Ш3 – 0,2 км выше устья; Ш4 – стоянка лодок; Ш5 – старица

Результаты исследования и их обсуждение

Русло р. Печоры. Донные отложения из русла верхнего течения р. Печоры ($tst = 1,235$; $P > 0,05$), а также из района устья р. Гаревки и пос. Якша ($tst = 0,712$; $P \gg 0,05$), последнего пункта и точки в 1 км ниже устья р. Шайтановки ($tst = 1,923$; $P > 0,05$), по содержанию меди статистически одинаковы. Ил из двух точек среднего течения р. Печоры ($tst = 2,111$; $P < 0,05$) и из ее русла в районах в 1,0 км ниже устья р. Шайтановки и 2,7 км выше пос. Якша ($tst = 3,517$; $P < 0,01$) по концентрации в них меди различный (табл. 1).

Аккумуляция Си в хвое из русла р. Печоры на участке от устья р. Б. Шайтановки и до пос. Якша ($tst = 2,051$; $P > 0,05$) статистически одинакова. Содержание меди в гидрофитах из района устья р. Гаревки статистически достоверно отличается от такового из прочих пунктов русла р. Печоры ($tst = 3,390-5,533$; $0,01 > P < 0,001$).

Накопление Си в рыбе из русла р. Печоры на участке между устьями р. Гаревки

и р. Б. Шайтановки ($tst = 0,554$; $P \gg 0,05$), в обеих точках у пос. Якша ($tst = 1,428$; $P > 0,05$) одинаково; различия в накоплении Си в гольяне из верхнего и среднего течения р. Печоры статистически достоверны ($tst = 25,898-28,166$; $P < 0,001$).

Двухфакторный дисперсионный анализ позволил сделать вывод, что течение воды и факторы, связанные с ним ($F = 13,9$; $\nu = 2$; $P > 0,05$), не оказывают влияние на аккумуляцию меди в пробах из верхнего и среднего течения р. Печоры. Хотя эффект совместного действия этих причин на накопление Си в иле и биологических объектах присутствует ($F = 5726,0$; $\nu = 5$; $P \ll 0,001$).

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали, что влияние течения воды и факторов, связанных с ним, на содержание меди в гидробионтах достоверно ($F = 2401,0$; $\nu = 1$; $P \ll 0,05$), тогда как на таковое в донных отложениях ($F = 36,0$; $\nu = 1$; $P \gg 0,05$) и хвое ($F = 10,8$; $\nu = 1$; $P \gg 0,05$) нет.

Следует отметить, что нами не обнаружено публикаций других исследователей, характеризующих аккумуляцию тяжелых

металлов (ТМ) на территории Печоро-Ильчского заповедника. В связи с этим для сравнения приведены реки, схожие по географо-климатическим характеристикам из источников [6–10] (табл. 1).

Русло р. Б. Шайтановки (рис. 2). В донных отложениях р. Б. Шайтановки, в нижнем ее 5-км отрезке (табл. 1), содержание меди примерно одинаково ($tst = 0,344-1,465$; $P \gg 0,05$). В илах старицы концентрация Си значительно выше ($tst = 17,883-19,397$; $P < 0,001$).

Концентрация Си в хвое из всех исследованных участков русла р. Б. Шайта-

новки ($tst = 0,752$; $P \gg 0,05$) статистически одинакова. Содержание указанного металла в растениях из старицы в ее устьевой части достоверно ниже русловых участков ($tst = 11,421-14,777$; $P < 0,001$).

Аккумуляция Си в гольяне из р. Б. Шайтановки на участках русла 3-й и 0,2 км ($tst = 0,667$; $P \gg 0,05$), а также на последней точке и на стоянке лодок ($tst = 2,195$; $P > 0,05$) статистически одинакова. Содержание этого металла в рыбе с 3-го км статистически достоверно ниже такового в особях из района стоянки лодок ($tst = 2,879$; $P < 0,05$).

Таблица 1

Концентрация меди (Cu^{2+}) в донных отложениях, хвое и рыбе (мкг/г сух. массы для ДО и хвоца и мкг/г сыр. массы для рыбы) из водоемов и их участков в бассейне верхнего и среднего течения реки Печора

Участки отбора проб	GPS	Объект исследования		
		Донные отложения	Хвоц	Рыба
Русловые участки р. Печоры				
Р-н устья р. Гаревка	62°03'36.5"N 58°28'20.4"E	240,0 ± 18,8	260,0 ± 19,0	7,2 ± 0,4
1,0 км ниже устья р. Б. Шайтановка	62°01'03.8"N 58°09'02.6"E	210,0 ± 15,4	450,0 ± 28,6	7,6 ± 0,4
2,7 км выше пос. Якша	61°48'58.5"N 56°53'10.9"E	310,0 ± 23,9	410,0 ± 27,3	27,4 ± 1,2
Р-н пос. Якша	61°49'03.8"N 56°50'45.2"E	260,0 ± 20,9	370,0 ± 26,3	28,7 ± 1,3
Пойменные водоемы р. Печоры				
Старица Манская	62°00'43.1"N 59°12'42.4"E	250,0 ± 20,3	490,0 ± 14,4	7,2 ± 0,3
Старица Кременная	62°04'54.3"N 58°26'10.6"E	310,0 ± 12,2	420,0 ± 17,9	8,4 ± 0,5
Участки р. Б. Шайтановка				
5,0 км выше устья	62°02'16.8"N 58°09'01.8"E	220,0 ± 17,4	570,0 ± 17,8	3,8 ± 0,2
3,0 км выше устья	62°02'09.5"N 58°09'51.1"E	190,0 ± 21,9	590,0 ± 19,8	7,6 ± 0,4
0,2 км выше устья	62°01'45.5"N 58°10'32.6"E	230,0 ± 16,3	570,0 ± 28,9	8,0 ± 0,3
Стоянка лодок	62°01'38.4"N 58°10'31.5"E	200,0 ± 19,1	ниже предела об- наружения	9,7 ± 0,4
Старица	62°01'38.6"N 58°10'25.6"E	680,0 ± 16,5	160,0 ± 21,3	3,8 ± 0,1
Участки сравнения				
р. Амур [6]	нет данных	135–158	–	–
р. Неглинка (г. Петрозаводск) [7]		74,0	–	–
р. Солонечная (гольян Лаговского (<i>Phoxinus lagowskii</i>)) [8]		–	–	4,0
Горьковское водохранилище (плотва (<i>Rutilus rutilus</i> L.)) [9]		–	–	11,2–18,5
10 дикорастущих видов рода хвоца, собранных на территории Красноярского края, Томской, Новосибирской, Кемеровской, Иркутской и Омской областей [10]		–	280,0– 1520,0	–

Наибольшие количества меди в донных отложениях и биологических объектах отмечены в старице и в районе стоянки лодок (рис. 2).



Рис. 2. Карта-схема района сбора материала в нижнем течении р. Б. Шайтановки: 1 – р. Печора; 2 – р. Шайтановка; 3 – старица; 4 – место отлова голяна из старицы; 5 – стоянка лодок, пристань; 6 – место отлова голяна из р. Шайтановки в 0,2 км от устья; 7 – устье р. Шайтановка; 8 – заливчик

Пойменные водоемы. В донных отложениях стариц Манская и Кременная содержат медь различается ($tst = 2,532$; $P < 0,05$). Концентрирование этого металла в илах пойменных водоемов р. Печоры существенно ниже такового в старице р. Б. Шайтановки ($tst = 16,437-18,031$; $P < 0,001$).

Содержание Си в хвоще из старицы Манской выше, чем у такового из старицы Кременной ($tst = 3,043$; $P < 0,05$). В рас-

тениях из старицы р. Б. Шайтановки содержится меди существенно меньше, чем в хвоще из пойменных водоемов р. Печоры ($tst = 169,352-12,840$; $P < 0,001$).

Концентрация Си в рыбе из стариц Манская и Кременная статистически одинакова ($tst = 1,431$; $P > 0,05$). У рыбы из низовий р. Б. Шайтановки в районе стоянки лодок содержание меди статистически такое же, как у голяна из Кременной старицы ($tst = 1,355$; $P > 0,05$), и выше, чем у гидробионтов из старицы Манской ($tst = 3,1703$; $P < 0,01$).

Влияние течения воды и факторов, связанных с ним, на накопление меди в грунтах и биологических объектах из пойменных водоемов, согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, статистически достоверно ($F = 110,6$; $\nu = 2$; $P < 0,01$).

Определено фоновое содержание Си в донных отложениях и биологических объектах из разных типов водоемов и их участков в бассейне верхнего и среднего течения р. Печоры.

Донные отложения водоемов, аккумулируя и концентрируя ТМ и другие загрязнители, служат характерным индикатором загрязнения среды. Выявление природных концентраций ТМ в донных отложениях дает возможность судить о загрязненности водоемов. ТМ, концентрирующиеся в донных отложениях, могут стать причиной вторичного загрязнения водных объектов [11].

Индикатором уровня загрязненности может являться коэффициент обогащения, определяющий, в каком размере концентрация ТМ в илах превосходит их кларковые или фоновые показатели и критерии санации [4; 5; 12].

В период исследований во всех пунктах сбора материала по грунтам отмечено превышение ПДК и нормативов санации Си для донных отложений (табл. 2).

Таблица 2

Нормативы для донных отложений

Показатель	Кларки литосферы [13]	Пресноводные донные отложения, не подверженные антропогенному воздействию [цит. по: 12]	Экологические нормативы (ПДК) и нормативы санации для донных отложений, принятые в Нидерландах [цит. по: 4]	
			S ¹	I ²
Содержание Си в иле, мкг/г сухой массы	47,0	43,0	35	190
Коэффициент обогащения	1,9–14,5	2,1–15,8	2,6–19,4	0,5–3,6

Примечания.

¹Экологические нормативы для донных отложений.

²Критерии санации для донных отложений.

(Концентрация ТМ в донных отложениях в мкг/г нормирована по универсальному стандартному образцу, включающему 10% биологического вещества и 25% частиц размером < 2 мкм).

Кларковым уровнем в земной коре для Си является 57 мкг/г [13]. В полнокристаллических сланцеватых горных породах Си 35–50 мкг/г, метаморфических сланцах 44–60 мкг/г и прочих породах, имеющих примеси сульфидных руд, 200–300 мкг/г. Причиной поступления Си в донные отложения являются отложения четвертичного возраста, в которых ее валовая концентрация превосходит кларковые значения для данного металла [14]. Тем не менее выявлено, что концентрация меди в илах р. Печоры выше представленных значений ее содержания в разных горных породах.

Проведенные исследования выявили максимальную концентрацию Си в донных отложениях из старицы вблизи устья р. Б. Шайтановки, что свидетельствует о неблагоприятной экологической ситуации на этой территории бассейна р. Печоры.

Значительное количество Си в старицы поступает, по-видимому, в периоды половодий. В результате размывания берегов, преодолевая почвенный слой, воды насыщаются взвесями и осадками, вовлекая в водную миграцию ТМ, существенная часть которых включена в состав именно тонких почвенных частиц. Чем меньше размер фракций илов, тем выше содержание практически всех ТМ [15]. Металлы, находясь в ионной форме, способны довольно быстро переходить в коллоидную форму и взвеси, кото-

рым присущи значительные сорбционные свойства. По этой причине в илах водных объектов концентрируются различные химические вещества из водной толщи [16]. Доказательством того, что ТМ проникают в пойменные водоемы большей частью в составе коллоидов и взвесей, служат малые величины удельной электропроводности воды вблизи устья р. Гаревки, старице Кременной и старице р. Б. Шайтановки (табл. 3). То есть наиболее низкие значения удельной электропроводности обнаружены на участках наиболее интенсивной седиментации. Усиленный рост в старицах водной, околородной и полуводной растительности способствует аккумуляции в водных объектах продуктов распада гидрофитов, что также содействует концентрированию ТМ в этих районах бассейна р. Печоры.

В донных осадках р. Б. Шайтановки, в ее приустьевом 5-км участке (табл. 1), концентрация Си примерно одинакова. Указанный участок реки протекает на однотипной заболоченной лесистой территории. Вымываемые горные породы залегают значительно выше обследуемого участка. В илах старицы р. Б. Шайтановки концентрация Си наиболее высока. В период половодий старица затопляется водами и р. Б. Шайтановки, и р. Печоры. В результате в ее донные отложения попадают коллоиды и взвеси двух водотоков.

Таблица 3

Характеристики некоторых водотоков в бассейне Верхней и Средней Печоры

Водоем и его участки	Дата	Температура воды, °С	pH	Удельная электропроводность, мСм/см	Минерализация, мг/дм ³	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³
р. Печора						
выше Манской курьи	03.07.2010	18,8	8,9 ± 0,1	38,5 ± 6,4	нет данных	нет данных
Манская курья	03.07.2010	18,3	8,8 ± 0,1	34,6 ± 1,5	нет данных	нет данных
устье р. Гаревки	03.07.2010	7,6	8,4 ± 0,1	28,0 ± 3,1	35,6	19,3
Кременная курья	03.07.2010	21,3	8,9 ± 0,1	22,2 ± 6,6	нет данных	нет данных
1,0 км ниже устья р. Шайтановки	05.07.2010	15,3	8,1 ± 0,2	44,2 ± 17,9	нет данных	нет данных
2,7 км выше пос. Якша	27.06.2010	18,9	8,1 ± 0,1	41,4 ± 14,8	82,0	3,73
район пос. Якша	26.06.2010	16,3–22,5	7,6 ± 0,3	41,2 ± 15,6	100,0	4,6
р. Б. Шайтановка						
район стоянки лодок	02.07.2010	9,1	8,7 ± 0,02	37,6 ± 13,8	до 50	5,9
старица	01.07.2010	7,1	8,4 ± 0,03	23,6 ± 6,4		
0,2 км выше устья	30.06.2010	7,2	8,5 ± 0,05	62,2 ± 6,7		
2,5 км выше устья	01.07.2010	5,9	8,7 ± 0,03	48,6 ± 2,5		
3,0 км выше устья	07.07.2010	10,4	8,7 ± 0,1	35,5 ± 2,2		
5,0 км выше устья	06.07.2010	8,8	8,4 ± 0,2	45,6 ± 3,2		

Концентрация Cu в хвоще, произрастающем по берегам р. Б. Шайтановки, выше, чем в таковом с берегов р. Печоры ($t_{st} = 3,428-5,789$; $0,01 > P > 0,001$). Значительно ниже концентрация этого элемента у гидрофитов, произрастающих вблизи устья р. Гаревки. Наиболее низкое содержание указанного металла выявлено в хвоще из пойменной в устьевой части р. Б. Шайтановки. Концентрация Cu в растениях статистически достоверно сопряжена с ее содержанием в донных осадках ($r_s = 0,679$; $t_{st} = 2,613$; $P < 0,05$). Во всех изученных точках количество Cu в хвоще значительно выше, чем в донных отложениях, и только в старице р. Б. Шайтановки установлена противоположная зависимость.

Содержание Cu, приходящееся на единицу веса рыбы из р. Б. Шайтановки (точки отбора в 3,0 и 0,2 км от устья) и русла Верхней Печоры, статистически одинаково ($t_{st} = 0,680-1,274$; $P \gg 0,05$). В то же время концентрация Cu в гольяне, отловленном в районе стоянки лодок, выше таковой у рыб из русла верхнего течения р. Печоры ($t_{st} = 2,463-3,334$; $P < 0,05$).

В Российской Федерации нормативы, устанавливающие предельные концентрации меди для донных отложений, не разработаны. Зачастую проводится сравнение содержания ТМ в донных осадках с предельно допустимыми концентрациями для почвенного горизонта. Хотя в некоторых странах такие нормативы существуют, например, в Польше предельные значения содержания Cu в донных осадках составляют 150 мкг/г [17].

Выводы

Определено фоновое содержание Cu в донных отложениях, хвоще и гольяне из разных типов водоемов и их участков в бассейне верхнего и среднего течения р. Печоры. Особенности стариц р. Печоры, такие как значительный подъем воды во время половодий, интенсивное зарастание водной растительностью и отсутствие течения, способствуют развитию мощного пласта ила, который аккумулирует в себе Cu. Кумуляция Cu в хвоще сопряжено с ее количеством в донных отложениях, тогда как связь концентрации Cu в рыбе с таковой в донных отложениях и хвоще не доказана. Отмечена зависимость содержания Cu в тушках гольяна от интенсивности отложения ила в конкретном участке рассматриваемого бассейна.

Список литературы / References

1. Власова Т.А. Гидрохимия главных рек Коми АССР. Сыктывкар: Коми науч. центр УрО АН СССР, 1988. 152 с.

Vlasova T.A. Hydrochemistry of the main rivers of the Komi Autonomous Soviet Socialist Republic. Syktyvkar: Komi nauch. centr UrO AN SSSR, 1988. 152 p. (in Russian).

2. Батурина М.А., Кононова О.Н., Фефилова Е.Б., Хохлова Л.Г., Зиновьева А.Н. Изученность водных беспозвоночных крупных рек Республики Коми (Печора и Вычегда) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 3 (27). С. 42–53.

Baturina M.A., Kononova O.N., Fefilova E.B., Khokhlova L.G., Zinoviev A.N. Level of Study of Aquatic Invertebrates of the Komi Republic Large Rivers (Pechora and Vychegda) // Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN. 2016. № 3 (27). P. 42–53 (in Russian).

3. Москвиченко Д.В. Ландшафтно-геохимические особенности Приполярного и Северного Урала // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2010. № 10. С. 197–209.

Moskovchenko D.V. Landscape-geochemical features of the Subpolar and of the Northern Urals // Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. 2010. № 10. P. 197–209 (in Russian).

4. Голинская Л.В. Оценка содержания ряда металлов в донных отложениях водоемов восточного Оренбуржья // Вестник ОГУ. 2009. № 6(100). С. 558–559.

Golinskaya L.V. Estimation of the content of a number of metals in the bottom sediments of the reservoirs of the eastern Orenburg region // Vestnik OGU. 2009. № 6 (100). P. 558–559 (in Russian).

5. Голинская Л.В. Эколого-генотоксический мониторинг состояния водных экосистем на территории Оренбургской области: автореф. дис. канд. биол. наук. Оренбург, 2011. 28 с.

Golinskaya L.V. Ecological and genotoxic monitoring of the state of aquatic ecosystems in the Orenburg region: avtoref. dis. kand. biol. nauk. Orenburg, 2011. 28 p. (in Russian).

6. Чижикова Н.П., Сиротский С.Е., Харитонов Г.В., Манучаров А.С., Коновалова Н.С., Уткина Е.В. Минералогический и химический состав тонкодисперсной части донных отложений р. Амур // Почвоведение. 2011. № 7. С. 848–860.

Chizhikova N.P., Sirotsky S.E., Kharitonova G.V., Manucharov A.S., Konvalova N.S., Utkina E.V. Mineralogy and chemistry of finely dispersed bottom sediments in the Amur River // Eurasian Soil Science. 2011. V. 44. № 7. P. 781–793. DOI: 10.1134/S1064229311070039.

7. Слукровский З.И. Геоэкологическая оценка состояния малых рек крупного промышленного города по данным о содержании тяжелых металлов в донных отложениях // Метеорология и гидрология. 2015. № 6. С. 81–88.

Slukovsky Z.I. Geoecological assessment of small rivers in the big industrial city based on the data on heavy metal content in bottom sediments // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. T. 40. № 6. P. 420–426. DOI: 10.3103/S1068373915060084.

8. Зубарев В.А., Бурик В.Н. Гидрохимическая характеристика рек Еврейской автономной области и содержание тяжелых металлов в жабрах гольяна (*Phoxinus lagowskii*) // Региональные проблемы. 2019. Т. 22. № 1. С. 31–37. DOI: 10.31433/2618-9593-2019-22-1-31-37.

Zubarev V.A., Burik V.N. Hydrochemical characteristics of the rivers of the Jewish Autonomous Region and the content of heavy metals in the gills of minnow (*Phoxinus lagowskii*) // Regional'nye problemy. 2019. V. 22. № 1. P. 31–37 (in Russian).

9. Лобанова Т.А. Сезонные особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. 2008. № 3. С. 22–24.

Lobanova T.A. Seasonal features of the accumulation of heavy metals by commercial fish species // Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova. 2008. № 3. P. 22–24 (in Russian).

10. Коломиец Н.Э., Агеева Л.Д., Абрамец Н.Ю. Элементный состав видов рода *Equisetum* L. // Фундаментальные исследования. 2014. № 8–6. С. 1418–1421.

Kolomiets N.E., Ageeva L.D., Abramets N.Yu. The elemental composition of species of the genus *Equisetum* L. // Fundamental research. 2014. № 8–6. P. 1418–1421 (in Russian).

11. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Раткин Н.Е. Оценка баланса тяжелых металлов (Ni и Cu) на водосборе субарктического озера (на примере Чунозера) // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 3. С. 507–515.
- Dauvalter V.A., Kashulin N.A., Sandimirov S.S., Ratkin N.E. Assessment of the balance of heavy metals (Ni and Cu) on the catchment of a subarctic lake (Chunozero as an example) // Vestnik MGTU. 2009. V. 12. № 3. P. 507–515 (in Russian).
12. Галатова Е.А., Шестаков А.Ю., Капанадзе Г.Д. Особенности накопления и распределения экотоксикантов в донных отложениях и водорослях // Биомедицина. 2010. № 5. С. 58–62.
- Galatova E.A., Shestakov A.Yu., Kapanadze G.D. Features of the accumulation and distribution of ecotoxicants in bottom sediments and algae // Biomedicina. 2010. № 5. P. 58–62 (in Russian).
13. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
- Alekseenko V.A. Environmental Geochemistry. M.: Logos, 2000. 627 p. (in Russian).
14. Ежов А.Ю. Медь и никель в ландшафтах северо-запада Кольского полуострова // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 1. С. 89–94.
- Yezhov A.Yu. Copper and nickel in the landscapes of the north-west of the Kola Peninsula // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvenny'e nauki.. 2011. № 1. P. 89–94 (in Russian).
15. Хажеева З.И., Пронин Н.М., Раднаева Л.Д., Дугаров Ж.Н., Урбазаева С.Д. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и биоте залива Черкалов сор оз. Байкал // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 1. С. 95–102.
- Khazheeva Z.I., Pronin N.M., Radnaeva L.D., Dugarov Zh.N., Urbazaeva S.D. Features of the accumulation of heavy metals in water, bottom sediments and biota of Cherkalov Bay litter lake. Baikal // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya 2005. V. 13. № 1. P. 95–102 (in Russian).
16. Кужина Г.Ш., Янтурин С.И. Исследование загрязнения тяжелыми металлами донных отложений верхнего течения р. Урал // Вестник ОГУ. 2009. № 6 (100). С. 582–584.
- Kuzhina G.Sh., Yanturin S.I. Study of heavy metal pollution of bottom sediments of the upper river. Ural // Vestnik OGU. 2009. No. 6 (100). P. 582–584 (in Russian).
17. Wojtkowska M., Karwowska E., Chmielewska I., Bekenova K., Wanot E. Copper and cadmium in bottom sediments dredged from Wyścigi Pond, Warsaw, Poland—contamination and bioaccumulation study. Environ Monit Assess. 2015. Vol. 187: 737. P. 1–9. DOI: 10.1007/s10661-015-4945-0.