

УДК 546.3:504.45:582.32(470)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ МАЛОНАСЕЛЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ

© 2018 г. М. В. Гапеева, В. В. Законнов, Р. А. Ложкина, Д. Ф. Павлов, *М. Я. Борисов

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, пос. Борок, Ярославская область;

*Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л. С. Берга, Вологодское отделение, г. Вологда

Актуальность темы исследования обусловлена двумя факторами: увеличивающейся ролью рекреационной отрасли в современной российской экономике и необходимостью поиска незагрязненных, «контрольных» территорий как условия эффективного мониторинга окружающей среды. *Цель работы* – оценка загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) малонаселенной территории с использованием комплексного подхода. *Методы*. Проведена оценка загрязнения ТМ участка Волго-Балтийского канала и прилегающей к нему северо-западной территории Вологодской области – малонаселённого региона, удалённого от промышленных центров. Концентрации халькофильных (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) и редкоземельных элементов в этих образцах (керне донных отложений (ДО), мышцах рыб из оз. Воже, Белоусовского и Вытегорского водохранилищ, а также мхах болот) определяли на масс-спектрометре ICP-MS DRC-e. *Результаты*. Установили, что увеличение концентраций Zn и Pb в ДО связано с их выпадением с атмосферными осадками. В то же время низкие концентрации Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в *Sphagnum magellanicum* свидетельствовали о незначительности атмосферного загрязнения в последние годы. Уровни содержания этих металлов в мышцах рыб из водоемов не превышали норм, установленных СанПиН. *Вывод*. Исследование позволяет сделать вывод о том, что данный малонаселённый регион России является экологически чистым в отношении ТМ и, следовательно, может использоваться для рекреации и мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, донные отложения, биоаккумуляция, мхи, мышцы рыб, ICP-MS DRC-e

HEAVY METALS POLLUTION ASSESMENT OF UNDERPOPULATED REGIONS USING THE EXAMPLE OF THE NORTH-WESTERN REGION OF RUSSIA

M. V. Gapeeva, V. V. Zakonnov, R. A. Lozhkina, D. F. Pavlov, *M. Ya. Borisov

I. D. Papanin Institute of the Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavskaia oblast;

*Vologda branch of the Federal State Budget Scientific Institute "L. S. Berg State Science-Research Institute of Lake and River Fisheries", Vologda, Russia

Two following factors determine the topicality of the preset study: increasing role of recreation branch in the modern Russian economy and necessity to search for unpolluted, "control" territories as a precondition of efficient environmental monitoring. *The goal* of the present paper is to assess the heavy metals (HM) pollution of unpopulated territory using a combined approach. *Methods*. The assessment of HM pollution was made in the part of Volga-Baltic canal and adjacent north - western territory of Vologodskaya oblast. The study region is a sparsely populated territory situated far from industrial centers. The samples sediments, fish and mosses were subjected to the "wet" combustion with HNO₃ H₂O₂ mixture. The concentrations of chalcophylic (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) and rear earth elements in these samples (the core sample of bottom sediments, fish muscles caught in Lake Vozhe, Belousovskoye and Vytegorckoye reservoirs and in bog mosses) were determined using ICP-MS DRC-e mass spectrometer. *Results*. The study revealed that increase of Zn and Pb concentrations in the bottom sediments related to its deposition with atmospheric fallout. At the same time, low contents of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in the moss *Sphagnum magellanicum* may indicate inconsiderable level of atmospheric pollution in previous years. The levels of concentration of these elements in the fish muscles were within the limits legislated by sanitary norms (SanPiN). *Conclusions*. The present study based on the combined approach including analysis of bottom sediment cores, moss and fish tissues allows to make a conclusion that studied unpopulated region of Russia (northwestern part of Vologodskaya oblast) is environmentally clean in respect to heavy metals. Hence, this region may be used for recreation and environmental monitoring.

Key words: heavy metals, bottom sediments, bioaccumulation, mosses, fish muscles, ICP-MS DRC-e

Библиографическая ссылка:

Гапеева М. В., Законнов В. В., Ложкина Р. А., Павлов Д. Ф., Борисов М. Я. Оценка загрязнения тяжелыми металлами малонаселенных территорий на примере Северо-Западного региона России // Экология человека. 2018. № 3. С. 4–9.

Gapeeva M. V., Zakonnov V. V., Lozhkina R. A., Pavlov D. F., Borisov M. Ya. Heavy Metals Pollution Assesment of Underpopulated Regions Using the Example of the North-Western Region of Russia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 3, pp. 4-9.

В 2016 году исполнилось 53 года системе мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в России. Постановлением Совета министров СССР от 30 сентября 1963 года Главному управлению гидрометеослужбы при Совете министров СССР было поручено «изучение химического состава (загрязне-

ния) атмосферы на территории Советского Союза» [2]. Вплоть до 1993 года происходило планомерное увеличение числа пунктов наблюдений. Развитие сети осуществлялось за счет организации наблюдений в городах с населением более 100 тыс. жителей. После 1993 года география сети сократилась. В настоящее

время концентрации тяжёлых металлов (ТМ) в атмосферном воздухе контролируются слабо.

Начиная с 1980-х годов в европейских странах, а в последнее время и в России проводятся исследования содержания загрязняющих веществ во мхах, которые выявляют, что существует корреляция между атмосферным выпадением ТМ и их концентрацией в *Sphagnum magellanicum* и других видах мхов. В Европе создана программа наблюдений и оценки переноса загрязняющих веществ (в том числе ТМ) — ЕМЕП [21]. В России единая сеть мониторинга наблюдений концентраций ТМ во мхах отсутствует.

Актуальность исследования обусловлена увеличивающейся ролью рекреационной отрасли в современной российской экономике и растущим спросом населения на рекреационные услуги. Кроме того, для эффективного мониторинга окружающей среды необходим поиск незагрязнённых регионов, которые могут служить в качестве «контроля» для выявления фоновых уровней загрязняющих веществ, например ТМ [22]. В связи с этим наибольший интерес представляют малонаселённые территории, находящиеся вдали от промышленных центров. Примером такой территории может служить северо-западная часть Вологодской области, на которой расположены Вытегорское и Белоусовское водохранилища и ряд озёр, самое крупное из которых — Воже. Исследования уровня загрязнения оз. Воже тяжёлыми металлами показали, что контаминация водоемов происходит в основном за счет атмосферного переноса и выпадения токсикантов с осадками [6].

В ряду загрязняющих веществ чрезвычайно опасными для природы и человека являются ТМ, в первую очередь высокотоксичные халькофильные элементы (Cu, Zn, Cd, Ni, Pb и др.) [7, 15]. Их негативное влияние на человека проявляется не только в остром воздействии высоких концентраций, но и в отдаленных последствиях, связанных со способностью многих металлов накапливаться в организме [12, 14, 19]. В значительной степени это соотносено с биологической активностью ТМ, геохимическими особенностями, способностью образовывать металлоорганические комплексы и мигрировать в воздушной и водной средах на значительные расстояния [5, 11, 17, 23]. Анализ загрязнения воздуха является наиболее трудной задачей. В настоящее время наиболее широко используемым его методом является снеговая и почвенная съемка [13]. Недостатки такого подхода связаны с тем, что на исследуемых территориях находятся разные типы почв, в которых присутствуют генетические горизонты, неодинаково поглощающие химические элементы, а содержание этих элементов в снеге даёт информацию лишь за зимний период.

Конечным звеном круговорота техногенных элементов в ландшафте являются донные отложения (ДО) водоемов. Слои озёрных отложений дают информацию как о динамике климата, так и об изменении общей

экологической обстановки региона и конкретного водоема под воздействием естественных и антропогенных факторов относительно недавнего прошлого, чего невозможно сделать в случае исследования почв. Малые озера распространены очень широко и в отличие от крупных озер являются менее устойчивыми системами, чутко реагирующими на колебания климата, поэтому их ДО особенно перспективны для палеоэкологических и палеоклиматических исследований [4]. С другой стороны, ДО могут служить источником вторичного загрязнения водоемов, что обуславливает необходимость их мониторинга.

Состав слоев толщи ДО характеризует экологическую ситуацию на момент их формирования, а анализ содержания ТМ во мхах позволяет оценить выпадение ТМ из атмосферы за последние 2–3 года [7]. Уровни содержания ТМ в тканях рыб могут дать информацию о степени биодоступности металлов для гидробионтов и оценить их опасность для человека при потреблении рыбы.

Цель работы — оценка загрязнения ТМ малонаселенной территории с использованием комплексного подхода. Данный подход включает ретроспективный анализ поступления ТМ путем определения уровней ТМ в керне ДО и мхе, а также оценку биодоступности металлов для гидробионтов по содержанию этих элементов в тканях рыб.

Методы

Исследовали ДО оз. Воже, мышцы рыб, выловленных в оз. Воже, Вытегорском и Белоусовском водохранилищах в системе Волго-Балтийского канала, а также мох *Sphagnum magellanicum*, собранный на болотах, расположенных вблизи этих водоёмов. Донные отложения отбирали с помощью штангового трубчатого дночерпателя. Колонка грунта представляла собой 90 см однородного мелкоалевритового ила, в основании которой (80–90 см) залегала беловато-голубоватая глина с высокой степенью карбонатности [8]. Затем керн делили на 9 слоев по 10 см. Органическое вещество (ОВ) определяли методом прокалывания при 600 °С [1], при этой температуре карбонат кальция не разлагается [20]. На верховых болотах Вологодской области было отобрано 8 проб сфагнового мха *Sphagnum magellanicum*, произрастающего преимущественно на высоких кочках, что полностью исключало возможное влияние грунтовых вод. Для анализа использовали верхний слой 5–10 см, соответствующий 2–3 годам прироста.

Рыба (судак, лещ, окунь, плотва, густера) была отловлена с помощью сетей и невода (105 проб). В работе приведены данные только по плотве и судаку (27 проб). Для извлечения образца мышечной ткани вырезали 3 г скелетных мышц с левой стороны от спинного плавника до начала ребер вдоль тела. Все пробы отбирались в 2015 году. Образцы ДО, мышц рыб и мхов подвергали мокрому озолению с использованием 3 мл 65 % азотной кислоты (Merck ос. ч.) и 3 мл 30 % перекиси водорода (ос. ч.) в микровол-

новой печи Speed Wave MWS-3+. Концентрации Cd, Cu, Ni, Pb, Zn и редкоземельных элементов (РЗЭ) во всех подготовленных к анализу пробах определяли на приборе ISP MS DRC-е с использованием внутреннего стандарта In и внешних многоэлементных стандартов Perkin-Elmer. В табл. 1 приведены данные только по лантану как «наиболее типичному» РЗЭ.

Таблица 1
Физико-химические характеристики керна донных отложений оз. Воже

Параметр	Толщина керна, см								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ОВ, %	28,4	27,6	25,5	30,6	25,5	26,9	25,2	16,5	15,1
Ni, мкг/г	19,2	8,0	20,0	10,8	19,3	17,6	16,7	14,3	16,2
Cu, мкг/г	8,1	8,3	8,8	8,3	8,1	7,3	6,4	6,7	9,4
Zn, мкг/г	46,8	47,1	49,1	48	41,8	38,3	37,9	25,9	16,4
Cd, мкг/г	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,04
Pb, мкг/г	10,1	10,2	10,8	9,6	7,0	5,2	2,8	3,8	3,8
La, мкг/г	11,27	10,58	11,91	11,31	11,18	10,26	9,1	11,17	11,17
Сумма РЗЭ, мкг/г	52,2	52,5	55,8	55,7	55,4	50,2	40,8	35,9	57,2

Статистическая обработка данных проводилась стандартными методами с использованием лицензионного пакета компьютерных программ Statistica 6.1, серийный номер axhx606d152627fa.

Результаты

Результаты анализа керна представлены в табл. 1. Последовательность содержания ТМ в кернах следующая: Zn > Ni > Pb > Cu > Cd. Наблюдается тесная связь между концентрациями Zn, Cd и в меньшей степени Pb с содержанием ОВ, причём Zn и Cd предпочтительно связаны с более крупными частицами, а Pb – с более мелкими (табл. 2). В табл. 3 приведены средние значения содержания ТМ во мхах Вологодской области. Во мхах последовательность содержания ТМ несколько отличается от таковой в ДО: Zn > Cu > Pb > Ni. Средние концентрации ТМ в мышцах рыб – полифага-альгофага плотвы и хищника-ихтиофага судака приведены в табл. 4. В мышцах рыб разных видов последовательность уровней содержания ТМ такая же, как и во мхах.

Таблица 2
Корреляции между концентрациями тяжелых металлов, органическим веществом и гранулометрией в кернах донных отложений оз. Воже по Пирсону

Элемент	ОВ	> 0,1 мм	0,1–0,01 мм	< 0,01мм
Zn	0,9280	0,8216	0,8164	-0,9406
	p = 0,000	p = 0,007	p = 0,007	p = 0,000
Cd	0,8656	0,6881	0,7607	-0,8212
	p = 0,003	p = 0,040	p = 0,017	p = 0,007
Pb	0,6650		0,7072	
	p = 0,051		p = 0,033	

Таблица 3
Концентрации металлов во мхе *Sphagnum magellanicum* Вологодской области, мкг/г сухой массы

Статистический параметр	Элемент				
	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
M	0,862	5,746	19,546	0,089	2,358
Me	0,598	3,523	15,671	0,083	1,875

Примечание. M – среднее арифметическое, Me – медиана.

Таблица 4
Средние концентрации тяжелых металлов в мышцах рыб, выловленных в оз. Воже, Белоусовском и Вытегорском водохранилищах, мкг/г сырого веса

Элемент	M	Me	m	Max	SD
	Судак (12 экз.)				
Ni	0,01	0,00	0,007	0,07	0,02
Cu	0,20	0,19	0,03	0,44	0,10
Zn	4,56	4,65	0,40	7,57	1,40
Cd	0,001	0,001	0,0006	0,006	0,002
Pb	0,04	0,02	0,02	0,26	0,07
Плотва (15 экз.)					
Ni	0,01	0,00	0,006	0,08	0,02
Cu	0,17	0,15	0,02	0,37	0,08
Zn	4,00	3,79	0,51	9,38	1,99
Cd	0,001	0,0005	0,0003	0,003	0,001
Pb	0,02	0,02	0,006	0,08	0,02

Примечание. M – среднее арифметическое, Me – медиана, m – ошибка среднего, SD – среднеквадратичное отклонение.

Обсуждение результатов

Геохронологические данные (см. табл. 1) показывают, что поступление ТМ на исследуемую территорию происходило довольно равномерно. Современное содержание концентраций ТМ во мхах *Sphagnum magellanicum* Вологодской области незначительно (см. табл. 3). Биоаккумуляция металлов в мышцах рыб (см. табл. 4) также чрезвычайно низкая.

Для крупного (площадь 418 км²) и мелководного (средняя глубина 1,4 м) оз. Воже характерен процесс многократного переотложения наносов (трансседиментация), который приводит к осреднению физико-химических показателей во времени (по толщине керна) и пространстве. Поэтому хронологическую датировку слоёв керна не проводили. Однако, поскольку средний темп осадконакопления в озёрах гумидной зоны составляет около 0,1 мм/год [18], слой керна 10 см соответствует 1 000 лет. К сожалению, в настоящем исследовании мы смогли проанализировать только керн с «разрешением» 10 см. В дальнейшем мы увеличим разрешение, работая с кернами минимум 2 см. Концентрации Ni и Cu практически не изменялись в течение примерно 9 000 лет, в то время как содержание Pb и Zn росло. Общепринятыми геохимическими индикаторами для классификации и определения условий формирования геологических объектов служат РЗЭ. Состав и содержание РЗЭ дают представление о специфике

накопления и источниках поступления вещества в ДО озера [10]. Вертикальное распределение РЗЭ в керне оз. Воже характеризуется равномерностью, соотношение концентрации La в верхнем (10 см) горизонте и концентрации La в нижнем (90 см) равно 1,00, т. е. источник этих элементов был одним и тем же на протяжении многих лет. Для Си это соотношение равно 0,9, что также свидетельствует в пользу этого тезиса. Исходя из принятой градации со ссылкой на спорово-пыльцевой анализ керна в оз. Лача, находящемся рядом и связанным с оз. Воже гидрологически, мы установили что максимальная концентрация ОВ приходится на слой 30–40 см, соответствующий времени 4 000–4 500 лет назад, т. е. суббореальному периоду потепления, после которого начался период субатлантический — похолодание. Увеличение концентрации ОВ в поверхностных слоях 0–5 см всего озера вновь говорит о временном глобальном потеплении (с 1976 года), что способствует большей зарастаемости озера макрофитами, а на водосборной территории — разнообразию растительных формаций средней тайги. Флуктуирующий характер концентрации ОВ тесно связан с историей развития растительности и климата территории [16].

Широкое распространение, морфологические и физиологические свойства мхов, их способность переносить неблагоприятные условия среды позволяют использовать эти растения в качестве биоиндикаторов [9, 17]. Мхи не имеют корневой системы, и, следовательно, вклад других источников, кроме атмосферных выпадений, в большинстве случаев ограничен. Концентрации ТМ в анализируемых пробах мха попадают в интервал низких концентраций ТМ во мхах по Европейской шкале [21]. Следовательно, за последние годы атмосферное загрязнение в исследуемой местности незначительно.

Необходимо отметить, что ДО являются интегральными накопителями загрязняющих веществ, выпадающих как непосредственно на зеркало водоёмов, так и на их водосбор. Поэтому концентрации металлов, выявленные нами в грунтах, выше, чем в сфагнуме. Первые характеризуют осреднённые показатели для всей площади водосбора оз. Воже (5 870 км²) в сочетании с активным перемешиванием в водоёме (трансседиментация) за многолетний период, а во мхах — концентрации ТМ свежевыпавших атмосферных осадков на ограниченную площадь произрастания (примерно 0,2 м²).

Использование рыб для индикации загрязнения вод металлами позволяет установить пролонгированные эффекты малых доз загрязнения, дать оценку экотоксикологическим последствиям образования природно-техногенных гидрогеохимических провинций. Для оценки токсичности ТМ, поступающих в водоёмы, в качестве индикаторов используют различные виды рыб. Металлы аккумулируются в организме рыб в количествах, во много раз превышающих их содержание в воде, что приводит к снижению продуктивности водоёмов и к потенциальной опасности

для человека [14]. Опасность для человека оценивается путём сравнения концентраций ТМ в мышцах рыб с установленными ПДК для пищевых продуктов. Концентрации ТМ в мышцах рыб, отловленных из водоёмов, расположенных на исследуемой территории, не превышают норм СанПиН, установленных для рыбных пищевых продуктов [3].

Таким образом, наше исследование, проведенное с использованием комплексного подхода, основанного на анализе кернов донных отложений водоёмов, образцов мха и рыб, показало, что территория северо-запада России — малонаселённая часть Вологодской области является экологически чистой в отношении тяжелых металлов. Следовательно, данная территория может использоваться в целях рекреации и как референтная, «контрольная» зона для целей мониторинга окружающей среды.

Авторы выражают признательность Д. А. Филиппову за предоставление образцов мха.

Список литературы

1. *Аринишкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. *Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В.* Воздух городов и его изменения. Санкт-Петербург: Астерион, 2008. 253 с.
3. *Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: справочник. Л.: Химия, 1985. 528 с.
4. *Бляхарчук Т. А., Митрофанова Е. Ю., Эйрих А. Н.* Комплексные палеоэкологические исследования донных отложений озера Манжеорское в Предгорьях Алтая // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 81–99.
5. *Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К.* К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.
6. *Борисов М. Я.* Миграция тяжелых металлов в системе «водосбор—озеро Воже» и их накопление в рыбе // Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий. СПб.: Наука, 2005. С. 248–257.
7. *Гапеева М. В., Филиппов Д. А., Ложкина Р. А.* Тяжёлые металлы, в том числе редкоземельные, во мхах Северо-Западного и центрального регионов России // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5: URL: <http://www.science-education.ru/128-21608> (дата обращения: 10.09.2015)
8. *Гидрология озёр Воже и Лача (в связи с переброской северных вод в бассейн р. Волги).* Л.: Наука, 1979. 288 с.
9. *Железнова Г. В., Шубина Т. П.* Мхи естественных среднетаёжных растительных сообществ южной части Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 4. С. 76–83.
10. *Интерпретация геохимических данных.* М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
11. *Карпин В. А., Кострюкова Н. К., Гудков А. Б.* Радиационное воздействие на человека радона и его дочерних продуктов распада // Гигиена и санитария. 2005. № 4. С. 13–17.
12. *Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б.* Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.

13. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве № 5174-90. Утв. МЗ СССР 15.05.90. М., 1990. 28 с.
14. Моисеенко Т. И. Влияние геохимических факторов водной среды на биоиндикацию металлов в организме рыб // Геохимия. 2015. № 3. С. 222–233.
15. Никанов А. Н., Кривошеев Ю. К., Гудков А. Б. Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей г. Мончегорска // Экология человека. 2004. № 2. С. 30–32.
16. Озёра Лача и Воже: материалы комплексных исследований. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1975. С. 1–36.
17. Рогова Н. С. Разработка метода экологического мониторинга загрязнения атмосферы воздуха тяжёлыми металлами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2013. 34 с.
18. Субетто Д. А. Озёрный седиментогенез севера Европейской части России в позднем плейстоцене и голоцене: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. СПб., 2003. 37 с.
19. Чащин В. П., Сюрин С. А., Гудков А. Б., Попова О. Н., Воронин А. Ю. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.
20. Шаяхметов А. У., Мустафин А. Г., Массалимов И. А. Особенности термического разложения оксида, пероксида, гидроксида и карбоната кальция // Вестник Башкирского университета. 2011. Т. 16, № 1. С. 29–32.
21. Harmens H., Norris D., Mills G., et al. Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe // ICP Vegetation Programme Coordination Centre / Centre for Ecology and Hydrology. Bangor, UK, 2013. P. 63.
22. Zhulidov A. V., Vladimir V. Khlobystov, Richard D. Robarts, Dmitry F. Pavlov. Critical analysis of water quality monitoring in the Russian Federation and former Soviet Union // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2000. Vol. 57, N 9. P. 1932–1939.
23. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grjibovskii A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry // Epidemiologia and prevenzione. 2010. Vol. 34, iss. 5–6. P. 138.
5. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i sanitariya*. 2011, 3, pp. 91-95. [in Russian]
6. Borisov M. Ya. Migratsiya tyazhelykh metalloov v sisteme «vodosbor-ozero Vozhe» i ikh nakoplenie v rybe [Migration of heavy metals in system «catchment area-lake Vozhe» and their accumulation in fish]. In: *Ekologicheskoe sostoyanie kontinental'nykh vodoemov severnykh territorii* [The ecological condition of continental reservoirs of the Northern territory]. Saint Petersburg, Science Publ., 2005, pp. 248-257.
7. Gapeeva M. V., Filippov D. A., Lozhkina R. A. Heavy metals, including rare earth in mosses of Northwest and central regions of Russia. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015, 5: Available at: <http://www.science-education.ru/128-21608> (accessed: 10.09.2015) [in Russian].
8. *Gidrologiya ozer Vozhe i Lacha (v svyazi s perebroskoi severnykh vod v bassein r. Volgi)* [Hydrology of lakes Vozhe and Lacha (in connection with a transfer of northern waters in pool of the river of Volga)]. Leningrad, Science Publ., 1979, 288 p.
9. Zheleznova G. V., Shubina T. P. Mosses natural middle taiga vegetative communities of the Southern part of Republic Komi. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology]. 2010, 4, pp. 76-83. [in Russian].
10. *Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh* [The interpretation of geochemical data]. Moscow, Internet Engineering Publ., 2001, 288 p.
11. Karpin V. A., Kostryukova N. K., Gudkov A. B. Human radiation action of radon and its daughter disintegration products. *Gigiena i sanitariya*. 2005, 4, pp. 13-17. [in Russian]
12. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [in Russian]
13. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozdukha naseleennykh punktov metallami po ikh sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve № 5174-90* [Methodical recommendations according to degree of pollution of atmospheric air of settlements metals under their maintenance in a snow cover and soil N 5174-90]. Moscow, 1990, 28 p.
14. Moiseenko T. I. Influence of geochemical factors of the water environment on bioindication of metals in an organism fish. *Geokhimiya*. 2015, 3, pp. 222-233. [in Russian]
15. Nikanov A. N., Krivosheev Yu. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink “Algapekt” on blood mineral composition in children - residents of Monchegorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [in Russian]
16. *Ozera Lacha i Vozha. Materialy kompleksnykh issledovaniy* [Lake Lacha and the Vozha. Complex materials research]. Leningrad, Nauka Publ., Leningrad branch, 1975, pp. 1-36.
17. Rogova N. S. *Razrabotka metoda ekologicheskogo monitoringa zagryazneniya atmosfery vozdukha tyazhelymi metallami. Avtoref. kand. diss.* [Development of a method of ecological monitoring of pollution of atmosphere of air by heavy metals. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Tomsk, 2013, 34 p.
18. Subetto D. A. *Ozernyi sedimentogenez severa Evropeiskoi chasti Rossii v pozdnem pleistotsene i golotsene. Avtoref. doct. diss.* [Lake sedimentogenez of the north of

the European part of Russia in late pleistocene and Holocene. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Saint Petersburg, 2003, 37 p.

19. Chashchin V. P., Syurin S. A., Gudkov A. B., Popova O. N., Voronin A. Yu. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2014, 9, pp. 20-26. [in Russian]

20. Shayakhmetov A. U., Mustafin A. G., Massalimov I. A. Features of thermal decomposition calcium oxo-oxide, peroxide, hydroxide and carbonate. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir State University]. 2011, 16 (1), pp. 29-32. [in Russian].

21. Harmens H., Norris D., Mills G., et al. Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe. *ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology*. Bangor, UK, 2013, p. 63.

22. Zhulidov A. V., Vladimir V. Khlobystov, Richard D.

Robarts, Dmitry F. Pavlov. Critical analysis of water quality monitoring in the Russian Federation and former Soviet Union. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2000, 57 (9), pp. 1932-1939.

23. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grjibovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010, 34 (5-6), pp. 138.

Контактная информация:

Ганеева Мария Васильевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и токсикологии водных животных ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина» Российской академии наук

Адрес: 152742, Ярославская область, Некоузский район, пос. Борок, д. 109

E-mail: gmv@ibiw.yaroslavl.ru