

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОТОКОВ И СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ ГОЛЬЯНА *PHOXINUS PHOXINUS* (L.) ИЗ РЕК БОЛЬШАЯ ШАЙТАНОВКА И ЧОВЬЮ

Г. Н. Доровских, В. В. Мазур, А. П. Петраков

Сыктывкарский государственный университет

Поступила в редакцию 12.05.2011 г.

Аннотация. В статье представлены результаты гидрохимического анализа воды р. Б. Шайтановка и р. Човью. Раскрываются результаты сравнительного анализа содержания металлов (Ca, Zn, Cu) в *Phoxinus phoxinus* (L.) из р. Човью и р. Б. Шайтановка и приводятся данные о концентрации металлов Fe, Cu, Zn и Pb в мышцах, печени и почках данной рыбы.

Ключевые слова: гольян *Phoxinus phoxinus*, гидрохимия, тяжелые металлы.

Abstract. This article presents results of hydrochemical analyses of waters from the Bolshaya Shaitanovka and Chovju rivers. Specifically, comparative analyses of metal concentrations (Ca, Zn, Cu) in *Phoxinus phoxinus* (L.) are provided, as well as Fe, Cu, Zn and Pb concentrations in muscles, liver and kidney of this fish.

Keywords: fish, minnow, *Phoxinus phoxinus*, hydrochemistry, heavy metals.

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы (ТМ) являются для гидробионтов одной из наиболее опасных групп загрязняющих веществ, действие которых на отдельные стороны метаболизма рыб и беспозвоночных остаются мало изученными. Некоторые из них обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, накапливаясь в тканях гидробионтов в концентрациях в сотни и тысячи раз превышающих их содержание в воде [1]. Токсичность ТМ зависит не только от их общего содержания в воде, но, в еще большей степени, от соотношения их гидратированных ионов и ионов, связанных в комплексы с растворенными органическими веществами или адсорбированных на взвешенных частицах. Эти факторы особо следует учитывать при исследовании влияния повышенных доз металлов на водную флору и фауну на Европейском Севере, где в водоемах содержится большое количество гуминовых кислот, образующих с металлами

растворимые комплексные соединения легко усвояемые гидробионтами [2, 3]. Кроме того, информация о локальных концентрациях ТМ в конкретных экосистемах различных регионов, имеющих свою геохимическую и промышленную специфику [4], а также данные о биогенной миграции металлов являются необходимыми составляющими для формирования научных основ борьбы с загрязнением природной среды и устойчивого развития регионов [5].

Исследования по загрязнению водоемов в Республике Коми, в основном, проведены в районах расположения объектов добывающей промышленности [6]. Однако, водотоки, в пределах водосборного бассейна, где нет крупных промышленных предприятий, также подвержены процессу токсификации. Токсиканты в такие водоемы поступают с атмосферными осадками. При этом большая часть ТМ привносится в период весеннего половодья, когда основным источником питания рек являются талые воды [7]. В связи с этим представляет интерес сравнение concentra-

ций металлов в воде и тканях рыбы из экологически благополучного и загрязненного водотоков. В качестве таковых выбраны р. Б. Шайтановка (правый приток р. Печоры), протекающая по территории Печоро-Ильчского государственного природного заповедника, и р. Човью (левый приток р. Вычегды) текущая в черте г. Сыктывкара и принимающая в себя коммунальные стоки, талые и дождевые воды, стекающие с прилегающих сельскохозяйственных полей и площадей вдоль автострады. В гидрохимическом отношении участок верхней Печоры, куда впадает р. Б. Шайтановка, впервые обследован в августе 2002 г. [8, 9], а левый приток р. Вычегды – р. Човью в мае–октябре 2000 г. [10].

Р. Човью имеет длину 60 км, ширина русла 2–10 м; глубина 0.5–1.0 м, на плесах до 3 м, на перекатах до 0.15 м. Русло захлавлено бытовым и строительным мусором. Грунт песчаный, местами с наилком. В воде зафиксированы микроорганизмы тифо-паратифозной группы и кишечная палочка. Вода р. Човью характеризуется как грязная и очень грязная.

Р. Б. Шайтановка относится к малым рекам. Ширина ее русла до 10–12 м; глубина на плесах около 3–3.5 м, на перекатах 0.15–1.0 м. Русло свободно даже от упавших стволов деревьев. Грунт каменистый, местами перемежается с торфом, песком и глиной.

Цель работы: исследовать гидрохимические показатели воды и содержание тяжелых металлов в организме гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из рек Большая Шайтановка и Човью. В задачи исследования входило: исследовать и дополнить гидрохимическое описание рек Б. Шайтановка и Човью; провести сравнительный анализ содержания металлов (Ca, Zn, Cu) в организме рыбы из этих водотоков; сравнить концентрации металлов (Fe, Cu, Zn, Pb) в разных органах (мышцы, печень, почки) гольяна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение pH воды, содержания в ней растворенного кислорода, температуры и электропроводности, из рек Човью (апрель–

ноябрь 2008 г., начало сентября 2010 г.) и Б. Шайтановка (июнь–июль 2010 г.), осуществляли портативным анализатором Анион – 7051 фирмы ИНФРА СПАК – АНАЛИТ (г. Новосибирск). Ошибка измерения pH ± 0.02 , содержания растворенного в воде кислорода от 0 до 10 мгО₂/дм³ ± 0.1 , от 10 до 20 мгО₂/дм³ ± 0.2 , температуры воды $\pm 0.1^\circ$, электропроводности до 20 мСм/см $\pm 2\%$, более 20 мСм/см $\pm 4\%$.

Гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) для определения содержания в его организме металлов отлавливали сачком из р. Човью (61°44.855' с.ш.; 50°42.541' в.д.) в мае–июне 2008 г. (12 проб по 10 экз. рыб в каждой), из р. Б. Шайтановка (62°01.641' с.ш.; 58°10.512' в.д.) в конце июня–начале июля 2009 г. (12 проб по 10 экз. рыб в каждой).

Пробы гольяна высушивали в полевых условиях [11], затем помещали в стерильные пробирки без консервантов и доставляли в лабораторию, где их предварительно обугливали минимальным количеством концентрированной серной кислоты, с последующим высушиванием минерализата при 1200°... 1500 °С. Далее образцы подвергали озолению в муфельной печи при постепенном нагреве от 0° до 400°–450° С до достижения образцом постоянной массы [12]. Каждая проба содержала материал от десяти особей гольяна. Для перерасчета концентрации металла от сухой (минерализованной) к сырой массе проб использовали коэффициент усушки (K=23.7 \pm 0.2), полученный экспериментально. Коэффициент вычисляли как отношение сырой массы пробы к ее сухой массе.

Количественное содержание металлов (Ca, Cu, Zn) в рыбе определяли на сканирующем электронном микроскопе JSM–6380 LV фирмы JEOL, позволяющем получить массовую и атомную долю исследуемых элементов. Ошибка измерения – 0.1%.

Содержание металлов (Fe, Cu, Zn, Pb) в органах и тканях гольяна (7 проб по 10 экз. рыб в каждой) измеряли на анализаторе рентгеновском бездифракционном «БАРС–3» фирмы ОАО «Краб» (г. Одесса). Результаты представлены в виде процентного превышения интенсивностей пиков импульсов ТМ по

сравнению с фоном, в качестве которого использовали подложку. Ошибка измерения – 10%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Воды р. Човью весной и осенью характеризуются низкой кислотностью (рН 6.8–6.9), летом и в начале сентября – низкой щелочностью (рН 7.6–7.9), высокой цветностью (57–80 град.), повышенным содержанием органических веществ, железа и марганца, низким – фтора. В воде р. Човью повышено содержание ионов NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- и органики, эпизодически – Pb^{2+} и Zn^{2+} , фенолов, нефтепродуктов (табл. 1). Содержание NH_4^+ в воде, особенно в мае – июне, повышается до 1.9–2.7 мг/л [10].

Воды р. Б. Шайтановка в начале июля прозрачны, желтоватого оттенка, слабощелочной реакции (рН 8.7), низкой минерализации, с малым содержанием органики (табл. 1). В воде р. Печоры в районе устья р. Б. Шайтановки незначительна концентрация соединений азота в аммонийной форме (0.18–0.48 мг/дм³), фосфора (0.027–0.038 мг/дм³) и железа (0.10–0.31 мг/дм³). Нитриты и нитраты, как правило, отсутствуют. Цветность составляет 8–22 град., бихроматная окисляемость 9.3 [19].

В тканях гольяна из р. Човью отмечены ТМ, такие как Fe, Pb, Zn и Cu. Превышение фона для Fe составило 47%, Pb – 27%, Zn – 14%, Cu – 7%. Полученные данные указывают на загрязнение р. Човью соединениями Pb, который в отличие от Fe и Zn, относящихся к биогенным металлам и характерных для «чистых водоемов», имеет антропогенное происхождение и относится к загрязняющим веществам [3, 20].

Накопление металлов (Fe, Cu, Zn, Pb) в органах гольяна из р. Човью представлено в виде процентного превышения интенсивностей пиков импульсов ТМ по сравнению с фоном, в качестве которого использовали подложку (табл. 2).

Количество Fe в органах и тканях гольяна статистически достоверно ($t=15.3-18.1$; $P>99.9\%$) убывает в ряду

печень>почки>мышцы, что соответствует известным данным [11, 21, 22]. Концентрация Cu статистически значимо снижается ($t=2.3-7.1$; $P>98.1-99.9\%$) в последовательности почки>печень>мышцы. Содержание Pb ($t=0.31$; $P=24.3\%$) и Zn ($t=1.41$; $P=84.1\%$) одинаково в печени и почках, и несколько меньше, хотя и достоверно ($t=7.3$ и 5.3 соответственно; $P>99.9\%$), в мышцах. Поскольку вес мышц больше, чем вес почек и печени, то и свинца в них накапливается значительно больше, чем в других органах рыбы. Результаты, полученные в отношении накопления Zn и Pb в органах гольяна, не совпадают с опубликованными сведениями для карповых рыб [7, 11].

Ранжирование металлов по степени их убывания в печени и почках гольяна из р. Човью выглядит как следующий ряд Fe>Pb>Zn>Cu. Распределение металлов в мышцах образует последовательность в виде Pb>Fe>Zn>Cu.

Для определения соответствия содержания Cu и Zn в рыбе и ПДК для рыбных продуктов питания произведен перерасчет количества металлов в сухих пробах на их сырую массу. ПДК для рыбных продуктов по меди составляет 10, по цинку – 40 мкг/г сырой массы [23]. В организме гольяна из р. Б. Шайтановка концентрации Cu и Zn составляют 0.8–0.9 ПДК, у гольяна из р. Човью 2.5 и 1.8 ПДК соответственно.

В организм рыбы ионы Cu и Zn поступают преимущественно с пищей, однако поступление с водой также играет значительную роль [20]. В связи с этим интересно сравнить концентрации металлов в воде рассматриваемых водоемов и в организме гольяна (табл. 3).

Концентрации Zn и Cu в воде рассматриваемых водотоков различаются на 14% и 15% соответственно, тогда как накопление этих металлов в организме рыбы отличается на 113% и 199%.

Содержание Ca в воде р. Човью выше в 6 раз, чем в воде р. Б. Шайтановка, но его концентрация в организме гольяна из р. Човью в 1.5 раза ниже, чем у рыбы из притока р. Печора.

Показатели качества воды притоков Печоры и Вычегды по собственным и опубликованным данным [8-10, 13-15]

Показатели качества воды	ПДК [16-18]	Реки			
		Б. Шайтановка		Човью	
		Концентрация	Коэффициент концентрации	Концентрация	Коэффициент концентрации
рН	6.5–8.5	7.7–8.7	1.02 ПДК	7.8–8.0	0.98 ПДК
Цветность, град	20	> 8	-	57–80	4 ПДК
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	5.0	5.9	1.2 ПДК	13.4	2.7 ПДК
Бихроматная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	10.0	14	1.4 ПДК	31.75–32.5	3.25 ПДК
Окисляемость, мг/дм ³ О ₂	5.0	-	-	6.84–13.44	2.7 ПДК
О ₂ , мг/дм ³	≥ 4.0	5.5	-	9.8	-
% насыщения О ₂	-	98.8	-	?	-
Fe, мг/дм ³ (суммарно)	0.3(1.0)/0.1	0.15	- /1.5 ПДК	1.72–4.02	13.4 ПДК
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	45	0.001	-	1.77–4.5	-
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	1.5/0.05	0.25	- /5 ПДК	0.33–0.67	-
PO ₄ ³⁻ мин, мг/дм ³	3.5	0.012	-	-	-
Mn, мг/дм ³ (суммарно)	0.1/0.01	0.0087	-	0.24–0.29	2.9 ПДК
Ca ²⁺ , мг/дм ³	180	3.7	-	22.2–22.4	-
Mg ²⁺ , мг/дм ³	50/40	1.28	-	-	-
Zn ²⁺ , мг/дм ³	1.0/0.01	0.024	-	0.016–0.021	-
Pb ²⁺ , мг/дм ³	0.01/0.006	0.0008	-	0.016–0.017	-
Cd ²⁺ , мг/дм ³	0.001/0.005	0.0002	-	0.001	-
Cu ²⁺ , мг/дм ³	1.0/0.001	0.0026	- /2.6 ПДК	0.003	-
Минерализация, мг/дм ³	1000	до 50 (81.65)	-	249.3–296.3	-
Электропроводность, μS/см	-	35.5–62.1	-	49	-
Фенолы, мг/дм ³	0.25/0.001	0.03	-	0.0014–0.0024	-
Нефтепродукты	0.1/0.05	-	-	0.043–0.12	1.2 ПДК
СПАВ	0.5	-	-	0.038–0.05	-

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Воды исследуемых водотоков имеют преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав [10, 19]. По щелочно-кислотным условиям воды р. Б. Шайтановки и р. Човью являются слабокислыми, нейтральными и

слабощелочными. Концентрация растворенного в воде кислорода в исследуемых реках соответствует аэробным условиям. Величины удельной электропроводности, служащие приблизительным показателем суммарной концентрации электролитов, главным обра-

Распределение тяжелых металлов в органах гольяна из р. Човью

Орган	Металлы (% превышения над фоном)			
	Железо	Медь	Цинк	Свинец
Печень	47.2±9.2	9.1±1.3	13.1±2.6	28.1±5.6
Почки	30.6±6.1	10.0±2.0	14.1±2.8	27.9±5.6
Мышцы	20.1±4.0	6.9±1.4	10.1±2.0	23.1±4.6

Таблица 3

Содержание металлов в воде (мг/дм³) и организме гольяна (мг/кг)

Река	Объект	Металлы		
		Медь	Цинк	Кальций
Човью	Вода	0.003	0.021	22.4
	Рыба	24.95	72.40	964.80
Б. Шайтановка	Вода	0.0026	0.024	3.7
	Рыба	8.34	34.01	1464.73

зом неорганических, довольно близки в рассматриваемых водотоках. Это класс вод, к которому относится большинство природных вод суши.

Воды р. Човью загрязнены свинцом, концентрация которого в воде, особенно весной и осенью превышает ПДК. Свинец, видимо, поступает с выхлопными газами автомобилей, проезжающих по автомагистрали, расположенной рядом с речкой, затем талыми и дождевыми водами смывается в водоток.

Содержание в тканях гольяна из р. Човью Fe, Pb, Zn и Cu согласуется с известными данными [10] и указывает на стабильность в последние 10 лет ситуации по загрязнению вод этого водотока указанными металлами.

Распределение металлов Fe, Pb, Zn и Cu в организме гольяна характеризуется неоднородностью, вероятно, зависящей от физико-химических свойств самих элементов и функциональных особенностей органов и тканей [7; 24]. Как и в других случаях [1], самые высокие их концентрации отмечены в печени и почках рыб. Однако ранжированные ряды металлов (Fe, Pb, Zn и Cu) по убыванию их в печени и почках гольяна не совпадают с опубликованными данными для карповых рыб [11, 24]. В описываемом случае у гольяна в органах и тканях менее всего накапливается медь, затем цинк. Более всего в его печени и почках концентрируется железо, в мышцах – свинец, проникающий в организм рыб через пищу (бентос) и, минуя печеночный барьер [25].

Сравнительный анализ содержания Zn и Cu в рыбе из рек Б. Шайтановка и Човью показал, что у гольяна из первого водоема их концентрация 2–3 раза меньше, чем из второго. Значения коэффициентов концентрации указанных металлов в организме рыб из исследуемых водотоков разнятся в 2.4 и 2.6 раза соответственно. Величина коэффициента накопления Ca в рыбе из Печорского бассейна выше такового для бассейна Вычегды в 9.2 раза.

Известно [26], что введение Fe повышает всасывание Zn в кишечнике. Учитывая, что в воде р. Човью Fe содержится в 11.5–26.7 раз больше, чем в воде р. Б. Шайтановка, то этим, возможно, и объясняется большее накопление Zn в организме гольяна из р. Човью.

Накопление железа, меди и цинка в организме гольяна обусловлено наличием указанных металлов в основных почвообразующих породах Северо-Востока европейской части России, и как следствие, присутствием данных элементов во всех водотоках Республики Коми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воды р. Човью загрязнены свинцом. Содержание его в воде, особенно весной и осенью, превышает ПДК.

Концентрации Zn и Cu в воде рек Човью и Б. Шайтановка различаются на 14% и 15% соответственно, тогда как накопление указанных металлов в организме рыб из этих водотоков отличается на 113% и 199%.

В организме гольяна из р. Човью содержание Cu и Zn равно 2.5 и 1.8 ПДК, в рыбе из р. Б. Шайтановка – 0.8 и 0.9 ПДК соответственно.

В организме гольяна из р. Човью менее всего накапливается медь, затем цинк. В печени и почках рыбы из этого водоема больше концентрируется железо, в мышцах – свинец.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перевозников М.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах / М.А. Перевозников, Е.А. Богданова — СПб.: ГосНИОРХ, 1999. — 228 с.
2. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур / Кондратьева Л.М. [и др.] // Тихоокеанская геология. — 2006. — Т. 25, № 6. — С. 103-114.
3. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: Аналитический обзор / Т.С. Папина — Новосибирск: ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН, 2001. — Сер. Экология., Вып. 3. — 58 с.
4. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыбоводного пруда Бугач / М.И. Гладышев [и др.] // Водные ресурсы. — 2001. — Т. 28, № 3. — С. 320-328.
5. Бускунова Г.Г. Проблема загрязнения медью растений на металлогенном поясе Южного Урала / Г.Г. Бускунова, А.А. Аминова // Сб. науч. статей 4-й Всерос. науч.-практич. конф. «Экологические проблемы промышленных городов». — Саратов, 2009. — С. 42-43.
6. Multiple indicators of human impacts on the environment in the Pechora Basin, north-eastern European Russia / Walker T.R. [et al.] // Ecological indicators. — 2009. — № 9. — P. 765-779.
7. Борисов М.Я. Накопление тяжелых металлов в тканях и органах рыб озера Воже / М.Я. Борисов // Матер. Всерос. конф. «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований». — Вологда, 2008. — С. 254-258.
8. Хохлова Л.Г. Гидрохимический режим реки Печора / Л.Г. Хохлова // Вестн. Ин-та биол. Коми науч. центра УрО РАН. — 2003. — № 12. — С. 8-11.
9. Хохлова Л.Г. Химический состав вод и диатомовые водоросли водотоков в верхнем течении реки Печора (Печоро-Илычский заповедник) / Л.Г. Хохлова, А.С. Стенина // Проблемы особо охраняемых природных территорий Европейского севера. — Сыктывкар: Ин-т биол. Коми науч. центра УрО РАН, 2004. — С. 173-176.
10. Лапицкая В.Ф. Мониторинг поверхностных вод / В.Ф. Лапицкая // Экологический мониторинг. — Сыктывкар: Сыктывкар. ун-т, 2002. — С. 38-49.
11. Ходулов В.В. Оценка влияния загрязнения рек западной Якутии алмазодобывающей промышленностью и урбанизированными территориями на экологию рыб : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. / В.В. Ходулов — Якутск, 2006. — 20 с.
12. Отмахов В.И., Петрова Е.В. Атомно-эмиссионный анализ биологических объектов с целью проведения экомониторинга районов Томской области и горного Алтая / В.И. Отмахов, Е.В. Петрова // Изв. Томск. политех. ун-та. — 2004. — Т. 307, № 1. — С. 73-76.
13. Хохлова Л.Г. Химический состав поверхностных вод бассейна реки Вычегда / Л.Г. Хохлова // Вестн. Ин-та биол. Коми науч. центра УрО РАН. — 2009. — № 11. — С. 14-17.
14. Шубина В.Н. Бентос лососевых рек Урала и Тиммана / В.Н. Шубина — СПб.: Наука, 2006. — 401 с.
15. Шубина В.Н. Бентос верховий реки Печора (Северный Урал) / В.Н. Шубина, Ю.П. Шубин // Науч.-практич. конф. «Состояние и динамика природных комплексов особо охраняемых территорий Урала». — Сыктывкар, 2000. — С. 207-209.
16. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Утверждены Главным государственным санитарным врачом

Российской Федерации 27 апреля 2003 года. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 19 мая 2003 года, регистрационный № 4550. Введены в действие с 15 июня 2003 г. — М., 2003. — 33 с.

17. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Министерство здравоохранения СССР, Главное санитарно-эпидемиологическое Управление. Заместитель Министра здравоохранения СССР, Главный государственный санитарный врач СССР А.И. Кондрусев. 4 июля 1988 г. № 4630–88. — М., 1988. — 62 с.

18. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение от 28 апреля 1999 года, Москва № 96. — М.: Изд-во ВНИРО, 1999. — 304 с.

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

20. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных / И.Л. Голованова // Биология внутр. вод. — 2008. — № 1. — С. 99-108.

21. Has-Schon E., Bogut I., Strelec I. Heavy Metal Profile in Five Fish Species Included in Human in Diet, Domiciled in the End Flow of River Neretva (Croatia) / E. Has-Schon, I. Bogut, I. Strelec // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 2006. — № 50. — P. 545-551.

22. Norey A. Toxicity of cadmium, cobalt, uranium and zinc to Zoogloea ramigera / A. Norey, R. Cryer, S. Kay // Water Res. — 1990. — V. 17. — P. 1252-1264.

23. Санитарные правила и нормы: «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 24 октября 1996 г. № 27) (с изменениями от 11 октября 1998 г., 21 марта 2000 г., 13 января 2001 г.) — М., 2001. — 44 с.

24. Глазунова И.А. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в рыбах верховьев Оби: Автореф. дис. ... канд. биол. наук / И.А. Глазунова — Барнаул, 2005. — 19 с.

25. Степанова Н.Ю. Механизмы детоксикации тяжелых металлов в компонентах водной экосистемы Куйбышевского водохранилища / Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова // Уч. зап. Казан. гос. ун-та. Сер. Естественные науки. — 2005. — Т. 147, № 3. — С. 18-26.

26. Немова Н.Н. Биохимическая индикация состояния рыб / Н.Н. Немова, Р.У. Высоцкая — М.: Наука, 2004. — 215 с.

Доровских Геннадий Николаевич – заведующий кафедрой биологии, профессор, Сыктывкарский государственный университет; e-mail: dorovsk@syktsu.ru

Мазур Виктория Васильевна – аспирант кафедры биологии, Сыктывкарский государственный университет; e-mail: opioni@syktsu.ru

Петраков Анатолий Павлович – заведующий кафедрой физики твердого тела, доцент, Сыктывкарский государственный университет; e-mail: petrakov@syktsu.ru

Dorovskikh Gennadiy N. – head of the department of biology, professor, Syktyvkar State University; e-mail: dorovsk@syktsu.ru

Mazur Viktoriya V. – the post graduate student of head of the department of biology, Syktyvkar State University; e-mail: opioni@syktsu.ru

Petrakov Anatoliy P. – head of the department of physics of the solid state, associative professor, Syktyvkar State University; e-mail: petrakov@syktsu.ru