

Научная статья
УДК 597.4/.5
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-92-97>
EDN EVHRPU

Изменение содержания тяжелых металлов в печени *Perca fluviatilis*

Геннадий Вячеславович Девяткин[✉], Анастасия Алексеевна Кобцева

Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова,
Абакан, Россия, gena.dewyatkin@yandex.ru[✉]

Аннотация. Проведена оценка влияния выбросов от деятельности угольных разрезов на морфологию и физиологию окуня обыкновенного (*Perca fluviatilis*) озер Большое и Столбовое урочища Сорокаозерки в Алтайском районе Республики Хакасия. Окунь обыкновенный, наряду с карасем серебряным, являются преобладающими видами в большинстве рыбохозяйственных озер Хакасии. Вылов рыб проводился в 2019, 2021 и 2022 гг., отсутствие окуня обыкновенного в уловах 2022 г. привело к необходимости анализа данного явления. Были исследованы по 20 экземпляров из каждого водоема. Учитывались закономерности соотносительного роста внутренних органов рыб, т. к. условия жизни животных тесно коррелируют с некоторыми их морфологическими особенностями. Исследовались морфофизиологические показатели, а именно индекс печени окуня обыкновенного (*Perca fluviatilis*), проведено сравнение данного показателя по возрасту и времени отлова. Рассчитывался средний показатель индекса для каждой возрастной группы с учетом ошибки средней арифметической. Установлено, что значение индекса печени имеет тенденцию к росту за период с 2019 по 2021 гг. по всем возрастным группам, что может свидетельствовать о проблеме накопления в печени тяжелых металлов. Образцы печени окуня обыкновенного были исследованы на содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Co, Mn и др.). Содержание свинца, мышьяка, ртути в печени рыб не превышает ПДК. По отдельным металлам (цинк, медь, хром, железо) наблюдается значительное превышение ПДК: на 82 % цинка, до 40 % меди, более чем 90 % хрома, превышение ПДК железа более чем 2,4 раза.

Ключевые слова: Республика Хакасия, урочище Сорокаозерки, озеро Большое, озеро Столбовое, окунь обыкновенный, морфофизиологические показатели, индекс печени, тяжелые металлы

Для цитирования: Девяткин Г. В., Кобцева А. А. Изменение содержания тяжелых металлов в печени *Perca fluviatilis* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 92–97. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-92-97>. EDN EVHRPU.

Original article

Changes of the heavy metals content in *Perca fluviatilis* liver

Gennady V. Devyatkin[✉], Anastasia A. Kobtseva

Katanov Khakass State University,
Abakan, Russia, gena.dewyatkin@yandex.ru[✉]

Abstract. An assessment of the impact of emissions from the activities of coal mines on the morphology and physiology of perch (*Perca fluviatilis*) of the Bolshoe and Stolbovoye lakes of the Sorokaozerki tract in the Altai region of the Republic of Khakassia was carried out. Common perch, along with silver carp, are the predominant species in most fishing lakes of Khakassia. The catch of fish was carried out in 2019, 2021 and 2022, the absence of common perch in the catches of 2022 led to the need to analyze this phenomenon. 20 specimens from each reservoir were examined. The regularities of the correlative growth of their internal organs of fish were taken into account, since the living conditions of animals closely correlate with some of their morphological features. Morphophysiological indicators were studied, namely the liver index of perch (*Perca fluviatilis*), a comparison of this indicator by age and time of capture was carried out. The average index for each age group was calculated taking into account the arithmetic mean error. It was found that the value of the liver index tends to increase over the period from 2019 to 2021 for all age groups, which may indicate the problem of accumulation of heavy metals in the liver. Samples of the liver of the common perch were examined for the content of heavy metals (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Co, Mn, etc.). The content of lead, arsenic, mercury in the liver of fish does not exceed the MPC. For individual metals (zinc, copper, chromium, iron), there is a large significant excess of MPC: 82% zinc, up to 40% copper, more than 90% chromium, exceeding the MPC of iron by more than 2.4 times.

Keywords: Republic of Khakassia, Sorokaozerki tract, Bolshoe Lake, Stolbovoe Lake, perch, morphophysiological indicators, liver index, heavy metals

For citation: Devyatkin G. V., Kobtseva A. A. Changes of the heavy metals content in *Perca fluviatilis* liver. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2023;4:92-97. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-4-92-97>. EDN EVHRPU.

Введение

Актуальные исследования затрагивают проблемы приспособления организма рыб к изменяющимся условиям среды обитания, вызванным влиянием антропогенных факторов и обусловленных загрязнением водоема.

Ряд озер Койбальской степи Республики Хакасия попали в зону воздействия разработки угля открытым способом. Растущая экономика республики требует ресурсов, техногенное воздействие на окружающую среду возрастает, что приводит к разрушению природной среды и нарушению экологических связей внутри экосистемы. Приспособление живой органической материи к воздействию антропогенных факторов затрагивает все уровни организации организма, как результат – формируются новые природные измененные сообщества с новыми качественными и количественными параметрами. По классической экологической схеме, выбросы и иные компоненты антропогенного воздействия по цепям питания влияют на физиологические процессы организма.

Интенсивное использование территории Сибири, включая и Республику Хакасия, напрямую связано с добычей ресурсов, в большей части каменного угля открытым способом. В зону деятельности угольного разреза подпадают несколько озер системы Соркаозерки. Нами проводится мониторинг изменения биологического разнообразия озер с 2019 г. Для исследования выбраны два рыбохозяйственных водоема – озеро Большое и Столбовое, которые соединены между собой каналом (рис. 1).

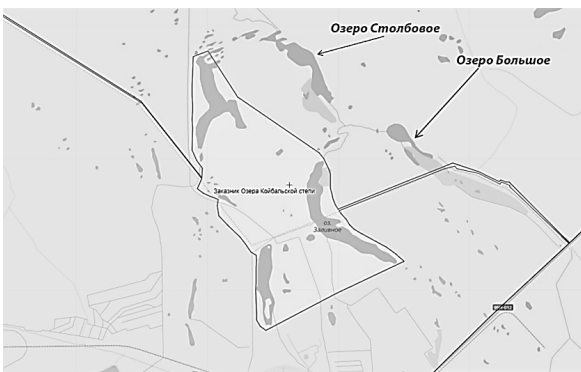


Рис. 1. Карта озер урочища Соркаозерки (1 : 100 000)

Fig. 1. Map of the lake tract of Sorokaozerki (1 : 100 000)

Исследуемые озера находятся в урочище Соркаозерки в Алтайском районе Республики Хакасия, являются пресными (часть озер системы Соркаозерки являются горько-солеными), соединены

каналом, через канал озера сообщаются с р. Абакан (левый приток первого порядка р. Енисей).

Косвенным свидетельством изменения и нарушения физиологических процессов является относительная масса внутренних органов, функции которых связаны с обменом веществ в организме [1].

Одной из важнейших функций иммунной системы у рыб, как и других видов животных, является иммунный надзор, защита организма от экзо- или эндогенных веществ.

Защитные реакции у рыб вырабатываются с участием тимуса, селезенки, печени и почек. В результате этих реакций вредное воздействие ограничивается или прекращается [2, 3].

В большинстве случаев негативные факторы на угольных разрезах, ведущих добычу сырья открытым способом (взрывные работы, увеличение количества пыли и пр.), приводят к повышению уровня метаболизма обитателей ихтиофауны, к интенсификации функций печени и, соответственно, к увеличению ее размеров, поэтому индекс печени окуня обыкновенного – признак, который целесообразно использовать в биоиндикации водоемов [3, 4].

Цель исследования – оценка влияния выбросов угольных компаний на ихтиофауну водоемов по степени изменения морфофизиологического индекса рыб озер Большое и Столбовое.

Объект исследований – окунь обыкновенный *Perca fluviatilis*.

Материалы и методика исследований

Отлов проводился в мае 2019, 2021, 2022 гг. ставными сетями с ячеей от 30 до 80 мм по всей акватории озер Большое и Столбовое.

Для анализа взят только улов окуня обыкновенного, который представлен в озерах в достаточном количестве. Окунь обыкновенный, наравне со щукой обыкновенной, является вершиной трофических цепей в водных экосистемах изучаемых озер. В каждом из озер было отловлено по 20 экземпляров этого вида.

В уловах 2022 г. окунь обыкновенный отсутствовал, что и побудило нас исследовать данное явление, чтобы выявить косвенные причины отсутствия этого хищника в рыбохозяйственном водоеме.

Было проведено изучение морфологии рыб по стандартной методике [5–8]. Исследования включали следующие виды работ: после проведения стандартных промеров (взвешивание тела, внутренних органов, параметров длины) определяли половую и возрастную структуру, морфофизиологические параметры *Perca fluviatilis*, проводили анализ образ-

цов печени после исследований на содержание тяжелых металлов.

Для определения половых признаков рыба вскрывалась, и по наличию икры (у самок) и молок (у самцов) определялся пол.

Возраст окуня определялся по жаберной крышке, т. к. чешуя у данного вида имеет малые размеры. Жаберная крышка промывалась, высушивалась, и по количеству годовых колец определялось количество прожитых особью лет [9].

Для оценки физиологического состояния окуня обыкновенного был выбран индекс печени [10]. Производились вскрытие каждой особи и изъятие печени с последующим взвешиванием органа на электронных весах с точностью до 0,001 г. Для вычисления индекса было использовано общепринятое уравнение: $C = (m_{\text{органа}} / m_{\text{тела}}) \cdot 1\,000$, где m – масса, г [11].

Для анализа и сравнения полученных данных применяли ПДК – предельно-допустимые концентрации тяжелых металлов (СанПин 2.3.2.560-96, СанПин 2.3.2.1078-01). Валовое содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Co, Mn) определяли атомно-абсорбционным методом в соответствии с ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов»; As – в соответствии с ГОСТ Р 51766-2001 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка»; Hg – в соответствии с МУК 4.1.1472-03 «Атомно-

абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.)»; Ni, Cr – в соответствии с МУ 01-19/47-11 «Атомно-абсорбционные методы определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье»; Co – по ГОСТ Р 55484-2013 «Мясо и мясные продукты. Определение содержания натрия, калия, магния и марганца методом пламенной атомной адсорбции»; Mn – по ГОСТ Р 50683-94 «Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО».

Для каждой возрастной группы по каждому году рассчитывался средний показатель индекса. По каждому показателю проводился расчет ошибки средней арифметической индекса органа.

Для оценки достоверности различий применялся t -критерий Стьюдента.

Все исходные материалы хранятся на кафедре биологии Института естественных наук и математики Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова.

Результаты исследований

Величина индекса печени связана как с размерами тела и степенью энергетических затрат, так и с особенностями кормового рациона [3].

Результаты расчета индекса печени данного вида представлены на рис. 2.

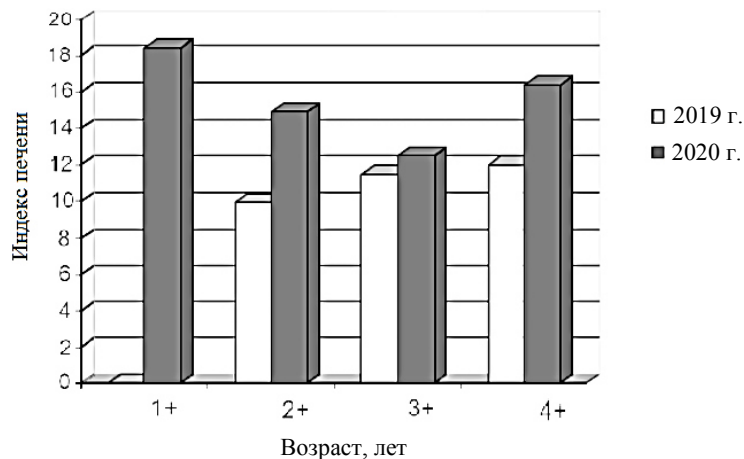


Рис. 2. Морфологический индекс печени окуня обыкновенного (2019, 2021 гг., оз. Большое, оз. Столбовое)

Fig. 2. Morphophysiological index of the common perch liver (2019, 2021, Lake Bolshoe, Lake Stolbovovoe)

Различия между самцами и самками статистически недостоверны, поэтому мы объединили их выборки. Также не было различий между особями из озера Большое и Столбовое, т. к. озера соединены каналом, поэтому выборки обоих озер также были объединены [12].

Возрастная структура в уловах *P. fluviatilis* представлена в 2019 г. особями трех возрастных групп, от 2+ до 3+, в уловах 2021 г. – особями четырех возрастных групп, от 1+ до 3+.

В озерах преобладают особи младших возрастных групп (0+), но отлов их не проводился вслед-

ствие того, что особи младших возрастных групп только приспосабливаются к среде обитания и их морфофизиологические показатели могут быть недостоверными. По этой причине мы ставили сети на рыб размером 30 мм и более. Особей окуня обыкновенного старше 5 лет мы не обнаружили в данных водоемах.

С увеличением возраста окуня индекс печени в уловах *P. fluviatilis* в 2019 г. имеет тенденцию к росту: в 2021 г. индекс увеличился на 15–30 % в выборках разных возрастных групп. Но наблюдается общая тенденция – увеличение индекса по всем возрастам с 2019 по 2021 гг. Более наглядно это видно на рис. 2. Как видно из представленной диаграммы, у младших возрастных групп индекс высокий, т. к. организм приспосабливается к среде обитания. С возраста 2+ в 2019 г. индекс печени стабильно растет, что говорит о проблеме накопления тяжелых металлов в печени окуня обыкновенного с возрастом. В 2021 г. тенденция не так ярко выражена, но индекс печени превышает аналогичный

показатель 2019 г., следовательно, идет увеличение значения индекса органа как с увеличением возраста рыбы, так и во временном периоде.

В ходе статистического анализа нами были получены фактические значения *t*-критерия Стьюдента, которые сравнивались с теоретическим значением. При уровне значимости 5 % ($p = 0,05$) фактический показатель *t*-критерия превышает теоретический, т. е. показатели всех индексов имеют достоверные отличия. Увеличивая степень значимости до 1 % ($p = 0,01$), в большинстве фактических показателей *t*-критерия они также превышают теоретические значения, за исключением возраста 2+.

Из литературных источников известно, что эколого-морфологические показатели служат отличным подтверждением состояния среды [13, 14].

Для более детального исследования образцы печени рыб были проанализированы на содержание тяжелых металлов. Результаты анализа представлены на рис. 3.

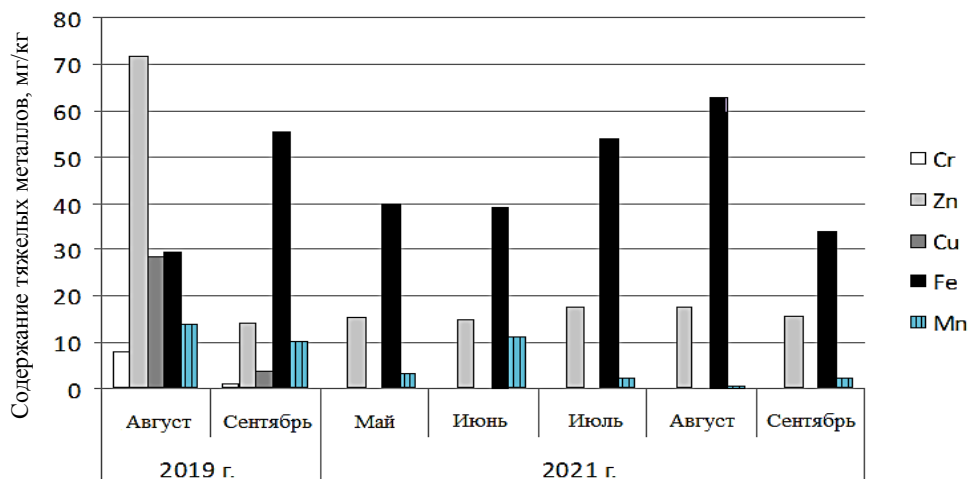


Рис. 3. Содержание тяжелых металлов, определенное атомно-абсорбционным методом, в печени окуня обыкновенного

Fig. 3. The content of heavy metals determined by atomic absorption method in the common perch liver

Содержание свинца, мышьяка, ртути, цинка, меди, никеля и кадмия в печени рыб превышает ПДК. Содержание кадмия в печени окуня обыкновенного превышает ПДК на 0,07 мг/кг (превышение составляет 30 %). Валовое содержание хрома в печени рыб превышает ПДК на 0,23–0,78 мг/кг (превышение на 56 %). Превышение ПДК по железу в образцах печени окуня обыкновенного составляет 4,7–68,14 мг/кг (более чем в 2,4 раза).

Наибольшее превышение содержания в печени окуня обыкновенного наблюдается по цинку (до 82 %, 22,94–73,59 мг/кг) и меди (превышение до 40 %, 2,4–4,81 мг/кг). Содержание никеля во всех

исследуемых образцах не превышает 0,02 мг/кг. Содержание хрома в печени рыб находится примерно на одном уровне и составляет 0,79–0,98 мг/кг (превышение более чем на 90 %). Превышение по данному элементу отмечено по всем пробам в течение ряда лет (см. рис. 3). Концентрация кобальта в исследуемых образцах составляет менее 0,1 мг/кг (не превышает ПДК). Содержание марганца в исследуемых образцах колебалось от 0,36 до 7,65 мг/кг (превышение в 3 раза).

Наибольшее содержание большинства элементов (кроме железа) в печени рыб отмечено в августе, что

мы связываем с особенностями гидрологического режима водоемов и климатическими факторами.

По данным других авторов [15], печень других рыб накапливала большее количество исследуемых тяжелых металлов по сравнению с печенью окуня обыкновенного, за исключением таких металлов, как ртуть и хром.

На примере индекса печени мы выявили тенденцию к увеличению органа с увеличением возраста рыбы. Исходя из полученных результатов, можно предположить, что с увеличением антропогенной нагрузки на водоем местная ихтиофауна начинает приспосабливаться к изменяющимся условиям. На организменном уровне происходит накопление токсинов в печени, что впоследствии может отразиться и на других жизненно важных органах. Следовательно, развитие внутренних органов рыб определяется скоростью роста видов, видовой спецификой отдельных форм, а в некоторых случаях и наслед-

ственно закрепленными особенностями тех или иных популяций вида, и конкретное выражение изученных признаков в значительной мере обуславливается непосредственным воздействием окружающей среды.

Заключение

Индекс печени окуня обыкновенного в озерах Большое и Столбовое системы Сорокозерки в течение двух лет исследований имеет тенденцию к увеличению, по отдельным возрастам до 30 %. С возраста 2+ индекс печени стабильно растет.

Содержание свинца, мышьяка, ртути, цинка, меди, никеля и кадмия в печени рыб превышает ПДК. Наибольшее превышение ПДК отмечено по железу в образцах печени окуня обыкновенного и составляет 4,7–68,14 мг/кг.

Список источников

1. Демина Л. Л., Боков Д. А. Оценка эколого-морфологических параметров мелких млекопитающих в условиях техногенного воздействия // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2007. № 12. С. 21–26.
2. Кулаченко В. П., Кулаченко И. В., Исаев Р. А., Манько Н. Н. Развитие иммунокомпетентных и детоксикационных органов рыб // Рыб. хоз. 2012. № 6. С. 64–66.
3. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр эколог. политики России, Центр здоровья среды, 2000. 98 с.
4. Захаров В. М., Чубинишвили А. Т., Дмитриев С. Г. и др. Здоровье среды: практика оценки. М.: Центр эколог. политики России, 2000. 320 с.
5. Никольский Г. В. Частная ихтиология: учеб. для вузов по специальности «Ихтиология». М.: Высш. шк., 1971. 472 с.
6. Веселов Е. А. Определитель пресноводных рыб фауны СССР. М.: Просвещение, 1977. 238 с.
7. Попов П. А. Рыбы Сибири: распространение, экология, вылов: моногр. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 2007. 526 с.
8. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

9. Кириллов А. Ф. Практическое пособие по сбору материалов для изучения рыб: учеб. пособие по спецкурсу «Ихтиология». Якутск: Изд-во ЯГУ, 2002. Ч. 1. 33 с.
10. Никольский Г. В. Экология рыб: учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1974. 368 с.
11. Шварц С. С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных животных // Зоолог. журн. 1958. Т. 37, вып. 2. С. 610–625.
12. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
13. Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск: Наука, 1968. 387 с.
14. Łuczyńska J., Tońska E., Paszczyk B., Łuczyński M. J. The relationship between biotic factors and the content of chosen heavy metals (Zn, Fe, Cu and Mn) in six wild freshwater fish species collected from two lakes (Łańskie and Pluszne) located in northeastern Poland // Iranian journal of fisheries sciences. 2020. V. 19, no. 1. P. 421–442. DOI: 10.22092/ijfs.2019.118904.
15. Девяткин Г. В., Кобцева А. А. Морфофизиологические индексы *Carassius gibelio* и *Perca fluviatilis* // Вестн. Хакас. гос. ун-та им. Н. Ф. Катанова. 2022. Т. 1 (39). С. 17–20.

References

1. Demina L. L., Bokov D. A. Otsenka ekologo-morfologicheskikh parametrov melkikh mlekopitaiushchikh v usloviakh tekhnogenogo vozdeistviia [Assessment of ecological and morphological parameters of small mammals in conditions of technogenic impact]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2007, no. 12, pp. 21-26.
2. Kulachenko V. P., Kulachenko I. V., Isaev R. A., Man'ko N. N. Razvitie immunokompetentnykh i detoksikatsionnykh organov ryb [Development of immunocompetent and detoxifying organs of fish]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2012, no. 6, pp. 64-66.
3. Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I. i dr. *Zdorov'e sredy: metodika otsenki* [Environmental health:

- assessment methodology]. Moscow, Tsentr ekolog. politiki Rossii, Tsentr zdorov'ia sredy, 2000. 98 p.
4. Zakharov V. M., Chubinishvili A. T., Dmitriev S. G. i dr. *Zdorov'e sredy: praktika otsenki* [Environmental health: Assessment practice]. Moscow, Tsentr ekolog. politiki Rossii, 2000. 320 p.
5. Nikol'skii G. V. *Chastnaia ikhtiologiya: uchebnik dlia vuzov po spetsial'nosti «Ikhtiologiya»* [Private ichthyology: textbook for universities in the specialty "Ichthyology"]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1971. 472 p.
6. Veselov E. A. *Opredelitel' presnovodnykh ryb fauny SSSR* [Determinant of freshwater fish fauna of the USSR]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1977. 238 p.

7. Popov P. A. *Ryby Sibiri: rasprostranenie, ekologiya, vylov: monografiya* [Siberian fish: distribution, ecology, catch: monograph]. Novosibirsk, Izd-vo Novosib. gos. un-ta, 2007. 526 p.

8. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniiu ryb (pre-imushchestvenno presnovodnykh)* [Guidelines for the study of fish (mainly freshwater)]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1966. 376 p.

9. Kirillov A. F. *Prakticheskoe posobie po sboru materialov dlia izucheniia ryb: uchebnoe posobie po spetskursu «Ikhtologiya»* [Practical guide for collecting materials for the study of fish: a textbook on the special course "Ichthyology"]. Yakutsk, Izd-vo IaGU, 2002. Part 1. 33 p.

10. Nikol'skii G. V. *Ekologiya ryb: uchebnoe posobie* [Ecology of fish: a textbook]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1974. 368 p.

11. Shvarts S. S. Metod morfofiziologicheskikh indikatorov v ekologii nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh [The method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates]. *Zoologicheskii zhurnal*, 1958, vol. 37, iss. 2, pp. 610–625.

12. Lakin G. F. *Biometriia* [Biometrics]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1990. 352 p.

13. Shvarts S. S., Smirnov V. S., Dobrinskii L. N. *Metod morfofiziologicheskikh indikatorov v ekologii nazemnykh pozvonochnykh* [The method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates]. Sverdlovsk, Nauka Publ., 1968. 387 p.

14. Łuczyńska J., Tońska E., Paszczyk B., Łuczyński M. J. The relationship between biotic factors and the content of chosen heavy metals (Zn, Fe, Cu and Mn) in six wild freshwater fish species collected from two lakes (Łańskie and Pluszne) located in northeastern Poland. *Iranian journal of fisheries sciences*, 2020, vol. 19, no. 1, pp. 421-442. DOI: 10.22092/ijfs.2019.118904.

15. Devyatkin G. V., Kobtseva A. A. Morfofiziologicheskie indeksy *Carassius gibelio* i *Perca fluviatilis* [Morphophysiological indices of *Carassius gibelio* and *Perca fluviatilis*]. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. F. Katanova*, 2022, vol. 1 (39), pp. 17-20.

Статья поступила в редакцию 01.12.2022; одобрена после рецензирования 22.06.2023; принята к публикации 24.11.2023
The article was submitted 01.12.2022; approved after reviewing 22.06.2023; accepted for publication 24.11.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Геннадий Вячеславович Десяткин – кандидат биологических наук, доцент; преподаватель кафедры биологии; Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова; gena.dewyatkin@yandex.ru

Gennady V. Devyatkin – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Lecturer of the Department of Biology; Katanov Khakass State University; gena.dewyatkin@yandex.ru

Анастасия Алексеевна Кобцева – студент, направление обучения «Химия, биология»; Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова; kobtseva_2000@mail.ru

Anastasia A. Kobtseva – Student, training area of study Chemistry, Biology; Katanov Khakass State University; kobtseva_2000@mail.ru

