

Александра Александровна Паюта^{1✉}, Екатерина Александровна Флерова²,
Юлия Владимировна Зайцева³

^{1,2,3}Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

¹a.payuta@mail.ru

²katarinum@mail.ru

³zjv9@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЫШЦАХ ЛЕЩА ИЗ РАЗНЫХ ПЛЕСОВ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Цель исследования – определить концентрацию тяжелых металлов (Cd, Pb, Al, Cr, Cu, Mn, Fe, Co, Ni, V) в мышечной ткани леща из Шекснинского и Волжского плесов – районов Рыбинского водохранилища, отличающихся уровнем антропогенного воздействия. Задачи – выявить интенсивность аккумуляции тяжелых металлов в мышцах леща из этих плесов; оценить безопасность мяса для использования в пищу. Объектом исследования были половозрелые, примерно одноразмерные особи леща, выловленные тралом в нагульный период ($n = 40$). У рыб иссекали мышечную ткань и замораживали до проведения анализа. В лаборатории ткань высушивали при 60 °С до постоянной массы, содержание тяжелых металлов определяли на ОЭС ИСП Optima 2000 DV (Perkin-Elmer, США). Обнаружено, что в мышцах леща из Шекснинского плеса, подвергающегося большей антропогенной нагрузке, интенсивнее накапливались Al, Fe, Co. Подтверждена взаимосвязь накопления токсикантов в организме рыб и их негативного влияния на физиолого-биохимические показатели леща. Выявлена синхронность биоаккумуляции Fe в зависимости от их концентрации в донных отложениях. Получены следующие средние концентрации тяжелых металлов в мышцах леща из Рыбинского водохранилища: Cd – 0,005 мг/кг; Pb – 0,048; Al – 10,414; Cr – 0,149; Cu – 0,978; Mn – 0,631; Fe – 8,692; Co – 0,006 мг/кг. Содержание Ni и V оказалось ниже предела обнаружения. Полученные результаты соответствуют требованиям отечественных и международных стандартов, следовательно, мышцы леща безопасны для здоровья человека и могут употребляться в пищу.

Ключевые слова: лещ *Abramis brama*, тяжелые металлы, мышцы, Рыбинское водохранилище, Шекснинский плес, Волжский плес

Для цитирования: Паюта А.А., Флерова Е.А., Зайцева Ю.В. Содержание тяжелых металлов в мышцах леща из разных плесов Рыбинского водохранилища // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 103–108. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-103-108.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Государственного задания НИР № FENZ-2023-0004 Министерства науки и высшего образования РФ на период 2023–2027 гг.

Alexandra Alexandrovna Payuta^{1✉}, Ekaterina Alexandrovna Flerova², Yulia Vladimirovna Zaitsev³

^{1,2,3}Yaroslavl State University named after P.G. Demidov, Yaroslavl, Russia

¹a.payuta@mail.ru

²katarinum@mail.ru

³zjv9@mail.ru

HEAVY METAL CONTENT IN THE MUSCLE OF BREAM IN DIFFERENT REACHES OF THE RYBINSK RESERVOIR

The purpose of the study is to determine the concentration of heavy metals (Cd, Pb, Al, Cr, Cu, Mn, Fe, Co, Ni, V) in the muscle tissue of bream from the Sheksna and Volga reaches – areas of the Rybinsk reservoir, which differ in the level of anthropogenic impact. Tasks – to reveal the intensity of accumulation of heavy metals in the muscles of bream from these stretches; evaluate the safety of meat for human consumption. The object of the study were sexually mature, approximately the same size individuals of bream caught by trawl during the feeding period ($n = 40$). Fish were dissected muscle tissue and frozen until analysis. In the laboratory, the fabric was dried at 60 °C to constant weight, and the content of heavy metals was determined using an OES ICP Optima 2000 DV (Perkin-Elmer, USA). It was found that Al, Fe, and Co accumulated more intensively in the muscles of the bream from the Sheksna reach, which was subjected to a greater anthropogenic load. The relationship between the accumulation of toxicants in the body of fish and their negative impact on the physiological and biochemical parameters of bream has been confirmed. The synchronism of Fe bioaccumulation depending on their concentration in bottom sediments was revealed. The following average concentrations of heavy metals in the muscles of bream from the Rybinsk reservoir were obtained: Cd – 0.005 mg/kg; Pb – 0.048; Al – 10.414; Cr – 0.149; Cu – 0.978; Mn – 0.631; Fe – 8.692; Co – 0.006 mg/kg. The content of Ni and V turned out to be below the detection limit. The results obtained meet the requirements of domestic and international standards, therefore, bream muscles are safe for human health and can be eaten.

Keywords: *Abramis brama* bream, heavy metals, muscles, Rybinsk reservoir, Sheksna reach, Volga reach

For citation: Payuta A.A., Flerova E.A., Zaitseva Yu.V. Heavy metal content in the muscle of bream in different reaches of the Rybinsk reservoir // Bulliten KrasSAU. 2023;(1): 103–108. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-103-108.

Acknowledgments: the work has been supported by State Assignment Research No. FENZ-2023-0004 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the period 2023–2027.

Введение. Рыбы являются источником ценных белков, ряда витаминов и минералов, жирных кислот, особенно омега-3, необходимых для здоровья человека. По этой причине и благодаря высоким вкусовым качествам рыбные продукты играют важную роль в рационе людей. Однако возросшее загрязнение из-за промышленной и сельскохозяйственной деятельности, бытовых сточных вод оказывает влияние на гидробионтов, а загрязняющие вещества могут накапливаться в их теле [1, 2].

Рыбинское водохранилище – один из крупнейших искусственных водоемов России, в северо-восточной части которого находится индустриальный центр, откуда поступает большое количество сточных вод в район Шекснинского плеса. Донные отложения в этом участке аккумулируют тяжелые металлы и относятся к самым загрязненным по сравнению с другими плесами, в т. ч. наиболее удаленным от этого района Волжским плесом [3, 4]. Тяжелые металлы считаются устойчивыми соединениями и поступают в организм рыб по пищевым цепям, поэтому их влиянию наиболее подвержены бентофаги [5].

Самым массовым и распространенным видом рыб, питающимся бентосом, населяющим донные отложения, является лещ *Abramis brama*. Благодаря высокой численности этот вид имеет высокое рыбопромысловое значение в водохранилище. Поэтому изучение содержания тяжелых металлов в мышцах леща представляет интерес как в научном, так и хозяйственном аспекте.

Цель исследования – определение концентрации ряда тяжелых металлов в мышечной ткани леща из плесов Рыбинского водохранилища, отличающихся уровнем антропогенной нагрузки.

Задачи: выявить особенности накопления тяжелых металлов в мышцах леща из Шекснинского и Волжского плесов; сравнить полученные результаты с отечественными и международными стандартами.

Объекты и методы. Объектами исследования были особи леща, выловленные в Шекснинском и Волжском плесах, загрязненном и условно-чистом участках Рыбинского водохранилища соответственно. Рыб вылавливали тралом в нагульный период, всего было исследо-

вано 40 половозрелых, примерно одноразмерных особей. После вылова рыб измеряли, иссекли мышечную ткань и замораживали ее до проведения анализа.

В лаборатории пробу высушивали при 60 °С до постоянной массы. Концентрацию тяжелых металлов определяли на оптическом эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ОЭС ИСП) Optima 2000 DV (Perkin-Elmer, США). В мышцах получали содержание токсичных металлов – кадмия (Cd), свинца (Pb), алюминия (Al) и эссенциальных – хрома (Cr), меди (Cu), марганца (Mn), железа (Fe), кобальта (Co), никеля (Ni), ванадия (V).

Статистическую обработку полученных данных проводили в программе MS Excel 2007 с расчетом средних арифметических показателей и их ошибок ($M \pm m$). Различия считались статистически значимыми при $P \geq 0,95$.

Результаты и их обсуждение. В результате исследования выявлено, что в мышцах леща из Шекснинского плеса содержалось больше Al, чем в мышечной ткани особей из Волжского плеса. Различия в концентрации Pb в исследуемых тканях рыб из разных плесов было незначительным. Количество Cd в исследованных плесах было подобным (табл. 1).

Таблица 1

Содержание неэссенциальных тяжелых металлов в мышцах леща

Плес	Содержание, мг/кг влажного веса		
	Cd	Pb	Al
Шекснинский	0,005±0,001	0,064±0,014	13,330±3,992*
Волжский	0,006±0,001	0,036±0,005	8,471±2,773

Здесь и далее: (*) – статистически значимые различия между плесами, $P \geq 0,95$.

Донные отложения в Шекснинском плесе характеризуются более высоким содержанием Cd и Pb, чем в Волжском плесе, причем показатель по Pb превышает ПДК [3]. Концентрация Al в исследованных участках ниже порога токсического действия [4]. Вероятно, из-за большей антропогенной нагрузки на донные отложения Шекснинского плеса содержание Pb и Al в мышцах леща было выше именно в этом районе водохранилища. В мышцах исследованного нами леща содержание Cd и Pb было ниже, Al – выше, чем в мышечной ткани сорогидей из Волжского плеса [6, 7].

Известно, что неэссенциальные тяжелые металлы обладают токсическим действием на организм гидробионтов, они могут изменять пищевое поведение рыб, в результате чего снижается пищевая мотивация, нарушается обмен веществ [8, 9]. Ранее нами было показано, что у особей леща, обитающих в районах Рыбинского

водохранилища, характеризующихся повышенной антропогенной нагрузкой, обнаружены нарушения липидного и минерального обмена в мышцах и печени, а также снижение уровня потребления пищи и более низкие значения упитанности [5, 10]. Результаты данного исследования по определению тяжелых металлов в мышцах леща подтверждают взаимосвязь накопления токсикантов в организме рыб и их негативного влияния на физиолого-биохимические показатели особей.

В мышцах леща из Шекснинского плеса содержалось больше Fe и Co по сравнению с сорогидеями из Волжского плеса (табл. 2). Содержание Cu, Mn и Cr в мышечной ткани леща из исследованных плесов достоверно не отличалось. Концентрация Ni и V в мышечной ткани исследованных рыб была ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Содержание эссенциальных тяжелых металлов в мышцах леща

Плес	Содержание, мг/кг влажного веса						
	Cr	Cu	Mn	Fe	Co	Ni	V
Шекснинский	0,161±0,024	0,951±0,123	0,588±0,117	11,844±4,597	0,009±0,003	НПО	НПО
Волжский	0,141±0,018	0,996±0,179	0,660±0,042	6,590±1,362*	0,004±0,001*	НПО	НПО

Примечание: НПО – ниже пределов обнаружения.

В донных отложениях Шекснинского плеса ученые отмечали повышенное содержание Cr, Cu, Fe и более низкую концентрацию Mn и Ni, чем в Волжском плесе. Стоит отметить, что концентрация Cr и Cu в донных отложениях обоих плесов превышала ПДК, Ni – в Волжском плесе, Fe – в Шекснинском плесе [3, 11]. Концентрация Co в донных отложениях Рыбинского водохранилища не превышала нормативов [4]. Сравнение полученных нами данных и сведений о накоплении тяжелых металлов в донных отложениях Рыбинского водохранилища позволяет сделать вывод о синхронности биоаккумуляции Fe в зависимости от его количества в донных осадках. В мышцах исследованного леща содержалось больше Cr, Cu и Mn, но меньше Co и Ni, чем у сородичей из водоемов этой рыболовной зоны [6, 7].

Вне зависимости от плесов выявлена следующая закономерность интенсивности аккумуляции металлов в мышцах леща: $Ni = V < Co < Cd < Pb < Cr < Mn < Cu < Fe < Al$. Результаты нашего исследования по накоплению тяжелых металлов в мышечной ткани леща отличается от данных других авторов [2, 7]. Но преобладание Al над Pb и Cd в мышцах исследованного нами вида отмечают и в других водоемах [1, 6].

В среднем мышцы леща из Рыбинского водохранилища содержали: Cd – 0,005 мг/кг; Pb – 0,048; Al – 10,414; Cr – 0,149; Cu – 0,978; Mn – 0,631; Fe – 8,692; Co – 0,006 мг/кг. Эти значения соответствуют требованиям отечественных и международных стандартов, поэтому мясо леща из Рыбинского водохранилища безопасно для использования в пищу [12]. Необходимо отметить, что многие тяжелые металлы интенсивнее накапливаются в метаболически активных органах, например печени и почках [6, 13, 14]. Вероятно, поэтому содержание большинства тяжелых металлов в мышцах леща из плесов водохранилища достоверно не отличалось и не превышало ПДК. По этой причине необходимо дальнейшее изучение содержания и динамики тяжелых металлов в организме леща, в т. ч. в других органах и тканях.

Заключение. В мышечной ткани леща из Рыбинского водохранилища содержалось: Cd – 0,005 мг/кг; Pb – 0,048; Al – 10,414; Cr – 0,149; Cu – 0,978; Mn – 0,631; Fe – 8,692; Co – 0,006 мг/кг. Концентрация Ni и V была ниже

предела обнаружения. Мышцы леща из района водохранилища с большим антропогенным воздействием характеризовались повышенным содержанием Al, Fe, Co. Обнаружена синхронность биоаккумуляции Fe в зависимости от его концентрации в донных отложениях. В целом содержание тяжелых металлов в исследованной ткани соответствует требованиям отечественных и международных стандартов, поэтому мышцы леща можно употреблять в пищу. Будущие исследования должны включать в себя аналогичный анализ, включающий метаболически активные органы.

Список источников

1. Accumulation of heavy metals in crayfish and fish from selected Czech reservoirs / I. Kuklina [et al.] // BioMed research international. 2014. V. 2014. 9 p.
2. Spatial monitoring of heavy metals in the inland waters of Serbia: a multispecies approach based on commercial fish / A. Milošević [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2016. V. 23, № 10. P. 9918–9933.
3. Томилиная И.И., Ганеева М.В., Ложкина Р.А. Экотоксикологическая оценка качества воды и донных отложений // Структура и функционирование экосистемы Рыбинского водохранилища в начале XXI века. М.: РАН, 2018. С. 371–388.
4. Томилиная И.И., Ганеева М.В., Ложкина Р.А. Оценка качества воды и донных отложений каскада водохранилищ реки Волга по показателям токсичности и химического состава // Тр. Института биологии внутренних вод РАН. 2018. № 81 (84). С. 107–131.
5. Physiological Parameters of Bream (*Abramis brama* L.) in Parts of the Rybinsk Reservoir of Different Types / A.A. Payuta [et al.] // Inland Water Biology. 2019. V. 12, № 2. P. 217–224.
6. Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P., Gashkina N.A. Assessment of the geochemical background and anthropogenic load by bioaccumulation of microelements in fish // Water Resources. 2005. V. 32, № 6. P. 640–652.
7. Ганеева М.В. Биогеохимическое распределение тяжелых металлов в экосистеме Рыбинского водохранилища // Современное состояние экосистемы Рыбинского водо-

- хранилища. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 42–49.
8. Касумян А.О. Воздействие химических загрязнителей на пищевое поведение и чувствительность рыб к пищевым стимулам // Вопросы ихтиологии. 2001. Т. 41, № 1. С. 82–95.
9. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99–108.
10. Паюта А.А. Содержание и распределение липидов, белка, углеводов, минеральных веществ и воды в тканях рыб водохранилищ Верхней Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ярославль, 2021.
11. Григорьева И.Л. Негативное влияние крупных промышленных комплексов на поверхностные воды (на примере Череповецкого промузла) // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: мат-лы докл. XIII Общерос. науч.-практ. конф. и выставки. М.: Геомаркетинг, 2017. С. 150–156.
12. Оценка антропогенного загрязнения р. Енисей по содержанию металлов в основных компонентах экосистемы на участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска / О.В. Анищенко [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2010. Т. 3, № 1. С. 82–98.
13. Stráňai I., Andreji J. Heavy metals (Co, Ni, Cr, Pb, Cd) content in tissues of Nitra river fishes // Slovak Journal of Animal Science. 2007. V. 40, № 2. P. 97–104.
14. Özparlak H., Arslan G., Arslan E. Determination of some metal levels in muscle tissue of nine fish species from the Beyşehir Lake, Turkey // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2012. V. 12, № 4. P. 761–770.
1. Accumulation of heavy metals in crayfish and fish from selected Czech reservoirs / I. Kuklina [et al.] // BioMed research international. 2014. V. 2014. 9 p.
2. Spatial monitoring of heavy metals in the inland waters of Serbia: a multispecies approach based on commercial fish / A. Milošković [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2016. V. 23, № 10. P. 9918–9933.
3. Tomilina I.I., Gapeeva M.V., Lozhkina R.A. 'Ekotoksikologicheskaya ocenka kachestva vody i donnyh otlozhenij // Struktura i funkcionirovanie 'ekosistemy Rybinskogo vodohranilishcha v nachale XXI veka. M.: RAN, 2018. S. 371–388.
4. Tomilina I.I., Gapeeva M.V., Lozhkina R.A. Ocenka kachestva vody i donnyh otlozhenij kaskada vodohranilisch reki Volga po pokazatelyam toksichnosti i himicheskogo sostava // Tr. Instituta biologii vnutrennih vod RAN. 2018. № 81 (84). S. 107–131.
5. Physiological Parameters of Bream (*Abramis brama* L.) in Parts of the Rybinsk Reservoir of Different Types / A.A. Payuta [et al.] // Inland Water Biology. 2019. V. 12, № 2. P. 217–224.
6. Moiseenko T.I., Kudryavtseva L.P., Gashkina N.A. Assessment of the geochemical background and anthropogenic load by bioaccumulation of microelements in fish // Water Resources. 2005. V. 32, № 6. P. 640–652.
7. Gapeeva M.V. Biogeoхимическое распределение тяжелых металлов в 'экосистеме Рыбинского водохранилища // Современное состояние 'экосистемы Рыбинского водохранилища. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 42–49.
8. Kasumyan A.O. Vozdejstvie himicheskikh zagryaznitelej na pischevoe povedenie i chuvstvitel'nost' ryb k pischevym stimulam // Voprosy ihtologii. 2001. T. 41, № 1. S. 82–95.
9. Golovanova I.L. Vliyanie tyazhelyh metallov na fiziologo-biohimicheskij status ryb i vodnyh bespozvonochnyh // Biologiya vnutrennih vod. 2008. № 1. S. 99–108.
10. Payuta A.A. Soderzhanie i raspredelenie lipidov, belka, uglevodov, mineral'nyh veschestv i vody v tkanyah ryb vodohranilisch Verhnej Volgi: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Yaroslavl', 2021.
11. Grigor'eva I.L. Negativnoe vliyanie krupnyh promyshlennyh kompleksov na poverhnostnye vody (na primere Cherepoveckogo promuzla) // Perspektivy razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii: mat-ly dokl. XIII Obscheros. nauch.-prakt. konf. i vystavki. M.: Geomarketing, 2017. S. 150–156.
12. Ocenka antropogennogo zagryazneniya r. Enisej po soderzhaniyu metallov v osnovnyh

References

- komponentah `ekosistemy na uchastkah, raspolozhennyh vyshe i nizhe g. Krasnoyarska / O.V. Anischenko [i dr.] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya. 2010. T. 3, № 1. S. 82–98.
13. *Stráňai I., Andreji J.* Heavy metals (Co, Ni, Cr, Pb, Cd) content in tissues of Nitra river fishes // Slovak Journal of Animal Science. 2007. V. 40, № 2. P. 97–104.
14. *Özparlak H., Arslan G., Arslan E.* Determination of some metal levels in muscle tissue of nine fish species from the Beyşehir Lake, Turkey // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2012. V. 12, № 4. P. 761–770.

Статья принята к публикации 12.10.2022 / The article accepted for publication 12.10.2022.

Информация об авторах:

Александра Александровна Паюта¹, инженер научно-образовательной лаборатории молекулярной генетики и биотехнологии, кандидат биологических наук

Екатерина Александровна Флерова², старший научный сотрудник Научной лаборатории эколобиомониторинга и контроля качества, кандидат биологических наук, доцент

Юлия Владимировна Зайцева³, старший научный сотрудник Научной лаборатории эколобиомониторинга и контроля качества, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Alexandra Alexandrovna Payuta¹, Engineer at the Scientific and Educational Laboratory of Molecular Genetics and Biotechnology, Candidate of Biological Sciences

Ekaterina Alexandrovna Flerova², Senior Researcher, Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Yulia Vladimirovna Zaitseva³, Senior Researcher, Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, Candidate of Biological Sciences

