

Краткое сообщение

УДК 597:574:504.455

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-2-232-239>

ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РЫБ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ОТ ВОЗРАСТА И ДЛИНЫ ТЕЛА

А. А. Ревухин^{1, 2✉}, Д. И. Постнов¹, В. А. Гремячих³,
М. И. Базаров³, Г. В. Шурганова², В. Т. Комов³

¹ Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»

Россия, 603116, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, д. 31

² Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского

Россия, 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23

³ Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок

Поступила в редакцию 26.12.2024 г., после доработки 17.01.2025 г., принята 17.01.2025 г., опубликована 24.07.2025 г.

Аннотация. Представлены данные содержания ртути (Hg) в мышечной ткани некоторых видов рыб (*Perca fluviatilis*, *Rutilus rutilus*, *Blicca bjoerkna*, *Alburnus alburnus*, *Clupeonella cultriventris*), обитающих в Горьковском водохранилище, в зависимости от длины их тела. Исследования проводились в 2023 г. на одиннадцати станциях речного, озёрно-речного и озёрного участков Горьковского водохранилища. Выявлены различия содержания Hg у мелких и крупных особей окуня, более интенсивное накопление ртути наблюдалось у молодых особей. Содержание металла в мышцах исследованных видов рыб уменьшалось в следующей последовательности: окунь речной ≥ тюлька ≥ уклейка ≥ густера ≥ плотва обыкновенная. Показано, что концентрация Hg в мышцах рыб Горьковского водохранилища находится на уровне, сопоставимом с данными, зафиксированными в других водоемах.

Ключевые слова: рыбы, длина тела, возраст, концентрация ртути, Горьковское водохранилище

Соблюдение этических норм. Протоколы с использованием животных были одобрены Комиссией по биоэтике Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского (протокол № 68/1 от 01.03.2023 г.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Для корреспонденции. Лаборатория водных биологических ресурсов Нижегородского филиала ФГБНУ «ВНИРО».

ORCID и e-mail адреса: Ревухин Александр Андреевич: <https://orcid.org/0009-0003-0370-2059>, cahek19981110@gmail.com; Постнов Дмитрий Иванович: <https://orcid.org/0009-0001-8582-8338>, postnov-di@mail.ru; Гремячих Вера Алексеевна: <https://orcid.org/0009-0001-8896-9005>, grva@list.ru; Базаров Михаил Иванович: <https://orcid.org/0000-0002-6340-4411>, bazarov2009@gmail.com; Шурганова Галина Васильевна: <https://orcid.org/0000-0002-0253-6621>, galina.nngu@mail.ru; Комов Виктор Трофимович: <https://orcid.org/0000-0001-9124-7428>, vkomov@ibiw.ru.

ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

Для цитирования. Ревухин А. А., Постнов Д. И., Гремячих В. А., Базаров М. И., Шурганова Г. В., Комов В. Т. Зависимость содержания ртути в мышечной ткани рыб Горьковского водохранилища от возраста и длины тела // Поволжский экологический журнал. 2025. № 2. С. 232 – 239. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-2-232-239>

Введение. Ртуть широко распространена в окружающей среде в различных формах и вызывает значительный интерес исследователей, особенно в контексте её содержания в водных биоресурсах, таких как рыба (Komov et al., 2014; Nemova et al., 2014). В настоящее время ртуть признана одним из приоритетных загрязнителей на международном уровне, что подтверждается Минаматской конвенцией 2016 г. (Ovsepyan, 2024).

Содержание ртути в рыбе зависит от её режима питания и места в пищевой цепи (Lyubchenko et al., 2024). Особую опасность представляет метилртуть, которая активно накапливается в мышечной ткани рыб. Потребление такой рыбы является актуальной проблемой, поскольку высокие концентрации ртути могут вызывать серьёзные последствия для здоровья человека, вплоть до летального исхода (Thangam et al., 2016; Golovanova, 2018).

Накопление ртути в тканях рыб многих водоемов, в которых проводится промысловый лов рыбы, до сих пор изучено недостаточно. Это касается и Горьковского водохранилища. Предыдущие единичные исследования на Горьковском водохранилище показали, что уровни ртути в рыбе в большинстве случаев не превышают установленные нормы за редкими исключениями (Lozhkina et al., 2021). Однако употребление рыбы, добытой в промысловых целях, может представлять потенциальный риск для здоровья человека в долгосрочной перспективе из-за кумуляции этого токсичного элемента (Gorbunov et al., 2018).

Цель настоящей работы – анализ взаимосвязи между концентрацией ртути в мышечной ткани некоторых видов рыб, обитающих в Горьковском водохранилище, их возрастом и длиной тела.

Материал и методы. Отлов ихтиологического материала проводили в летне-осенний период 2023 г. на одиннадцати станциях Горьковского водохранилища, расположенных на его речном, озёрно-речном и озёрном участках. На речном участке работы проводились в Ярославской области у пос. Норское, в Костромской области у пос. Паточного Завода, а также в Ивановской области в устьях рек Сунжа и Мера. На озёрно-речном участке исследования проводились в Ивановской области в устьях р. Желвата и Елпать, а также у Фетининских островов. В Костромской области работы велись на участке, расположенном в пяти километрах выше устья р. Немда, а в Нижегородской области – в районе дер. Селянцево. На озёрном участке материал собирали в Нижегородской области у г. Пучеж и в устье р. Ячменка. Проведённые исследования охватывали значительную акваторию Горьковского водохранилища, что позволило получить данные о состоянии ихтиофауны на разных типах участков и выявить особенности ихтиологического состава в каждом из них.

Вылов рыб осуществляли с помощью ставных стационарных сетей и неводов. Всего было поймано 289 экз. различных видов рыб: речной окунь (*Perca fluviatilis*

L., 1758), обыкновенная плотва (*Rutilus rutilus* L., 1758), густера (*Blicca bjoerkna* L., 1758), уклейка (*Alburnus alburnus* L., 1758) и тюлька (*Clupeonella cultriventris* Nordmann, 1840).

Рыбу замораживали при температуре -20°C и доставляли в лабораторию для дальнейшей подготовки и обработки проб. Перед анализом в лабораторных условиях измеряли длину и массу тела, определяли пол и возраст согласно стандартным ихтиологическим методикам (Pravdin, 1966; Bryuzgin, 1969; Kotlyar, 2004). Образцы мышц отбирали из средней части тела между боковой линией и спинным плавником (Komov et al., 2004).

Содержание ртути в образцах определяли методом пиролиза, используя ртутный анализатор РА-915+ с приставкой ПИРО (ООО «Льюмэкс», Санкт-Петербург, Россия). Анализы проводились в трёх повторностях без предварительной подготовки проб. Для контроля точности аналитических измерений применяли сертифицированные биологические материалы DORM-4 и DOLM-5 (Институт химии окружающей среды, Оттава, Канада).

При использовании описательной статистики применяли среднюю арифметическую, стандартное отклонение (SD) и размах варьирования ($min - max$). Зависимость концентрации ртути от возраста и длины рыб оценивали методом корреляционного анализа (корреляционный анализ, коэффициент корреляции Пирсона, r). Статистические различия признавали значимыми при $p < 0.05$.

Обработка полученных результатов выполнялась с использованием специализированной программной среды «RStudio» (RStudio Inc.).

Результаты и их обсуждение. По результатам биологического анализа установлено, что длина тела исследуемых экземпляров рыб варьировала в пределах 4.0 – 22.3 см, масса – от 0.7 до 248.6 г, а возраст – от 0+ до 6+ лет. Концентрация ртути (Hg) в мышечной ткани колебалась в диапазоне от 0.013 до 0.382 мг/кг сырой массы.

Сравнительный анализ показал, что содержание ртути в мышцах рыб снижалось в следующем порядке: окунь $\geq$ тюлька $\geq$ уклейка $\geq$ густера $\geq$ плотва. Максимальные концентрации ртути зарегистрированы у речного окуня. Его длина составляла от 5.8 до 22.3 см (в среднем 11.8 ± 0.4 см), а содержание Hg – от 0.013 до 0.382 мг/кг (в среднем 0.063 ± 0.005 мг/кг). У тюльки уровень ртути был несколько ниже: в среднем 0.062 ± 0.005 мг/кг (диапазон 0.016 – 0.152 мг/кг), при средней длине 5.6 ± 0.2 см (4.0 – 8.5 см). Уклейка имела концентрацию Hg в пределах 0.032 – 0.100 мг/кг (в среднем 0.060 ± 0.005 мг/кг), а её длина колебалась от 6.7 до 11.5 см (в среднем 8.7 ± 0.4 см). У густеры ртуть в мышцах накопилась в меньших количествах: от 0.021 до 0.094 мг/кг (в среднем 0.053 ± 0.005 мг/кг) при длине от 5.3 до 18.8 см (в среднем 12.8 ± 0.8 см). Плотва показала минимальные значения содержания ртути: от 0.021 до 0.094 мг/кг (в среднем 0.045 ± 0.002 мг/кг), с длиной тела от 4.5 до 20.7 см (в среднем 12.4 ± 0.6 см) (таблица).

Наиболее крупные экземпляры среди исследованных рыб зарегистрированы у речного окуня. Его возраст варьировал от 0+ до 6+ лет. Возрастные характеристики плотвы и густеры совпадали с данными для окуня (0+ – 6+ лет). Возраст тюльки находился в пределах 1+ – 4+ лет. Уклейка характеризовалась возрастом от 0+ до

ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

3+ лет. Несмотря на самый низкий уровень содержания ртути, размерные показатели плотвы были близки к показателям окуня (см. таблицу).

Зависимость концентрации ртути от возраста и длины рыб Горьковского водохранилища

Table. Mercury concentration dependence on the age and length of fish in the Gorky reservoir

Вид / Species	Кол-во, экз. / Number, pcs.	Возраст, лет / Age, years	Длина, см / Length, cm	Ртуть (Hg), мг/кг / Mercury (Hg), mg/kg
<i>Perca fluviatilis</i>	134	от 0+ до 6+	11.6±0.4 5.8–22.3	0.063±0.005 0.013–0.382
<i>Clupeonella cultriventris</i>	40	от 1+ до 4+	5.6±0.2 4.0–8.5	0.062±0.005 0.016–0.152
<i>Alburnus alburnus</i>	21	от 0+ до 3+	8.8±0.3 6.7–11.5	0.060±0.005 0.032–0.100
<i>Blicca bjoerkna</i>	23	от 0+ до 6+	12.8±0.8 5.3–18.8	0.053±0.005 0.021–0.094
<i>Rutilus rutilus</i>	71	от 0+ до 6+	12.1±0.5 4.5–20.7	0.044±0.002 0.021–0.094

Анализ полученных данных показал, что с увеличением длины тела рыб наибольшее накопление ртути в мышечной ткани отмечено у тюльки и уклейки, затем следуют окунь и плотва, а минимальные значения зафиксированы у густеры (рис. 1). Концентрация Hg в мышцах рыб (за исключением густеры) значимо положительно коррелировала с длиной тела ($r = 0.49 - 0.79$, $p < 0.001$ в зависимости от вида). Среди выловленных рыб преобладали особи длиной до 14 см. Для этого размерного диапазона все виды, кроме плотвы, демонстрировали положительную корреляцию между длиной тела и содержанием ртути в мышцах. У плотвы в этом диапазоне наблюдалось снижение концентрации ртути с увеличением длины тела, что может быть связано с особенностями накопления металла, а именно, с низким уровнем накопления ртути по мере роста рыб этого вида.

Иную картину демонстрирует окунь. Выборка была разделена на две размерные группы: особи длиной до 10 см и более 10 см, что связано с изменением объектов питания. В обеих группах содержание ртути статистически значимо коррелировало с длиной тела. Чётко прослеживалась тенденция к интенсивному накоплению ртути у молодых особей, мел-

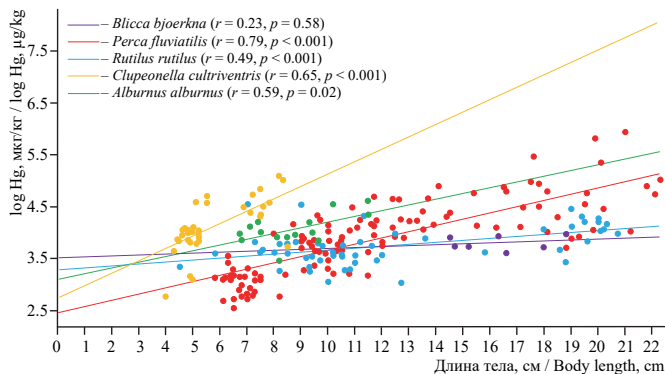


Рис. 1. Зависимость содержания ртути (log Hg) в мышцах всех исследуемых видов рыб от их длины тела

Fig. 1. Dependence of the mercury content (log Hg) in the muscles of all studied fish species on their body length

кие особи (до 10 см) накапливали ртуть интенсивнее по сравнению с крупными (рис. 2).

По результатам анализа установлено, что различий в зависимости содержания металла от длины по выборкам рыб из озёрно-речного и озёрного участков водохранилища не выявлено. Поэтому анализировались результаты работы, полученные на всей исследованной акватории водохранилища.

Возраст исследованных рыб находился в диапазоне от 0 до 6+ лет, включая ювенильные, молодые и взрослые стадии развития. Наибольшие показатели массы зафиксированы у окуня, плотвы и густеры, в то время как минимальные значения отмечены у тюльки и уклейки. Возрастная структура рыб также выявила положительную корреляцию между возрастом и содержанием ртути для всех исследованных видов рыб. Коэффициенты корреляции, как правило, варьировали в пределах умеренных и средних значений ($p \leq 0.01$), за исключением густеры, где связь была выражена слабее ($r = 0.21$; $p \leq 0.35$).

Уровни накопления ртути в мышцах рыб Горьковского водохранилища соответствуют или близки к ранее установленным значениям для пресноводных водоемов европейской части России (Stepanova, Komov, 1997; Bolotova et al., 2015; Lozhkina et al., 2021). Согласно нормативам РФ, содержание ртути у исследованных рыб в целом не превышает допустимые пределы. Нормы для пресноводных хищных рыб устанавливают предельное содержание ртути на уровне 0.6 мг/кг, а для нехищных (мирных) рыб – на уровне 0.3 мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078-01, 2001). По результатам исследования лишь у двух особей окуня было обнаружено содержание ртути выше 0.3 мг/кг.

Исследование уровня содержания ртути в мышечной ткани рыб Горьковского водохранилища подтверждает важность мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами, в частности ртутью, для оценки экологических рисков, связанных с накоплением и распределением ртути, а также для разработки стратегий

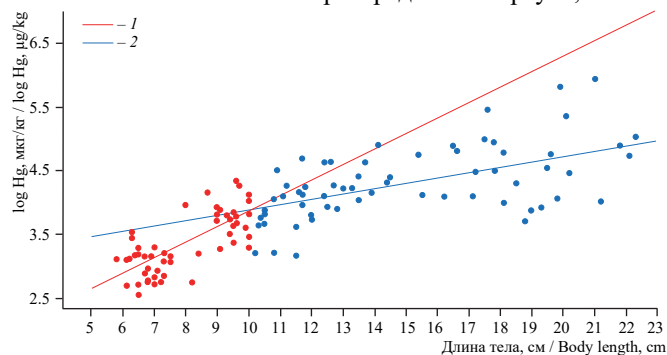


Рис. 2. Зависимость содержания ртути (log Hg) в мышцах окуня от длины тела: 1 – до 10 см ($r = 0.74$, $p < 0.001$), 2 – более 10 см ($r = 0.56$, $p < 0.001$)

Fig. 2. Dependence of the mercury content (log Hg) in perch muscles on body length: 1 – in the range up to 10 cm ($r = 0.74$, $p < 0.001$), 2 – above 10 cm ($r = 0.56$, $p < 0.001$)

минимизации её воздействия на здоровье человека. Допустимое ежедневное поступление метилртути, основной формы ртути в рыбе, в организм человека равно 0.3 мг (Mercury..., 1979). Полученные данные о положительной корреляции между длиной и возрастом рыб с содержанием ртути подчеркивают, что с увеличением этих показателей наблюдается интенсивное накопление металла.

Несмотря на наличие ртути в тканях рыб, содержание металла в большинстве случаев не превышает установленных нормативных пределов, что свидетельствует о безопасности потребления исследованных видов рыб для человека. Тем не менее, выявление особей окуня с превышением допустимых значений ртути требует дальнейшего мониторинга, особенно для хищных видов, процесс питания которых может способствовать накоплению более высоких концентраций ртути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Bolotova L., Tropin N., Shurganova G. Bioindication of mercury pollution of water objects of the Vologda and Nizhni Novgorod regions (by the example of fishes). *Ecology and Industry of Russia*, 2015, vol. 19, no. 5, pp. 13–19 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-5-13-19>
- Bryuzgin V. L. *Methods for Studying the Growth of Fish by Scales, Bones and Otoliths*. Kiev, Naukova dumka, 1969. 187 p. (in Russian).
- Golovanova I. L. Influence of mercury on carbohydrate hydrolysis in fish and mammals. In: *Rtut' i drugie tyazhelye metally v ekosistemakh. Sovremennye metody issledovaniya sodержaniya tyazhelykh metallov v okruzhayushchei srede: tezisy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii i shkoly-seminara dlya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. Otv. red. E. S. Ivanova* [Ivanova E. S., ed. Modern Methods of Research of Heavy Metals Content in the Environment: Abstracts of the All-Russian scientific conference and school-seminar for young scientists, postgraduates and students]. Cherepovets, Cherepovets State University Publ., 2018, pp. 16–17 (in Russian).
- Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Sheshukov V. S. Bioaccumulation of mercury in tissues of freshwater fish. *Human Ecology*, 2018, no. 11, pp. 26–31 (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-11-26-31>
- Komov V. T., Stepanova I. K., Gremyachikh V. A. Mercury content in muscles of fish from North-West Russia: Causes of intensive accumulation and assessment of negative effect on human health. In: Flerova B. A., ed. *Actual Problems of Aquatic Toxicology*. Borok, Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences Publ., 2004, pp. 99–123 (in Russian).
- Komov V. T., Pronin N. M., Mendsaikhan B. Mercury content in muscles of fish of the Selenga River and lakes of its basin (Russia). *Inland Water Biology*, 2014, vol. 7, iss. 2, pp. 178–184. <https://doi.org/10.1134/S1995082914020059>
- Kotlyar O. A. *Metody rybokhozyaistvennykh issledovaniy (ikhtologiya)*. [Methods of Fisheries Research (Ichthyology)]. Rybnoye, Dmitrovsky Branch Astrakhan State Technical University Publ., 2004 180 p. (in Russian).
- Lozhkina R. A., Gremyachikh V. A., Antipov I. A., Komov V. T. Mercury in the muscles of bream reservoirs of the Volga cascade. *Biodiagnostics of the State of Natural and Natural-Man-made Systems: Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Kirov, Vyatka State University Publ., 2021, pp. 96–99 (in Russian).
- Lyubchenko E. N., Popova D. A., Dyachenko M. Yu., Timokhova A. V. Chronic mercury poisoning: A case in a cat when feeding sea fish. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2024, vol. 18, no. 1, pp. 47–56 (in Russian). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-1-47-56>
- Mercury in fish limits vary around the world. *Australian Fisheries*, 1979, vol. 38, no. 7, pp. 11–12.
- Nemova N. N., Lysenko L. A., Meshcheryakova O. V., Komov V. T. Mercury in fish: Biochemical indication. *Biosfera*, 2014, no. 2, pp. 176–186 (in Russian).
- Ovsepyan A. E. Mercury content in fish caught in the Northern Dvina below a pulp and paper mill. *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, 2024, no. 1, pp. 115–129 (in Russian). <https://doi.org/10.5922/gikbfu-2024-1-8>

А. А. Ревухин, Д. И. Постнов, В. А. Гремячих и др.

Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)*. Pod red. P. A. Dryagina, V. V. Pokrovskogo [Dryagin P. A., Pokrovsky V. V., eds. Guidelines for the Study of Fish (Mainly Freshwater)]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1966. 376 p. (in Russian).

SanPiN 2.3.2.1078-01 dated November 14, 2001 No. 36. *Hygienic Requirements for Food Safety and Nutritional Value*. Moscow, 2001. 269 p. (in Russian).

Stepanova I. K., Komov V. T. Mercury accumulation in fish from water bodies of the Vologodskaya oblast. *Russian Journal of Ecology*, 1997, vol. 28, no. 4, pp. 260–264.

Thangam Y., Umavathi S., Vysakh V. B. Investigation of mercury toxicity in haematological parameters to fresh water fish “*Cyprinus carpio*”. *International Journal of Science and Research*, 2016, vol. 5, iss. 2, pp. 1039–1043.

Dependence of the mercury content in the muscle tissue of fish from the Gorky reservoir on age and body length

**A. A. Revukhin^{1,2✉}, D. I. Postnov¹, V. A. Gremyachikh³,
M. I. Bazarov³, G. V. Shurganova², V. T. Komov³**

¹ Nizhni Novgorod Branch of the Federal State Budget Scientific Institution
“Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography”

31 Moskovskoe shosse, Nizhni Novgorod 603116, Russia

² National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

23 Gagarin Avenue, Nizhni Novgorod 603950, Russia

³ Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
Borok, Nekouzsky district, Yaroslavl oblast 152742, Russia

Received: December 26, 2024 / revised: January 17, 2025 / accepted: January 17, 2025 / published: July 24, 2025

Abstract. Data on the mercury (Hg) content in the muscle tissue of some fish species (*Perca fluviatilis*, *Rutilus rutilus*, *Blicca bjoerkna*, *Alburnus alburnus*, and *Clupeonella cultriventris*) are presented, they live in the Gorky reservoir, as depends on their body length. The research was conducted in 2023 at eleven stations of the river, lake-river and lake sections of the Gorky reservoir. Differences in the Hg content in small and large perch individuals were revealed, a more intense mercury accumulation being observed in young individuals. The metal content in the muscles of the studied fish species decreased in the following sequence: *Perca fluviatilis* $\geq$ *Clupeonella cultriventris* $\geq$ *Alburnus alburnus* $\geq$ *Blicca bjoerkna* $\geq$ *Rutilus rutilus*. The Hg concentration in the muscles of the fish from the Gorky reservoir is shown to be at a level comparable to the data recorded in other reservoirs.

Keywords: fish, body length, age, mercury concentration, Gorky reservoir

Ethics approval and consent to participate: Animal protocols were approved by the Bioethics Commission of the Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (protocol No. 68/1 dated March 1, 2023).

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Revukhin A. A., Postnov D. I., Gremyachikh V. A., Bazarov M. I., Shurganova G. V., Komov V. T. Dependence of the mercury content in the muscle tissue of fish from the Gorky reservoir on age and body length. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 2, pp. 232–239 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-2-232-239>

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Aquatic Biological Resources Nizhni Novgorod Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography”, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Aleksandr A. Revukhin: <https://orcid.org/0009-0003-0370-2059>, cahek19981110@gmail.com; Dmitry I. Postnov: <https://orcid.org/0009-0001-8582-8338>, postnov-di@mail.ru; Vera A. Gremyachikh: <https://orcid.org/0009-0001-8896-9005>, grva@list.ru; Michail I. Bazarov: <https://orcid.org/0000-0002-6340-4411>, bazarov2009@gmail.com; Galina V. Shurganova: <https://orcid.org/0000-0002-0253-6621>, galina.nngu@mail.ru; Viktor T. Komov: <https://orcid.org/0000-0001-9124-7428>, vko-mov@ibiw.ru.