

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНАХ РЫБ РАЗНЫХ ВОДОЁМОВ УСТЮЖЕНСКОГО РАЙОНА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024

Баженова Д.Э., Капустина В.Ю., Иванова Е.С.

Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация)

Аннотация. В данной статье рассматриваются уровни накопления и распределения ртути в тканях рыб разного трофического статуса из разных водных объектов (р. Молога, р. Чагодоша, оз. Ваня), расположенных в западной части Вологодской области, отличающейся благоприятными для процессов метилирования природно-климатическими условиями. Содержание ртути было определено в 108 пробах тканей 87 особей четырех видов рыб: плотва обыкновенная *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); синец *Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758); окунь речной *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758; щука обыкновенная *Esox lucius* Linnaeus, 1758. Общую концентрацию ртути измеряли на ртутном анализаторе РА-915М с приставкой ПИРО+ (нижний предел обнаружения ртути в образцах 0,001 мг/кг). Значения показателя ртути в тканях исследованных видов рыб варьирует в пределах от 0,02 до 1,7 мг/кг, сырой массы. Минимальные средние значения отмечены для преимущественно нехищного вида – плотвы (0,12 мг/кг, сырой массы), максимальные средние значения отмечены у типичного хищника – обыкновенной щуки (0,64 мг/кг, сырой массы) (у отдельных особей превышало 1,5 мкг/г). Промежуточные значения характерны для окуня и синца (в среднем 0,33 мг/кг, и 0,37 сырой массы соответственно). Установлено, что у 28% исследованных особей содержание ртути превышает нормативные уровни, действующие в Российской Федерации (0,3 мкг/г для нехищных видов и 0,6 мкг/г для хищных видов рыб).

Ключевые слова: ртуть; тяжелые металлы; Вологодская область; рыба; пищевые сети; предельно допустимая концентрация; плотва обыкновенная; *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); синец; *Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758); окунь речной; *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758; щука обыкновенная; *Esox lucius* Linnaeus, 1758.

MERCURY CONTENT IN THE ORGANS FISH FROM DIFFERENT RESERVOIRS OF THE USTYUZHENSKY DISTRICT OF THE VOLOGDA REGION

© 2024

Bazhenova D.E., Kapustina V.Yu., Ivanova E.S.

Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation)

Abstract. This article examines the levels of accumulation and distribution of mercury in the tissues of fish of different trophic status from different reservoirs (the Mologa River, the Chagodoscha River and Lake Vanya), located in the western part of the Vologda Region, is characterized by favorable natural and climatic conditions for methylation processes. Mercury content was determined in 108 tissue samples from 87 individuals of four fish species – *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); *Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758); *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758; *Esox lucius* Linnaeus, 1758. The total mercury concentration was measured on a mercury analyzer RA-915M with a PYRO+ device (the lower limit of mercury detection in samples is 0,001 mg/kg). The mercury index values in the tissues of the studied fish species range from 0,02 to 1,7 mg/kg, crude weight. The minimum average values were noted for a predominantly non-predatory species, roach (0,12 mg/kg, crude weight), the maximum average values were noted for a typical predator, common pike (0,64 mg/kg, crude weight) (in some individuals it exceeded 1,5 micrograms/g). Intermediate values are typical for perch and tuna (on average 0,33 mg/kg and 0,37 of the crude weight, respectively). It was found that in 28% of the studied individuals, the mercury content exceeds the regulatory levels in force in the Russian Federation (0,3 micrograms/g for non-predatory species and 0,6 micrograms/g for predatory fish species).

Keywords: mercury; heavy metals; Vologda Region; fish; food webs; maximum permissible concentration; *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); *Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758); *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758; *Esox lucius* Linnaeus, 1758.

Введение

Ртуть и ее соединения относятся к числу наиболее опасных для живых организмов токсических веществ [1].

Неорганические соединения ртути поступают в естественные водоемы, где трансформируются в более токсичные метилированные соединения, которые интенсивнее аккумулируются гидробионтами, чем неор-

ганические [2]. Высокие уровни содержания ртути в рыбе (как высшем звене трофической цепи) отмечаются даже в тех водоемах, которые не расположены в зонах повышенного естественного ртутного фона и находятся вдали от локальных источников ртутного загрязнения [3, р. 107–112; 4; 5, с. 196–202].

Рыболовство является одним из традиционных направлений деятельности населения Вологодской об-

ласти. В составе промышленных и любительских уловов в последние годы наиболее часто встречаются: лещ, судак, плотва, окунь, щука, язь, густера [6–8].

В Вологодской области находятся самые большие в Европе верховые болота, из которых вода поступает в реки и озера. Известно, что повышенная заболоченность водосборной площади и, как следствие, высокое содержание гуминовых веществ и ионов водорода, обуславливающих кислую реакцию среды в водоемах, создают благоприятные условия для бактериального процесса метилирования ртути [9; 10]. Органические соединения ртути более токсичны и доступны для биоты, по сравнению с неорганическими [11]. Метилртуть в организм человека попадает с рыбой, употребляемой им в пищу. Более 90% от общего содержания ртути в мышцах рыб находится в метилированной форме [4; 12; 13].

Содержание ртути строго лимитируется во всех компонентах окружающей среды, в том числе и продуктах питания [4]. В связи с этим проведение оценки состояния пресноводных водоемов крайне актуально. На территории Устюженского района Вологодской области подобные исследования не проводились.

Цель работы: установить уровни накопления ртути разными видами рыб из водоемов Устюженского района Вологодской области.

Объект исследования: содержание ртути в органах *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); *Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758); *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758; *Esox lucius* Linnaeus, 1758.

Материалы и методика исследования

Сбор материала для исследования осуществлялся летом – осенью 2015 г. на территории Устюженского района Вологодской области. Значительная часть территории Устюженского района покрыта болотами (Дубровское, Воронской Мох, Косинское, Большой Мох, Семизерская Чисть, Большие Мхи).

Отлов рыбы проводился с помощью удочки в следующих водоемах: р. Молога, р. Чагодоца, оз. Ваня (рис. 1).

Общий объем собранного материала составил 108 проб мышц и печени от 87 рыб 4 видов рыб: плотва обыкновенная *Rutilus rutilus* (n = 16), синец *Abramis ballerus* (n = 17), окунь речной *Perca fluviatilis* (n = 33), щука обыкновенная *Esox lucius* (n = 21).

После определения вида, измерения массы, длины тела пробы различных органов и тканей (печень, мышцы) помещали в полиэтиленовые пакеты, замораживали и хранили при температуре –16°C.

Содержание ртути в пробах определяли на сырую массу в двух повторностях методом пиролиза на ртутном анализаторе РА-915М (Lumex) с приставкой ПИРО+ без предварительной пробоподготовки. Пределы обнаружения прибора: 0,001–2,000 мг/кг.

Для контроля точности измерений использовали Certified Reference Materials (CRMs) DORM – 4 (Fish protein certified reference material for trace metals), DOLT – 5 (Dogfish Liver Certified Reference Material for Trace Metals and other Constituents) (National Research Council Canada). Контроль точности работы прибора проводили через каждые 30 измерений (relative percent difference (RPD) <20%). Различия между про-

ворностями составили в среднем 8,1% (в пределах 0,2–11,6%).

Концентрации ртути в тканях рыб приведены в виде средних значений, медианы, с указанием ошибки среднего, стандартного отклонения, нижнего и верхнего квартилей, минимальных и максимальных значений.

Статистический анализ результатов выполнен с использованием программы Statistica 12 (version 12, StatSoft, USA, 2013). Для оценки различий между выборками, не имеющими нормального распределения (Shapiro–Wilk test и Kolmogorov–Smirnov Test for Normality) использовали непараметрические критерии Kruskal–Wallis H-test и Mann–Whitney U-test, в которых различия считались значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$ [14; 15]. Для определения корреляционных связей между количеством ртути в мышцах рыб с их массой и длиной тела использовали коэффициент Спирмена (Spearman's rank correlation coefficient), при $p \leq 0,05$ [16].

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание ртути в мышечной ткани рыб, отловленных в исследованных водных объектах, варьирует в пределах – от 0,02 в мышцах плотвы до 1,7 мкг/г сырой массы у щуки (табл. 1).

Установлены статистически значимые различия содержания металла между видами с разной трофической специализацией (рис. 2): минимальные значения отмечены у планктоноядной плотвы (до 0,35 мг/кг сырой массы). Максимальные значения, статистически значимо выше, чем у всех исследованных видов, отмечены у типичного хищника – обыкновенной щуки (в среднем 0,6 мг/кг, сырой массы). Промежуточные значения характерны для окуня и синца (в среднем 0,33 мг/кг, и 0,37 сырой массы соответственно).

Ранее установлено, что миграция ртути по трофической сети сопровождается 5–10-кратным увеличением ее концентрации при переходе от одного звена к следующему [2; 17]. Чем «выше» расположен организм в трофической цепи, тем выше в нем содержание ртути [7]. Таким образом, содержание ртути у хищных рыб может превышать содержание ртути в воде обитания рыб в сотни тысяч и даже миллионы раз [7; 18; 19].

Для всех исследованных видов, за исключением окуня, не установлены статистически значимые корреляционные связи между содержанием ртути в мышечной ткани и морфометрическими показателями особей (масса и длина тела). Содержание ртути в мышцах окуня увеличивается с длиной их тела ($R_s = 0,51$, при $p < 0,05$).

В ранее проведенных исследованиях отмечается, что количество ртути в мышцах преимущественно хищных видов рыб зависит от возраста и размера [4; 8; 20–22]. Хищные рыбы, как наиболее крупные, долгоживущие, занимающие высшее положение в пищевой цепи, содержат больше ртути и поэтому с точки зрения воздействия на здоровье человека представляют наибольшую опасность [7; 23–25].

Достоверных различий между количеством ртути в мышцах и печени окуня и щуки не установлено (табл. 2). Абсолютные значения содержания металла в разных органах различаются незначительно.



Рисунок 1 – Карта-схема района исследования с указанием расположения мест вылова (выделено цифрами), где проводился отлов рыбы: 1 – р. Молога; 2 – р. Чагодоша; 3 – оз. Ваня

Таблица 1 – Содержание ртути (мг/кг, сырой массы) в мышцах разных видов рыб

Вид рыбы	N	Mean	Median	SD	SE	Min	Max	Q25	Q75
<i>Rutilus rutilus</i>	16	0,12	0,12	0,08	0,02	0,02	0,35	0,07	0,15
<i>Abramis ballerus</i>	17	0,37	0,32	0,21	0,05	0,09	0,75	0,20	0,54
<i>Perca fluviatilis</i>	33	0,33	0,34	0,16	0,03	0,06	0,73	0,26	0,45
<i>Esox lucius</i>	21	0,64	0,62	0,34	0,08	0,14	1,71	0,47	0,75

Примечание. N – количество особей, шт.; Mean – среднее арифметическое; Median – медиана; SD – стандартное отклонение; SE – ошибка среднего; Min – минимальное значение; Max – максимальное значение; Q25, Q75 – нижний и верхний квартиль.

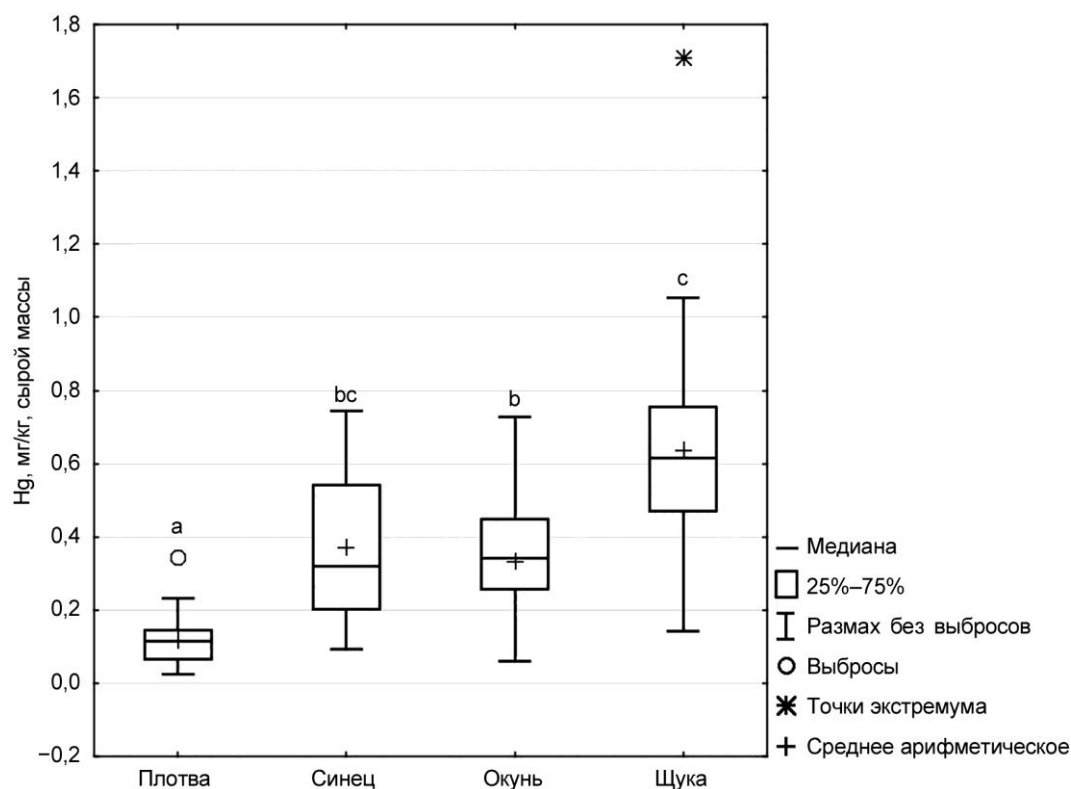
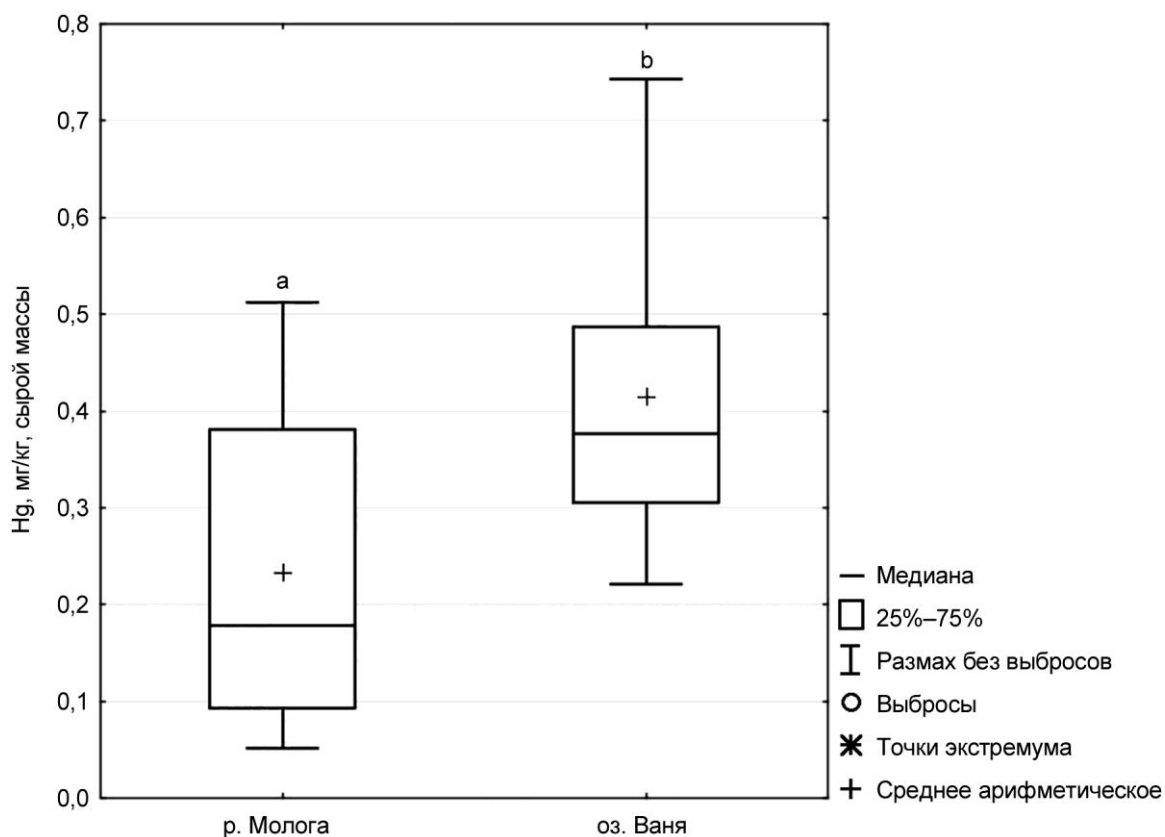


Рисунок 2 – Содержание ртути (мг/кг, сырой массы) в мышцах разных видов рыб

Таблица 2 – Содержание ртути (мг/кг, сырой массы) в разных органах рыб

Вид	Печень	Мышцы
<i>Perca fluviatilis</i>	$0,43 \pm 0,06$ 0,21–0,74	$0,42 \pm 0,05$ 0,19–0,73
<i>Esox lucius</i>	$0,58 \pm 0,12$ 0,14–1,39	$0,65 \pm 0,14$ 0,14–1,71

Примечание. Над чертой приведены средние значения и их ошибки ($x \pm mx$); под чертой – минимальные и максимальные значения показателя.

**Рисунок 3** – Содержание ртути (мг/кг, сырой массы) в мышцах окуня из различных водоёмов**Таблица 3** – Соотношение содержания ртути в мирных и хищных рыбах

Место отлова	Вид рыбы	Кол-во особей с содержанием Hg <0,3 мг/кг		Кол-во особей с содержанием Hg 0,3–0,6 мг/кг		Кол-во особей с содержанием Hg >0,6 мг/кг	
		абс., шт.	отн., %	абс., шт.	отн., %	абс., шт.	отн., %
р. Молога	<i>Rutilus rutilus</i>	10	100	–	–	–	–
	<i>Abramis ballerus</i>	6	50	5	42	1	8
	<i>Perca fluviatilis</i>	7	58	5	42	–	–
	<i>Esox lucius</i>	2	20	3	30	5	50
р. Чагодоца	<i>Rutilus rutilus</i>	7	87,5	1	12,5	–	–
	<i>Abramis ballerus</i>	–	–	1	33	2	67
	<i>Perca fluviatilis</i>	2	50	2	50	–	–
	<i>Esox lucius</i>	2	22	2	22	5	56
оз. Вая	<i>Abramis ballerus</i>	1	50	1	50	–	–
	<i>Perca fluviatilis</i>	3	18	13	76	1	6
	<i>Esox lucius</i>	–	–	–	–	2	100

Содержание ртути в мышцах окуней, отловленных в озере, статистически значимо выше (в среднем в 2 раза), чем у особей, отловленных в реке на исследуемой территории (рис. 3). Исходя из литературных данных характер накопления Hg, по всей видимости, связан с особенностями конкретных условий обитания (прежде всего pH воды донных отложений, количество растворенной органики) [4].

Количество металла в мышцах исследованных особей плотвы и щуки не различается между рыбами из разных рек.

В Российской Федерации нормативные уровни ртути в тканях рыб составляют 0,3 мкг/г сырой массы для нехищной рыбы и 0,6 мкг/г сырой массы для хищной рыбы [8; 26].

Среди исследованных рыб доля особей с концентрацией ртути выше 0,3 мг/кг составляет 56% (49 особей), а выше 0,6 мг/кг – 18% (16 особей). Среди нехищных видов (плотва и синец) содержание металла выше 0,3 мг/кг отмечена у 33% особей, выше 0,6 мг/кг – у трех особей синца. У хищных окуня и щуки концентрация ртути выше 0,3 мг/кг отмечена у 70% рыб, выше 0,6 мг/кг – у 24% (табл. 3).

Таким образом, при соотношении количества ртути в мышцах исследованных видов рыб с рекомендуемыми нормами СанПин, показатели количества металла в мышцах превышают рекомендованные нормы примерно у 28% исследованных особей.

В ранее проведенных исследованиях у жителей Вологодской области установлена зависимость между содержанием ртути в волосах и показателями их здоровья: патологическое изменение клинических показателей крови (увеличение мочевой кислоты и креатинкиназы в сыворотке крови, а также уменьшение числа тромбоцитов в периферической крови), изменение ферментативных реакций и реакций окислительного стресса [27]. Отмечено негативное влияние на сердечно-сосудистую систему [7; 22; 28].

Выводы

1. Содержание ртути в мышечной ткани рыб, отловленных в исследованных водных объектах, варьирует в пределах – от 0,02 в мышцах плотвы до 1,7 мкг/г сырой массы у щуки. При этом установлены статистически значимые различия содержания металла между видами с разной трофической специализацией: минимальные значения отмечены у планктоноядной, максимальные – у типичного хищника – обыкновенной щуки, промежуточные значения характерны для окуня и синца.

2. Для всех исследованных видов, за исключением окуня, не установлены статистически значимые корреляционные связи между содержанием ртути в мышечной ткани и морфометрическими показателями особей (масса и длина тела). Содержание ртути в мышцах окуня увеличивается с увеличением длины тела особей.

3. Средние значения содержания ртути в мышцах и печени у окуня и щуки не различаются.

4. Содержание ртути в мышцах окуней, отловленных в озере, статистически значимо выше, чем у особей, отловленных в реке на исследуемой территории. Количество металла в мышцах исследованных осо-

бей плотвы и щуки не различается между рыбами из разных рек.

5. У 28% особей исследованной рыбы количество ртути в органах превышает установленные в РФ санитарные нормы для рыбных продуктов.

Список литературы:

1. Arctic Pollution (AMAP). Oslo, 2002. 112 p.
2. Environmental health criteria. Methylmercury [Internet] // International Programme on Chemical Safety. <https://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm#SectionNumber:1.2>.
3. Haines T.A., Komov V.T., Jagoe C.H. Lake acidity and mercury content of fish in Darwin National Reserve, Russia // Environmental Pollution. 1992. Vol. 78, iss. 1–3. P. 107–112. DOI: 10.1016/0269-7491(92)90017-5.
4. Иванова Е.С., Копылов Д.С. Содержание ртути в тканях и органах рыб разных водоемов Вологодской области // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: мат-лы XVI всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1 (г. Киров, 3–5 декабря 2018 г.). Киров: ВятГУ, 2018. С. 92–96.
5. Степанова И.К., Комов В.Т. Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области // Экология. 1997. № 4. С. 196–202.
6. Борисов М.Я., Коновалов А.Ф., Думнич Н.А. Рыбы в Вологодской области: справ. издание. Череповец: Порт-Апрель, 2019. 127 с.
7. Иванова Е.С., Ельцова Л.С., Шувалова О.П., Комов В.Т., Борисов М.Я. Расчет поступления ртути при употреблении дикой рыбы населением Вологодской области // Санитарный врач. 2022. № 3. С. 226–235. DOI: 10.33920/med-08-2203-06.
8. Тропин Н.Ю. Эколого-биологические особенности и промысловое значение речного окуня (*Perca fluviatilis* L., 1758) в крупных рыбохозяйственных водоемах Вологодской области: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Томск, 2020. 261 с.
9. Tackling mercury pollution in the EU and worldwide: in-depth report. 2017. 72 p.
10. Mercury [Internet] // World Health Organization. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>.
11. Mercury [Internet] // Toxic Substances Portal. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/substances/ToxSubstance.aspx?toxid=24>.
12. Myers G.J., Davidson P.W., Strain J.J. Nutrient and methyl mercury exposure from consuming fish // The Journal of Nutrition. 2007. № 137, iss. 12. P. 2805–2808. DOI: 10.1093/jn/137.12.2805.
13. Marrugo-Negrete J., Verbel J.O., Ceballos E.L., Benitez L.N. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia // Environmental Geochemistry and Health. 2008. Vol. 30, iss. 1. P. 21–30. DOI: 10.1007/s10653-007-9104-2.
14. Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // Biometrika. 1965. Vol. 52, iss. 3–4. P. 591–611. DOI: 10.1093/biomet/52.3-4.591.
15. Kruskal W.H., Wallis W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis // Journal of the American Statistical Association. 1952. Vol. 47, iss. 260. P. 583–621. DOI: 10.1080/01621459.1952.10483441.
16. Sokal R.R., Rohlf F.J. Biometry: the principals and practice of statistics in biological research. Third edition. New York: W.H. Freeman and Company, 1995. 887 p.
17. Bloom N.S. On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissues // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1992. Vol. 49, № 5. P. 1010–1017. DOI: 10.1139/f92-113.

18. Croteau M.-N., Luoma S.N., Stewart A.R. Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature // *Limnology and Oceanography*. 2005. Vol. 50, iss. 5. P. 1511–1519. DOI: 10.4319/lo.2005.50.5.1511.
19. Mercury Study Report to Congress. Vol. IV: An Assessment of Exposure to Mercury in the United States [Internet] // <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/volume4.pdf>.
20. Sonesten L. Fish mercury levels in lakes – adjusting for Hg and fish-size covariation // *Environmental Pollution*. 2003. Vol. 125, iss. 2. P. 255–265. DOI: 10.1016/s0269-7491(03)00051-4.
21. Soltani N., Marengo M., Keshavarzi B., Moore F., Hoda P.S., Mahmoudi M.R., Gobert S. Occurrence of trace elements (TEs) in seafood from the North Persian Gulf: Implications for human health // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. Vol. 97. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103754.
22. Борисов М.Я., Иванова Е.С., Тропин Н.Ю., Шилова А.Е., Угрюмова Е.В., Баженова Д.Э. Оценка безопасности употребления в пищу рыбы из водоемов Вологодской области с различным содержанием ртути в мышечной ткани // *Трансформация экосистем*. 2023. Т. 6, № S4 (22). С. 96–118. DOI: 10.23859/estr-230920.
23. 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. P. 178–184. DOI: 10.1134/s1995082914020059.
24. Kruzikova K., Kensova R., Sedlackova L., Jarkovsky J., Poleszczuk G., Svobodova Z. The correlation between fish mercury liver/muscle ratio and high and low levels of mercury contamination in Czech localities // *International Journal of Electrochemical Science*. 2013. Vol. 8, iss. 1. P. 45–56. DOI: 10.1016/s1452-3981(23)14001-6.
25. Luczynska J., Paszczyk B., Nowosad J., Luczynski M.J. Mercury, fatty acids content and lipid quality indexes in muscles of freshwater and marine fish on the polish market. Risk assessment of fish consumption // *International journal of environmental research and public health*. 2017. Vol. 14, iss. 10. DOI: 10.3390/ijerph14101120.
26. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Сан-ПиН 2.3.2. 560-96. М.: Госкомэпиднадзор России, 1997. 269 с.
27. Шувалова О.П., Иванова Е.С., Комов В.Т. Влияние накопления ртути на состояние здоровья женщин репродуктивного возраста // *Здоровье населения и среда обитания*. 2018. № 11 (308). С. 36–39.
28. Kornilova A.I., Shuvalova O.P., Ivanova E.S. Influence of mercury on the development of a metabolic syndrome in women of Cherepovets, Vologda oblast // *Eco sapiens – экологическое сознание человека XXI века в науке, образовании и обществе: сб. науч. тр. всерос. молодеж. науч.-практ. конф. с междунар. участием (18–19 ноября 2019 г., Москва)*. Ч. 1. М.: РУДН, 2019. С. 13–15.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Баженова Дарья Эдуардовна, старший лаборант эколого-аналитической лаборатории кафедры биологии; Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: debazhenova@chsu.ru. Капустина Виктория Юрьевна, студент факультета биологии и здоровья человека; Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: viufokina@chsu.ru. Иванова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель эколого-аналитической лаборатории кафедры биологии; Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: stepinaelena@yandex.ru.	Bazhenova Darya Eduardovna, senior laboratory assistant of Ecological and Analytical Laboratory of Biology Department; Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: debazhenova@chsu.ru. Kapustina Victoria Yurievna, student of Faculty of Biology and Human Health; Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: viufokina@chsu.ru. Ivanova Elena Sergeevna, candidate of biological sciences, leading researcher, head of Ecological and Analytical Laboratory of Biology Department; Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: stepinaelena@yandex.ru.

Для цитирования:

Баженова Д.Э., Капустина В.Ю., Иванова Е.С. Содержание ртути в органах рыб разных водоёмов Устюженского района Вологодской области // *Самарский научный вестник*. 2024. Т. 13, № 4. С. 8–13. DOI: 10.55355/snv2024134101.