








DOI 10.23859/estr-230717

EDN THOWQE

УДК 574.24

Научная статья

Содержание ртути в органах мелких млекопитающих разных геоморфологических областей таежной зоны европейской части России

Е.С. Иванова^{1*} , О.Ю. Румянцева¹ , Ю.Г. Удоденко^{1, 2} ,
Л.С. Ельцова¹ , В.Т. Комов^{1, 2} 

¹ Череповецкий государственный университет, 162600, Россия, Вологодская обл., г. Череповец, пр-т Луначарского, д. 5

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 109

*stepinaelena@yandex.ru

Аннотация. Исследовано содержание общей ртути в органах и тканях (мозг, мышцы, почки, печень) обыкновенной бурозубки и обыкновенной полевки, обитающих в разных геоморфологических областях Вологодской области. У обыкновенной бурозубки содержание ртути статистически значимо выше (в 2–5 раз), чем у обыкновенной полевки. У бурозубок средние значения количества ртути (мкг/г сухой массы) уменьшаются в ряду: почки (0.158 ± 0.016) > печень (0.086 ± 0.01) > мышцы (0.084 ± 0.011) > мозг (0.059 ± 0.006); у полевок – почки (0.026 ± 0.003) > мозг (0.024 ± 0.004) > мышцы (0.016 ± 0.003) > печень (0.013 ± 0.002). Содержание ртути в органах бурозубок и полевок, отловленных в западной геоморфологической области с высокой заболоченностью территории и большим количеством озер, статистически значимо в 2–3 раза выше, чем в органах зверьков, отловленных в восточной геоморфологической области с развитой речной сетью.

Ключевые слова: бурозубка, полевка, пищевые сети, биогенная миграция, Вологодская область, почки, печень, мышцы

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

ORCID:

Е.С. Иванова, <https://orcid.org/0000-0002-6976-1452>

О.Ю. Румянцева, <https://orcid.org/0000-0003-4244-1931>

Ю.Г. Удоденко, <https://orcid.org/0000-0003-0789-4847>

Л.С. Ельцова, <https://orcid.org/0000-0001-8313-7368>

В.Т. Комов, <https://orcid.org/0000-0001-9124-7428>

Для цитирования: Иванова, Е.С. и др., 2023. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих разных геоморфологических областей таежной зоны европейской части России. *Трансформация экосистем* 6 (5), 118–133. <https://doi.org/10.23859/estr-230717>

Поступила в редакцию: 17.07.2023

Принята к печати: 02.08.2023

Опубликована онлайн: 15.12.2023

DOI 10.23859/estr-230717

EDN THOWQE

UDC 574.24

Article

Mercury content in the organs of small mammals in different geomorphological regions of the taiga zone of the European part of Russia

Elena S. Ivanova^{1*}, Olga Yu. Rumiantseva¹, Yury G. Udodenko^{1, 2}, Liubov S. Eltsova¹, Viktor T. Komov^{1, 2}

¹ Cherepovets State University, pr. Lunacharskogo 5, Cherepovets, Vologda Oblast, 162600 Russia

² Papanin Institute of Biology for Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok 109, Nekouz District, Yaroslavl Oblast, 152742 Russia

*stepinaelena@yandex.ru

Abstract. The content of total mercury in organs and tissues (brain, muscles, kidneys, and liver) has been studied in common shrew and in common vole, living in different geomorphological regions of the Vologda Oblast. Mercury content is statistically significantly higher (2–5 times) in common shrew than in common vole. In common shrew, average mercury content ($\mu\text{g/g}$ dry weight) decreases in the series: kidneys (0.158 ± 0.016) > liver (0.086 ± 0.01) > muscles (0.084 ± 0.011) > brain (0.059 ± 0.006); in common vole, kidneys (0.026 ± 0.003) > brain (0.024 ± 0.004) > muscles (0.016 ± 0.003) > liver (0.013 ± 0.002). Mercury content in organs of common shrew and of common vole, caught in the western geomorphological region with high swampiness and a large number of lakes, is statistically significantly higher (2–3 times) comparing to those captured in the eastern geomorphological region with a developed river network.

Keywords: common shrew, common vole, food webs, biogenic migration, Vologda Oblast, kidneys, liver, muscles

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 23-24-00385 (<https://rscf.ru/project/23-24-00385/>)

ORCID:

E.S. Ivanova, <https://orcid.org/0000-0002-6976-1452>

O.Yu. Rummyantseva, <https://orcid.org/0000-0003-4244-1931>

Yu.G. Udodenko, <https://orcid.org/0000-0003-0789-4847>

L.S. Eltsova, <https://orcid.org/0000-0001-8313-7368>

V.T. Komov, <https://orcid.org/0000-0001-9124-7428>

To cite this article: Ivanova, E.S. et al., 2023. Mercury content in the organs of small mammals in different geomorphological regions of the taiga zone of the European part of Russia. *Ecosystem Transformation* 6 (5), 118–133. <https://doi.org/10.23859/estr-230717>

Received: 17.07.2023

Accepted: 02.08.2023

Published online: 15.12.2023

Введение

Высокая токсичность и широкое распространение ртути (Hg) и ее соединений в окружающей среде представляет опасность для здоровья большинства животных. Это связано с высокой биогеохимической подвижностью ртутьорганических соединений и их способностью накапливаться в органах и тканях живых организмов (Covelli et al., 2012; Song et al., 2018; UNEP, 2019).

Исследования водных и наземных пищевых сетей показали, что концентрации ртути, как правило, увеличиваются с повышением трофического уровня организмов, при этом металл может переноситься из водных экосистем в наземные (Cristol et al., 2008; Kwon et al., 2015). Абиотические факторы среды обуславливают миграционную активность соединений ртути между компонентами экосистем (Buck et al., 2019; Eagles-Smith et al., 2018; Morel et al., 1998; Ullrich et al., 2001). Интенсивность накопления ртути в тканях живых организмов определяется географическими и природно-климатическими факторами среды, при этом повышенные концентрации металла не всегда связаны с наличием антропогенных источников ртути (Комов и др., 2012; Drenner et al., 2013; Wiener et al., 2002).

Заболоченные лесные экосистемы играют одну из ключевых ролей в глобальном круговороте ртути, так как их условия благоприятны для метилирования и биоаккумуляции ртути (Lu et al., 2016; Obrist, 2007). Ранее было показано, что заболачивание водосборного бассейна приводит к увеличению содержания ртути в рыбе (Haines et al., 1992); аналогичное возможное влияние заболачивания на биоту наземных экосистем изучено значительно меньше. В исследованиях тяжелых металлов в наземных экосистемах используются мелкие млекопитающие, поскольку они имеют короткую продолжительность жизни и не мигрируют на большие расстояния (Al Sayegh Petkovšek et al., 2014; Sánchez-Chardi and López-Fuster, 2009).

Вологодская область, из-за особенностей строения макрорельефа, может служить удобной модельной площадкой для исследования влияния природных абиотических факторов на накопление ртути живыми организмами. В пределах региона выделяют две крупные геоморфологические области: 1) западную, с широким распространением озерных котловин и множеством небольших озер; 2) восточную, с однообразными ледниковыми и озерно-ледниковыми формами рельефа (Кичигин, 2007).

Цель работы – исследовать закономерности накопления и распределения ртути в организме мелких млекопитающих разного трофического уровня отдельных геоморфологических областей.

Материал и методы

Вологодская область расположена на северо-востоке Восточно-Европейской равнины, в континентальной части таежной зоны. Протяженность области с запада на восток составляет 600 км, с севера на юг – 380 км. На территории Вологодской области преобладают леса, занимающие около 75% ее площади. Значительные размеры региона определяют разнообразие природных экологических факторов. Неоднородность рельефа территории вызывает перераспределения тепла и влаги в зависимости от высоты, ориентации и крутизны склонов. С запада на восток области средняя годовая температура понижается (от +2.5 до +1.5 °С), количество осадков уменьшается (разница в годовых суммах достигает 160–170 мм) (Природа..., 2007).

Граница между западной и восточной геоморфологическими областями проводится по западному флангу полосы низин, прилегающих к озерам Лача, Воже, Кубенское и далее через бассейн

р. Лежи. Молодой хорошо сохранившийся ледниковый рельеф с разнообразными моренными грядами и холмами при сравнительно слабо развитой речной сети в западной геоморфологической области обуславливает широкое распространение здесь озер и создает благоприятные условия для развития болот. В восточной геоморфологической области преобладают волнистые и увалистые моренные равнины с хорошо развитой речной сетью, в связи с чем озера и болота не получили здесь широкого распространения (Кичигин, 2007). Другие различия между западной и восточной геоморфологическими областями состоят в величине коэффициента озерности (до 10% в западных районах и менее 0.2% – в восточных) и степени заболоченности территории (20–50% в западных районах, менее 1 % в восточных районах).

Материал собирали в пяти районах Вологодской области: Вытегорском (1), Белозерском (2), Череповецком (3), которые относятся к западной геоморфологической области; в Бабушкинском (4) и Никольском (5) районах восточной геоморфологической области (Рис. 1). В каждом районе отлов мелких млекопитающих осуществлялся на типичных лесных участках таежной зоны.

Представителей массовых видов мелких млекопитающих отлавливали с помощью давилок Геро на стандартную приманку – хлеб, обжаренный в подсолнечном масле. Всего отловлено 252 особи обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L., 1758, отряд Насекомоядные) и 220 особей обыкновенной полевки (*Microtus arvalis* Pallas, 1778, отряд Грызуны). Основу рациона бурозубок составляют мелкие беспозвоночные: пауки, дождевые черви, жесткокрылые (Макаров и Ивантер, 2016). Полевки питаются преимущественно кормами растительного происхождения (Виноградов и Громов, 1952). У отловленных зверьков измеряли массу тела и определяли пол. Пробы различных органов и тканей (печени, почек, мышц, мозга) помещали в полиэтиленовые пакеты, замораживали и хранили при температуре $-4...-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перед анализом пробы органов высушивались до постоянного веса при температуре $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Содержание ртути в органах и тканях определяли на базе Регионального центра коллективного пользования Череповецкого государственного университета. Анализ выполняли методом пиролиза на атомно-абсорбционном спектрометре РА-915М с приставкой ПИРО (минимальный предел обнаружения ртути – 0.001 мкг/г). Точность анализа определяли с помощью сертифицированного биологического материала DORM-4 и DOLT-5 (Институт химии окружающей среды,

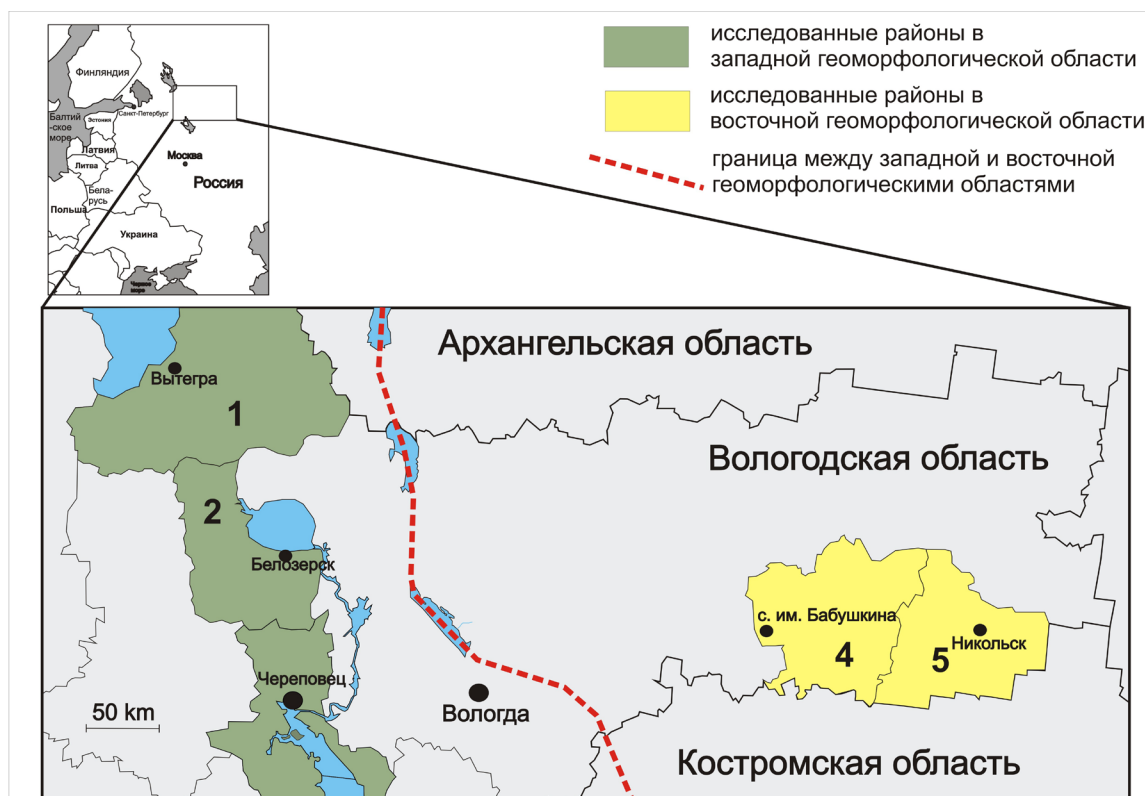


Рис. 1. Районы исследования.

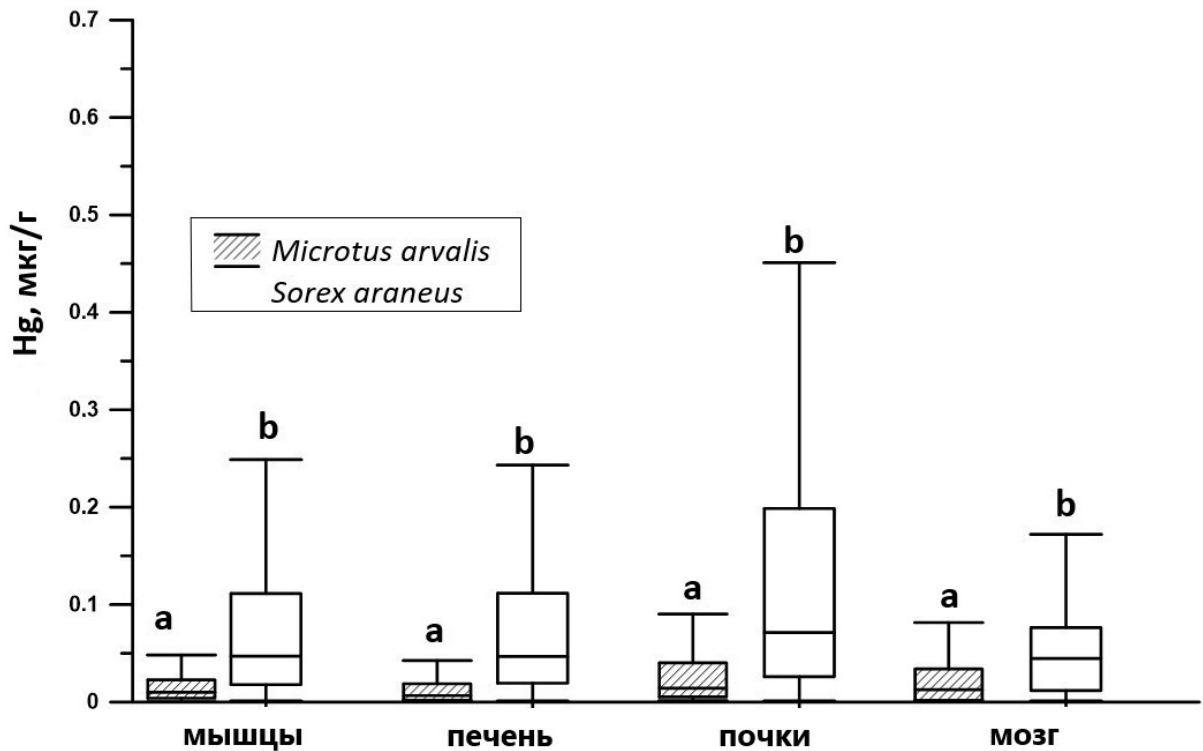


Рис. 2. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих, мкг/г сухой массы. Значения с разными буквенными индексами статистически значимо различаются при уровне значимости $p \leq 0.05$ (H-критерий Краскела–Уоллиса).

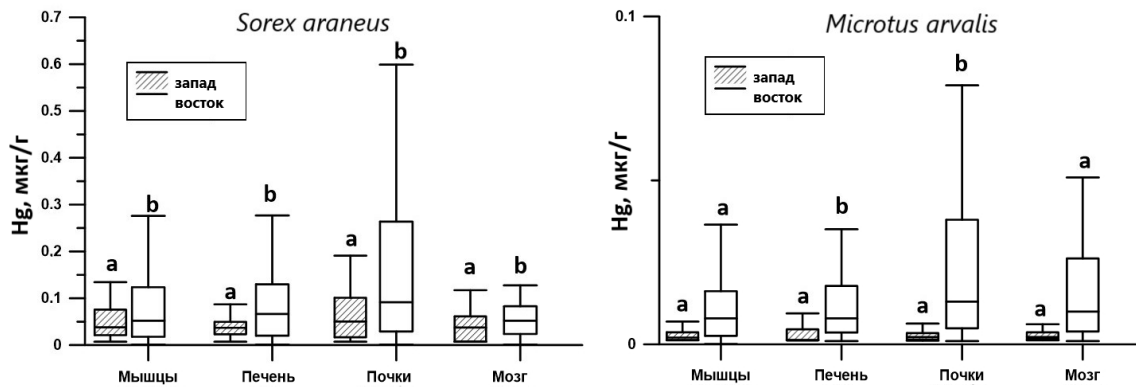


Рис. 3. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих из восточной и западной геоморфологических частей Вологодской области.

Табл. 1. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих, мкг/г сухой массы: n – количество проб, mean – средние значения, median – медиана, min и max – минимальные и максимальные значения показателя, Q25 и Q75 – нижний (25%) и верхний (75%) квартиль соответственно, SD – стандартное отклонение, SE – стандартная ошибка среднего. Значения с разными буквенными индексами статистически значимо различаются между органами для каждого отдельного вида при уровне значимости $p \leq 0.05$ (критерий Краскела–Уоллиса).

Орган	n	mean	median	min	max	Q25	Q75	SD	SE	K–Y тест
Обыкновенная бурозубка										
мышцы	179	0.084	0.047	0.001	1.467	0.0178	0.111	0.146	0.011	a
печень	194	0.086	0.047	0.001	1.674	0.0193	0.112	0.143	0.010	a
почки	202	0.158	0.071	0.001	1.764	0.026	0.199	0.222	0.016	b
мозг	147	0.059	0.045	0.001	0.480	0.0118	0.076	0.073	0.006	a
Обыкновенная полевка										
мышцы	154	0.016	0.007	0.000	0.355	0.0027	0.016	0.034	0.003	ab
печень	162	0.013	0.005	0.001	0.299	0.001	0.013	0.028	0.002	a
почки	191	0.026	0.010	0.001	0.359	0.0036	0.029	0.046	0.003	b
мозг	137	0.024	0.009	0.001	0.325	0.001	0.024	0.044	0.004	ab

Табл. 2. Корреляционная зависимость содержания ртути в разных парах органов обыкновенной бурозубки. Жирным шрифтом выделены статистически значимые корреляционные зависимости при уровне значимости $p \leq 0.05$ (коэффициент Спирмана); над чертой – западная геоморфологическая область (n = 199), под чертой – восточная геоморфологическая область (n = 45).

Орган	мышцы	печень	почки	мозг
мышцы		0.71 0.65	0.81 0.64	0.39 0.48
печень	0.71 0.65		0.77 0.60	0.34 0.21
почки	0.81 0.64	0.77 0.60		0.39 0.33
мозг	0.39 0.48	0.34 0.21	0.39 0.33	

Табл. 3. Корреляционная зависимость содержания ртути в разных парах органов обыкновенной полевки. Жирным шрифтом выделены статистически значимые корреляционные зависимости при уровне значимости $p \leq 0.05$ (коэффициент Спирмана); над чертой – западная геоморфологическая область (n = 149), под чертой – восточная геоморфологическая область (n = 51).

Орган	мышцы	печень	почки	мозг
мышцы		0.59 0.06	0.47 0.16	0.26 –0.10
печень	0.59 0.06		0.67 0.52	0.27 0.14
почки	0.47 0.16	0.67 0.52		0.27 0.22
мозг	0.26 –0.10	0.27 0.14	0.27 0.22	

Оттава, Канада). Точность контролировали через каждые 20 измерений (относительная разность в процентах (RPD) < 10%). Различия между повторностями в среднем составили 7.3%.

Полученные значения содержания ртути в органах не подчинялись нормальному распределению (тест Шапиро–Уилка), поэтому при статистическом анализе применяли непараметрические методы: U-тест Краскела–Уоллиса и H-тест Манна–Уитни. Для определения корреляционных связей между концентрацией ртути в разных парах органов животных и связи между количеством Hg в органах и массой тела зверьков использовали непараметрический коэффициент корреляции Спирмена (r_s , $p < 0.05$).

Результаты исследования

Содержание ртути в органах исследованных млекопитающих варьирует от следовых значений до 0.359 мкг/г в почках полевки и 1.764 мкг/г в почках бурозубки. Концентрация ртути во всех органах обыкновенной бурозубки статистически значимо выше, чем у обыкновенной полевки. Концентрация ртути в мозге бурозубок в 2 раза выше, чем у полевок, при этом содержание Hg в мышцах, печени и почках насекомоядных в среднем в 5–6 раз выше, чем у грызунов (Рис. 2).

У бурозубок средние концентрации общей ртути (мкг/г сухой массы) уменьшаются в ряду почки > печень > мышцы > мозг; у полевок – почки > мозг > мышцы > печень. Содержание ртути в почках бурозубок статистически значимо выше по сравнению с другими органами. У полевок статистически значимые различия отмечены только между почками и печенью. Между другими органами статистически значимых различий не выявлено (Табл. 1).

Содержание ртути в органах между самцами и самками у бурозубок и полевок статистически значимо не различалось (U-тест Манна–Уитни, $p > 0.05$). Не выявлено корреляционных связей между концентрацией ртути в органах и массой тела зверьков ($p > 0.05$).

Минимальные концентрации ртути отмечены у бурозубок и полевок, отловленных в восточной геоморфологической области, максимальные концентрации наблюдаются у зверьков из районов западной области (Рис. 3). Содержание ртути в органах обыкновенных бурозубок, отловленных на западе, статистически значимо выше (в 2–3 раза) для всех исследованных органов. У полевок, отловленных в западной части области, содержание ртути в 2 раза статистически значимо выше для органов с максимальными значениями ртути (печень и почки), хотя для мышц и мозга различия не установлены (Рис. 3, Табл. 1S).

У бурозубок из западной области установлена положительная корреляционная зависимость между концентрациями ртути во всех парах органов ($r_s = 0.34–0.81$, $p < 0.05$). У бурозубок, отловленных на востоке, связь между содержанием ртути в органах не отмечена только для пары «печень–мозг» (Табл. 2).

У полевок, отловленных на западе области, установлена статистически значимая корреляционная связь между содержанием ртути во всех органах ($r_s = 0.34–0.81$, $p < 0.05$), за исключением пар «мозг–другой орган». У полевок из восточной части области статистически значимая корреляция отмечена только между печенью и почками ($r_s = 0.52$, $p < 0.05$) (Табл. 3).

Обсуждение результатов

Средние концентрации ртути в органах мелких млекопитающих из исследованных районов Вологодской области (0.013–0.158 мкг/г) сопоставимы со значениями, отмеченными в органах мелких млекопитающих из Воронежского заповедника, непромышленных районов Европы, Северной и Южной Америк и при этом полученные значения на несколько порядков ниже, чем у зверьков, обитающих на территориях, расположенных вблизи антропогенных источников Hg (тепловые электростанции, хлор-щелочное производство) (Табл. 4). Отметим, что при сравнении содержания ртути, измеренной в пересчете на сухую и сырую массы, использовали следующие значения содержания воды во внутренних органах: 70.9% для печени и 75.5% для почек. Таким образом, концентрацию сырого веса в печени и почках можно оценить, умножив результат сухого веса на коэффициент 0.3 и 0.25 соответственно (Kalisinska et al., 2021).

Основу кормового спектра бурозубок составляют животные объекты питания, в первую очередь доступные и многочисленные группы насекомых, дождевые черви. Кроме того, обыкновенная бурозубка может питаться пауками, моллюсками, иногда лягушками, ящерицами и мелкими млекопитающими (Долгов, 1985; Ивантер, 2008). Растительный корм обыкновенная бурозубка исследованного района употребляет редко. Основным пищевым ресурсом обыкновенной полевки во все сезоны года служат семена и вегетативные органы травянистых и древесных растений

Табл. 4. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих из разных регионов мира; dw – сухая масса, ww – сырая масса.

Вид	Регион, степень развития промышленности	Содержание ртути, мкг/г	Источник
Отряд грызунов (Rodentia)			
<i>Apodemus flavicollis</i> (Melchior, 1834)	Польша, сельский район	Печень: 0.007– 0.015 ^{dw}	Durkalec et al., 2019
	Словения, территория завода по плавке свинца	Печень: 0.33 ^{ww}	Al Sayegh Petkovšek et al., 2014
<i>Apodemus uralensis</i> (Pallas, 1811)	Великобритания, промышленная территория (< 0.05 км) хлор-щелочного производства	Мышцы: 0.06–4.59 ^{ww} Печень: 0.09–0.53 ^{ww} Почки: 0.17–1.29 ^{ww} Мозг: 0.09–1.88 ^{ww}	Bull et al., 1977
<i>Arvicola amphibious</i> (Linnaeus, 1758)	Россия, респ. Карелия, непромышленный район	Почки: 0.005 ± 0.002 ^{dw}	Илюха и др., 2019
<i>Clethrionomys glareolus</i> (Schreber, 1780)	Польша, промышленный район	Печень: 0.005 – 0.007 ^{ww}	Durkalec et al., 2019
	Словения, зона тепловой электростанции	Печень: 0.32 ^{ww}	Al Sayegh Petkovšek et al., 2014
<i>Melanomys caliginosus</i> (Tomes, 1860)	Великобритания, промышленная территория (< 0.05 км) хлор-щелочного производства	Мышцы: 0.08–0.66 ^{ww} Печень: 0.06–0.34 ^{ww} Почки: 0.14–0.75 ^{ww} Мозг: 0.07–0.20 ^{ww}	Bull et al., 1977
	Россия, Воронежский государственный заповедник	Мышцы: 0.007–0.02 ^{dw} Печень: 0.012–0.028 ^{dw} Почки: 0.012–0.094 ^{dw} Мозг: 0.004–0.034 ^{dw}	Комов и др., 2010 Gremyachikh et al., 2019
<i>Nephelomys pectoralis</i> (J.A. Allen, 1912)	Колумбия, природный парк	Печень: 0.04 ^{dw}	Sierra-Marquez et al., 2018
<i>Peromyscus eremicus</i> (Baird, 1858)	США, Невада, берег реки Лас Вегас Уош (непромышленный район)	Печень: 0.001–0.09 ^{dw}	Gerstenberger et al., 2006
<i>Peromyscus maniculatus</i> (J. A. Wagner, 1845)	США, остров Айл-Ройал, природный парк	Печень: 0.035 ^{dw} Почки: 0.360 ^{dw}	Vucetich et al., 2001
<i>Rattus norvegicus</i> (Berkenhout, 1769)	США, Джорджия, загрязненное ртутью болото	Мышцы: 7.4 ^{dw} Печень: 15 ^{dw}	Gardner et al., 1978
<i>Sigmodon hispidus</i> (Say and Ord, 1825)		Мышцы: 0.09 ^{dw} Печень: 3.8 ^{dw}	
<i>Thomasomys bombycinus</i> (Anthony, 1925)	Колумбия, природный парк	Печень: 0.24 ^{dw}	Sierra-Marquez et al., 2018

Вид	Регион, степень развития промышленности	Содержание ртути, мкг/г	Источник
Отряд насекомоядных (Eulipotyphla)			
<i>Crocidura russula</i> (Hermann, 1780)	Португалия, удаленный от промышленности район	Печень: 0.1 ^{dw}	Marques et al., 2007
	Португалия, территория заброшенной пиритовой шахты	Печень: 0.456 ^{ww} Почки: 0.119 ^{ww}	Sanchez-Chardi et al., 2007
	Португалия, г. Мор удаленный от промышленности район	Печень: 0.418 ^{ww} Почки: 0.125 ^{ww}	
<i>Neomys fodiens</i> (Pennant, 1771)	Италия, провинция Пезаро-э-Урбино, промышленный район	Печень: 0.07 ^{ww}	Alleva et al., 2006
<i>Sorex araneus</i> (Linnaeus, 1758)	Россия, респ. Карелия	Почки: 0.347±0.045 ^{dw}	Илюха и др., 2019
<i>Sorex cinereus</i> (Kerr, 1792)	Россия, г. Череповец, промышленный район	Мышцы: 0.108 ^{dw} Печень: 0.124 ^{dw} Почки: 0.191 ^{dw} Мозг: 0.065 ^{dw}	Komov et al., 2017
<i>Sorex cinereus</i> (Kerr, 1792)	США, штат Миннесота, заболоченная территория	Мышцы: 0.021 ^{dw} Печень: 0.012 ^{dw} Почки: 0.020 ^{dw} Мозг: 0.007 ^{dw}	Tavshunsky et al., 2017

(Емельянова, 2008). Мелкие беспозвоночные (моллюски, насекомые и их личинки) иногда встречаются в рационе полевок, но не играют большой роли в ежедневном питании по сравнению с растительными кормами (Ивантер, 2008). Известно, что содержание ртути в органах консументов первого порядка ниже, чем у видов более высоких трофических уровней (Cristol et al., 2008; Kwon et al., 2015; Komov et al., 2017). Этим объясняется тот факт, что содержание ртути во всех исследованных органах бурозубок статистически значимо выше, чем у полевок.

Поступающая с пищей ртуть неравномерно распределяется по органам животных. И у бурозубки, и у полевки концентрация ртути в почках выше по сравнению с другими органами. Такие результаты согласуются с более ранними исследованиями, выполненными в пределах таежной, лесостепной и степной зон европейской части России (Komov et al., 2017; Gremyachikh et al., 2019). Вероятно, аккумуляция ртути в почках обусловлена преобладанием в них белков с повышенным содержанием тиольной, аминной, карбоксильной и гидроксильной функциональных групп, к которым ртуть обладает высоким сродством (Clarkson and Magos, 2006). За счет образования конъюгатов ртути с металлотioneинами, глутатионом, рядом низко- и высокомолекулярных белков почки являются важным органом депонирования и детоксикации. Через них осуществляется фильтрация, обезвреживание и выведение из организма токсичных веществ. В ранее проведенных исследованиях отмечено, что соотношение метилированной и неорганических форм ртути в разных органах неодинаково: в мозге и мышцах на долю метилртути приходится 80–90% от валового содержания ртути, в то время как в почках и печени доля метилртути не превышает 40–55% (Strom, 2008). Не исключено, что в печени и особенно в почках мелких млекопитающих значительная часть общей ртути представлена неорганическими соединениями. Неравномерное содержание ртути в организме животных может быть связано с неоднородностью распределения неорганических и ртутьорганических соединений на территории их обитания, спецификой аккумуляции разных форм ртути живыми организмами, а также с особенностями строения и функционирования органов.

Содержание ртути в органах млекопитающих из западных районов Вологодской области выше, чем из восточных районов региона. Это связано с тем, что западные и восточные районы области отличаются по своим природно-климатическим характеристикам. Для западных районов характерно наличие большого числа озер и заболоченных территорий, в то время как в восточных районах области высокий показатель густоты речной сети, при этом крупных водоемов и болотных массивов нет (Природа..., 2007). Ранее было установлено, что повышенные концентрации ртути в органах животных определяются наличием болот и крупных непроточных водоемов в районах их обитания, что может свидетельствовать о миграции ртути из водных экосистем в наземные (Комов и др., 2012).

В отличие от западной части Вологодской области, в восточных районах не установлено корреляционных зависимостей в разных парах органов. Вероятно, выявление статистически значимых корреляций между количеством Hg в разных парах органов происходит только при повышенных концентрациях ртути.

Заключение

Содержание ртути в органах обыкновенной бурозубки статистически значимо (в 2–5 раз) выше количества Hg в соответствующих органах обыкновенной полевки. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих из западной части Вологодской области, где много озер и большие территории заняты болотами, выше, чем у животных из восточной части с развитой речной сетью. Высокая скореллированность изученных показателей, особенно у бурозубок из западной части, может указывать на повышенное содержание ртути в районе исследования и большей подверженности вида воздействию токсиканта.

Список литературы

- Виноградов, Б.С., Громов, И.М., 1952. Грызуны фауны СССР. Издательство АН СССР, Москва – Ленинград, СССР, 298 с.
- Долгов, А.А., 1985. Бурозубки Старого Света. Издательство МГУ, Москва, СССР, 219 с.
- Емельянова, А.А., 2008. Питание Европейской рыжей полевки верховий Волги и смежных территорий. *Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология* 31 (10), 1–109.
- Ивантер, Э.В., 2008. Млекопитающие Карелии. Издательство ПетрГУ, Петрозаводск, Россия, 296 с.
- Илюха, В.А., Хижкин Е. А., Антонова Е. П., Комов В. Т., Сергина С. Н. и др., 2019. Реакция антиоксидантной системы на накопление ртути в органах мелких млекопитающих Карелии. *Тезисы докладов VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В. В. Никонова «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения», Апатиты, 16–22.06.2019.* Апатиты, Россия, 223–225.
- Кичигин, А.Н., 2007. Геоморфологическое районирование Вологодской области. В: Семенов Д.Ф. и др. (ред.), *Геология и география Вологодской области: Сборник научных трудов.* Русь, Вологда, Россия, 65–80.
- Комов, В.Т., Степина, Е.С., Гремячих, В.А., Поддубная, Н.Я., Борисов, М.Я., 2012. Содержание ртути в органах хищных млекопитающих семейства куницы (Mustelidae) Вологодской области. *Поволжский экологический журнал* 4, 385–393.
- Комов, В.Т., Гремячих, В.А., Сапельников, С.Ф., Удоденко, Ю.Г., 2010. Содержание ртути в почвах и в мелких млекопитающих различных биотопов Воронежского заповедника. *Материалы Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты», Москва, 07–09.09.2010.* Москва, Россия, 281–286.

- Макаров, А.М., Ивантер, Э.В., 2016. Размерные особенности жертв и их роль в питании землероек-бурозубок (*Sorex L.*). *Экология* 3, 236–240.
- Природа Вологодской области, 2007. Воробьев, Г.А. (ред.). Издательский дом Вологжанин, Вологда, Россия, 440 с.
- Al Sayegh Petkovšek, S., Kopusar, N., Kryštufek, B., 2014. Small mammals as biomonitors of metal pollution: a case study in Slovenia. *Environmental monitoring and assessment* 186, 4261–4274.
- Alleva, E., Francia, N., Pandolfi, M., De Marinis, A. M., Chiarotti, F., Santucci, D., 2006. Organochlorine and heavy-metal contaminants in wild mammals and birds of Urbino-Pesaro province, Italy: an analytic overview for potential bioindicators. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51, 123–134.
- Buck, D.G., Evers, D.C., Adams, E., DiGangi, J., Beeler, B. et al., 2019. A global-scale assessment of fish mercury concentrations and the identification of biological hotspots. *Science of The Total Environment* 687, 956–966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.159>
- Bull, K.R., Roberts, R.D., Inskip, M.J., Goodman, G.T., 1977. Mercury concentrations in soil, grass, earthworms and small mammals near an industrial emission source. *Environmental Pollution* 12 (2), 135–140.
- Clarkson, T.W., Magos, L., 2006. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical reviews in toxicology* 36, 609–662.
- Covelli, S., Langone, L., Acquavita, A., Piani, R., Emili, A., 2012. Historical flux of mercury associated with mining and industrial sources in the Marano and Grado Lagoon (northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 113, 7–19.
- Cristol, D.A., Brasso, R.L., Condon, A.M., Fovargue, R.E., Friedman, S.L., Hallinger, K.K., White, A.E., 2008. The movement of aquatic mercury through terrestrial food webs. *Science* 320 (5874), 335–335.
- Drenner, R.W., Chumchal, M.M., Jones, C.M., Lehmann, C.M., Gay, D.A., Donato, D.I., 2013. Effects of mercury deposition and coniferous forests on the mercury contamination of fish in the South Central United States. *Environmental science & technology* 47 (3), 1274–1279.
- Durkalec, M., Nawrocka, A., Żmudzki, J., Filipek, A., Niemcewicz, M., Posyniak, A., 2019. Concentration of mercury in the livers of small terrestrial rodents from rural areas in Poland. *Molecules* 24 (22), 4108.
- Eagles-Smith, C.A., Silbergeld, E.K., Basu, N., Bustamante, P., Diaz-Barriga, F. et al., 2018. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change. *Ambio* 47 (2), 170–197. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1011-x>
- Gardner, W.S., Kendall, D.R., Odom, R.R., Windom, H.L., Stephens, J.A., 1978. The distribution of methyl mercury in a contaminated salt marsh ecosystem. *Environmental Pollution* 15 (4), 243–251.
- Gerstenberger, S.L., Cross, C.L., Divine, D.D., Gulmatico, M.L., Rothweiler, A.M., 2006. Assessment of mercury concentrations in small mammals collected near Las Vegas, Nevada, USA. *Environmental Toxicology: An International Journal* 21 (6), 583–589.
- Gremyachikh, V.A., Kvasov, D.A., Ivanova, E.S., 2019. Patterns of mercury accumulation in the organs of bank vole *Myodes glareolus* (Rodentia, Cricetidae). *Biosystems Diversity* 27 (4), 329–333. <https://doi.org/10.15421/011943>
- Haines, T.A., Komov, V.T., Jagoe, C.H., 1992. Lake acidity and mercury content of fish in Darwin National Reserve, Russia. *Environmental Pollution* 78 (1–3), 107–112.

- Kalisinska, E., Lanocha-Arendarczyk, N., Podlasinska, J., 2021. Current and historical nephric and hepatic mercury concentrations in terrestrial mammals in Poland and other European countries. *Science of the Total Environment* **775**, 145808.
- Komov, V.T., Ivanova, E.S., Poddubnaya, N.Y., Gremyachikh, V.A., 2017. Mercury in soil, earthworms and organs of voles *Myodes glareolus* and shrew *Sorex araneus* in the vicinity of an industrial complex in Northwest Russia (Cherepovets). *Environmental Monitoring and Assessment* **189**, 104.
- Kwon, S.Y., Blum, J.D., Nadelhoffer, K.J., Dvonch, J.T., Tsui, M.T.K., 2015. Isotopic study of mercury sources and transfer between a freshwater lake and adjacent forest food web. *Science of the Total Environment* **532**, 220–229.
- Lu, Z., Wang, X., Zhang, Y., Zhang, Y.J., Luo, K., Sha, L., 2016. High mercury accumulation in two subtropical evergreen forests in South China and potential determinants. *Journal of environmental management* **183**, 488–496.
- Marques, C.C., Sánchez-Chardi, A., Gabriel, S.I., Nadal, J., Viegas-Crespo, A.M., da Luz Mathias, M., 2007. How does the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, responds to long-term heavy metal contamination?—A case study. *Science of the Total Environment* **376** (1–3), 128–133.
- Morel, F.M., Kraepiel, A.M., Amyot, M., 1998. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual review of ecology and systematics* **29** (1), 543–566.
- Obrist, D., 2007. Atmospheric mercury pollution due to losses of terrestrial carbon pools? *Biogeochemistry* **85** (2), 119–123.
- Sánchez-Chardi, A., López-Fuster, M.J., 2009. Metal and metalloid accumulation in shrews (Soricomorpha, Mammalia) from two protected Mediterranean coastal sites. *Environmental pollution* **157** (4), 1243–1248.
- Sánchez-Chardi, A., Marques, C.C., Nadal, J., da Luz Mathias, M., 2007. Metal bioaccumulation in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, inhabiting an abandoned pyrite mine site. *Chemosphere* **67** (1), 121–130.
- Sierra-Marquez, L., Peñuela-Gomez, S., Franco-Espinosa, L., Gomez-Ruiz, D., Diaz-Nieto, J., Sierra-Marquez, J., Olivero-Verbel, J., 2018. Mercury levels in birds and small rodents from Las Orquideas National Natural Park, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research* **25**, 35055–35063.
- Song, Z., Li, P., Ding, L., Li, Z., Zhu, W., He, T., Feng, X., 2018. Environmental mercury pollution by an abandoned chloralkali plant in Southwest China. *Journal of Geochemical Exploration* **194**, 81–87.
- Strom, S.M., 2008. Total mercury and methylmercury residues in river otters (*Lutra canadensis*) from Wisconsin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **54**, 546–554.
- Tavshunsky, I., Eggert, S.L., Mitchell, C.P., 2017. Accumulation of methylmercury in invertebrates and masked shrews (*Sorex cinereus*) at an upland forest-peatland interface in northern Minnesota, USA. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* **99**, 673–678.
- Ullrich, S.M., Tanton, T.W., Abdrashitova, S.A., 2001. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation. *Critical reviews in environmental science and technology* **31** (3), 241–293.
- UN Environment, (2019) Global Mercury Assessment, 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland

Vucetich, L.M., Vucetich, J.A., Cleckner, L.B., Gorski, P.R., Peterson, R.O., 2001. Mercury concentrations in deer mouse (*Peromyscus maniculatus*) tissues from Isle Royale National Park. *Environmental Pollution* **114** (1), 113–118.

Wiener, J., Krabbenhoft, D., Heinz, G., Scheuhammer, A., 2002. Ecotoxicology of Mercury. In: Hoffman, D. et al. (eds), *Handbook of Ecotoxicology, Second Edition*. CRC Press, Boca Raton, USA, 433–438.

References

Al Sayegh Petkovšek, S., Kopusar, N., Kryštufek, B., 2014. Small mammals as biomonitors of metal pollution: a case study in Slovenia. *Environmental monitoring and assessment* **186**, 4261–4274.

Alleva, E., Francia, N., Pandolfi, M., De Marinis, A. M., Chiarotti, F., Santucci, D., 2006. Organochlorine and heavy-metal contaminants in wild mammals and birds of Urbino-Pesaro province, Italy: an analytic overview for potential bioindicators. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **51**, 123–134.

Buck, D.G., Evers, D.C., Adams, E., DiGangi, J., Beeler, B. et al., 2019. A global-scale assessment of fish mercury concentrations and the identification of biological hotspots. *Science of The Total Environment* **687**, 956–966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.159>

Bull, K.R., Roberts, R.D., Inskip, M.J., Goodman, G.T., 1977. Mercury concentrations in soil, grass, earthworms and small mammals near an industrial emission source. *Environmental Pollution* **12** (2), 135–140.

Clarkson, T.W., Magos, L., 2006. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical reviews in toxicology* **36**, 609–662.

Covelli, S., Langone, L., Acquavita, A., Piani, R., Emili, A., 2012. Historical flux of mercury associated with mining and industrial sources in the Marano and Grado Lagoon (northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **113**, 7–19.

Cristol, D.A., Brasso, R.L., Condon, A.M., Fovargue, R.E., Friedman, S.L., Hallinger, K.K., White, A.E., 2008. The movement of aquatic mercury through terrestrial food webs. *Science* **320** (5874), 335–335.

Dolgoy, A.A., 1985. Burozubki Starogo Sveta [Shrews of the Old World]. Moscow State University Publishing House, Moscow, USSR, 219 p. (In Russian).

Drenner, R.W., Chumchal, M.M., Jones, C.M., Lehmann, C.M., Gay, D.A., Donato, D.I., 2013. Effects of mercury deposition and coniferous forests on the mercury contamination of fish in the South Central United States. *Environmental science & technology* **47** (3), 1274–1279.

Durkalec, M., Nawrocka, A., Żmudzki, J., Filipek, A., Niemcewicz, M., Posyniak, A., 2019. Concentration of mercury in the livers of small terrestrial rodents from rural areas in Poland. *Molecules* **24** (22), 4108.

Eagles-Smith, C.A., Silbergeld, E.K., Basu, N., Bustamante, P., Diaz-Barriga, F. et al., 2018. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change. *Ambio* **47** (2), 170–197. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1011-x>

Emelyanova, A.A., 2008. Pitanie Evropeiskoi ryzhei polevki verkhovii Volgi i smezhnykh territorii [Nutrition of the European bank volume in the upper reaches of the Volga River and adjacent territories]. *Vestnik TvGU. Seriya: Biologiya i ekologiya [Bulletin of TvGU. Series: Biology and Ecology]* **31** (10), 1–109. (In Russian).

Gardner, W.S., Kendall, D.R., Odom, R.R., Windom, H.L., Stephens, J.A., 1978. The distribution of methyl mercury in a contaminated salt marsh ecosystem. *Environmental Pollution* **15** (4), 243–251.

- Gerstenberger, S.L., Cross, C.L., Divine, D.D., Gulmatico, M.L., Rothweiler, A.M., 2006. Assessment of mercury concentrations in small mammals collected near Las Vegas, Nevada, USA. *Environmental Toxicology: An International Journal* **21** (6), 583–589.
- Gremyachikh, V.A., Kvasov, D.A., Ivanova, E.S., 2019. Patterns of mercury accumulation in the organs of bank vole *Myodes glareolus* (Rodentia, Cricetidae). *Biosystems Diversity* **27** (4), 329–333. <https://doi.org/10.15421/011943>
- Haines, T.A., Komov, V.T., Jagoe, C.H., 1992. Lake acidity and mercury content of fish in Darwin National Reserve, Russia. *Environmental Pollution* **78** (1–3), 107–112.
- Ivanter, E.V., 2008. Mlekopitayushchie Karelii [Mammals of Karelia]. Petrozavodsk State University Publishing House, Petrozavodsk, Russia, 296 p. (In Russian).
- Ilyukha, V.A., Khizhkin, E.A., Antonova, E.P., Komov, V.T., Sergina, S.N., et al., 2019. Antioxidant system response to the accumulation of mercury in the organs of small mammals of Karelia. Tezisy dokladov VII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posviashhennoi 30-letiyu Instituta problem promyshlennoi ekologii Severa FIC KNC RAN i 75-letiyu so dnya rozhdeniya doktora biologicheskikh nauk, professora V.V. Nikonova “Ekologicheskie problemy severnykh regionov i puti ikh resheniya” [Abstracts of VII Russian Scientific Conference with international participation, dedicated to the 30th anniversary of the Institute of Northern Industrial Ecology Problems and to the 75th anniversary celebration of Professor V.V. Nikonov “Ecological problems of the Northern Regions and ways to their solution”], Apatity, 16–22.06.2019. Apatity, Russia, 223–225.
- Kalisinska, E., Lanocha-Arendarczyk, N., Podlasinska, J., 2021. Current and historical nephric and hepatic mercury concentrations in terrestrial mammals in Poland and other European countries. *Science of the Total Environment* **775**, 145808.
- Kichigin, A.N., 2007. Geomorfologicheskoe raionirovanie Vologodskoi oblasti [Geomorphological zoning of the Vologda Oblast]. In: Semenov, D.F. et al. (eds.), *Geologiya i geografiya Vologodskoi oblasti: Sbornik nauchnykh trudov* [Geology and Geography of the Vologda Oblast: Collection of Scientific Papers]. Rus', Vologda, Russia, 65–80. (In Russian).
- Komov, V.T., Gremyachikh, V.A., Sapel'nikov, S.F., Udodenko, Yu.G., 2010. Soderzhanie rtuti v pochvakh i v melkikh mlekopitayushchikh razlichnykh biotopov Voronezhskogo zapovednika [Mercury content in soils and small mammals of various biotopes of the Voronezh Nature Reserve]. *Materialy Mezhdunarodnogo simposiuma “Rtut' v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty”* [Materials of the International Symposium “Mercury in the Biosphere: Ecological and Geochemical Aspects”], Moscow, 07–09.09.2010. Moscow, Russia, 281–286. (In Russian).
- Komov, V.T., Ivanova, E.S., Poddubnaya, N.Y., Gremyachikh, V.A., 2017. Mercury in soil, earthworms and organs of voles *Myodes glareolus* and shrew *Sorex araneus* in the vicinity of an industrial complex in Northwest Russia (Cherepovets). *Environmental Monitoring and Assessment* **189**, 104.
- Komov, V.T., Stepina, E.S., Gremyachikh, V.A., Poddubnaya, N.Ya., Borisov, M.Ya., 2012. Soderzhanie rtuti v organakh khishchnykh mlekopitayushchikh semeistva kun'i (Mustelidae) Vologodskoi oblasti [Mercury contents in the organs of musteline mammals (Mustelidae) in the Vologda Oblast]. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal* [Volga Ecological Journal] **4**, 385–393. (In Russian).
- Kwon, S.Y., Blum, J.D., Nadelhoffer, K.J., Dvonch, J.T., Tsui, M.T.K., 2015. Isotopic study of mercury sources and transfer between a freshwater lake and adjacent forest food web. *Science of the Total Environment* **532**, 220–229.
- Lu, Z., Wang, X., Zhang, Y., Zhang, Y.J., Luo, K., Sha, L., 2016. High mercury accumulation in two subtropical evergreen forests in South China and potential determinants. *Journal of environmental management* **183**, 488–496.

- Makarov, A.M., Ivanter, E.V., 2016. Razmernye kharakteristiki zhertv i ikh rol' v pitanii zemleroek-burozubok (*Sorex L.*). [Dimensional characteristics of prey and their role in the diet of shrews (*Sorex L.*)]. *Ekologiya [Russian Journal of Ecology]* **3**, 236–240. (In Russian).
- Marques, C.C., Sánchez-Chardi, A., Gabriel, S.I., Nadal, J., Viegas-Crespo, A.M., da Luz Mathias, M., 2007. How does the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, responds to long-term heavy metal contamination?—A case study. *Science of the Total Environment* **376** (1–3), 128–133.
- Morel, F.M., Kraepiel, A.M., Amyot, M., 1998. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual review of ecology and systematics* **29** (1), 543–566.
- Obrist, D., 2007. Atmospheric mercury pollution due to losses of terrestrial carbon pools? *Biogeochemistry* **85** (2), 119–123.
- Priroda Vologodskoi oblasti [Nature of the Vologda Oblast], 2007. Vorobyov, G.A. (ed.). Vologzhanin Publishing House, Vologda, Russia, 440 p. (In Russian).
- Sánchez-Chardi, A., López-Fuster, M.J., 2009. Metal and metalloid accumulation in shrews (*Soricomorpha*, *Mammalia*) from two protected Mediterranean coastal sites. *Environmental pollution* **157** (4), 1243–1248.
- Sánchez-Chardi, A., Marques, C.C., Nadal, J., da Luz Mathias, M., 2007. Metal bioaccumulation in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, inhabiting an abandoned pyrite mine site. *Chemosphere* **67** (1), 121–130.
- Sierra-Marquez, L., Peñuela-Gomez, S., Franco-Espinosa, L., Gomez-Ruiz, D., Diaz-Nieto, J., Sierra-Marquez, J., Olivero-Verbel, J., 2018. Mercury levels in birds and small rodents from Las Orquideas National Natural Park, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research* **25**, 35055–35063.
- Song, Z., Li, P., Ding, L., Li, Z., Zhu, W., He, T., Feng, X., 2018. Environmental mercury pollution by an abandoned chloralkali plant in Southwest China. *Journal of Geochemical Exploration* **194**, 81–87.
- Strom, S.M., 2008. Total mercury and methylmercury residues in river otters (*Lutra canadensis*) from Wisconsin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **54**, 546–554.
- Tavshunsky, I., Eggert, S.L., Mitchell, C.P., 2017. Accumulation of methylmercury in invertebrates and masked shrews (*Sorex cinereus*) at an upland forest-peatland interface in northern Minnesota, USA. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* **99**, 673–678.
- Ullrich, S.M., Tanton, T.W., Abdrashitova, S.A., 2001. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation. *Critical reviews in environmental science and technology* **31** (3), 241–293.
- UN Environment, (2019) Global Mercury Assessment, 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland
- Vinogradov, B.S., Gromov, I.M., 1952. Gryzuny fauny SSSR [Rodents of the fauna of the USSR]. Publishing house of the USSR Academy of Sciences, Moscow – Leningrad, USSR, 298 p. (In Russian).
- Vucetich, L.M., Vucetich, J.A., Cleckner, L.B., Gorski, P.R., Peterson, R.O., 2001. Mercury concentrations in deer mouse (*Peromyscus maniculatus*) tissues from Isle Royale National Park. *Environmental Pollution* **114** (1), 113–118.
- Wiener, J., Krabbenhoft, D., Heinz, G., Scheuhammer, A., 2002. Ecotoxicology of Mercury. In: Hoffman, D. et al. (eds), *Handbook of Ecotoxicology, Second Edition*. CRC Press, Boca Raton, USA, 433–438.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Табл. S1. Содержание ртути в органах мелких млекопитающих различных геоморфологических областей, мкг/г сухой массы: n – количество проб, mean – средние значения, median – медиана, min и max – минимальные и максимальные значения показателя, Q25 и Q75 – нижний (25%) и верхний (75%) квартиль соответственно, SD – стандартное отклонение, SE – стандартная ошибка среднего. Значения с разными буквенными индексами статистически значимо различаются между органами для каждого отдельного вида при уровне значимости $p \leq 0.05$ (критерий Манна–Уитни).

Область	n	mean	median	min	max	Q25	Q75	SD	SE	М–У тест
Отряд Насекомоядные (Eulipotyphla)										
Вид Обыкновенная бурозубка – <i>Sorex araneus</i>										
Мышцы										
Запад	131	0.098	0.052	0.001	1.467	0.018	0.124	0.167	0.015	b
Восток	48	0.045	0.032	0.001	0.173	0.014	0.067	0.043	0.006	a
Печень										
Запад	141	0.104	0.066	0.001	1.674	0.020	0.130	0.163	0.014	b
Восток	53	0.039	0.031	0.001	0.207	0.017	0.044	0.038	0.005	a
Почки										
Запад	149	0.187	0.092	0.001	1.764	0.029	0.264	0.245	0.020	b
Восток	53	0.075	0.044	0.001	0.616	0.011	0.095	0.106	0.015	a
Мозг										
Запад	101	0.068	0.052	0.001	0.480	0.024	0.083	0.082	0.008	b
Восток	46	0.038	0.031	0.001	0.171	0.001	0.055	0.042	0.006	a
Отряд Грызуны (Rodentia)										
Вид Обыкновенная полевка – <i>Microtus arvalis</i>										
Мышцы										
Запад	105	0.017	0.008	0.001	0.355	0.003	0.016	0.039	0.004	a
Восток	49	0.014	0.005	0.001	0.084	0.003	0.015	0.020	0.003	a
Печень										
Запад	95	0.018	0.008	0.001	0.299	0.004	0.018	0.034	0.004	b
Восток	67	0.007	0.001	0.001	0.084	0.001	0.005	0.014	0.002	a
Почки										
Запад	121	0.032	0.013	0.001	0.359	0.005	0.038	0.051	0.005	b
Восток	70	0.016	0.007	0.001	0.267	0.002	0.018	0.034	0.004	a
Мозг										
Запад	67	0.026	0.010	0.001	0.141	0.004	0.026	0.027	0.003	a
Восток	70	0.022	0.001	0.001	0.048	0.001	0.024	0.056	0.007	a