



DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-251129>

EDN: <https://elibrary.ru/wlfmsj>

УДК 574.43+592

Научная статья

Ртуть в беспозвоночных нижних трофических уровнях водных и наземных экосистем южного побережья о. Сахалин

Ю.Г. Удоденко^{1, 2*} , Т.Б. Камшилова¹ , Т.А. Девятова³,
И.И. Гордеев^{4, 5, 6} 

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок, д. 109

² Череповецкий государственный университет, 162602, Россия, Вологодская обл., г. Череповец, пр-кт Луначарского, д. 5

³ Воронежский государственный университет, 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119234, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

⁵ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 105187, Россия, г. Москва, Окружной пр-д, д. 19

⁶ Сахалинский государственный университет, 693000, Россия, г. Южно-Сахалинск, Коммунистический пр-кт, д. 33

*udu@mail.ru

Аннотация. Определена концентрация ртути в беспозвоночных различных таксономических групп и трофических гильдий, отобранных в августе 2025 г в окрестностях мыса Анастасии, п-ов Крильон, о. Сахалин. Наземные и пресноводные беспозвоночные содержали статистически значимо больше ртути по сравнению с беспозвоночными, обитающими на морской литорали. Наибольшие концентрации отмечены у дождевых червей вида *Octolasion lacteum* – 650 ± 387 нг/г, наименьшие у равноногих раков рода *Idotea* – 28 ± 9 нг/г. Показано, что тип и способ питания животных значительно влияют на вариабельность концентраций ртути между таксономическими и экологическими группами беспозвоночных, обитающих в одном биотопе на южном побережье о. Сахалин. Выявленные концентрации ртути в организме беспозвоночных могут быть использованы как фоновые значения в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: дождевые черви, пауки, сенокосцы, поденки, ракообразные, пищевые сети, река, море, литораль

Финансирование. Работа была поддержана Некоммерческим благотворительным фондом "Поддержка биологических исследований БИОМ" (проект № 14/2025). Аналитические работы выполнены в рамках государственного задания 24032500015-7 Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН.

ORCID:Ю.Г. Удоденко, <https://orcid.org/0000-0003-0789-4847>Т.Б. Камшилова, <https://orcid.org/0000-0002-8535-9658>И.И. Гордеев, <https://orcid.org/0000-0002-6650-9120>

Для цитирования: Удоденко, Ю.Г. и др., 2026. Ртуть в беспозвоночных нижних трофических уровнях водных и наземных экосистем южного побережья о. Сахалин. *Трансформация экосистем* 9 (3), 130–144. <https://doi.org/10.23859/estr-251129>

Поступила в редакцию: 29.11.2025

Принята к печати: 28.02.2026

Опубликована онлайн: 29.08.2026

DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-251129>EDN: <https://elibrary.ru/wlfmsj>

UDC 574.43+592

Article

Mercury content in the invertebrates of lower trophic levels of aquatic and terrestrial ecosystems of the southern coast of Sakhalin Island, Far East, Russia

Yu.G. Udodenko^{1, 2*} , T.B. Kamshilova¹ , T.A. Devyatova³,
I.I. Gordeev^{4, 5, 6} 

¹ I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok 109, Nekouz District, Yaroslavl Oblast, 152742 Russia

² Cherepovets State University, Prospekt Lunacharskogo St. 5, Cherepovets, Vologda Oblast, 162602 Russia

³ Voronezh State University, Universitetskaya Square 1, Voronezh, 394018 Russia

⁴ Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119234 Russia

⁵ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Okružhnoy proezd 19, Moscow, 105187 Russia

⁶ Sakhalin State University, Kommunistichesky Prospekt St. 33, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000 Russia

*udu@mail.ru

Abstract. Mercury concentrations were determined in invertebrates of various taxonomic groups and trophic levels sampled in August 2025 near Cape Anastasia, Crillon Peninsula, Sakhalin Island (Far East, Russia). Terrestrial and freshwater invertebrates contained significantly more mercury than those inhabiting the marine intertidal zone. The highest mercury concentrations were registered for the earthworm, *Octolasion lacteum* (650 ± 387 ng/g), and the lowest – for isopod crustaceans of the

genus *Idotea* (28 ± 9 ng/g). The food spectra and trophic group (type of feeding) affect significantly the variability of mercury concentrations in regard to taxonomic and ecological groups of invertebrates inhabiting the same biotope. The mercury concentrations obtained for studied invertebrates can be used as background values.

Keywords: earthworms, spiders, harvestmen, mayflies, crustaceans, food webs, river, sea, littoral zone

Funding. The work was supported by the Non-Commercial Charitable Foundation "Support of Biological Research "BIOM" (project no. 14/2025). The analytical work was carried out under State Assignment no. 24032500015-7 for the I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences.

ORCID:

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

T.B. Kamshilova, <https://orcid.org/0000-0002-8535-9658>

I.I. Gordeev, <https://orcid.org/0000-0002-6650-9120>

To cite this article: Udodenko, Yu.G. et al., 2026. Mercury content in the invertebrates of lower trophic levels of aquatic and terrestrial ecosystems of the southern coast of Sakhalin Island, Far East, Russia. *Ecosystem Transformation* 9 (3), 130–144. <https://doi.org/10.23859/estr-251129>

Received: 29.11.2025

Accepted: 28.02.2026

Published online: 29.08.2026

Введение

Взаимосвязь химического состава организмов животных и окружающей среды не вызывает сомнений. При этом в зависимости от биогеохимических условий в биотопе уровни накопления различных соединений тканями и органами могут существенно отличаться даже при одинаковых фоновых концентрациях.

Эмиссия ртути в атмосферу из природных и антропогенных источников является отправным моментом при ее миграции в окружающей среде (Driscoll et al., 2013; Selin, 2009). По существующим оценкам, ежегодно в атмосферу поступает примерно 5000–6000 тонн ртути, из которых от 1/3 до 2/3 имеют антропогенное происхождение (UN Environment, 2019). С воздушными массами атомарная ртуть (Hg^0) переносится на большие расстояния и после окисления до двухвалентного иона (Hg^{2+}) осаждается на земную и водную поверхность на значительном удалении от источника. В водных экосистемах и влажных землях часть двухвалентной ртути под воздействием микроорганизмов переходит в чрезвычайно токсичную метилртуть (CH_3Hg^+), которая легко вовлекается в пищевые сети (Scheuhammer et al., 2012).

Пища – основной источник метилртути для животных (Chételat et al., 2020). Ртутьорганические соединения интенсивнее, чем неорганические, аккумулируются биотой и медленнее выводятся из организма, что приводит к более эффективной миграции ртути по трофической цепи. Наибольшие концентрации ртути обычно отмечаются в органах и тканях видов, занимающих верхние трофические уровни в наземных и водных экосистемах (Rumbold et al., 2018; Seco et al., 2021). Накопленная в организме метилртуть представляет угрозу для здоровья большинства позвоночных, в том числе и человека (Scheuhammer et al., 2015).

Объемы ртути в экосистеме часто определяются по ее содержанию в органах и тканях позвоночных верхних трофических уровней в локальных пищевых сетях (Chételat et al., 2020; Eagles-Smith et al., 2016). В то же время исследования оценки вовлечения ртути в пищевую сеть на основании определения ее концентраций в организме животных нижних трофических уровней до сих пор фрагментарны (Martins et al., 2021).

Беспозвоночные обычно занимают узкую экологическую нишу и, как правило, консервативны по типу питания. Большинство видов не мигрирует на большие расстояния и постоянно живет в одних и тех же биогеохимических условиях. Беспозвоночные являются ценным пищевым ресурсом для позвоночных и позволяют предсказывать содержание ртути в организме консументов верхних трофических уровней. Таким образом, наиболее обильно представленные в биотопах виды беспозвоночных различных таксонов и экологических групп можно рассматривать в качестве удобных индикаторов биогеохимических условий в экосистеме.

Особого внимания заслуживает поиск наиболее информативного показателя для оценки экологического состояния удаленных территорий, где антропогенная нагрузка сведена к минимуму. Результаты поисковых исследований необходимы для обоснованного географического районирования и рационального землепользования. Именно с этой точки зрения интересно южное побережье о. Сахалин (Гордеев и др., 2024).

Цель данного исследования – сравнить уровни накопления ртути в организме наиболее распространенных наземных, пресноводных и морских беспозвоночных, занимающих нижние трофические уровни в пищевых сетях южного побережья о. Сахалин.

Материалы и методы

Сбор материала проходил с 4 по 14 августа 2025 г. в окрестностях мыса Анастасии, п-ов Крыльон, о. Сахалин. (Рис. 1). На исследуемой территории было выделено 3 ключевых участка: 1) биостанция «Анива»; 2) нижнее течение р. Анастасия; 3) морская литораль шириной до 150 м от берега.

На каждом ключевом участке отбирались наиболее обильно представленные макробеспозвоночные разных таксонов и трофических гильдий (Табл. 1). На р. Анастасия и морской литорали сбор материала проводился на нескольких пробных площадках (ПП), предположительно отличающихся друг от друга по биогеохимическим условиям. ПП на равнинном участке течения р. Анастасия располагались на расстоянии 300 и 2500 м от устья. На морской литорали было обследовано 2 ПП: участок в 100 м севернее биостанции, покрытый зарослями *Phyllospadix iwatensis* (Makino), с примыкающим «птичьим базаром» – редкими скальными выходами в 200 м от берега, занятыми колонией беринговых бакланов (*Urile pelagicus* Pallas, 1811); гравийный участок без макрофитов непосредственно возле биостанции. Наземные и водные беспозвоночные отлавливались общепринятыми методами (Бызова и др., 1987; Руководство..., 1992). Пауков и сенокосцев собирали вручную; дождевых червей – методом ручного разбора почвенных проб; водных беспозвоночных – кошением водным сачком. Все беспозвоночные были зафиксированы в 95% этиловом спирте, в котором хранились до анализа.

Содержание ртути определялось методом пиролиза с помощью атомно-абсорбционного спектрометра РА-915М (Люмэкс, Россия), оснащенного пиролитической приставкой ПИРО. Метод широко используется при анализе содержания ртути в различных биоматериалах (Fernandes et al., 2024; Panichev and Panicheva, 2015; Sholupov et al., 2004).

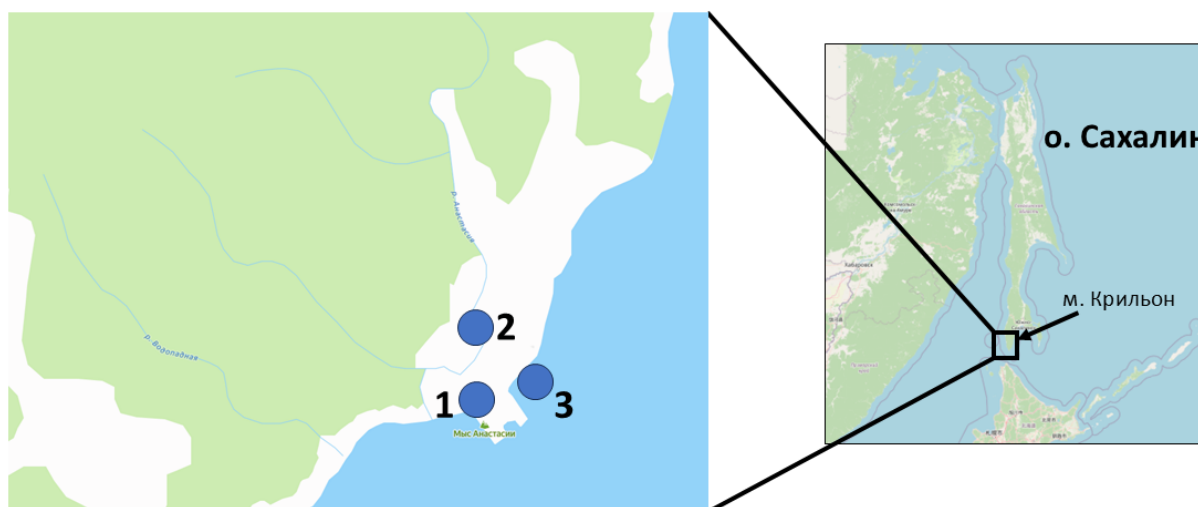


Рис. 1. Карта-схема исследуемого региона и расположение ключевых участков (пояснения см. Табл. 1).

Табл. 1. Координаты и краткое описание исследованных участков.

Номер станции	Координаты		Краткое описание	Собранный материал
	N	E		
1	46.017007	142.170037	Биостанция «Анива»	дождевые черви, пауки-кругопряды, сенокосцы
2	46.017719	142.166797	р. Анастасия	личинки поденок сем. Heptageniidae и пресноводные амфиподы сем. Gammaridae
3	46.017829	142.172485	Литораль севернее биостанции и птичий базар	морские ракообразные (<i>Idotea</i> sp., <i>Pagurus</i> sp., Mysidae)
	46.015086	142.171411	Литораль возле биостанции	

Перед анализом все образцы были выдержаны в сушильном шкафу при 40 °С в течение 48 ч для удаления оставшейся влаги. В зависимости от объема материала анализ каждой пробы проводился от одного до трех раз. В мелких беспозвоночных с сухой массой одной особи менее 5 мг (амфиподы, личинки поденок, сенокосцы) концентрация ртути определялась в интегральной пробе, включающей 3–4 особи. Точность измерений контролировалась с помощью международных стандартных материалов DORM-4. Отклонения от стандарта составляли 5–7%.

Концентрации ртути везде представлены для сухой массы и показаны в виде среднего значения $\pm$ стандартного отклонения. При статистической обработке полученных результатов применялись непараметрические методы. Для оценки различий между двумя независимыми выборками использовался U-критерий Манна-Уитни. Различия между тремя и более независимыми выборками оценивались по H-критерию Краскелла-Уоллиса.

Результаты

Содержание ртути в организме наземных беспозвоночных

Наибольшие средние концентрации ртути отмечены у дождевых червей *Octolasion lacteum* (Örley, 1885) (Рис. 2). У другого вида дождевых червей – *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843) – среднее содержание ртути было статистически значимо в 6.5 раз ниже. Для этого вида также не выявлено статистически значимых отличий по содержанию ртути между половозрелыми и ювенильными особями ($Z = 0.28$; $p = 0.777$). У *O. lacteum* ювенильные особи не отмечены.

Меньшие концентрации отмечены у арахнид, которые входят в структуру пастбищных пищевых сетей. Так, концентрации ртути у пауков-кругопрядов (Araneidae) и у сенокосцев (Opiliones) были сопоставимы между собой и значимо не отличались (Рис. 3).

Содержание ртути в организме водных беспозвоночных

Среди пресноводных беспозвоночных наибольшие концентрации ртути отмечены у амфипод семейства Gammaridae (Рис. 4). Личинки поденок семейства Heptageniidae в среднем содержали в два раза меньше ртути по сравнению с амфиподами. При этом статистически значимых отличий между амфиподами и личинками Heptageniidae из разных площадок сбора материала не выявлено.

Среди исследованных морских беспозвоночных максимальные концентрации ртути установлены у креветок-мизид. В то время равноногие раки рода *Idotea* и раки-отшельники рода *Pagurus* содержали в 2.5–3 раза меньше ртути, чем креветки (Рис. 5). Выявленные различия статистически значимы.

Содержание ртути в равноногих раках рода *Idotea* возле птичьего базара было статистически значимо ниже, чем у представителей этого же рода, обитающих непосредственно в прибрежной литорали ($H = 15.6$, $p = 0.013$).

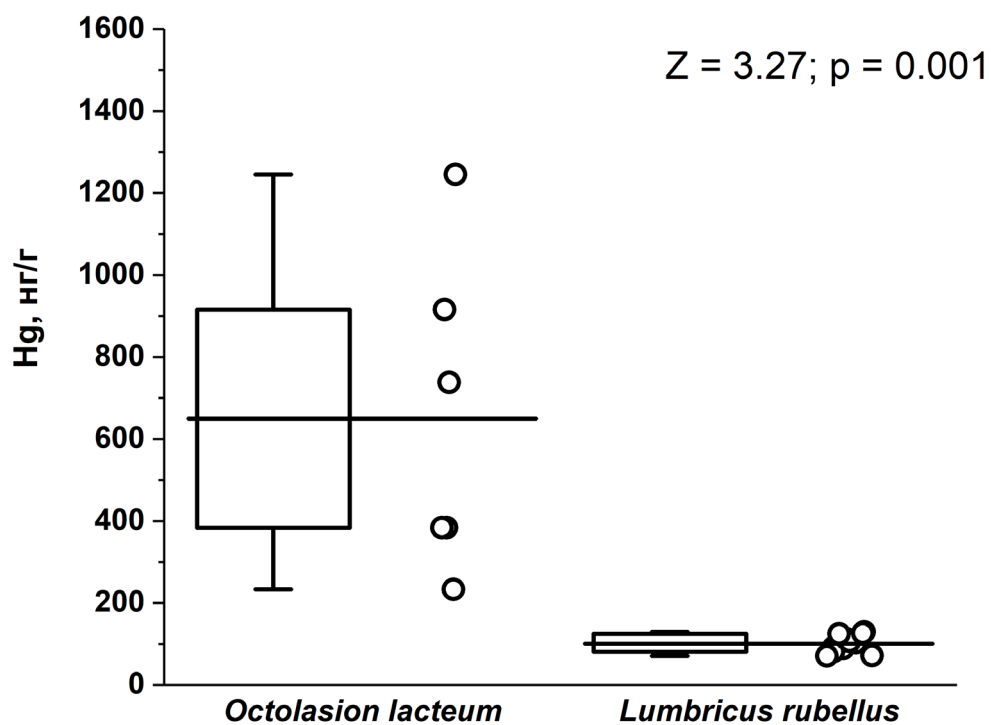


Рис. 2. Содержание ртути в организме исследованных видов дождевых червей. Здесь и далее: сплошная линия внутри «ящика» – среднее значение; окружности – отдельные измерения.

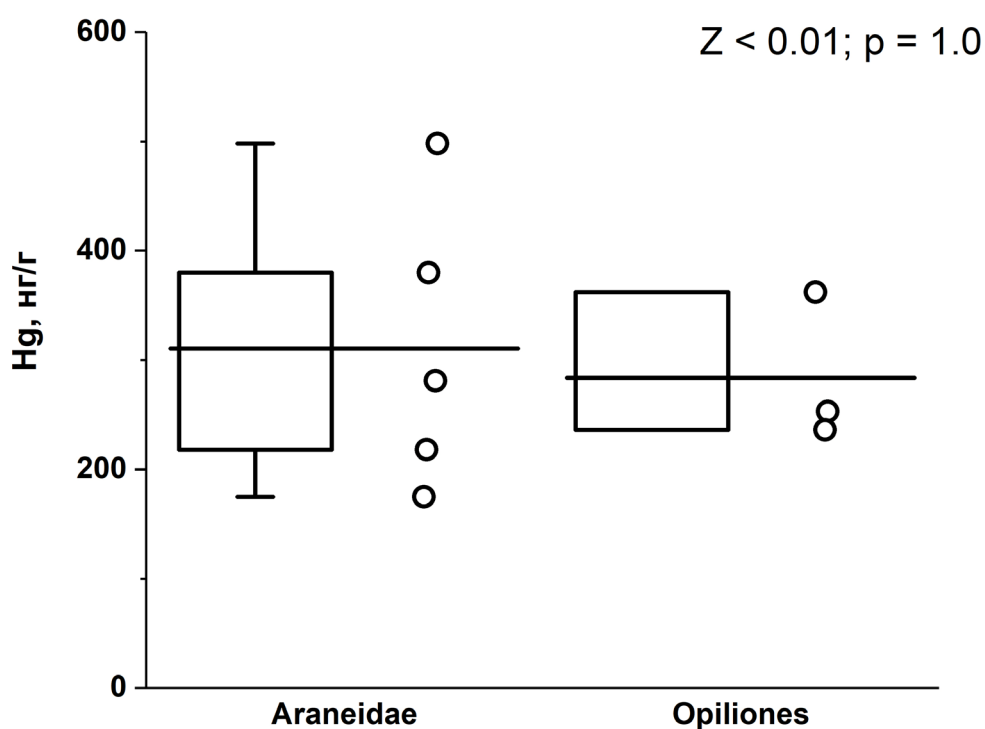


Рис. 3. Содержание ртути в организме исследованных видов паукообразных.

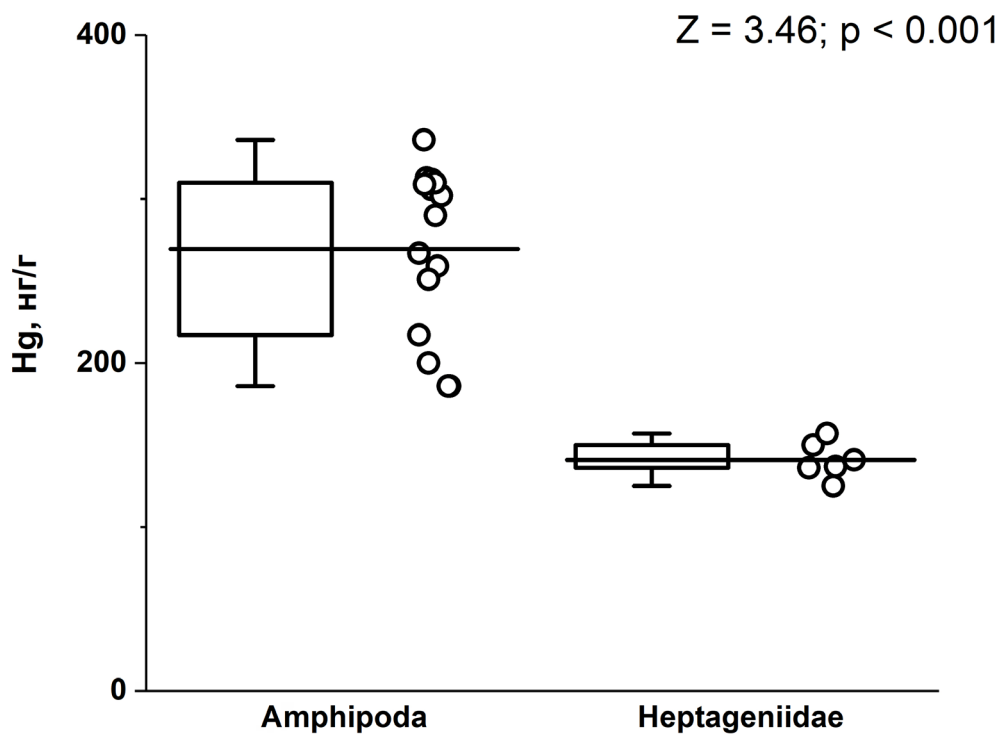


Рис. 4. Содержание ртути в пресноводных беспозвоночных из р. Анастасия.

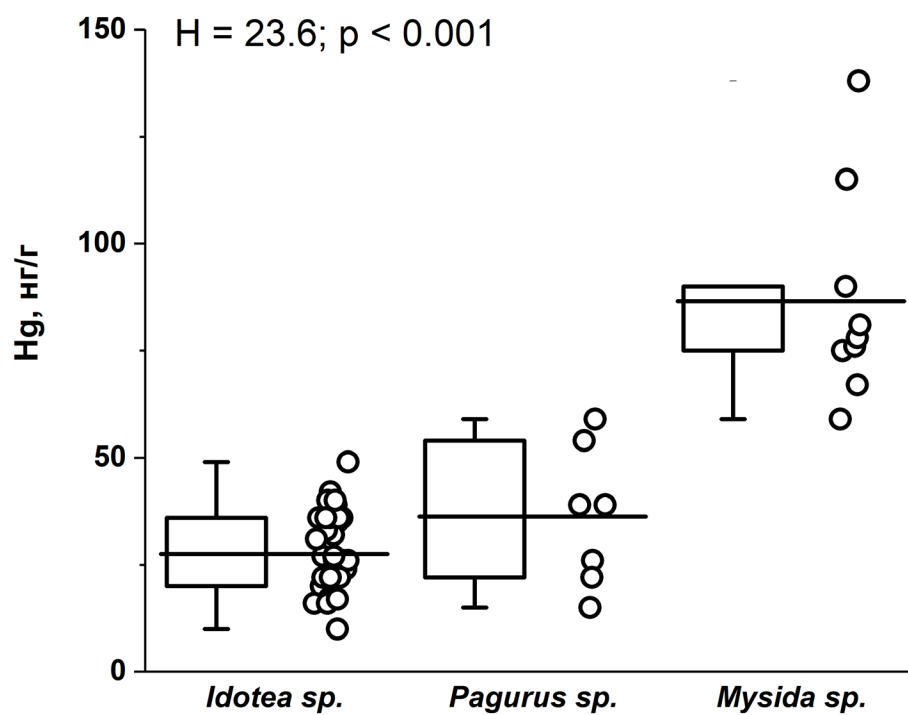


Рис. 5. Содержание ртути в ракообразных из морской литорали.

Обсуждение результатов

Закономерности накопления ртути различными экологическими группами наземных и водных беспозвоночных остаются малоизученными. При этом распределение ртути между животными, населяющими один и тот же биотоп, подчиняется тенденции, характерной для позвоночных – в организме хищных видов содержание ртути выше, чем у видов, питающихся растительной пищей и детритом (Комов и др., 2017; Razavi et al., 2020; Sinclair et al., 2024). Исключение из этой закономерности представляют собой дождевые черви, у которых может накапливаться в несколько раз больше ртути по сравнению с другими видами беспозвоночных (Удоденко и др., 2012; Komov et al., 2017; Zhang et al., 2009).

Содержание ртути в дождевых червях *Octolasion lacteum*, обитающих в почвах рассматриваемой территории, было максимальным среди других исследованных групп наземных и водных беспозвоночных южного побережья Сахалина. Средние концентрации у этого вида сопоставимы с величинами, отмеченными у дождевых червей из увлажненных почв лесопарковой зоны г. Череповца и Воронежского заповедника (Удоденко и др., 2012, 2022). Несмотря на то, что в г. Череповце расположен крупный металлургический комбинат, который может быть источником поступления разнообразных тяжелых металлов в окружающую среду, повышенных концентраций ртути в организме беспозвоночных, обитающих в городской черте не выявлено. В то же время средняя концентрация у *O. lacteum* была в 1.5–3 раза ниже, чем у дождевых червей родов *Allolobophora* и *Drawida* из провинции Ляонин, Китай (Zhang et al., 2009) и вида *Octolasion cyaneum* из лесных экосистем Швейцарии (Rieder et al., 2011). Содержание ртути в *Lumbricus rubellus* с южного побережья Сахалина, напротив, было в 2 раза ниже, чем у представителей этого же вида из лесных экосистем Швейцарии и сопоставимо с червями р. *Limnodrillus* из провинции Ляонин.

Исследования, выполненные в Швейцарии, показали, что виды дождевых червей, принадлежащие к разным морфо-экологическим группам, значительно отличаются между собой по содержанию ртути (Ernst and Frey, 2007; Rieder et al., 2011). Так, концентрация ртути в организме почвенно-подстилочных видов (в том числе *Lumbricus rubellus*), была статистически значительно ниже, чем в организме собственно почвенных видов, к которым относится *Octolasion lacteum*. Результаты настоящего исследования согласуются с данными, полученными при исследованиях в Швейцарии. Выявленные различия в концентрациях ртути между двумя видами дождевых червей с южного побережья о. Сахалин позволяют предположить, что соответственно различаются и уровни ртути в пищевых ресурсах этих видов.

Ранее было показано, что в одном и том же биотопе содержание ртути в организме сенокосцев значительно ниже, чем в организме пауков (Удоденко и др., 2022; Rimmer et al., 2010). Предполагается, что такие отличия связаны с типом питания, характерным для представителей разных отрядов арахнид. Пауки – облигатные хищники и охотятся преимущественно на насекомых из разных систематических групп. В отличие от пауков, в рационе сенокосцев присутствуют растительные остатки и детрит, хотя среди их представителей есть и хищные виды. В настоящем исследовании сенокосцев до вида не определяли, а в доступной литературе отсутствует информация о типе питания дальневосточных видов (Гонгальский и др., 2014; Марусик, 2005). Можно предположить, что сенокосцы южного побережья Сахалина являются зоофагами или характеризуются смешанным типом питания, вследствие чего накапливают ртуть в количествах, сопоставимых с таковым у пауков.

Содержание ртути в организме амфипод на исследуемой территории было выше величин, отмеченных у представителей этого таксона из загрязненных ртутью экосистем. Например, отмеченные нами показатели для амфипод из р. Анастасии в 1.5–2 раза превышали значения, зафиксированные для амфипод, обитающих в зоне промышленных выбросов в долине реки Святого Лаврентия (Канада) (Hodson et al., 2014). При этом у личинок поденок из р. Анастасии содержание ртути ниже, чем у личинок поденок из рек, подверженных антропогенному загрязнению ртутью. Так, поденки из р. Бороо (северная Монголия), в экосистему которой в результате техногенной аварии в середине XX века поступило большое количество металлической ртути, содержали в 10–15 раз больше этого элемента, чем поденки с южного побережья Сахалина (Udodenko et al., 2022).

В немногочисленных исследованиях, где сравнивается содержание ртути в организме представителей различных таксонов и трофических гильдий водных беспозвоночных, показаны противоречивые результаты. Так, повышенные концентрации ртути в ракообразных по сравнению с личинками поденок были отмечены на западе Орегона, США (Jackson et al., 2020). В то же время концентрации ртути в личинках поденок сем. Heptageniidae и ракообразными сем. Gammaridae из ручьев-притоков озер Фингер (штат Нью-Йорк, США) значительно не различались (Razavi et al., 2020). Вероятно, разли-

чия концентраций ртути между амфиподами и личинками поденок из р. Анастасии объясняются специфическими для каждой группы беспозвоночных типом и способом питания. Личинки *Heptageniidae* – типичные фитофаги-соскребатели, питаются растущими на камнях водорослями и входят в структуру пищевой сети, в которой утилизация органического вещества идет по пастбищному типу. Амфиподы *Gammaridae* – типичные детритофаги-измельчатели, питающиеся мертвым органическим веществом, в том числе поступающим с суши, и входят в структуру детритной пищевой сети. Повышенная концентрация ртути в амфиподах позволяет предположить, что основной поток ртути в пищевой сети реки движется по детритному направлению. Отсутствие отличий по содержанию ртути между амфиподами и личинками поденок с разных пробных площадок свидетельствует об однородных биогеохимических условиях на исследуемом участке нижнего течения р. Анастасии. Таким образом, особенности питания влияют на количество поступающей с пищей ртути, что, в свою очередь, приводит к различиям ее концентраций в организме пресноводных беспозвоночных.

Отметим, что на южном побережье Сахалина содержание ртути у беспозвоночных морской литорали было в 5–10 раз ниже, чем у беспозвоночных пресноводных и наземных экосистем. Концентрации ртути, сопоставимые с полученными нами значениями, были зафиксированы в морских беспозвоночных разных таксономических групп, обитающих на литорали на удаленных от антропогенных источников ртути участках побережья Польши и Шпицбергена (Jędruch et al., 2018; Korejwo et al., 2022). По всей видимости, для морского макрообзобентоса в целом характерны более низкие концентрации ртути по сравнению с наземными беспозвоночными. Вероятно, такие различия отражают особенности геохимической миграции ртути между наземной и морской экосистемами. Поступающие на литораль с латеральным стоком из наземных экосистем растворенные органические вещества и глинисто-илистые частицы, которые могут транспортировать Hg^{2+} , не аккумулируются здесь, а выносятся с отливом дальше от берега (Bareket et al., 2016). Поэтому нельзя исключать, что беспозвоночные, обитающие на более глубоких участках Охотского моря, могут содержать значительно больше ртути, чем ракообразные литорали (Liu et al., 2020; Sisma-Ventura et al., 2024). Также пониженное содержание ртути в водных беспозвоночных по сравнению с наземными беспозвоночными из прилегающих прибрежных биотопов ранее было отмечено при исследованиях горных экосистем на побережье Калифорнии (Rundio et al., 2022).

Таким образом, тип и способ питания животных влияют на вариабельность концентраций ртути между разными таксономическими и экологическими группами беспозвоночных, обитающих в одном биотопе на южном побережье Сахалина. В то же время в отдельных биотопах основным фактором, определяющим концентрацию ртути в биоте, являются специфические биогеохимические условия, от которых зависит количество биодоступных форм металла, поступающих в базальные уровни трофических сетей.

На сегодняшний день для большинства животных не разработаны официальные нормативы концентрации ртути в органах и тканях, выше которых проявляются физиологические нарушения в организме. Существуют немногочисленные исследования по выявлению пороговых уровней в организме некоторых видов позвоночных, в первую очередь арктических птиц и морских млекопитающих (Dietz et al., 2013). Отсутствие таких данных затрудняет прямую оценку возможного негативного эффекта выявленных концентраций ртути в организме беспозвоночных южного побережья о. Сахалин. Однако сравнение полученных результатов с данными по другим территориям, удаленным от антропогенных источников ртути, позволяет предположить, что содержание ртути в организме беспозвоночных южного побережья о. Сахалин находится в пределах естественных значений и не представляет опасности как для самих животных, так и для консументов более высоких трофических уровней.

Заключение

Результаты исследования показывают, что на суше и вдоль побережья рек на юге Сахалина сформировались более благоприятные условия для вовлечения ртути в пищевые сети, чем в прибрежных морских биотопах. Об этом свидетельствуют более высокие концентрации ртути в наземных и пресноводных беспозвоночных нижних трофических уровней по сравнению с беспозвоночными морской литорали.

Содержание ртути в исследованных живых организмах находится в диапазоне, характерном для биоты из регионов с минимальной ртутной нагрузкой. Изученные беспозвоночные могут играть важную роль при транспорте ртути по наземным и водным пищевым сетям южного побережья Сахалина. Однако выявленные концентрации ртути, по всей видимости, не представляют

угрозы для здоровья животных и человека, а эколого-токсикологическое состояние южного побережья о. Сахалин следует охарактеризовать как удовлетворительное.

Установленные концентрации ртути в биоте можно рассматривать как референтные для исследуемой территории. Результаты будущих исследований биогеохимического поведения ртути в различных компонентах экосистем в пределах Сахалинской области рекомендуется сравнивать с данными, полученными в настоящей работе.

Список литературы

- Бызова, Ю.Б., Гиляров, М.С., Дунгер, В., Захаров, А.А., Козловская, Л.С. и др., 1987. Количественные методы в почвенной зоологии. Наука, Москва, СССР, 288 с.
- Гонгальский, К.Б., Кузнецова, Д.М., Елагин, А.Д., Малявин, С.А., Зайцев, А.С., 2014. Почвенная мезофауна юга острова Кунашир (Курильские острова). *Доклады Российской академии наук* **457** (3), 1–4.
- Гордеев, И.И., Токарев, Ю.С., Давыдов, Е.А., Екимова, И.А., Дроздов, К.А. и др., 2024. Комплексная научно-исследовательская экспедиция «Крильон 2023»: первые находки и предварительные результаты. *Вестник московского университета. Серия 16. Биология* **79** (1), 28–49. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0952-16-79-1-4>
- Марусик, Ю.М., 2005. Паукообразные (Arachnida: Aranei, Opiliones) северного Охотоморья. *Евразийский энтомологический журнал* **4** (3), 187–208.
- Комов, В.Т., Гремячих, В.А., Удоденко, Ю.Г., Щедрова, Е.В., Елизаров, М.Ю., 2017. Ртуть в абиотических и биотических компонентах водных и наземных экосистем поселка городского типа на берегу Рыбинского водохранилища, *Труды института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН* **77** (80), 34–56. <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2017-10003>
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем, 1992. Абакумов, В.А. (ред.). Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, Россия, 318 с.
- Удоденко, Ю.Г., Девятова, Т.А., Комов, В.Т., Трегубов, О.В., Одинцов, А.Н., 2012. Содержание ртути в почвах и земляных червях (Oligochaeta, Lumbricidae) Воронежского заповедника. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация* **2**, 209–215.
- Удоденко, Ю.Г., Иванова, Е.С., Комов, В.Т., Баженова, Д.Э., Белик, А.В., 2022. Содержание ртути в почвенных беспозвоночных рекреационной зоны крупного промышленного города (г. Череповец). *Труды института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН* **100** (103), 54–64. <https://doi.org/10.47021/0320-3557-2022-57-64>
- Bareket, M.M., Bookman, R., Katsman, R., De Stigter, H., Herut, B., 2016. The role of transport processes of particulate mercury in modifying marine anthropogenic secondary sources, the case of Haifa bay, Israel. *Marine Pollution Bulletin* **105** (1), 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.014>
- Chételat, J., Ackerman, J.T., Eagles-Smith, C.A., Hebert, C.E., 2020. Methylmercury exposure in wildlife: A review of the ecological and physiological processes affecting contaminant concentrations and their interpretation. *Science of The Total Environment* **711**, 135117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135117>
- Dietz, R., Sonne, C., Basu, N., Braune, B., O'Hara, T., et al., 2013. What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota? *Science of The Total Environment* **443**, 775–790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.046>
- Driscoll, C.T., Mason, R.P., Chan, H.M., Jacob, D.J., Pirrone, N., 2013. Mercury as a global pollutant: Sources, pathways and effects. *Environmental Science & Technology* **47**, 4967–4983. <https://doi.org/10.1021/es305071v>

- Eagles-Smith, C.A., Wiener, J.G., Eckley, C.S., Willacker, J.J., Evers, D.C. et al., 2016. Mercury in western North America: A synthesis of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife. *Science of The Total Environment* **568**, 1213–1226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.094>
- Ernst, G., Frey, B., 2007. The effect of feeding behavior on Hg accumulation in the ecophysiologically different earthworms *Lumbricus terrestris* and *Octolaseon cyaneum*: A microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry* **39** (1), 386–390. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.020>
- Fernandes, I.O., Monteiro, L.C., De Miranda, V.L., Rodrigues, Y.O.S., De Freitas Muniz, D.H. et al., 2024. Mercury distribution in organisms, litter, and soils of the Middle Araguaia floodplain in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research* **31** (14), 20925–20940. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32317-x>
- Hodson, P.V., Norris, K., Berquist, M., Campbell, L.M., Ridal, J.J., 2014. Mercury concentrations in amphipods and fish of the Saint Lawrence River (Canada) are unrelated to concentrations of legacy mercury in sediments. *Science of The Total Environment* **494–495**, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.137>
- Jackson, A.K., Eagles-Smith, C.A., Emery, C., 2020. Spatial variation in aquatic invertebrate and riparian songbird mercury exposure across a river-reservoir system with a legacy of mercury contamination. *Ecotoxicology* **29** (8), 1195–1204. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02043-z>
- Jędruch, A., Beldowska, M., Graca, B., 2018. Seasonal variation in accumulation of mercury in the benthic macrofauna in a temperate coastal zone (Gulf of Gdańsk). *Ecotoxicology and Environmental Safety* **164**, 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.040>
- 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** (3), 104. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5799-4>
- Korejwo, E., Saniewska, D., Beldowski, J., Balazy, P., Saniewski, M., 2022. Mercury concentration and speciation in benthic organisms from Isfjorden, Svalbard. *Marine Pollution Bulletin* **184**, 114115. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114115>
- Liu, M., Xiao, W., Zhang, Q., Shi, L., Wang, X., Xu, Y., 2020. Methylmercury bioaccumulation in deepest ocean fauna: Implications for ocean mercury biotransport through food webs. *Environmental Science & Technology Letters* **7** (7), 469–476. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00299>
- Martins, B.M., O'Driscoll, N.J., Mallory, M.L., Canário, J., 2021. A review of freshwater invertebrates as biomonitors of methylmercury: the importance of more complete physical and chemical reporting. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **107** (5), 801–808. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03274-9>
- Panichev, N.A., Panicheva, S.E., 2015. Determination of total mercury in fish and sea products by direct thermal decomposition atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry* **166**, 432–441. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.032>
- Razavi, N.R., Halfman, J.D., Cushman, S.F., Massey, T., Beutner, R. et al., 2020. Mercury concentrations in fish and invertebrates of the Finger Lakes in central New York, USA. *Ecotoxicology* **29** (10), 1673–1685. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02132-z>
- Rieder, S.R., Brunner, I., Horvat, M., Jacobs, A., Frey, B., 2011. Accumulation of mercury and methylmercury by mushrooms and earthworms from forest soils. *Environmental Pollution* **159** (10), 2861–2869. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.040>

- Rimmer, C.C., Miller, E.K., McFarland, K.P., Taylor, R.J., Faccio, S.D., 2010. Mercury bioaccumulation and trophic transfer in the terrestrial food web of a montane forest. *Ecotoxicology* **19** (4), 697–709. <https://doi.org/10.1007/s10646-009-0443-x>
- Rumbold, D.G., Lange, T.R., Richard, D., DelPizzo, G., Hass, N., 2018. Mercury biomagnification through food webs along a salinity gradient down-estuary from a biological hotspot. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **200**, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.10.018>
- Rundio, D.E., Rivera, R., Weiss-Penzias, P.S., 2022. High mercury concentrations in steelhead/ rainbow trout, sculpin, and terrestrial invertebrates in a stream-riparian food web in coastal California. *Ecotoxicology* **31** (10), 1506–1519. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02608-5>
- Scheuhammer, A.M., Basu, N., Evers, D.C., Heinz, G.H., Sandheinrich, M.B., Bank, M.S., 2012. Ecotoxicology of mercury in fish and wildlife: Recent advances. In: Bank, M. (ed.), *Mercury in the Environment*. University of California Press, Los Angeles, USA, 223–238. <https://doi.org/10.1525/california/9780520271630.003.0011>
- Scheuhammer, A., Braune, B., Chan, H.M., Frouin, H., Krey, A. et al., 2015. Recent progress on our understanding of the biological effects of mercury in fish and wildlife in the Canadian Arctic. *Science of The Total Environment* **509–510**, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.142>
- Seco, J., Aparício, S., Brierley, A.S., Bustamante, P., Ceia, F.R. et al., 2021. Mercury biomagnification in a Southern Ocean food web. *Environmental Pollution* **275**, 116620. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116620>
- Selin, N.E., 2009. Global biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annual Review of Environment and Resources* **34** (1), 43–63. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.051308.084314>
- Sholupov, S., Pogarev, S., Ryzhov, V., Mashyanov, N., Stroganov, A., 2004. Zeeman atomic absorption spectrometer RA-915+ for direct determination of mercury in air and complex matrix samples. *Fuel Processing Technology* **85** (6–7), 473–485. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2003.11.003>
- Sinclair, C.A., Garcia, T.S., Eagles-Smith, C.A., 2024. A meta-analysis of mercury biomagnification in freshwater predatory invertebrates: Community diversity and dietary exposure drive variability. *Environmental Science & Technology* **58** (43), 19429–19439. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05920>
- Sisma-Ventura, G., Silverman, J., Guy-Haim, T., Stern, N., Shachnai, A. et al., 2024. Accumulation of total mercury in deep-sea sediments and biota across a bathymetric gradient in the Southeastern Mediterranean Sea. *Chemosphere* **351**, 141201. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141201>
- Udodenko, Y.G., Robinson, C.T., Choiijil, J., Badrakh, R., Munkhbat, J. et al., 2022. Mercury levels in sediment, fish and macroinvertebrates of the Boroo River, northern Mongolia, under the legacy of gold mining. *Ecotoxicology* **31** (2), 312–323. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02502-6>
- UN Environment Programme, 2019. Global Mercury Assessment 2018. Chemicals and Health Branch Geneva. Narayana Press, Geneva, Switzerland, 58 p.
- Zhang, Z.S., Zheng, D.M., Wang, Q.C., Lv, X.G., 2009. Bioaccumulation of total and methyl mercury in three earthworm species (*Drawida* sp., *Allolobophora* sp., and *Limnodrilus* sp.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **83** (6), 937–942. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9872-8>

References

- Bareket, M.M., Bookman, R., Katsman, R., De Stigter, H., Herut, B., 2016. The role of transport processes of particulate mercury in modifying marine anthropogenic secondary sources, the case of Haifa bay, Israel. *Marine Pollution Bulletin* **105** (1), 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.014>
- Byzova, Yu.B., Gilyarov, M.S., Dunger, V., Zakharov, A.A., Kozlovskaya, L.S. et al., 1987. Kolichestvennye metody v pochvennoy zoologii [Quantitative methods in soil zoology]. Nauka, Moscow, USSR, 288 p. (In Russian).
- Chételat, J., Ackerman, J.T., Eagles-Smith, C.A., Hebert, C.E., 2020. Methylmercury exposure in wildlife: A review of the ecological and physiological processes affecting contaminant concentrations and their interpretation. *Science of The Total Environment* **711**, 135117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135117>
- Dietz, R., Sonne, C., Basu, N., Braune, B., O'Hara, T., et al., 2013. What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota? *Science of The Total Environment* **443**, 775–790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.046>
- Driscoll, C.T., Mason, R.P., Chan, H.M., Jacob, D.J., Pirrone, N., 2013. Mercury as a global pollutant: Sources, pathways and effects. *Environmental Science & Technology* **47**, 4967–4983. <https://doi.org/10.1021/es305071v>
- Eagles-Smith, C.A., Wiener, J.G., Eckley, C.S., Willacker, J.J., Evers, D.C. et al., 2016. Mercury in western North America: A synthesis of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife. *Science of The Total Environment* **568**, 1213–1226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.094>
- Ernst, G., Frey, B., 2007. The effect of feeding behavior on Hg accumulation in the ecophysiologically different earthworms *Lumbricus terrestris* and *Octolaseon cyaneum*: A microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry* **39** (1), 386–390. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.020>
- Fernandes, I.O., Monteiro, L.C., De Miranda, V.L., Rodrigues, Y.O.S., De Freitas Muniz, D.H. et al., 2024. Mercury distribution in organisms, litter, and soils of the Middle Araguaia floodplain in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research* **31** (14), 20925–20940. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32317-x>
- Gongal'skii, K.B., Kuznetsova, D.M., Elagin, A.D., Maliavin, S.A., Zaitsev, A.S., 2014. Pochvennaia mezofauna iuga ostrova Kunashir (Kuril'skie ostrova) [Soil mesofauna of the south of Kunashir Island (Kuril Islands)]. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk [Reports of the Russian Academy of Sciences]* **457** (3), 1–4. (In Russian).
- Gordeev, I.I., Tokarev, Iu.S., Davydov, E.A., Ekimova, I.A., Drozdov, K.A. et al., 2024. Kompleksnaia nauchno-issledovatel'skaia ekspeditsiia «Kril'on 2023»: pervye nakhodki i predvaritel'nye rezul'taty [Complex research expedition “Crillon 2023”: first findings and preliminary results.]. *Vestnik moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya [Moscow University Bulletin. Series 16. Biology]* **79** (1), 28–49. (In Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0952-16-79-1-4>
- Hodson, P.V., Norris, K., Berquist, M., Campbell, L.M., Ridal, J.J., 2014. Mercury concentrations in amphipods and fish of the Saint Lawrence River (Canada) are unrelated to concentrations of legacy mercury in sediments. *Science of The Total Environment* **494–495**, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.137>
- Jackson, A.K., Eagles-Smith, C.A., Emery, C., 2020. Spatial variation in aquatic invertebrate and riparian songbird mercury exposure across a river-reservoir system with a legacy of mercury contamination. *Ecotoxicology* **29** (8), 1195–1204. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02043-z>

- Jędruch, A., Beldowska, M., Graca, B., 2018. Seasonal variation in accumulation of mercury in the benthic macrofauna in a temperate coastal zone (Gulf of Gdańsk). *Ecotoxicology and Environmental Safety* **164**, 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.040>
- Komov, V.T., Gremyachikh, V.A., Udodenko, Yu.G., Shchedrova, E.V., Elizarov, M.Yu., 2017a. Rtut' v abioticheskikh i bioticheskikh komponentakh vodnykh i nazemnykh ekosistem poselka gorodskogo tipa na beregu Rybinskogo vodokhranilishcha [Mercury in abiotic and biotic components of aquatic and terrestrial ecosystems in the urban settlement on the shore of the Rybinsk reservoir]. *Trudy instituta biologii vnutrennikh vod im. I.D. Papanina RAN [Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS]* **77** (80), 34–56. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2017-10003>
- Komov, V.T., Ivanova, E.S., Poddubnaya, N.Y., Gremyachikh, V.A., 2017b. 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** (3), 104. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5799-4>
- Korejwo, E., Saniewska, D., Beldowski, J., Balazy, P., Saniewski, M., 2022. Mercury concentration and speciation in benthic organisms from Isfjorden, Svalbard. *Marine Pollution Bulletin* **184**, 114115. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114115>
- Liu, M., Xiao, W., Zhang, Q., Shi, L., Wang, X., Xu, Y., 2020. Methylmercury bioaccumulation in deepest ocean fauna: Implications for ocean mercury biotransport through food webs. *Environmental Science & Technology Letters* **7** (7), 469–476. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00299>
- Martins, B.M., O'Driscoll, N.J., Mallory, M.L., Canário, J., 2021. A review of freshwater invertebrates as biomonitors of methylmercury: the importance of more complete physical and chemical reporting. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **107** (5), 801–808. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03274-9>
- Marusik, Yu.M., 2005. Paukoobraznye (Arachnida: Aranei, Opiliones) severnogo Okhotomor'ya [Arachnids (Arachnida: Aranei, Opiliones) of Northern Cisokhotia]. *Evrasiyskiy entomologicheskii zhurnal [Eurasian Entomological Journal]* **4** (3), 187–208. (In Russian).
- Panichev, N.A., Panicheva, S.E., 2015. Determination of total mercury in fish and sea products by direct thermal decomposition atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry* **166**, 432–441. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.032>
- Razavi, N.R., Halfman, J.D., Cushman, S.F., Massey, T., Beutner, R. et al., 2020. Mercury concentrations in fish and invertebrates of the Finger Lakes in central New York, USA. *Ecotoxicology* **29** (10), 1673–1685. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02132-z>
- Rieder, S.R., Brunner, I., Horvat, M., Jacobs, A., Frey, B., 2011. Accumulation of mercury and methylmercury by mushrooms and earthworms from forest soils. *Environmental Pollution* **159** (10), 2861–2869. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.040>
- Rimmer, C.C., Miller, E.K., McFarland, K.P., Taylor, R.J., Faccio, S.D., 2010. Mercury bioaccumulation and trophic transfer in the terrestrial food web of a montane forest. *Ecotoxicology* **19** (4), 697–709. <https://doi.org/10.1007/s10646-009-0443-x>
- Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems], 1992. Gidrometeoizdat, Saint-Petersburg, Russia, 318 p. (In Russian).
- Rumbold, D.G., Lange, T.R., Richard, D., DelPizzo, G., Hass, N., 2018. Mercury biomagnification through food webs along a salinity gradient down-estuary from a biological hotspot. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **200**, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.10.018>

- Rundio, D.E., Rivera, R., Weiss-Penzias, P.S., 2022. High mercury concentrations in steelhead/ rainbow trout, sculpin, and terrestrial invertebrates in a stream-riparian food web in coastal California. *Ecotoxicology* **31** (10), 1506–1519. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02608-5>
- Scheuhammer, A.M., Basu, N., Evers, D.C., Heinz, G.H., Sandheinrich, M.B., Bank, M.S., 2012. Ecotoxicology of mercury in fish and wildlife: Recent advances. In: Bank, M. (ed.), *Mercury in the Environment*. University of California Press, Los Angeles, USA, 223–238. <https://doi.org/10.1525/california/9780520271630.003.0011>
- Scheuhammer, A., Braune, B., Chan, H.M., Frouin, H., Krey, A. et al., 2015. Recent progress on our understanding of the biological effects of mercury in fish and wildlife in the Canadian Arctic. *Science of The Total Environment* **509–510**, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.142>
- Seco, J., Aparício, S., Brierley, A.S., Bustamante, P., Ceia, F.R. et al., 2021. Mercury biomagnification in a Southern Ocean food web. *Environmental Pollution* **275**, 116620. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116620>
- Selin, N.E., 2009. Global biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annual Review of Environment and Resources* **34** (1), 43–63. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.051308.084314>
- Sholupov, S., Pogarev, S., Ryzhov, V., Mashyanov, N., Stroganov, A., 2004. Zeeman atomic absorption spectrometer RA-915+ for direct determination of mercury in air and complex matrix samples. *Fuel Processing Technology* **85** (6–7), 473–485. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2003.11.003>
- Sinclair, C.A., Garcia, T.S., Eagles-Smith, C.A., 2024. A meta-analysis of mercury biomagnification in freshwater predatory invertebrates: Community diversity and dietary exposure drive variability. *Environmental Science & Technology* **58** (43), 19429–19439. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05920>
- Sisma-Ventura, G., Silverman, J., Guy-Haim, T., Stern, N., Shachnai, A. et al., 2024. Accumulation of total mercury in deep-sea sediments and biota across a bathymetric gradient in the Southeastern Mediterranean Sea. *Chemosphere* **351**, 141201. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141201>
- Udodenko, Yu.G., Devyatova, T.A., Komov, V.T., Tregubov, O.V., Odintsov, A.N., 2012. Soderzhanie rtuti v pochvakh i zemlyanykh chervyakh (Oligochaeta, Lumbricidae) Voronezhskogo zapovednika [Mercury content in soils and earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) Voronezh Nature Reserve]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy] **2**, 209–215. (In Russian).
- Udodenko, Yu.G., Ivanova, E.S., Komov, V.T., Bazhenova, D.E., Belik, A.V., 2022a. Soderzhanie rtuti v pochvennykh bespozvonochnykh rekreatsionnoy zony krupnogo promyshlennogo goroda (g. Cherepovets) [Mercury content in soil invertebrates of the recreational zone of a large industrial city (Cherepovets)]. *Trudy instituta biologii vnutrennikh vod im. I.D. Papanina RAN* [Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS] **100** (103), 54–64. (In Russian). <https://doi.org/10.47021/0320-3557-2022-57-64>
- Udodenko, Y.G., Robinson, C.T., Chojil, J., Badrakh, R., Munkhbat, J. et al., 2022b. Mercury levels in sediment, fish and macroinvertebrates of the Boroo River, northern Mongolia, under the legacy of gold mining. *Ecotoxicology* **31** (2), 312–323. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02502-6>
- UN Environment Programme, 2019. Global Mercury Assessment 2018. Chemicals and Health Branch Geneva. Narayana Press, Geneva, Switzerland, 58 p.
- Zhang, Z.S., Zheng, D.M., Wang, Q.C., Lv, X.G., 2009. Bioaccumulation of total and methyl mercury in three earthworm species (*Drawida* sp., *Allolobophora* sp., and *Limnodrilus* sp.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **83** (6), 937–942. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9872-8>