

О. А. Сенькевич, Ю. Г. Ковальский, М. А. Чебаргина

МОНИТОРИНГ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В БИОСИСТЕМЕ И ОРГАНИЗМЕ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АМУР

Аннотация.

Цель исследования: определение содержания ртути в организме детей, почве и речной рыбе для оценки уровня риска неблагоприятного воздействия на организм.

Дизайн: обсервационное аналитическое одномоментное исследование.

Материалы и методы. Проведен количественный анализ Hg в волосах условно здоровых детей ($n=62$), верхнем слое собранной на территории бывшего Целлюлозно-картонного комбината одного из городов Хабаровского края почвы ($n=15$) и в обитающей в нижнем течении реки Амур рыбе ($n=27$) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Исследована связь уровня ртути и когнитивных способностей детей.

Результаты. Среднее содержание Hg в верхнем слое почвы составило 0,85 мг/кг с максимальным значением массовой доли 1,25 мг/кг, что в 8,5 – 12,5 раз выше российского фонового значения. При определении концентрации Hg в мышечной ткани рыб – основного источника органической Hg для детей – установлено, что содержание Hg в тканях хищных рыб колебалось в пределах 0,47 – 0,52 мг/кг, при этом уровень Hg в нехищной рыбе составлял 0,24 мг/кг. Среднее содержание Hg в волосах у подростков составило $0,47 \pm 0,05$ мг/кг и $0,19 \pm 0,02$ мг/кг у детей 6 – 7 лет, что не превышает критического уровня.

Заключение. Содержание Hg в почве существенно снизилось в сравнении с исследованиями 2009 года, но уровень сохраняется выше российского фонового значения. Содержание ртути в мышечной части

СЕНЬКЕВИЧ Ольга Александровна – доктор мед. наук, профессор, заведующая кафедрой педиатрии, неонатологии и перинатологии с курсом неотложной медицины ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России. Адрес: ул. Муравьева-Амурского, 35, 680000, Хабаровск, Россия. E-mail: senkevicholga@ya.ru

SENKEVICH Olga Alexandrovna – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Pediatrics, Neonatology and Perinatology with a course of emergency medicine, Far Eastern State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. Address: 680000, Russia, Khabarovsk, ul. Muravyova-Amurskogo, 35. E-mail: senkevicholga@ya.ru.

КОВАЛЬСКИЙ Юрий Григорьевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой биологической химии и клинической лабораторной диагностики ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России. Адрес: ул. Муравьева-Амурского, 35, 680000, Хабаровск, Россия. E-mail: kovalyura53@mail.ru

KOVALSKY Yuri Grigoryevich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Biological Chemistry and Clinical Laboratory Diagnostics, Far Eastern State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. Address: 680000, Russia, Khabarovsk, ul. Muravyova-Amurskogo, 35. E-mail: kovalyura53@mail.ru.

ЧЕБАРГИНА Мария Александровна – ассистент кафедры педиатрии, неонатологии и перинатологии с курсом неотложной медицины ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России. Адрес: ул. Муравьева-Амурского, 35, 680000, Хабаровск, Россия. E-mail: marie_work95@mail.ru.

CHEBARGINA Maria Alexandrovna – Assistant Lecturer, Department of Pediatrics, Neonatology and Perinatology with a course of emergency medicine, Far Eastern State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation. Address: 680000, Russia, Khabarovsk, ul. Muravyova-Amurskogo, 35. E-mail: marie_work95@mail.ru.

рыбы, выловленной в нижнем течении реки Амур, было выше у хищных пород. В организме детей, постоянно проживающих на территории антропогенного загрязнения Hg, ее концентрация не превышала пороговый уровень, однако выявленные фоновые значения, возможно, способствовали снижению концентрации внимания.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, экосистема, тяжелые металлы, Hg, ртуть, почва, рыба, дети, волосы, нейротоксичность.

O. A. Senkevich, Y. G. Kovalsky, M. A. Chebargina

MONITORING OF THE BACKGROUND CONTENT OF MERCURY IN THE BIOSYSTEM AND THE BODY OF THE CHILD POPULATION OF THE AMUR RIVER DOWNSTREAM

Abstract.

Study Objective: to determine the mercury content in the body of children as well as in soil and river fish to assess the level of risk of adverse effects on a human body.

Study Design: analytical observational, cross-sectional study.

Materials and Methods. A quantitative analysis of mercury in hair of conditionally healthy children ($n=62$), the upper layer of soil ($n=15$) taken on the territory of the former cellulose and cardboard manufacturing plant (CCMP) located in one of the cities of the Khabarovsk region and in fish ($n=27$) living in the Amur river downstream was performed using inductively coupled plasma mass spectrometry. The relationship between the level of mercury and cognitive abilities of adolescents was studied.

Study Results. An average content of mercury in the upper layer of the soil was 0.85 mg/kg; with the maximum value of the mass fraction of mercury 1.25 mg/kg, the mercury concentration was 8.5-12.5 times higher than the Russian background value. When determining the concentration of mercury in the fish muscle tissue – the main source of organic mercury for children, it was revealed that the content of mercury in the tissues of predatory fish ranged from 0.47-0.52 mg/kg, while the mercury level in non-predatory fish was 0.24 mg/kg. The average mercury content in hair of adolescence was 0.47 ± 0.05 mg/kg and 0.19 ± 0.02 mg/kg in 6-7-year-old children, and it did not exceed the critical level.

Conclusion. It was found out that the content of mercury in the soil had significantly decreased compared to 2009, but the level remains above the Russian background value. Mercury content in part of the fish muscle living in the Amur River downstream was higher in predatory species. The concentration of mercury in the children organism permanently living on the territory of anthropogenic pollution did not exceed the threshold level, but the detected background values may have contributed to concentration decrease.

Keywords: anthropogenic pollution, ecosystem, heavy metals, Hg, mercury, soil, fish, children, hair, neurotoxicity.

Введение.

Ежегодно в мире в атмосферу выбрасывается 5500-8900 тонн ртути (Hg), из которых 90 % приходится на антропогенные выбросы [1]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включила ртуть в число 10 химических веществ, вызывающих серьезную обеспокоенность в области общественного здравоохранения во всем мире [2]. В 2013 г. для защиты здоровья людей и окружающей среды от антропогенных выбросов ртути и её соединений 128 странами была подписана Минаматская конвенция о ртути, которая вступила в силу 16 августа 2017 г. В России конвенция подписана, но не ратифицирована, что, вероятно, связано с отсутствием в России полноценной системы утилизации ртутьсодержащих отходов [1].

Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) в 2012 г. опубликовало данные о токсичном влиянии как органической, так и неорганической ртути, которое подтверждается рядом исследований [3]: она способствует возникновению и прогрессированию хронической болезни почек, ухудшению функционирования печени, увеличивается частота сердечно-

сосудистых заболеваний, в частности, аритмий, гипертонии и атеросклероза. Ртуть обладает нейротоксичностью, иммунотоксичностью, нарушает функции репродуктивной и эндокринной систем [3, 4, 5].

В настоящее время Объединенным комитетом экспертов ВОЗ по пищевым добавкам (FAO/WHO) установлена условно допустимая доза поступления неорганической ртути в организм человека (PTWI) из всех источников – 4 мкг/кг массы тела в неделю. Доза, вызывающая появление новообразований в почках у 10 % подопытных животных (BMDL₁₀), составляет 0,06 мг/кг массы тела в сутки [4]. Согласно законодательству Российской Федерации, в воздухе населенных мест для металлической ртути и неорганических соединений ртути ПДК не должно превышать 0,003 мг/м³, в водоемах хозяйственно-питьевого и культурного-бытового водопользования – 0,0005 мг/л, в почве – 2,1 мг/кг.

В одном из городов нижнего течения р. Амур с 1967 по 1997 гг. осуществлялось сульфатное производство целлюлозы на целлюлозно-картонном комбинате (ЦКК), которое проводилось с технологическими нарушениями, что привело к загрязнению ртутью окружающей среды. После остановки производства демеркуризационные мероприятия на территории ЦКК не проводились, загрязненная ртутью почва служила вторичным источником загрязнения гидро- и атмосферы, ртуть включалась в пищевую цепочку биогеоценоза, попадая в организм и влияя на состояние здоровья населения города [6]. В 2009 г. по результатам исследования верхнего слоя земли на территории города почва была условно разделена на две группы: 1) умеренно загрязненная, с содержанием ртути в почве 4-464 мкг/кг сухой массы; 2) сильно загрязненная, с концентрацией ртути 970-4540 мкг/кг [7].

Исследования почвенного покрова ряда регионов России показывают повышенные концентрации ртути по отношению к кларку почв [8, 9].

Таблица 1 – Массовая доля ртути в почвах, мг/кг, валовая форма (литературные данные) [8, 9]

Год исследования	Субъект Российской Федерации	Массовая доля ртути		Превышение показателей		
		Средняя	Максимальная	К	Фон	ПДК
2017	Верхнее Поволжье	0,13	1,29	2-20	13	-
	Республика Татарстан	0,04	0,195	3	2	-
	Саратовская область	0,013	0,026	-	-	-
2018	Удмуртская республика	0,11	0,34	5	3,4	-
	Кировская область	0,67	3,10	10-48	6-31	1,5
	Нижегородская область	0,04	0,10	1,5	-	-
	Самарская область	0,02	0,07	-	-	-

Примечание: здесь и в табл. № 2: К – кларк элемента, Фон – фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов, ПДК – предельно допустима концентрация.

В окружающей среде ртуть циркулирует естественным образом через геохимические резервуары. При испарении с поверхности земли газообразная элементарная Hg⁰ способна окисляться до Hg²⁺, хорошо растворимой формы ртути, которая переходит в водную среду и выводится в донные отложения с периодом полного удаления около 104 лет [10].

В верхних слоях донных отложений, в водной взвеси, в слизи, покрывающей рыбу, происходят процессы метилирования ртути (превращение неорганических солей ртути в органические соединения (метилртуть) при участии метилирующих микроорганизмов) [11]. Рыба,

обитающая в водоемах, поглощает метилртуть из воды через жабры и при поедании хищными рыбами других видов. Метилртуть накапливается в тканях рыб, при этом более высокие ее концентрации, достигающие 90 %, способны накапливать именно хищные рыбы [12]. Известно, что метилртуть проявляет большую токсичность, чем неорганическая ртуть, условно допустимая доза поступления метилртути в организм человека (PTWI) составляет 1,6 мкг/кг массы тела в неделю. Доза, вызывающая появление новообразований у подопытных животных (BMDL), составляет 1,5 мкг/кг массы тела в сутки [13].

Краевым центром экологического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Хабаровского края весной 2012 – 2014 гг. проводилось исследование концентрации ртути в воде р. Амур, при котором было выявлено превышение содержания ртути в 2-3 ПДК (содержание ртути в р. Амур в 2014 г. 0,0012 мг/л). Летом 2014 г. при исследовании донных отложений в нижнем течении реки Амур в районе крупных городов (гг. Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре) методом биоиндикации было установлено загрязнение донных отложений р. Амур тяжелыми металлами (в том числе Hg^{2+}) [14].

Основным источником воздействия органической ртути на детей является потребление речной рыбы, загрязненной метилртутью. В международном многоцентровом исследовании показано, что потребление рыбы детьми 6-11 лет чаще 1 раза в неделю связано с более высоким уровнем ртути в крови [15]. В техническом регламенте Таможенного союза (ТР ТС) 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» указывается максимально допустимый уровень (МДУ) ртути в различных видах рыбы: допустимое содержание для нехищных пресноводных рыб составляет 0,3 мг/кг, для хищных пресноводных рыб – 0,6 мг/кг, для морских рыб – 0,5 мг/кг [16].

Одним из оценочных показателей воздействия на организм человека загрязненной среды обитания является накопление поллютантов в волосах. Содержание микроэлементов в волосах отражает микроэлементный статус организма в целом, поэтому пробы волос являются интегральным показателем минерального обмена, представляют элементный статус, формирующийся в течение длительного времени (месяцы, годы) и пригодны для целей как клинической, так и гигиенической донозологической диагностики [17, 18]. Известно, что дериваты кожи способны накапливать и в течение длительного времени удерживать неорганические химические элементы, таким образом позволяя выявлять длительно существующий дисбаланс минеральных веществ в организме [19]. Анализ волос используется для оценки длительного воздействия метилртути, на долю которой приходится 80-90 % общего содержания ртути в волосах [5, 20]. В 2000 г. Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) установило допустимую концентрацию Hg в волосах детей 1 мкг/г [20]. В 2013 г. в результате перекрестного исследования DEMOCOPHES в 17 европейских странах получен скорректированный безопасный уровень ртути, который на 50 % ниже рекомендуемого уровня US EPA и соответствует 0,58 мкг/г волос [21].

Необходимость мониторинга загрязненности ртутью окружающей среды, продуктов питания, определение фонового уровня ртути населения Хабаровского края для оценки рисков негативного воздействия послужило основанием проведения настоящего исследования.

Цель: определение загрязнения ртутью почвы и речной рыбы, используемой в питании населения нижнего течения реки Амур, содержания ртути в организме подростков, для оценки уровня риска неблагоприятного воздействия ртути на организм.

Материалы и методы.

Дизайн исследования: обсервационное, аналитическое, одномоментное. Проведено определение содержания ртути (Hg) в волосах 32 условно здоровых детей подросткового возраста (11-15 лет) и 30 детей в возрасте 6-7 лет, отобранных методом простой случайной выборки. Критерии включения: дети, проживающие в исследуемом районе с рождения, практически здоровые (1-2 группа здоровья, установленной педиатром в ходе текущего профилактического осмотра), родители или законные представители которых дали письменное добровольное информированное согласие на участие в исследовании. С целью установления пути попадания

ртути в организм детей определялась концентрация ртути в верхнем слое почвы, собранной на территории бывшего ЦКК, и в рыбе, обитающей в нижнем течении реки Амур. Набор биоматериала был проведен в октябре 2019 года. Выбор рыбы для исследования обоснован популярностью этого продукта в питании жителей Хабаровского края и максимальной доступностью для любых слоев населения. Среднестатистической величиной потребления рыбы населением России является 19 – 20 кг на человека в год, тогда как в Хабаровском крае данный показатель выше и составляет около 33 кг с отчетливым преобладанием речной рыбы [22].

Количественный анализ элементного состава почвы, мышечной части речной рыбы и волос проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), который регламентирован ГОСТ 34141-2017 и МУК 4.1.1483-03 для определения химических элементов в рыбе и волосах соответственно [23, 24], ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 для анализа почв [25] с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой ICP-MS ELAN DRC II фирмы Perkin Elmer (США). Подготовку проб к анализу проводили согласно требованиям МАГАТЭ (1988), ЕАЭС, РФ (2003). Для калибровки прибора использовались стандартные поли- и моноэлементные растворы («Perkin Elmer»), в качестве образца сравнения – ОСО 10-103-2000. Образцы почвы (с 3 локаций, всего 15 проб) получали путем срезания ее верхнего слоя на глубине 5-15 см из разных мест на территории бывшего ЦКК [26]. Образцы рыбы (n=27) были выловлены в реке Амур, гомогенизированы и хранились в пластиковых контейнерах при -20°C до начала анализа. Образцы волос (n=62) получали путем состригания с 3 мест на затылочной части головы, ближе к шее, промывали 1 % раствором додецилсульфата натрия и водой, высушивали до постоянной массы при 80°C. В каждой серии определений применялся референс-стандарт образцов с регламентированным содержанием ртути и двухповторные измерения показателей.

Проведено исследование когнитивных способностей детей. Оценка логического мышления с использованием методики «Количественные отношения», исследование уровня развития кратковременной памяти посредством методики «Оперативная память», а также анализ уровня объема и концентрации внимания с помощью «Корректирующей пробы» (буквенный вариант) проводились у подростков. Для детей 6-7 лет были использованы тесты, соответствующие возрастным особенностям: тест Лурия для оценки кратковременной памяти, тест на умозаключения с целью определения уровня развития словесно-логического мышления и методика «Фигурные таблицы» для проверки произвольного внимания [27].

Исследование одобрено локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 7 от 04.10.2019 г.), проведено согласно этическим принципам проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов (Хельсинки, 1964; пересмотр – Шотландия, октябрь 2000).

Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке. Вычисляли: средний показатель (M), ошибка средней арифметической (m). Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента для независимых выборок с нормальным распределением данных. В случаях, когда распределение отличалось от нормального, применяли непараметрический критерий Манна-Уитни. Для оценки взаимосвязи показателей использовался корреляционный анализ Спирмена. Статистический анализ результатов исследования проводили с использованием программы Microsoft Office Excel 2003 для Windows XP, Statistica 6,0 (Basic Statistics/Tables). Различия между группами считали статистически значимыми при значении показателя не менее чем $p < 0,05$.

Результаты.

Исследование показало, что за годы, прошедшие после остановки производства на ЦКК и прекращения сбросов в окружающую среду, содержание ртути в почве изменилось. Так, в 2019 г. среднее содержание ртути, полученное при анализе верхних 5-15 см почвы, составляло 0,85 мг/кг, при этом максимальное значение массовой доли ртути было определено как 1,25 мг/кг,

что значительно ниже содержания ртути в почве в 2009 г. Концентрация ртути в почве не превышала ПДК для валовых форм, равную 2,1 мг/кг [28], но при этом она была не только выше кларка в 13-9 раз, составляющего, по данным Н.А. Григорьева (2009), 0,065 мг/кг и являющегося эталоном оценки степени концентрации вовлекаемых в процесс техногенеза химических элементов континентальной земной коры [29], но и в 8,5-12,5 раз выше российского фонового значения, определенного как 0,1 мг/кг [30]. При сопоставлении средних концентраций ртути в субъектах РФ очевидно, что её содержание в почве на территории обследованного города Хабаровского края выше по сравнению со всеми обследованными территориями (табл. 1, 2).

Таблица 2 – Массовая доля ртути в почвах, мг/кг, валовая форма (собственные данные)

Массовая доля ртути		Превышение показателей		
Средняя	Максимальная	К	Фон	ПДК
0,85	1,25	13-19	8,5-12,5	-

Таким образом, в верхнем слое почвы, исследованной на территории техногенного загрязнения, концентрация ртути не превышала ПДК для валовых форм, оставаясь при этом выше российского фонового значения.

Представляет интерес определение ртути в рыбе, обитающей в реке Амур, активно используемой в питании населением, проживающим в Хабаровском крае. Речная рыба входила в рацион питания 68 % обследованных детей, из которых 36 % употребляли рыбу 1-2 раза в неделю и 32 % – 1-2 раза в месяц (табл. 3).

Таблица 3 – Концентрация ртути в тканях рыб, мг/кг ($M \pm m$)

Рыба	Калуга n=3	Конь n=4	Щука n=3	Красноперка n=3	Кета n=5	Сиг n=4	Карась n=5
Hg	0,47±0,056	2,58±0,26	0,41±0,049	0,52±0,062	0,08±0,013	0,34±0,041	0,24±0,028
Сравнительная характеристика речных и проходных рыб							
Кета (проходная рыба)			Хищные рыбы р.Амур		Нехищные рыбы р.Амур		
0,08±0,013			0,86±0,09*		0,24±0,028*		

Примечание: * – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от показателя проходной рыбы.

Показатели содержания ртути в тканях хищных рыб реки Амур колебались в пределах 0,47-0,52 мг/кг (78-87 % МДУ), уровень ртути в нехищной рыбе (карась) составлял 0,24 мг/кг (80 % МДУ), за исключением амурской рыбы-коня, в которой содержалась ртуть в концентрации, превышающей МДУ в 4 раза. Особого внимания заслуживает морская рыба, содержание ртути в которой минимально по сравнению с речными видами, что, вероятно, связано с кратковременностью пребывания этого вида в водах реки Амур: осенняя кета – проходная рыба, цикл ее жизни проходит в водах северной части Тихого океана, и только на короткое время в конце жизни она заходит в пресные воды к нерестилищам в притоки реки Амур. Таким образом, речная рыба, обитающая в нижнем течении реки Амур, содержит различное количество ртути, ее содержание зависит от типа рыбы. Так, максимальное накопление ртути обнаружено у рыбы хищных пород, но не превышая МДУ, наименьшее содержание ртути было зарегистрировано у проходной рыбы – кеты.

Для выявления возможного риска неблагоприятного воздействия и возникновения заболеваний нами было определено фоновое значение содержания ртути в волосах 32 детей от 11 до 15 лет и 30 детей в возрасте 6-7 лет, условно здоровых на момент проведения исследования, постоянно проживающих на территории антропогенного загрязнения (табл. 4).

Таблица 4 – Концентрация ртути в волосах обследованных детей, мг/кг ($M \pm m$)

Микроэлемент	Концентрация ртути в волосах подростков (n=32)	Концентрация ртути в волосах детей 6-7 лет (n=30)	Пороговая концентрация	
			US EPA	[21]
Hg	0,47±0,05	0,19±0,02*	1,0	0,58

Примечание: * – статистически значимое отличие ($p < 0,05$) от содержания ртути в волосах подростков.

У здоровых детей 6 – 7 лет и подростков, проживающих на территории антропогенного загрязнения ртутью, не выявлено превышение критического уровня ртути в волосах. Полученные показатели ниже как пороговой концентрации, предложенной Bellanger et al. [21], так и в 2 раза ниже установленного допустимого уровня US EPA (группа подростков). У детей 6-7 лет концентрация ртути в волосах составила 0,19±0,02 мг/кг, что в 2,5 раза меньше по сравнению с содержанием ртути в волосах у подростков ($p < 0,05$) и в 3 раза ниже пороговой концентрации 0,58 мг/кг.

Для оценки возможной нейротоксичности метилртути, содержащейся в речной рыбе, нами была проведена оценка когнитивной функции детей. Результаты тестирования кратковременной памяти и логического мышления как у подростков, так и у детей 6 – 7 лет не выявили патологических изменений и находились в пределах нормы. Однако исследование объема и концентрации внимания путем проведения «Корректирующей пробы» (буквенный вариант) выявило снижение объема внимания у 6 % подростков и нарушение концентрации у 22 %. При проведении корреляционного анализа Спирмена установлена умеренная положительная связь уровня ртути в волосах и количества допущенных ошибок при выполнении задания ($r = 0,43$, $p < 0,05$): чем выше концентрация ртути в организме подростка, тем была ниже концентрация внимания. Отрицательная корреляция была выявлена при сопоставлении концентрации ртути в волосах детей 6 – 7 лет и баллов, набранных в результате проверки произвольного внимания методикой «Фигурные таблицы» ($r = -0,52$, $p < 0,05$). При увеличении содержания ртути наблюдалось снижение уровня внимания, 24 % детей 6-7 лет имели показатель ниже среднего. Таким образом, мы не можем исключить негативное воздействие метилртути на когнитивную функцию детей.

Заключение.

В исследовании представлена биоиндикация ртути в экосистеме нижнего течения реки Амур: почва – водная среда – рыба – ребёнок. Проведено определение содержания ртути в волосах 32 условно здоровых подростков и 30 условно здоровых детей 6-7 лет, 15 пробах собранной на территории бывшего ЦКК одного из городов Хабаровского края верхнего слоя почвы и в 27 образцах обитающей в нижнем течении реки Амур рыбы с помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Определено среднее содержание ртути в верхних слоях почвы в нижнем течении реки Амур, которое составило 0,85 мг/кг и было выше по сравнению с другими территориями РФ, не превышая при этом ПДК.

Показатели содержания ртути в тканях как хищных, так и нехищных рыб реки Амур не превышали МДУ с вариабельностью в пределах 78-87 % МДУ, за исключением рыбы-коня, в которой содержалась ртуть в концентрации, превышающей МДУ в 4 раза. Минимальное

накопление ртути обнаружено в проходной рыбе (кета) ($0,08 \pm 0,013$ мг/кг), что косвенно свидетельствует о антропогенной чистоте морской экосистемы.

В нашем исследовании у здоровых подростков, проживающих на территории антропогенного загрязнения ртутью, концентрация ртути в волосах составила $0,47 \pm 0,05$ мг/кг, что не превышает критического уровня $0,58$ мг/кг. Интересно отметить, что у детей 6-7 лет концентрация ртути в волосах составила $0,19 \pm 0,02$ мг/кг и была в 2,5 раза меньше по сравнению с содержанием ртути в волосах у подростков, что можно объяснить более длительным периодом накопления ртути в организме подростков.

Подпороговые значения содержания ртути в волосах детей, вероятно, связаны с особенностями пищевого поведения, при котором речная рыба в рационе каждого третьего ребенка встречается не чаще, чем 1-2 раза в неделю и тем самым обеспечивается безопасный уровень поступления ртути в организм, который, согласно рекомендациям ЕРА, соответствует $0,1$ мкг на 1 кг массы тела в день [20]. В ходе оценки когнитивного развития условно здоровых детей, постоянно проживающих на территории антропогенного загрязнения ртутью, выявлено, что воздействие даже подпороговых уровней ртути может привести к снижению концентрации внимания.

В мышечной части рыбы, выловленной в нижнем течении реки Амур, содержание ртути было ниже МДУ и зависело от вида рыбы, при этом у хищных пород содержание ртути было статистически значимо выше, чем у рыбы нехищных пород. Наименьшее содержание ртути было зарегистрировано в проходной рыбе – кете, чей жизненный цикл в минимальной степени был связан с водами реки Амур.

Таким образом, речная рыба, особенно хищных пород, не может быть рекомендована в качестве безопасного источника питания, в отличие от «проходных» сортов рыбы, содержание ртути в которых существенно ниже безопасного уровня. Токсические эффекты ртути могут быть редуцированы при одновременном приеме источников антагонистов ртути, в частности – селена, т.к. существует преимущественно свободнорадикальный механизм повреждения клеток ртутью [17].

Данное исследование позволило установить, что, несмотря на то что ЦКК не выделяет токсиканты в окружающую среду более 20 лет и содержание ртути в почве существенно снизилось, уровень сохраняется выше российского фонового значения, не превышая при этом ПДК.

Литература

1. UNEP Geneva. Minamata Convention on Mercury, 2017. Available online: [http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Awareness %20raising/FACT %20SHEETS/Minamata %20Convention %20on %20Mercury %20at %20a %20glance_COP1 %202017.pdf](http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Awareness%20raising/FACT%20SHEETS/Minamata%20Convention%20on%20Mercury%20at%20a%20glance_COP1%202017.pdf) [accessed on 16 August 2019].
2. WHO (World Health Organization). Mercury and health, 2017. Available online: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/en/> [accessed on 16 August 2019].
3. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal. 2012. Vol. 10 (12). 2985 p.
4. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series. 2011. № . 959. P. 55-64.
5. UNEP/WHO. 2008. Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure. Available online: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf> [accessed 09 November 2019].
6. Полещук А.Е., Целых Е.Д., Ахтямов М.Х. Проблема ртутного загрязнения в результате отсутствия работ по демонтажу и демеркуризации на территории ЦКК г. Амурска // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2019. Том 2. С. 195-199.
7. Кот Ф.С., Матюшкина Л.А., Баканов К.Г. и др. Ртуть в городской среде промышленных центров Дальнего Востока // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Междунар. симп. М., 2010. С. 124-127.

8. Ежегодник «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения» 2018 г. [Электронный ресурс] – URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/fb8/ezheg_trp_2017.pdf (дата обращения: 02.11.2019)
9. Ежегодник «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения» 2019 г. [Электронный ресурс] – URL: http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/d74/ezheg_trp_2018.pdf (дата обращения: 02.11.2019)
10. Рыбалко А.Е., Фрумин Г.Т. Тяжёлые металлы как один из основных загрязнителей донных отложений. 2004. [Электронный ресурс] – URL: http://esimo.oceanography.ru/esp2/index/index/esp_id/1/section_id/8/menu_id/3891 (дата обращения: 14.11.2019 г.)
11. Моисеенко Т.И. Ртуть в гидросфере // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Междунар. симп. М., 2010. С. 19–24.
12. Mania M., Wojciechowska-Mazurek M., Starska K. et al. Fish and seafood as a source of human exposure to methylmercury // *Rocz Panstw Zakl Hig.* 2012. Vol. 63. № 3. P. 257-264.
13. Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series. 2007. № 940. P.53-59.
14. Андреева Д.В. Индикационная роль сульфатредуцирующих бактерий в оценке экологического состояния реки Амур: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Владивосток, 2019. 22 с.
15. Papadopoulou E., Haug L. S., Sakhi A. K. et al. Diet as a Source of Exposure to Environmental Contaminants for Pregnant Women and Children from Six European Countries // *Environ Health Perspect.* 2019. Vol. 127. № 10. <https://doi.org/10.1289/ENP5324>.
16. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза “О безопасности пищевой продукции” от 9.12.2011 г.
17. Ларионова Т.К. Биосубстраты человека в эколого-аналитическом мониторинге тяжелых металлов // *Медицина труда и промышленная экология.* 2000. № 4. С. 30-33.
18. Лобанова Ю.Н. // *Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение «Биоэлектробиология».* 2002. № 4. С. 51-52.
19. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду // Под ред. Рахманина Ю.А., Онищенко Г.Г. М: НИИ ЭЧи-ГОС, 2002. 408 с.
20. National Research Council, NRC. Toxicological Effects of Methylmercury. National Academy Press; Washington, DC, USA: 2000. Available online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225778/pdf/Bookshelf_NBK225778.pdf [accessed on 3 November 2019].
21. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention // *Environ. Health.* – 2013. – Vol. 12, № 3. doi: 10.1186/1476-069X-12-3.
22. Клещевский О. Н., Николаева М. А., Рязанова О. А. Современное состояние и перспективы развития рынка рыбы и рыбных товаров в России // *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки.* 2017. № 3. С. 34–42.
23. Межгосударственный стандарт ГОСТ 34141-2017 Продукты пищевые, корма, продовольственное сырье. Определение мышьяка, кадмия, ртути и свинца методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой от 01.07.2018 г.
24. Методические указания МУК 4.1.1483-03 Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой от 30.06.2003 г.
25. Природоохранный нормативный документ федерального уровня ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой от 25.06.1998 г.
26. Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа от 01.01.2019 г.

27. Карелин А. Большая энциклопедия психологических тестов. – М.: Эксмо, 2007. 416 с.
28. Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» от 21.01.2006 г.
29. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. 2015. Серия 5: География. № 2. С. 7-17.
30. Письмо Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25/61-5678 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» от 27.12.1993 г.

References

1. UNEP Geneva. Minamata Convention on Mercury, 2017. Available online: [http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Awareness %20raising/FACT %20SHEETS/Minamata %20Convention %20on %20Mercury %20at %20a %20glance_COP1 %202017.pdf](http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Awareness_%20raising/FACT_%20SHEETS/Minamata_%20Convention_%20on_%20Mercury_%20at_%20a_%20glance_COP1_%202017.pdf) [accessed on 16 August 2019].
2. WHO (World Health Organization). Mercury and health, 2017. Available online: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/en/> [accessed on 16 August 2019].
3. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal. 2012. Vol. 10 (12). 2985 p.
4. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series. 2011. № . 959. P. 55-64.
5. UNEP/WHO. 2008. Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure. Available online: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf> [accessed 09 November 2019].
6. Poleshchuk A. E., Tselev E. D., Akhtyamov M. H. The problem of mercury pollution as a result of the lack of work on dismantling and demercurization on the territory of the Central Committee of Amursk / / Scientific, technical and economic cooperation of the APR countries in the XXI century. 2019. Vol. 2. P. 195-199.
7. Kot F.S., Matyushkina L.A., Bakanov K.G., et al. Mercury in the urban environment of industrial centers of the Far East. Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects. Proceedings of the International. SIMP. M., 2010. P. 124-127.
8. Yearbook “soil Pollution of the Russian Federation by toxicants of industrial origin” 2018 [Electronic resource] – URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/fb8/ezheg_tpp_2017.pdf (accessed 02.11.2019).
9. Yearbook “soil Pollution of the Russian Federation by toxicants of industrial origin” 2019 [Electronic resource]–URL: http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/d74/ezheg_tpp_2018.pdf (accessed 02.11.2019).
10. Rybalko A. E., Frumin G. T. Heavy metals as one of the main pollutants of bottom sediments. 2004. [Electronic resource] – URL: http://esimo.oceanography.ru/esp2/index/index/esp_id/1/section_id/8/menu_id/3891 (accessed 14.11.2019).
11. Moiseenko T. I. Mercury in the hydrosphere. Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects: Proceedings of the international conference. SIMP. M., 2010. P. 19-24.
12. Mania M., Wojciechowska-Mazurek M., Starska K. et al. Fish and seafood as a source of human exposure to methylmercury // Roczn. Panstw. Zakl. Hig. 2012. Vol. 63. № 3. P. 257-264.
13. Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series. 2007. № 940. P.53-59.
14. Andreeva D. V. Indicative role of sulfate-reducing bacteria in the assessment of the ecological state of the Amur river: abstract. Diss... Cand. Biol. sciences. Vladivostok, 2019. 22 p.
15. Papadopoulou E., Haug L. S., Sakhi A. K. et al. Diet as a Source of Exposure to Environmental Contaminants for Pregnant Women and Children from Six European Countries // Environ Health Perspect. 2019. Vol. 127. № 10. <https://doi.org/10.1289/EHP5324>.
16. TR TS 021/2011 Technical Regulation of the Customs Union “On Food Safety” dated 9.12.2011.
17. Larionova T. K. Human biosubstrates in ecological and analytical monitoring of heavy metals // labor Medicine and industrial ecology. 2000. № 4. P. 30-33.

18. Lobanova Yu. N. // Bulletin of Orenburg state University. Appendix "Bioelementology". 2002. № 4. P. 51-52.
19. Onishchenko G. G., Novikov S. M., Rakhmanin Yu. A. et al. Bases of risk assessment for public health under the influence of chemicals that pollute the environment // ed. Rakhmanin Yu. A., Onishchenko G. G. M.: research Institute of ECHI-STATE, 2002. 408 p.
20. National Research Council, NRC. Toxicological Effects of Methylmercury. National Academy Press; Washington, DC, USA: 2000. Available online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225778/pdf/Bookshelf_NBK225778.pdf [accessed on 3 November 2019].
21. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention // Environ. Health. – 2013. – Vol. 12, № 3. doi: 10.1186/1476-069X-12-3.
22. Kleschevsky O. N., Nikolaeva M. A., Ryazanova O. A. Current status and development prospects of the fish and fish products market in Russia // Bulletin of the Kemerovo State University. Series: Political, Sociological, and Economic Sciences. 2017. № . 3. P. 34–42.
23. Interstate standard GOST 34141-2017 Food products, feed, food raw materials. Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead by inductively coupled plasma mass spectrometry dated 01.07.2018.
24. Methodical instructions MUK 4.1.1483-03 Determination of content of chemical elements in diagnosed biosubstrates, preparations and biologically active additives by method of mass spectrometry with inductively bound argon plasma dated 30.06.2003.
25. Environmental regulatory document of federal level IPAF 16.1:2.3:3.11-98 Quantitative chemical analysis of soils. Procedure for measurement of metal content in solid objects by inductively coupled plasma spectrometry dated 25.06.1998.
26. Interstate standard GOST 17.4.4.02-2017 Nature protection (SSOP). The soil. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis dated 01.01.2019.
27. Karelin A. Big Encyclopedia of Psychological Tests. – M: Eksmo, 2007. 416 p.
28. Hygienic standards 2.1.7.2041-06 «Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the soil» dated 21.01.2006.
29. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarke of chemical elements as standards of comparison in ecogeochemistry // Bulletin of Moscow University. 2015. Series 5: Geography. № 2. P. 7-17.
30. Letter of the Ministry of natural resources of the Russian Federation of 27.12.1993 N 04-25/61-5678 «about the order of determination of the sizes of damage from pollution of lands by chemical substances» dated 27.12.1993.