

Читать
онлайнRead
online

Кудаева И.В., Старкова А.С., Кучерова Н.Г., Прохорова П.Г.

Содержание специфических иммуноглобулинов Е к пищевым аллергенам у детей при контаминации ртутью

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Экспозиция неорганическими солями ртути способствует нарушению функций иммунной системы и может привести к развитию аллергических патологий у детей.

Цель работы — определить уровень сенсибилизации к пищевым аллергенам у детей, проживающих на территории экологического неблагополучия.

Материалы и методы. Обследован 191 ребёнок в возрасте от 11 до 16 лет: группа 1 — дети с экскрецией ртути, группа 2 (сравнения) — без таковой. У всех детей определяли уровень общего и аллерген-специфических иммуноглобулинов Е (IgE). Сравнение результатов осуществляли с использованием U-критерия Манна — Уитни, рассчитаны отношения шансов и 95%-е доверительные интервалы. Анализ зависимости концентрации специфических IgE от экскреции ртути проводился методом множественной нелинейной регрессии с прямой пошаговой процедурой включения признаков.

Результаты. В группе детей, не имеющих повышенных уровней общего IgE, значения по всем изучаемым специфическим иммуноглобулинам статистически значимо не различались. При повышенной концентрации общего IgE у детей с экскрецией ртути содержание специфических IgE к антигену коровьего молока было статистически значимо выше, чем в группе сравнения. У детей группы 1 с повышенным уровнем общего IgE установлены более высокая частота встречаемости высокой концентрации специфических IgE к антигену белка куриного яйца ($OR = 1,67$; 95% ДИ [1,02–10,59]) и молока ($OR = 1,29$; 95% ДИ [1,09–13,3]), а также наличие статистически значимой связи в отношении повышенной концентрации специфических IgE к антигенам микста мяса птицы и контаминацией ртутью.

Ограничения исследования. Дети в возрасте от 11 до 16 лет, родители которых и они сами постоянно проживали в г. Усолье-Сибирское и на близлежащей территории.

Заключение. У детей, проживающих на территории накопленного вреда окружающей среде и экскретирующих ртуть, установлен более высокий уровень сенсибилизации к антигенам белка куриного яйца, молока и микста мяса птицы.

Ключевые слова: ртуть; специфические иммуноглобулины; дети

Соблюдение этических стандартов. Исследование проведено с соблюдением этических стандартов Хельсинкской декларации последнего пересмотра. Заключение ЛЭК ФГБНУ ВСИМЭИ № 1 от 21.12.2023 г. Родители и/или законные представители несовершеннолетних детей подписали добровольное информированное согласие на проведение обследования.

Для цитирования: Кудаева И.В., Старкова А.С., Кучерова Н.Г., Прохорова П.Г. Содержание специфических иммуноглобулинов Е к пищевым аллергенам у детей при контаминации ртутью. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(12): 1727–1732. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1727-1732> <https://elibrary.ru/qf9vqaf>

Для корреспонденции: Кудаева Ирина Валерьевна, e-mail: kudaeva_irina@mail.ru

Участие авторов: Кудаева И.В. — дизайн и концепция исследования, статистическая обработка материала, написание текста; Старкова А.С., Прохорова П.Г. — сбор и обработка материала; Кучерова Н.Г. — сбор и обработка материала, статистическая обработка материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Благодарности. Авторы выражают благодарность И.В. Мыльниковой — старшему научному сотруднику лаборатории эколого-гигиенических исследований за помощь в организации обследования детей и О.В. Букшиной — лаборанту-исследователю лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга за проведение исследований по определению ртути в моче.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки, выполнено в рамках средств, выделяемых для поисковых научных исследований ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 31.10.2025 / Поступила после доработки: 17.11.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликовано: 15.01.2026

Irina V. Kudaeva, Alla S. Starkova, Nadezhda G. Kucheroва, Polina G. Prokhorova

Specific immunoglobulins E to food allergens content in children with mercury contamination

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Exposure to inorganic mercury salts contributes to immune system dysfunction and may lead to the development of allergic diseases in children.

Objective. To determine the level of sensitization to food allergens in children living in the ecological trouble territory.

Materials and methods. A total of one hundred ninety one childn aged 11 to 16 years were examined: Group 1 consisted of individuals with mercury excretion, while Group 2 (comparison) consisted of individuals without it. Total and allergen-specific immunoglobulin E (IgE) levels were determined in all children. Results were compared using the Mann–Whitney U test, and odds ratios and 95% confidence intervals were calculated. Analysis of the relationship between specific IgE concentration and mercury excretion was performed using multiple nonlinear regression with a direct stepwise procedure for incorporating features.

Results. In the children group without elevated total IgE levels, the values for all studied specific immunoglobulins did not differ statistically significantly between the groups. With an elevated concentration of total IgE in children with mercury excretion, the specific IgE content to the cow's milk antigen was statistically significantly higher than in the comparison group. Children from group 1 with an elevated total IgE level were characterized by a higher frequency of high concentrations of specific IgE to the chicken egg protein antigen ($OR = 1.67$; 95% CI (1.02–10.59)) and milk ($OR = 1.29$; 95% CI (1.09–13.30)), as well as the presence of a statistically significant relationship between the elevated specific IgE concentration to mixed poultry meat antigens and mercury contamination.

Limitations. Children aged from 11 to 16 years, whose parents and they themselves permanently resided in Usolye-Sibirskoye and the surrounding area.

Conclusion. Children living in areas with accumulated environmental damage and excreting mercury exhibited higher levels of sensitization to antigens from chicken egg whites, milk, and mixed poultry meat.

Keywords: mercur; specific immunoglobulins; children

Compliance with ethical standards. The study was conducted in compliance with the ethical standards of the Helsinki Declaration (last revised). Conclusion of the local ethical committee of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research No. 1 dated December 21, 2023. Parents and/or legal representatives of minor children signed voluntary informed consent for the examination.

For citation: Kudaeva I.V., Starkova A.S., Kucheroва N.G., Prokhorova P.G. Specific immunoglobulins E to food allergens content in children with mercury contamination. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1727–1732. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1727-1732> <https://elibrary.ru/qfgevqa> (In Russ.)

For correspondence: Irina V. Kudaeva, E-mail: kudaeva_irina@mail.ru

Contribution: Kudaeva I.V. — the concept and design of the study, editing, statistical processing, writing text; Starkova A.S., Prokhorova P.G. — collection and processing of material; Kucheroва N.G. — collection and processing of material, statistical processing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Acknowledgment. The authors express their gratitude to I.V. Mylnikova, senior researcher at the Laboratory of environmental and hygienic research, for her assistance in organizing the examination of children, and to O.V. Bukshina, research assistant at the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, for conducting research on determining mercury in urine.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Funding. The study had no funding and was performed within the framework of the funds allocated for exploratory scientific research of East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: October 31, 2025 / Revised: November 17, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

Введение

В Российской Федерации по состоянию на 14.09.2023 г. выявлено 699 объектов накопленного вреда окружающей среде. Это «объекты завершённой экономической деятельности, опасное воздействие которых не было устранено или устранено не в полном объёме» [1], в результате чего они представляют угрозу как для окружающей среды, так и для здоровья населения, проживающего вблизи и на их территории. Зачастую эти объекты располагаются в непосредственной близости от населённых пунктов, а в отдельных случаях — в границах поселений. Одним из них является промышленная площадка ООО «Усольехимпром», расположенная вблизи г. Усолье-Сибирское Иркутской области. За время работы предприятия, по некоторым данным, было использовано около 3300 т ртути, в водные системы поступило 40 т, а в атмосферный воздух — 5 т токсиканта [1]. Его содержание в атмосферном воздухе было выявлено на уровне до 5 ПДК, в почве — до 60 ПДК, в отходах производства — до 700 т. В 1998 г. ртутный электролиз на предприятии был прекращён, но демеркуризация оборудования, здания цеха и близлежащей территории не выполнялась [2].

По данным Е.С. Касинской и А.П. Вертинского, концентрация ртути в атмосферном воздухе в 2020 г. на территории промышленной площадки ООО «Усольехимпром» превышала ПДК в 367 раз [3]. В то же время основной депонирующей средой ртутного загрязнения на урбанизированных территориях считается почва, которая обладает способностью аккумулировать данный токсикант. При этом опасность, обусловленная загрязнением почвы ртутью (Hg), ассоциирована с её основной локализацией в поверхностных слоях: на глубине до 20 см концентрация составляет десятки доли мг, 50 см — сотые доли мг, 100 см — следовые количества [4]. Результаты, полученные японскими учёными, показывают, что в местах длительного хранения ртутьсодержащих отходов Hg может мигрировать в глубь почвенного профиля. Например, в хранилищах на глубине 11 м средняя концентрация ртути составляет 316 ± 164 мкг/кг, 16 м — 226 ± 224 мкг/кг, 18 м — 353 ± 196 мкг/кг [5], что свидетельствует о возможной длительной циркуляции этого вещества в почве. По данным А.Н. Федосеева, на территории промышленной площадки ООО «Усольехимпром» г. Усолье-Сибирское Иркутской области в 2023 г. выявлены концентрации ртути в почве, превышающие гигиенический норматив в 104,7 раза [6].

В настоящее время содержание ртути в атмосферном воздухе г. Усолье-Сибирское регистрируется на уровне предела обнаружения, в почве — на уровне 0,005 мг/кг с максимальной концентрацией 0,0066 мг/кг при ПДК 2,1 мг/кг. В снеж-

ном покрове содержание растворимых соединений ртути в среднем не превышает фоновый уровень, однако единичные максимальные значения, зафиксированные вблизи территории размещения предприятия химической промышленности, достигают 3,2 относительно фонового уровня [7].

В 2007 г. было установлено, что на территории Иркутской области ртуть являлась источником опасности, в том числе из-за перорального бытового воздействия. При этом дети и подростки являлись основной группой риска [8]. В тот период основным путём поступления ртути в организм был пероральный, связанный с употреблением рыбы. В настоящее время одним из основных источников поступления Hg в организм человека являются зерновые и овощные культуры, выращиваемые на территориях, подверженных антропогенному загрязнению. Известно, что при загрязнении ртутью грунта происходит значительный перенос в надземную часть растений данного токсиканта [6], который затем поступает в организм человека. Установлено, что экспозиция растворимыми неорганическими солями ртути способствует поражению тонкого кишечника и почек [9], нарушению функционирования иммунной и эндокринной систем [10], а пренатальное поступление ртути может привести к развитию у детей аллергических патологий [11], в том числе пищевой аллергии.

Цель работы — определить уровень сенсибилизации к пищевым аллергенам у детей, проживающих на территории накопленного вреда окружающей среде.

Материалы и методы

Проведено лабораторное обследование детского населения, проживающего в условиях промышленного центра (г. Усолье-Сибирское) с развитой химической индустрией. Всего обследован 191 ребёнок школьного возраста (11–16 лет). Критерием включения в исследование было постоянное проживание родителей и детей в течение жизни на экспонированной ртутью территории в Усолье-Сибирском с подветренной стороны от промплощадки ООО «Усольехимпром». По признаку содержания ртути в моче все обследуемые были разделены на две группы: группу 1 (основную) составили лица с экскрецией ртути ($n = 52$, средний возраст $13,64 \pm 1,08$ года), группу 2 (сравнения) — дети без контаминации биосред ртутью ($n = 139$, средний возраст $12,63 \pm 0,96$ года).

Определение уровня контаминации мочи ртутью осуществляли по методу [12]. Предел обнаружения ртути составил 1 нг/г, погрешность метода — не более 15%. Для проведения аллергологических исследований кровь отбирали при помощи вакуумных пробирок из локтевой вены после

Таблица 1 / Table 1

Содержание общего IgE и специфических IgE к антигенам пищевых продуктов у обследованных детей, *Me* (Q_1 – Q_3)Total IgE and specific IgE content to food antigens in examined children, *Me* (Q_1 – Q_3)

Показатель, ед. изм. Indicators, units of measurement	Референтные значения Reference values	Группа 1 Group 1 <i>n</i> = 52	Группа 2 Group 2 <i>n</i> = 139	<i>p</i>
Общий IgE, МЕ/мл Total IgE, IU/ml	< 100	37.91 (14.3–82.7)	41.27 (21.64–97.5)	0.3
Микст цитрусовых, КЕ/л Citrus mix, KE/L	< 1.00	0.70 (0.55–1.24)	1.02 (0.72–2.40)	0.02
Микст морских рыб II, КЕ/л Sea fish mix II, KE/L	< 1.00	0.76 (0.51–0.99)	0.65 (0.50–0.88)	0.8
Микст орехов, КЕ/л Nuts mix, KE/L	< 1.00	0.30 (0.08–0.42)	0.30 (0.17–0.45)	0.5
Микст мучной смеси, КЕ/л Flour mixture mix, KE/L	< 1.00	2.73 (0.69–7.10)	3.67 (1.20–6.72)	0.5
Микст мяса птицы, КЕ/л Poultry meat mix, KE/L	< 1.00	0.53 (0.41–0.81)	0.68 (0.47–1.05)	0.3
Микст мясных продуктов, КЕ/л Meat products mix, KE/L	< 1.00	0.79 (0.35–0.90)	0.80 (0.47–1.17)	0.5
Белок куриного яйца, КЕ/л Chicken egg protein, KE/L	< 1.00	6.39 (3.14–11.22)	6.39 (2.75–14.16)	0.7
Молоко коровье, КЕ/л Cow's milk, KE/L	< 1.00	19.78 (4.8–28.52)	13.58 (7.31–18.30)	0.2

Примечание. Здесь и в табл. 2: 1–5 КЕ/л – незначительно увеличенный уровень; 5–20 КЕ/л – умеренно увеличенный уровень; 20–50 КЕ/л – значительно увеличенный уровень; > 50 КЕ/л – очень высокий уровень.

Note: Here and in tables 2: 1–5 KE/L – slightly increased level; 5–20 KE/L – moderately increased level; 20–50 KE/L – significantly increased level; > 50 KE/L – very high level.

12-часового перерыва в приёме пищи. Количественное определение общего иммуноглобулина Е проводилось методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием набора реагентов «ДС-ИФА-IgE общий» производства ООО «НПО Диагностические системы» (Россия). Аллерген-специфические иммуноглобулины Е в сыворотке крови определяли при помощи набора реагентов «IgE-АТ-ИФА» производства «ООО НПО Альт» (Россия) методом твердофазного неконкурентного непрямого иммуноферментного анализа. Набор включал в себя следующие миксты пищевых аллергенов: цитрусовые, морская рыба разных видов, орехи, мучная смесь, мясо птицы, мясные продукты, белок куриного яйца, коровье молоко. Иммуноферментный анализ проводили на автоматическом иммуноферментном анализаторе Stratec Biomedical Gemini (Германия).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 10.0 Stat Soft® Inc. Минимальный размер выборки рассчитывали с использованием метода Фишера. Распределение данных оценивалось с помощью критерия Шапиро – Уилка. Сравнение количественных показателей осуществляли по непараметрическому *U*-критерию Манна – Уитни. Результаты исследований представлены в виде медианы (*Me*), верхнего и нижнего (Q_1 – Q_3) квартилей. Для оценки зависимости нарушений уровня специфических иммуноглобулинов Е к пищевым антигенам от циркуляции ртути в организме рассчитаны отношения шансов и 95%-е доверительные интервалы (OR [CI]). Анализ моделей зависимости концентрации специфических IgE от уровня экскреции ртути проводился методом нелинейной регрессии. Критический уровень нулевой гипотезы об отсутствии статистически значимых различий во всех случаях принимали как $p < 0,05$.

Результаты

Результаты проведённых исследований позволили установить, что у детей с контаминацией ртутью уровень общего иммуноглобулина Е статистически значимо не отличался от показателя детей группы сравнения: 41,3 (21,6–97,5) и 37,9 (14,3–82,7) МЕ/мл соответственно (табл. 1).

Содержание специфических IgE к микстам пищевых аллергенов также не имело межгрупповых статистически значимых различий за исключением микста цитрусовых. В этом случае в группе сравнения отмечались статистически значимо более высокие концентрации специфических IgE, находящиеся на уровне 1-го класса оценки сенсибилизации.

На следующем этапе исследуемые показатели были проанализированы в обеих группах в зависимости от наличия либо отсутствия превышения общего IgE референтных значений (100 МЕ/мл). В случае отсутствия повышенных уровней данного показателя медианные значения по всем изучаемым специфическим иммуноглобулинам к пищевым аллергенам статистически значимо не различались между группами в зависимости от наличия (отсутствия) экскреции ртути (табл. 2). Основными аллергенами, в отношении которых был выявлен повышенный синтез специфических IgE, в обеих сравниваемых группах были микст мучной смеси (незначительно повышенный уровень IgE), белок куриного яйца и коровье молоко (умеренно увеличенный уровень).

При повышенной концентрации общего IgE у детей с экскрецией ртути содержание специфических IgE к антигену коровьего молока было статистически значимо выше, чем в группе сравнения (см. табл. 2).

Анализ содержания специфических IgE в группах 1 и 2 в зависимости от уровня общего IgE показал, что у детей, в моче которых ртуть не обнаружена, уровень иммуноглобулинов к белкам коровьего молока был одинаковым вне зависимости от концентрации общего IgE: 14,09 (7,78–22,88) и 13,27 (4,84–17,37) КЕ/л при его нормальных и превышающих референтные значения уровнях соответственно. В группе детей с экскрецией ртути при повышенном уровне общего IgE отмечалось увеличение концентрации данных специфических IgE в три раза по сравнению с показателями обследуемых, имеющих нормальное содержание общего IgE (21,8 (15,64–46,85) и 6,62 (3,92–27,18) КЕ/л соответственно). Содержание специфических иммуноглобулинов Е к остальным пищевым антигенам в обеих группах не имело статистически значимых различий в зависимости от уровня общего IgE. Тем не менее при повышенных уровнях общего IgE отмечались более высокие значения среднegrupповых концентраций специфических IgE к антигенам микста мучной смеси (в 4,5 и 2 раза в основной группе и группе сравнения соответственно) и белка куриного яйца – в 2,5 раза в обеих группах.

Анализ отношения шансов позволил установить, что у детей с экскрецией ртути, имеющих повышенный уровень общего IgE, нарушения концентрации специфических IgE к антигену белка куриного яйца и молока встречались статистически значимо чаще, чем в аналогичной группе сравнения: OR = 1,67; 95% ДИ 1,02–10,59 и OR = 1,29; 95% ДИ 1,09–13,3 соответственно. Далее методом нелинейной регрессии в этой же группе оценивалось

Таблица 2 / Table 2

Содержание специфических IgE к антигенам пищевых продуктов в группах обследованных детей с уровнем общего IgE в пределах и выше референтных значений, *Me* (Q_1 – Q_3)

Specific IgE content to food antigens in groups of examined children with total IgE levels within reference values and above the reference values, *Me* (Q_1 – Q_3)

Показатель, ед. изм. Indicators, units of measurement	В пределах референтных величин Within reference values			Выше референтных значений Above the reference values		
	Группа 1 Group 1 <i>n</i> = 32	Группа 2 Group 2 <i>n</i> = 77	<i>p</i>	Группа 1 Group 1 <i>n</i> = 20	Группа 2 Group 2 <i>n</i> = 62	<i>p</i>
Микст цитрусовых, КЕ/л Citrus mixt, KE/L	0.79 (0.55–1.24)	1.05 (0.83–2.19)	0.06	0.66 (0.53–1.88)	0.96 (0.57–2.95)	0.2
Микст морских рыб II, КЕ/л Sea fish mixt II, KE/L	0.78 (0.54–1.04)	0.66 (0.50–0.85)	0.5	0.57 (0.46–0.88)	0.64 (0.49–0.88)	0.6
Микст орехов, КЕ/л Nuts mixt, KE/L	0.31 (0.07–0.67)	0.30 (0.22–0.40)	0.7	0.17 (0.08–0.41)	0.25 (0.10–0.65)	0.3
Микст мучной смеси, КЕ/л Flour mixture mixt, KE/L	1.04 (0.69–7.10)	2.11 (1.08–6.89)	0.2	4.65 (0.38–9.88)	4.26 (1.53–6.72)	0.9
Микст мяса птицы, КЕ/л Poultry meat mixt, KE/L	0.50 (0.37–1.60)	0.67 (0.48–0.89)	0.6	0.58 (0.50–0.74)	0.75 (0.47–2.20)	0.5
Микст мясных продуктов, КЕ/л Meat products mixt, KE/L	0.64 (0.30–0.87)	0.81 (0.54–1.05)	0.08	0.88 (0.52–0.93)	0.74 (0.41–1.22)	0.6
Белок куриного яйца, КЕ/л Chicken egg protein, KE/L	4.19 (0.67–9.15)	4.81 (1.82–10.78)	0.3	10.39 (5.67–18.82)	11.97 (3.37–14.56)	0.4
Молоко коровье, КЕ/л Cow's milk, KE/L	6.62 (3.92–27.18)	14.09 (7.78–22.88)	0.3	21.80 (15.64–46.85)	13.27 (4.84–17.37)	0.03

Примечание. 0–1 КЕ/л – нормальное содержание.

Note: 0–1 KE/L – normal content.

наличие связи «маркёр экспозиции (концентрация ртути) – маркёр эффекта (концентрация специфических IgE к пищевым антигенам)». Анализ результатов позволил установить наличие статистически значимой связи в отношении концентрации специфических IgE к антигенам микста мяса птицы: $R = 0,67$; $R^2 = 0,45$; $F = 6,44$; $p = 0,03$.

Обсуждение

Результаты анализа распространённости сенсибилизации к пищевым аллергенам в разных регионах России неоднозначны. Например, обследование детей, проживающих в Москве и Московской области, не выявило повышенных уровней специфических IgE к аллергенам коровьего молока [13]. В то же время у детей, проживающих в Екатеринбурге, наиболее частыми причинами тяжёлых аллергических реакций, по данным анкетирования, были коровье молоко и орехи [14]. Обследование детей Нижнего Тагила, в котором приоритетными загрязнителями среды обитания с наибольшим вкладом в формирование риска для здоровья являются в том числе металлы-аллергены [15], показало, что практически все обследуемые с контаминацией биосред никелем, кобальтом и свинцом имели пищевую непереносимость: у 68,9% в качестве аллергенов выступали яйца, у 57,5% – молочные продукты [16]. Необходимо отметить, что молочные протеины и антигены куриного яйца являются основными аллергенами у детей с пищевой анафилаксией (51 и 17% соответственно) [17] и с атопическим фенотипом [18].

В наших исследованиях у детей, проживающих на территории экологического неблагополучия и имеющих контаминацию биосред ртутью, выявлен более высокий уровень сенсибилизации к аллергенам молока, белка куриного яйца и микста мяса птицы. Первые два относятся к группе «большой восьмёрки» [19].

Поскольку обследуемая группа детей не подвергалась активной экспозиции выбросами ООО «Усольехимпром» в различные периоды онтогенеза, её можно считать условно экспонированной, однако нельзя исключать попадание рту-

ти в организм с рыбой, зерновыми культурами, продуктами животноводства, а в младенческом возрасте – с материнским молоком. Ведь при обследовании экспонированного ртутью взрослого населения данного региона в начале 2000-х годов было установлено, что повышенную концентрацию токсиканта в моче имели 30% женщин, а у 43% обследованных родильниц ртуть была обнаружена также в молоке [20].

Хотя точный механизм связи ртути с аллергическими патологиями остаётся неясным, считается, что она может вызывать нарушения как гуморальных, так и клеточных биомаркёров иммунитета. Кроме того, воздействие данного токсиканта способствует развитию митохондриальной дисфункции и апоптоза Т-клеток, а также повышению выработки иммуноглобулина Е [21, 22]. Некоторые исследования показали, что пренатальное воздействие ртути повышает уровень иммуноглобулина G, вызывая иммунотоксичность и аллергические патологии у детей [23]. Также показано, что у детей, проживающих в Усолье-Сибирском и имеющих повышенную контаминацию биосред ртутью, отмечается изменение клеточного звена иммунного ответа (снижение иммунорегуляторного индекса $CD4^+/CD8^+$) на фоне активации гуморального иммунитета (повышение $CD19^+$, гиперпродукция IgG, а также специфического IgG к ртути), что указывает на признаки хронического воспаления и повышенную гаптенную нагрузку ртутью [24]. Хроническое воспаление поддерживает дисбаланс иммунной системы, повышает проницаемость слизистых оболочек, особенно кишечника, позволяя аллергенам легче проникать в организм, что приводит к срыву толерантности к пищевым продуктам и формированию пищевой аллергии [25]. Кроме того, связываясь с сульфгидрильными группам белков, ртуть может вызвать их конформационные изменения, приводя к изменению функциональной активности. Это касается в первую очередь ферментов первой и второй фаз системы биотрансформации ксенобиотиков, антиоксидантной и иммунной систем [26–29]. Нельзя также исключать возможное модифицирующее влияние ртути на антигенные свойства белковых молекул продуктов питания.

Заключение

Таким образом, для детей, проживающих на территории накопленного вреда окружающей среде и экскретирующих ртуть, отмечается более высокая частота встречаемости нарушений концентрации специфических IgE к антигену белка

куриного яйца и молока, а также более высокий их уровень к антигенам молока по сравнению с лицами без контаминации биосред ртутью. В этой же группе установлена статистически значимая связь «маркёр экспозиции (концентрация ртути) – маркёр эффекта» в отношении повышенной концентрации специфических IgE к антигену микста мяса птицы.

Литература

(п.п. 5, 9–11, 13, 19, 21–23 см. References)

1. Кучерская Т.И., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Рыжков А.Л., Мошев А.Н., Фомин М.В. и др. Характеристика территорий ртутного загрязнения как объектов накопленного вреда окружающей среде (научный обзор). *Профилактическая и клиническая медицина*. 2024; (4): 22–9. <https://elibrary.ru/yablsy>
2. Кучерская Т.И., Аликбаева Л.А., Комбарова М.Ю. Гигиеническая оценка загрязнения почв ртутью на территории промышленной площадки г. Усолье-Сибирское. В кн.: *Профилактическая медицина – 2022. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции*. СПб.; 2022: 153–6. <https://elibrary.ru/drbcic>
3. Касинская Е.С., Вертинский А.П. Ликвидация последствий деятельности ОАО «Усольехимпром». В кн.: *Проблемы техносферной безопасности современного мира. Сборник трудов XXVII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием*. Иркутск; 2022: 262–8. <https://elibrary.ru/calbjh>
4. Ракитский В.Н., Синицкая Т.А. *Комбинированное действие пестицидов и тяжелых металлов*. М.: Шико; 2012. <https://elibrary.ru/sndkhn>
6. Федосеев А.Н., Макарова А.С., Кушу А.Ю. Ремедиация грунтов, загрязнённых ртутьсодержащими отходами. *Теоретическая и прикладная экология*. 2021; (4): 187–92. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-187-192> <https://elibrary.ru/mubyuv>
7. Государственные доклады о состоянии и охране окружающей среды Иркутской области за 2010–2019 гг. Доступно: <https://irkobl.ru/sites/ecology/>
8. Ефимова Н.В., Дьякович М.П., Бичева Г.Г., Лисецкая Л.Г., Коваль П.В., Андрулайтис Л.Д. и др. Изучение здоровья населения в условиях воздействия техногенной ртuti. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007; (2): 75–9. <https://elibrary.ru/nbmqrph>
12. Рукавишников В.С., Ефимова Н.В., Лисецкая Л.Г., Тараненко Н.А., Абраматец Е.А., Катальская О.Ю. Поиск адекватных биомаркеров для выявления влияния химических факторов на здоровье населения. *Казанский медицинский журнал*. 2009; 90(4): 473–6. <https://elibrary.ru/kzlmr>
14. Лепешкова Т.С. Анализ распространённости пищевой гиперчувствительности и пищевой анафилаксии в детской популяции г. Екатеринбург. *Российский Аллергологический Журнал*. 2021; 18(2): 46–54. <https://doi.org/10.36691/RJA1427> <https://elibrary.ru/gswvwj>
15. Гурвич В.Б., Козловских Д.Н., Власов И.А., Чистякова И.В., Ярушин С.В., Корнилов А.С. и др. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила). *Здоровье населения и среда обитания – ЗНКО*. 2020; (9): 38–47. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47> <https://elibrary.ru/mgxfam>
16. Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Штин Т.Н., Ярушин С.В., Чеботарькова С.А. Признаки фенотипических изменений у детей, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНКО*. 2022; 30(9): 77–83. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-9-77-83> <https://elibrary.ru/bhlyoq>
17. Лепешкова Т.С. Причинно-значимые аллергены и спектр сенсибилизации детей, перенесших пищевую анафилаксию. *Российский медицинский журнал. Медицинское обозрение*. 2023; 7(2): 75–80. <https://elibrary.ru/lqgxae>
18. Эфендиева К.Е., Левина Ю.Г., Калугина В.Г., Вишнева Е.А., Алексеева А.А., Волков К.С. и др. Распространенность сенсибилизации к пищевым аллергенам из группы «большой восьмерки» у детей с atopическим фенотипом: одномоментное исследование. *Педиатрическая фармакология*. 2024; 21(5): 417–31. <https://doi.org/10.15690/pf.v21i5.2820> <https://elibrary.ru/pxlvdv>
20. Савченко М.Ф., Рукавишников В.С., Ефимова Н.В. Ртуть в окружающей среде и ее влияние на здоровье населения (на примере Байкальского региона). *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2010; 99(8): 9–11. <https://elibrary.ru/nhoebf>
24. Зайцева Н.В., Никоношина Н.А., Долгих О.В. Особенности иммунного профиля и полиморфизма кандидатных генов у детского населения при промышленной контаминации биосред ртутью. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1133–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1133-1138> <https://elibrary.ru/zosden>
25. Макарова С.Г., Балаболкин И.И., Фисенко А.П. *Пищевая аллергия у детей и подростков*. М.; 2021. <https://elibrary.ru/icpbvx>
26. Кудаева И.В. Роль оксидативного стресса в патогенезе профессиональных заболеваний, возникших от воздействия токсических веществ. *Вестник новых медицинских технологий*. 2009; 16(S1): 253–4. <https://elibrary.ru/taczlr>
27. Маснавиева Л.Б., Бударина Л.А., Кудаева И.В. Показатели антиоксидантной защиты и перекисного окисления липидов у лиц с нейроинтоксикацией в отдаленном периоде. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010; (4): 115–8. <https://elibrary.ru/ogutwd>
28. Лахман О.Л., Рукавишников В.С., Шаяхметов С.Ф., Соседова Л.М., Катаманова Е.В., Бодиевкова Г.М. и др. Профессиональные нейроинтоксикации: клинико-экспериментальные исследования. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(9): 82–3. <https://elibrary.ru/umgqnh>
29. Черняк Ю.И. Полиморфные локусы CYPs и GSTs генов у лиц, подвергшихся хроническому воздействию паров металлической ртути. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 921–4. <https://elibrary.ru/yocqvf>

References

1. Kucherskaya T.I., Alikbaeva L.A., Yakubova I.Sh., Ryzhkov A.L., Moshev A.N., Fomin M.V., et al. Characteristics of mercury pollution territories as objects of accumulated harm to the environment (scientific review). *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2024; (4): 22–9. <https://elibrary.ru/yablsy> (in Russian)
2. Kucherskaya T.I., Alikbaeva L.A., Kombarova M.Yu. Hygienic assessment of soil contamination with mercury on the territory of the industrial site of Usole-Sibirskoye. In: *Preventive Medicine – 2022. Collection of Scientific Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference [Profilakticheskaya meditsina – 2022. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. St. Petersburg; 2022: 156–9. <https://elibrary.ru/drbcic> (in Russian)
3. Kasinskaya E.S., Vertinskii A.P. Liquidation of the consequences of the activities of JSC Usolekhimprom. In: *Problems of Technosphere Security of the Modern World. Proceedings of the XXVII All-Russian Student Scientific and Practical Conference with International Participation [Problemy tekhnosfernoi bezopasnosti sovremennogo mira. Sbornik trudov XXVII Vserossiiskoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Irkutsk; 2022: 262–8. <https://elibrary.ru/calbjh> (in Russian)
4. Rakitsky V.N., Sinitskaya T.A. *The Combined Effect of Pesticides and Heavy Metals [Kombinirovannoe deistvie pestitsidov i tyazhelykh metallov]*. Moscow: Shiko; 2012. <https://elibrary.ru/sndkhn> (in Russian)
5. Yang J., Takaoka M., Sano A., Matsuyama A., Yanase R. Vertical distribution of total mercury and mercury methylation in a landfill site in Japan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018; 15(6): 1252. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061252>
6. Fedoseev A.N., Makarova A.S., Kusu A.Yu. Remediation of territories contaminated with mercury waste. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2021; (4): 187–92. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-187-192> <https://elibrary.ru/mubyuv> (in Russian)
7. State reports on the state and environmental protection of the Irkutsk region for 2010–2019. Available at: <https://irkobl.ru/sites/ecology/> (in Russian)
8. Efimova N.V., Dyakovich M.P., Bicheva G.G., Lisetskaya L.G., Koval P.V., Andrulajitis L.D., et al. Assessment of population health exposed to technogenic mercury. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2007; (2): 75–9. <https://elibrary.ru/nbmqrph> (in Russian)
9. Tian X., Lin X., Zhao J., Cui L., Gao Y., Yu Y.L., et al. Gut as the target tissue of mercury and the extraintestinal effects. *Toxicology*. 2023; 484: 153396. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153396>
10. Björklund G., Peana M., Dadar M., Chirumbolo S., Aaseth J., Martins N. Mercury-induced autoimmunity: Drifting from micro to macro concerns on autoimmune disorders. *Clin. Immunol.* 2020; 213: 108352. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2020.108352>
11. Shin J., Kim B.M., Ha M., Park H.S., Hong Y.C., Kim Y., et al. The association between mercury exposure and atopic dermatitis in early childhood: a mothers and children's environmental health study. *Epidemiology*. 2019; 30(Suppl. 1): S3–8. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001002>
12. Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Lisetskaya L.G., Taranenko N.A., Abramats E.A., Katul'skaya O.Yu. A search for adequate biomarkers for establishing the influence of chemical factors on the health of the population. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*. 2009; 90(4): 473–6. <https://elibrary.ru/kzlmr> (in Russian)
13. Elisutina O., Lupinek C., Fedenko E., Litovkina A., Smolnikov E., Ilina N., et al. IgE-reactivity profiles to allergen molecules in Russian children with and without symptoms of allergy revealed by micro-array analysis. *Pediatr. Allergy Immunol.* 2021; 32(2): 251–63. <https://doi.org/10.1111/pai.13354>

14. Lepeshkova T.S. Analysis of the prevalence of food hypersensitivity and food anaphylaxis in the children's population of Ekaterinburg. *Rossiiskii Allergologicheskii Zhurnal*. 2021; 18(2): 46–54. <https://doi.org/10.36691/RJA1427> <https://elibrary.ru/gswvwj> (in Russian)
15. Gurvich V.B., Kozlovskikh D.N., Vlasov I.A., Chistyakova I.V., Yarushin S.V., Kornilov A.S., et al. Methodological approaches to optimizing ambient air quality monitoring programs within the framework of the federal clean air project (on the example of Nizhny Tagil). *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2020; (9): 38–47. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47> <https://elibrary.ru/mgxfam> (in Russian)
16. Mazhaeva T.V., Dubenko S.E., Shtin T.N., Yarushin S.V., Chebotarkova S.A. Signs of phenotypic changes in children constantly exposed to elevated environmental levels of chemical pollutants in the city of Nizhny Tagil. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2022; 30(9): 77–83. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-9-77-83> <https://elibrary.ru/bhlyoq> (in Russian)
17. Lepeshkova T.S. Causative allergens and sensitization spectrum in children with the history of food-induced anaphylaxis. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal. Meditsinskoe obozrenie*. 2023; 7(2): 75–80. <https://elibrary.ru/lqgxi> (in Russian)
18. Efendieva K.E., Levina Ju.G., Kalugina V.G., Vishneva E.A., Alekseeva A.A., Volkov K.S., et al. The prevalence of sensitization to food allergens from the group of “big eight” in children with atopic phenotype: cross-sectional study. *Pediatricheskaya farmakologiya*. 2024; 21(5): 417–31. <https://doi.org/10.15690/pf.v21i5.2820> <https://elibrary.ru/pxlvd> (in Russian)
19. Allen K.J., Koplin J.J. The epidemiology of IgE-mediated food allergy and anaphylaxis. *Immunol. Allergy Clin. North Am.* 2012; 32(1): 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.iac.2011.11.008>
20. Savchenkov M.F., Rukavishnikov V.S., Efimova N.V. Environmental mercury and its influence on population health (on example of baikal region). *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)*. 2010; 99(8): 9–11. <https://elibrary.ru/nhoebf> (in Russian)
21. Hultman P., Bell L.J., Eneström S., Pollard K.M. Murine susceptibility to mercury. I. Autoantibody profiles and systemic immune deposits in inbred, congenic, and intra-H-2 recombinant strains. *Clin. Immunol. Immunopathol.* 1992; 65(2): 98–109. [https://doi.org/10.1016/0090-1229\(92\)90212-7](https://doi.org/10.1016/0090-1229(92)90212-7)
22. Song X., Ding X., Niu P., Chen T., Yan T. The associations between exposure to multiple heavy metals and total immunoglobulin E in U.S. adults. *Toxics*. 2024; 12(2): 116. <https://doi.org/10.3390/toxics1202116>
23. Nyland J.F., Wang S.B., Shirley D.L., Santos E.O., Ventura A.M., de Souza J.M., et al. Fetal and maternal immune responses to methylmercury exposure: a cross-sectional study. *Environ. Res.* 2011; 111(4): 584–9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.02.010>
24. Zaitseva N.V., Nikonoshina N.A., Dolgikh O.V. Features of the immune profile and polymorphism of candidate genes in children population of an industrially developed region with excessive contamination of the biological medium with mercury. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1133–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1133-1138> <https://elibrary.ru/zosden> (in Russian)
25. Makarova S.G., Balabolkin I.I., Fisenko A.P. *Food Allergy in Children and Adolescents [Pishchevaya allergiya u detei i podrostkov]*. Moscow; 2021. <https://elibrary.ru/icpbvx> (in Russian)
26. Kudayeva I.V. Role of oxidativ stress in occupational disease pathogenesis occurred after exposure to toxic substances. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*. 2009; 16(S1): 253–4. <https://elibrary.ru/taczlr> (in Russian)
27. Masnavieva L.B., Budarina L.A., Kudaeva I.V. Indices of antioxidant protection and lipid peroxidation in persons with neurointoxication in long-term period after exposure. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2010; (4): 115–8. <https://elibrary.ru/ogutwd> (in Russian)
28. Lakhman O.L., Rukavishnikov V.S., Shayahmetov S.F., Sosedova L.M., Katamanova E.V., Bodienkova G.M., et al. Occupational neurointoxications: clinical and experimental research. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(9): 82–3. <https://elibrary.ru/umgqnh> (in Russian)
29. Chernyak Yu.I. Polymorphic CYPs and GSTs genes' loci in workers exposed to chronic mercury vapor exposure. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(10): 921–4. <https://elibrary.ru/yocqv> (in Russian)

Сведения об авторах

Кудаева Ирина Валерьевна, доктор мед. наук, доцент, зав. КДЛ, зам. директора по научной работе ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: kudaeva_irina@mail.ru

Старкова Алла Сергеевна, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: karpova.alana123@yandex.ru

Кучерова Надежда Геннадьевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: nadezhdakucheroval0103@mail.ru

Прохорова Полина Германовна, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: hurwol@yandex.ru

Information about the authors

Irina V. Kudaeva, DSc (Medicine), assistant professor, deputy director for research, head of the Clinical diagnostic laboratory, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5608-0818> E-mail: kudaeva_irina@mail.ru

Alla S. Starkova, clinical laboratory diagnostics doctor, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0000-4018-2812> E-mail: karpova.alana123@yandex.ru

Nadezhda G. Kucheroval, research assistant, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0006-3026-6899> E-mail: nadezhdakucheroval0103@mail.ru

Polina G. Prokhorova, clinical laboratory diagnostics doctor, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0004-7640-7939> E-mail: hurwol@yandex.ru