



Кудаева И.В., Курчевенко С.И., Лахман О.Л., Ефимова Н.В., Кучерова Н.Г.,  
Лысенко А.А., Старкова А.С., Прохорова П.Г., Рыбакова А.П.

## Состояние биохимических показателей у детей школьного возраста, проживающих в зоне экологического неблагополучия

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

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** В Усолье-Сибирском длительное поступление ртути в объекты окружающей среды могло создать предпосылки для формирования неблагоприятных последствий у детей, рождённых на данной территории.

**Цель** — оценить состояние биохимических показателей школьников, проживающих в зоне экологического неблагополучия.

**Материалы и методы.** Обследован 191 ребёнок в возрасте от 11 до 16 лет. Дети были разделены на две группы: 1-я (основная) — лица с экскрецией ртути и 2-я (сравнения) — без таковой. У всех обследуемых определяли показатели, отражающие состояние разных видов обменов. Сравнение групп осуществляли с использованием непараметрического U-критерия Манна — Уитни.

**Результаты.** У детей основной группы наблюдались более низкие концентрации общего белка ( $p = 0,02$ ) и альбумина ( $p = 0,0002$ ) в сыворотке крови по сравнению с группой 2. Также для них были характерны более высокие концентрации церрулоплазмينا ( $p = 0,04$ ), магния ( $p = 0,05$ ), аспартатаминотрансферазы ( $p = 0,048$ ). Дети группы 1 имели более высокие значения индекса атерогенности ( $p = 0,0002$ ), концентрации проатерогенной фракции холестерина ( $p = 0,02$ ) и более низкий уровень антиатерогенной фракции ( $p = 0,0002$ ), аполипопротеида А1 ( $p = 0,003$ ), ферритина ( $p = 0,04$ ), витамина D ( $p = 0,02$ ), кальция ( $p = 0,03$ ). Также у детей группы 1 отмечен дисбаланс в соотношении тиреотропного гормона (ТТГ) и свободного тироксина (Т4).

**Ограничения исследований.** Подростки в возрасте от 11 до 16 лет, проживавшие постоянно, как и их родители, в Усолье-Сибирском и населённых пунктах близлежащей территории с подветренной стороны от промплощадки ООО «Усольехимпром».

**Заключение.** Показатели белкового обмена подростков, экскретирующих ртуть, характеризуются более низкими значениями, липидного — проатерогенной направленностью, имеются признаки скрытого дефицита железа, более низкий уровень витамина D и общего кальция в крови, ТТГ и Т4 и более высокие уровни антител к тиреопероксидазе.

**Ключевые слова:** ртутное загрязнение; биохимические показатели; дети

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование проведено с соблюдением этических стандартов Хельсинкской декларации последнего пересмотра. Заключение ЛЭК ФГБНУ ВСИМЭИ № 1 от 21.12.2023 г. Все участники и их законные представители дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Кудаева И.В., Курчевенко С.И., Лахман О.Л., Ефимова Н.В., Кучерова Н.Г., Лысенко А.А., Старкова А.С., Прохорова П.Г., Рыбакова А.П. Состояние биохимических показателей у детей школьного возраста, проживающих в зоне экологического неблагополучия. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(11): 1458–1464. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-11-1458-1464> <https://elibrary.ru/jupqme>

**Для корреспонденции:** Курчевенко Светлана Ивановна, e-mail: lady.svik@yandex.ru

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

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику лаборатории эколого-гигиенических исследований И.В. Мыльниковой за помощь в организации обследования детей и лаборанту-исследователю лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга О.В. Букшиной 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: 14.10.2025 / Поступила после доработки: 29.10.2025 / Принята к печати: 03.11.2025 / Опубликовано: 29.12.2025

Irina V. Kudaeva, Svetlana I. Kurchevenko, Oleg L. Lakhman, Natalia V. Efimova, Nadezhda G. Kucheroва,  
Anastasia A. Lysenko, Alla S. Starkova, Polina G. Prokhorova, Anastasia P. Rybakova

## Biochemical parameters state in school-age children living in the zone of ecological distress

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

### ABSTRACT

**Introduction.** Long-term mercury exposure in the Ussolye-Sibirskoye environment could create the preconditions for adverse health effects in children born in the area.

**The objective.** To assess the biochemical parameters in schoolchildren living in an environmentally sensitive area.

**Materials and methods.** A total of examined one hundred ninety one child aged of from 11 to 16 years was and divided into two groups: Group 1 (main group) — individuals with mercury excretion; Group 2 (comparison group) — individuals without it. All subjects were assessed for indicators reflecting the state of various types of metabolism. Comparison of groups were performed using the nonparametric Mann–Whitney U-test.

**Results.** Children in the main group had lower concentrations of total protein ( $p = 0.02$ ) and albumin ( $p = 0.0002$ ) in the blood serum compared to group 2. They were also characterized by higher concentrations of ceruloplasmin ( $p = 0.04$ ), magnesium ( $p = 0.05$ ), aspartate aminotransferase ( $p = 0.048$ ). Children in group 1 had higher values of the atherogenic index ( $p = 0.0002$ ), cholesterol proatherogenic fraction concentration ( $p = 0.02$ ), as well as lower levels of the antiatherogenic

fraction ( $p = 0.0002$ ), apolipoprotein A1 ( $p = 0.003$ ), ferritin ( $p = 0.04$ ), vitamin D ( $p = 0.02$ ), calcium, imbalance in the ratio of thyroid stimulating hormone (TSH), and free thyroxine (T4).

**Limitations.** The study's limitations included adolescents aged 11 to 16 years, whose parents and they themselves permanently resided in Ussolye-Sibirskoye and the surrounding area downwind of the Ussolye-Sibirskoye industrial site.

**Conclusion.** Adolescents excreting mercury exhibited lower protein metabolism parameters, proatherogenic lipid metabolism, and signs of latent iron deficiency. They also had lower vitamin D levels, lower total calcium levels, lower TSH and T4 levels, and higher levels of thyroid peroxidase antibodies.

**Keywords:** mercury pollution; biochemical indices; children

**Compliance with ethical standards.** The study was conducted in compliance with the ethical standards of the Helsinki Declaration (last revised) and Order No. 200n of Russian Federation Health Ministry the dated April 1, 2016. Conclusion of the local ethical committee of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research No. 1 dated of December 21, 2023. All participants and their legal representatives gave informed voluntary written consent to participate in the study.

**For citation:** Kudaeva I.V., Kurchevenko S.I., Lakhman O.L., Efimova N.V., Kucheroва N.G., Lysenko A.A., Starkova A.S., Prokhorova P.G., Rybakova A.P. Biochemical parameters state in school-age children living in the zone of ecological distress. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(11): 1458–1464. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-11-1458-1464> <https://elibrary.ru/jupqme> (In Russ.)

**For correspondence:** Svetlana I. Kurchevenko, e-mail: lady.svik@yandex.ru

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

**Acknowledgment.** The authors express their gratitude to I.V. Mylnikova, senior researcher at the Laboratory of environmental and hygienic research, for her assistance in managing 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 interest.** The authors declare no conflict of interest.

**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 24, 2025 / Revised: October 29, 2025 / Accepted: November 3, 2025 / Published: December 19, 2025

## Введение

Среди химических веществ, загрязняющих окружающую среду, особое место принадлежит ртути (Hg), которая относится к первому классу опасности [1]. До настоящего времени сохранилось множество источников выбросов ртути в окружающую среду. Одним из очагов такого загрязнения долгое время в Усолье-Сибирском было производство ООО «Усольехимпром» [2]. За период его работы часть химических веществ, в том числе ртуть, попала в почву, что способствовало загрязнению грунта и водных объектов [3–5]. Показано, что многолетние потери ртути в совокупности составили  $\approx 2000$  т [6]. В настоящее время на территории данного объекта ведутся работы по ликвидации накопленного вреда окружающей среде территории городского округа Усолье-Сибирское Иркутской области. Концентрация ртути в почве данного населённого пункта составляет в среднем 0,005 мг/кг (максимальная концентрация — 0,0066 мг/кг), ПДК в почве — 2,1 мг/кг. В снежном покрове содержание растворимых соединений ртути не превышает фоновый уровень, в то же время единичные значения, зафиксированные вблизи промплощадки, достигают 3,2 Ф относительно фоновый уровень [7].

Длительное поступление ртути в объекты окружающей среды и продукты питания [6] могло создать предпосылки для формирования неблагоприятных последствий как у взрослого населения, длительное время проживающего на данной территории, так и у рождённых детей. Известно, что в период работы ООО «Усольехимпром» в биологических пробах взрослых и детей, проживающих вблизи предприятия, было зарегистрировано превышение концентрации ртути [8]. При этом экскреция токсиканта наблюдалась почти у 60% жителей Усольского района [9]. В непродовольственных условиях основные пути поступления ртути в организм человека связаны с воздухом, пищевыми продуктами и питьевой водой. Поступая в организм, способствует функциональным изменениям практически во всех органах и системах [10]. Избыточная кумуляция Hg как высокотоксичного тяжёлого металла индуцирует реакции дезадаптации, нарушая гомеостатическое равновесие [11]. При этом детская популяция наиболее уязвима к загрязнениям окружающей среды из-за несовершенства адаптационных механизмов [12]. Известно, что экскреция ртути с мочой у детей от 5 до 18 лет нелинейно изменяется с возрастом и имеет

максимум, приходящийся на 12–14 лет, то есть на пубертатный возраст [13]. При этом в отдельных случаях токсиканты обнаруживаются в моче детей и подростков спустя даже продолжительное время после ликвидации промышленных предприятий [14, 15]. Несмотря на многочисленные исследования токсического воздействия ртути на организм, к настоящему времени получено сравнительно немного данных об изменениях биохимических показателей у детей, проживающих на территориях, где осуществляются ликвидационные мероприятия.

**Цель работы** — оценить состояние биохимических показателей школьников, проживающих в зоне экологического неблагополучия.

## Материалы и методы

Проведено лабораторное обследование 191 ребёнка школьного возраста (от 11 до 16 лет). Обследованные дети были учениками средних общеобразовательных школ Усолье-Сибирского и населённых пунктов близлежащей территории.

Критерием включения в исследование было постоянное проживание родителей и детей в течение жизни на экспонированной ртутью территории в Усолье-Сибирском с подвальной стороны от промплощадки ООО «Усольехимпром».

В зависимости от содержания ртути в моче дети разделены на две группы: группа 1 — лица с экскрецией ртути ( $n = 52$ , средний возраст  $13,64 \pm 1,08$  года); группа 2 (сравнения) — дети, в моче которых ртуть не выявлена ( $n = 139$ , средний возраст  $12,63 \pm 0,96$  года). Предел обнаружения ртути составил 1 нг/г, погрешность метода — не более 15%.

У обследуемых в сыворотке крови определяли показатели следующих обменов: белкового (общий белок, альбумин, мочевины); липидного [общий холестерин (ОХ), холестерин липопротеидов высокой плотности (ХС ЛПВП), триглицериды (ТГ), аполипопротеин A1 (Апо A1), аполипопротеин В (Апо В), фосфолипиды (ФЛ)]; железа (общее железо (Fe), ферритин (Fer), трансферрин (ТФ), ненасыщенная железосвязывающая способность сыворотки (НЖСС)), макроэлементов [общий Ca, фосфор (P), магний (Mg), медь, церулоплазмин (ЦП), калий (K), натрий (Na)]; активности ферментов [амилаза, лактатдегидрогеназа (ЛДГ), аспаратаминотрансфераза (АСТ), аланинаминотрансфераза (АЛТ), гаммаглутамилтрансфераза (ГГТ), щелочная фосфа-

Таблица 1 / Table 1

**Показатели белкового обмена у обследованных детей,  $Me (Q_1-Q_3)$** **Indices of protein metabolism in the examined children,  $Me (Q_1-Q_3)$** 

Показатель Index	Референтные значения Reference indicators	Группа 1   Group 1 $n = 52$	Группа 2   Group 2 $n = 139$	$p$
Общий белок г/л   Total protein, g/L	62–82	76.3 (73.9–78.3)	77.4 (74.4–80.0)	0.03
Альбумин, г/л   Albumin, g/L	37–55	46.2 (44.4–48.6)	48.5 (46.6–50.0)	0.0002
Церулоплазмин мг/дл   Ceruloplasmin, mg/dL	30–58	36.1 (33.0–39.4)	34.2 (31.2–37.9)	0.04
СРБ вч, мг/л   CRP hs, mg/L	< 3	0.40 (0.20–1.00)	0.37 (0.20–1.00)	0.7
Мочевина, ммоль/л   Urea, mmol/L	2.9–7.5	3.5 (2.6–4.0)	3.7 (2.9–4.4)	0.7

таза (ЩФ)]. Исследование проводили с применением соответствующих тест-систем (Human, BioSystems) на автоматических биохимических анализаторах BA-400 (BioSystems) и BS-200 (Mindrey). Содержание холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП) вычисляли по методу Фридвальда, индекса атерогенности (ИА) – по соотношению атерогенных фракций холестерина к неатерогенным [16]. Высокочувствительный С-реактивный белок (СРБ вч) определяли иммунофлуоресцентным методом с помощью анализатора Getein Biotech (Китай). Клинический анализ крови выполняли на гематологическом анализаторе BC-5380 (Mindrey). Исследование содержания в сыворотке крови витамина D, концентрации тиреотропного гормона (ТТГ), свободного трийодтиронина ( $T_3$ ), свободного тироксина ( $T_4$ ), антител к тиреопероксидазе (ТПО) осуществляли с помощью соответствующих тест-наборов Euroimmun (Германия) и ДС-ИФА («Диагностические системы», Россия) методом иммуноферментного анализа на автоматическом анализаторе Stratec Biomedical Gemini. Содержание ртути в моче определяли по методу [2]. Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10.0. Минимальный размер выборки детей был получен с использованием метода Фишера. После анализа соответствия изучаемых показателей закону о нормальном распределении (тест Шапиро – Уилка) сравнение групп осуществляли с использованием непараметрического  $U$ -критерия Манна – Уитни. Результаты исследований представлены в виде медианы ( $Me$ ), верхнего и нижнего ( $Q_1-Q_3$ ) квартилей. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты**

Сравнительный анализ белкового обмена (табл. 1) показал, что у детей, в моче которых обнаружена ртуть, наблюдались более низкие концентрации общего белка ( $p = 0,02$ ) и альбумина ( $p = 0,0002$ ) в сыворотке крови по сравнению с группой 2.

При этом минимальное содержание общего белка в основной группе составило 66,7 г/л, в группе сравнения – 68,2 г/л. Наименьшая концентрация альбумина в сыворотке крови у детей группы 1 регистрировалась на уровне 39,7 г/л, в группе 2 – 43 г/л. Следует отметить более высокую концентрацию позднего белка острой фазы воспаления и основной транспортной формы меди (ЦП) у детей основной группы ( $p = 0,04$ ) в отличие от группы сравнения. В ферментном составе выявлено статистически значимое увеличение концентрации АСТ у детей группы 1 ( $p = 0,048$ ) по сравнению с группой 2 (табл. 2), хотя минимальные значения в группе 1 – от 12,4 Ед/л, а максимальные значения – до 49,4 Ед/л, а в группе 2 – от 9,8 до 53,3 Ед/л.

Проведённое исследование липидного обмена показало (табл. 3), что дети группы 1 имели более высокие значения ИА ( $p = 0,0002$ ), концентрации ХС ЛПНП ( $p = 0,02$ ), а также более низкий уровень ХС ЛПВП ( $p = 0,0002$ ) и аполипопротеида, его переносящего, – Апо А1 ( $p = 0,003$ ).

Анализ показателей обмена железа позволил установить более низкую концентрацию ферритина в сыворотке крови у детей группы 1 по сравнению со значениями обследованных группы 2 ( $p = 0,04$ ) (табл. 4). Минимальные значения данного показателя составили 1,9 и 3,1 мкг/л, максимальные – 93,7 и 146,3 мкг/л в группах 1 и 2 соответственно. При этом статистически значимых межгрупповых различий остальных показателей обмена железа установлено не было.

Исследование макроэлементного состава крови и мочи показало (табл. 5) более низкие уровни кальция ( $p = 0,03$ ) и калия ( $p = 0,005$ ) в сыворотке крови и более высокое содержание магния ( $p = 0,02$ ) у детей группы 1 по сравнению с показателями детей группы 2. Макроэлементный состав мочи обследованных школьников не различался.

Исследование уровня витамина D, ассоциированного с обменом кальция, позволило установить более низкие медианные значения данного показателя в группе 1 – 17,1 (13,4–29,6) нг/мл при 24,2 (17,23–33,84) нг/мл в группе сравнения ( $p = 0,02$ ). Минимальные значения в обеих

Таблица 2 / Table 2

**Уровень ферментов в сыворотке крови обследованных детей,  $Me (Q_1-Q_3)$** **Level of enzymes in blood serum in the examined children,  $Me (Q_1-Q_3)$** 

Показатель Index	Референтные значения Reference indicators	Группа 1   Group 1 $n = 52$	Группа 2   Group 2 $n = 139$	$p$
Аспартатаминотрансфераза Ед/л Aspartate Aminotransferase, U/L	до 40   up to 40	26.8 (22.2–33.8)	24.5 (20.8–29.6)	0.048
Аланинаминотрансферазы Ед/л Alanine Aminotransferase, U/L	до 40   up to 40	12.8 (11.3–16.4)	14.6 (11.5–18.5)	0.08
Гамма-глутамилтрансфераза Ед/л Gamma-glutamyltransferase, U/L	до 45   up to 45	13.05 (11.5–15.6)	14.3 (12.1–16.5)	0.1
Щелочная фосфатаза Ед/л Alkaline phosphatase, U/L	130–525	449 (317–579)	481 (369–583)	0.5

Таблица 3 / Table 3

**Показатели липидного обмена у обследованных детей,  $Me (Q_1-Q_3)$** **Indices of lipid metabolism in the examined children,  $Me (Q_1-Q_3)$** 

Показатель Index	Референтные значения Reference indicators	Группа 1   Group 1 $n = 52$	Группа 2   Group 2 $n = 139$	$p$
Общий холестерин ммоль/л   Total cholesterol, mmol/L	3.70–6.50	4.00 (3.65–4.50)	4.10 (3.60–4.50)	0.7
Холестерин липопротеидов низкой плотности ммоль/л Low-density lipoprotein cholesterol, mmol/L	1.60–3.50	2.32 (1.88–2.65)	2.01 (1.60–2.38)	0.02
Холестерин липопротеидов высокой плотности ммоль/л High-density lipoprotein cholesterol, mmol/L	0.90–1.90	1.40 (1.27–1.61)	1.63 (1.41–1.94)	0.0002
Триглицериды ммоль/л   Triglycerides, mmol/L	0.40–0.86	0.71 (0.55–0.91)	0.73 (0.57–0.89)	0.8
Индекс атерогенности   Atherogenicity index	2.2–3.5	1.8 (1.4–2.4)	1.4 (1.1–1.9)	0.0002
Аполипопротеин А1, мг/дл   Apolipoprotein A1, mg/dL	> 115	106.2 (97.9–119.1)	117.0 (101.2–132.0)	0.003
Аполипопротеин В, мг/дл   Apolipoprotein B, mg/dL	< 130	66.9 (58.5–78.6)	67.6 (51.1–85.8)	0.3
Фосфолипиды ммоль/л   Phospholipids, mmol/L	1.80–3.30	2.56 (2.37–2.88)	2.64 (2.39–2.91)	0.4

Таблица 4 / Table 4

**Показатели обмена железа у обследованных детей,  $Me (Q_1-Q_3)$** **Indices of iron metabolism in the examined children,  $Me (Q_1-Q_3)$** 

Показатель Index	Референтные значения Reference indicators	Группа 1   Group 1 $n = 52$	Группа 2   Group 2 $n = 139$	$p$
Железо сыворотки крови, мкмоль/л   Serum iron, $\mu\text{mol/L}$	9.3–30.8	14.4 (10.2–18.5)	12.8 (9.6–18.0)	0.3
Трансферрин, мг/дл   Transferrin, mg/dL	220–380	316.8 (299.0–377.0)	316.0 (299.0–367.0)	0.8
Ферритин, мкг/л   Ferritin, $\mu\text{g/L}$	22–220	29 (16–42)	35 (21–48)	0.04
НЖСС, мкмоль/л   UIBC FS, $\mu\text{mol/L}$	20.0–61.0	38.9 (29.7–49.8)	36.9 (29.3–41.4)	0.3

Таблица 5 / Table 5

**Содержание макроэлементов в сыворотке крови у обследованных детей,  $Me (Q_1-Q_3)$** **The content of trace elements in the blood serum in the examined children,  $Me (Q_1-Q_3)$** 

Показатель Index	Референтные значения Reference indicators	Группа 1   Group 1 $n = 52$	Группа 2   Group 2 $n = 139$	$p$
Кальций, ммоль/л   Calcium, mmol/L	2.15–2.55	2.43 (2.37–2.52)	2.39 (2.33–2.49)	0.03
Фосфор, ммоль/л   Phosphorus, mmol/L	0.87–1.45	1.47 (1.38–1.56)	1.49 (1.32–1.65)	0.6
Магний, ммоль/л   Magnesium, mmol/L	0.78–0.99	0.86 (0.82–0.92)	0.89 (0.86–0.94)	0.02
Калий, ммоль/л   Potassium, mmol/L	3.5–5.2	4.35 (4.07–4.64)	4.16 (3.98–4.34)	0.005
Натрий, ммоль/л   Sodium, mmol/L	135–145	140 (139–141)	139 (139–142)	0.9

Таблица 6 / Table 6

**Гормональный статус щитовидной железы обследованных детей,  $Me (Q_1-Q_3)$** **Hormonal status of the thyroid gland in examined children,  $Me (Q_1-Q_3)$** 

Показатель Index	Референтные значения Reference indicators	Группа 1   Group 1 $n = 52$	Группа 2   Group 2 $n = 139$	$p$
Тиреотропный гормон, мкМЕ/мл Thyroid stimulating hormone, $\mu\text{IU/mL}$	0.53–5.27	1.40 (1.10–1.90)	2.60 (1.70–11.00)	0.00001
Трийодтиронин свободный, пг/мл Triiodothyronine free, pg/mL	3.10–6.60	2.75 (10.80–3.20)	2.60 (2.00–3.00)	0.6
Тироксин свободный, пмоль/л   Thyroxine free, pmol/L	10.0–17.7	11.4 (10.8–12.7)	12.3 (1.7–13.3)	0.00001
Анти ТПО, МЕ/мл   Anti-TPO, U/mL	< 5.61	2.78 (1.39–4.17)	0.61 (0.10–1.20)	0.02

группах находились на одном уровне ( $\approx 7$  нг/мл), в то время как максимальная концентрация у детей группы 2 была в 1,7 раза выше аналогичного показателя в группе 1 (87,33 и 50,3 нг/мл соответственно).

Исследование гормонов щитовидной железы показало (табл. 6), что дети, в моче которых выявлена ртуть, имели более низкие уровни ТТГ и Т4 по сравнению со школьниками, в моче которых отсутствовала экскреция ртути ( $p = 0,00001$  и  $p = 0,0001$  соответственно).

**Обсуждение**

Проведённые нами исследования позволили установить, что биохимические показатели детей, экскретирующих ртуть, отличаются от таковых у детей группы сравнения. Данные отличия касаются практически всех видов обменов. Показатели белкового обмена характеризуются более низкими значениями, липидного — проатерогенной направленностью, имеются признаки скрытого дефицита железа,

более низкое содержание витамина D и общего кальция в крови, ТТГ и Т4 и более высокие уровни антител к ТПО. Результаты согласуются с данными, полученными в ранее проведенных исследованиях на других группах лиц, экспонированных ртутью: рабочих, контактирующих с парами металлической ртути в производственных условиях [17], пациентов с установленным диагнозом «хроническая ртутная интоксикация» [18], взрослого населения, проживающего в селитебной зоне, загрязненной ртутью [19].

Подростков, рожденных в период после закрытия ООО «Усольехимпром» (1998 г.), можно отнести к условно экспонированной группе населения, а лиц, родившихся ранее, — к категории активной экспозиции как подвергшихся в различные периоды онтогенеза влиянию действующего предприятия. Показано, что в период после закрытия химического предприятия впервые выявленная заболеваемость детей подросткового возраста снижалась [20]. В то же время среднегодовой темп прироста (убыли) болезней системы кровообращения значительно превышал 50%, что может свидетельствовать о том, что их развитие у детей подросткового возраста может определяться не только уровнем экспозиции токсикантов, но и, например, кумуляцией в объектах окружающей среды [20]. Результатами ранее проведенных исследований было подтверждено, что в течение длительного периода после закрытия ООО «Усольехимпром» на территории Усоля-Сибирского за пределами промышленной площадки содержание ртути в воздухе в жаркое время года находилось на уровне 2–72 нг/м, в снеговой воде в районе города — в пределах 0,008–0,0424 мкг/дм<sup>3</sup> (региональный природный фон — 0,0007 мкг/дм<sup>3</sup>), в твердой фазе снега — 39 мг/кг [21]. Существует мнение, что главным источником вторичного загрязнения была почва в районе промплощадки. Содержание ртути в грунтовых водах под цехом химического комбината в период работ по демонтажу производственных цехов составляло 0,3–0,5 мг/л [22]. На основании этого к зоне потенциального риска воздействия токсиканта и в настоящее время относятся территории с населением ≈ 17 тыс. человек. Необходимо учитывать, что в начале 2000-х годов при обследовании экспонированного ртутью населения повышенная концентрация токсиканта в моче была зарегистрирована у 30% женщин, а у 43% обследованных рожениц ртуть была обнаружена также в молоке, что создавало угрозу здоровью новорожденных [9]. В настоящее время отсутствует единое мнение о возможности развития хронической интоксикации ртутью при воздействии малых доз. В то же время в ряде работ показано, что даже при низкой экспозиции Hg происходят различные нарушения, затрагивающие в первую очередь нервную, эндокринную и иммунную системы [23, 24]. В частности, установлено, что ртуть влияет на изменения эндокринной системы как при непосредственном воздействии на железы, особенно щитовидную, так и опосредованно через нервную систему [25].

Высокую значимость имеет показатель церулоплазмينا в сыворотке крови детей. Известно, что церулоплазмин участвует в окислительно-восстановительных реакциях, спо-

собствуя снижению процессов перекисного окисления липидов [26]. Хорошо изучена связь между церулоплазмином и медью, отклонения последнего показателя приводят к дофаминергической дисрегуляции [27]. Изменения его уровня в настоящее время рассматриваются как один из механизмов, лежащих в основе развития ряда нейродегенеративных патологий [28, 29]. Анализ макроэлементного состава в крови обследованных детей с экскрецией ртути показал более низкое содержание кальция и калия и более высокое — магния по отношению к группе сравнения. Ранее было установлено, что гипермагниемия свойственна лицам, работающим в контакте с ртутью, и пациентам с хронической ртутной интоксикацией [17]. Причиной снижения кальция в сыворотке крови могут быть низкий уровень альбумина в крови, дефицит витамина D, приводящий к снижению всасывания кальция в кишечнике, дисбаланс гормонов парашитовидных и щитовидной желез [30]. У обследуемых основной группы зарегистрированы более низкие значения показателей белкового обмена и витамина D.

Более высокий уровень фермента АСТ у школьников, в моче которых обнаружена ртуть, можно объяснить следующим образом. Известно, что большая часть фермента АСТ содержится в гепатоцитах в митохондриальной форме, поэтому повышение активности фермента АСТ в сыворотке крови обследованных школьников может свидетельствовать об активизации процессов переаминирования или дезаминирования аминокислот, что указывает на напряжение адаптационных механизмов [27]. Также показано, что у детей, проживающих в условиях возможного хронического воздействия химических токсикантов окружающей среды, активность фермента АСТ может быть ранним маркером формирующегося дефицита энергии [27]. Необходимо также учесть, что у подростков основной группы более низкие уровни Т4 не сопровождалось повышением концентрации ТТГ, что может свидетельствовать о дисбалансе в регуляции синтеза гормонов щитовидной железы. На риск развития нарушений в системе тиреоидных гормонов у подростков данной группы указывает и более высокий уровень АТ-ТПО.

**Ограничения исследования:** подростки в возрасте от 11 до 16 лет, родители которых и они сами постоянно проживали в Усолье-Сибирском и населенных пунктах близлежащей территории с подветренной стороны от промплощадки ООО «Усольехимпром».

## Заключение

Таким образом, биохимические показатели подростков, экскретирующих ртуть, отличаются от таковых у лиц группы сравнения. Показатели белкового обмена (общий белок, альбумин) характеризуются более низкими значениями, липидного — проатерогенной направленностью, имеются признаки скрытого дефицита железа, более низкий уровень витамина D и концентрации общего кальция в крови, ТТГ и Т4 и повышенные уровни антител к ТПО.

## Литература

1. Подпасков А.С., Хизов А.В. Способы уменьшения выбросов стационарными источниками отходов I класса опасности содержащих ртуть, свинец, хром и бенз(а)пирен. *Научные исследования XXI века*. 2021; (3): 52–6. <https://elibrary.ru/eetvnt>
2. 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/kzllrn>
3. Бухтияров И.В., Брылёва М.С., Бетг К.В., Тихонова Г.И., Салагай О.О. Социально-гигиенические аспекты смертности населения трудоспособного возраста промышленного города Восточной Сибири (на примере г. Усолье-Сибирское Иркутской области). *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(10): 632–41. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-632-641> <https://elibrary.ru/quqaek>
4. Пастухов М.В., Полетаева В.И., Бутаков Е.В. Распределение ртути в шламоутилизаторе «Усольехимпром» и его влияние на окружающую среду. В кн.: *Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАН А.Н. Антипова*. М.; 2019: 553–6. <https://elibrary.ru/mwszpk>
5. Кучерская Т.И., Аликбаева Л.А., Комбарова М.Ю., Луковникова Л.В., Александрова Е.С. Гигиеническая оценка содержания ртути в атмосферном воздухе на территории промышленной площадки города Усолье-Сибирское. В сб.: *Актуальные вопросы гигиены. сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. СПб.; 2024: 133–7. <https://elibrary.ru/gvhhbl>
6. 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

## Original article

- воздействия техногенной ртути. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007; (2): 75–9. <https://elibrary.ru/nbmqrph>
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., Лисецкая Л.Г. Содержание ртути в биосубстратах населения Иркутской области. *Токсикологический вестник*. 2007; (3): 11–5. <https://elibrary.ru/iavtth>
  9. Савченков 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>
  10. Jyothi N.R., Farook N.A.M. Mercury toxicity in public health. In: *Heavy Metal Toxicity in Public Health*. IntechOpen; 2020: 51–7.
  11. Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Скупневский С.В. Современные проблемы загрязнения ртутью окружающей среды (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99(5): 460–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-5-460-467> <https://elibrary.ru/cxkmri>
  12. Савченко О.В. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на состояние здоровья детей дошкольного возраста. *Экология человека*. 2018; (3): 16–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-3-16-20>
  13. Авхименко М.М. Загрязнение окружающей среды ртутью и проявления меркуриализма у детей. *Медицинская сестра*. 2016; (1): 16–9. <https://elibrary.ru/vquojt>
  14. Яхина М.Р., Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Аллаярова Г.Р., Адиева Г.Ф., Зеленковская Е.Е. и др. Элементный статус детского населения техногенных геохимических территорий. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(99): 984–9. <https://elibrary.ru/dtymfw>
  15. Зайцева Н.В., Никоншина 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>
  16. Кудяева И.В., Дьякович О.А., Маснавиева Л.Б., Попкова О.В., Абраматетс Е.А. Особенности липидного обмена у работников, занятых в производстве алюминия. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(9): 857–60. <https://elibrary.ru/wwulkj>
  17. Кудяева И.В., Бударина Л.А. Изменение биохимических показателей при воздействии паров металлической ртути. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2012; (6): 24–7. <https://elibrary.ru/pjborf>
  18. Катаманова Е.В., Корчуганова Е.Н., Сливнищина Н.В., Кудяева И.В., Лахман О.Л. Взаимосвязь нейрофизиологических, психологических и биохимических показателей у пациентов с профессиональной хронической ртутной интоксикацией, страдающих инсомнией. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(12): 904–10. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-12-904-910> <https://elibrary.ru/xjbxma>
  19. Кудяева И.В., Лысенко А.А. Состояние липидного обмена у лиц, проживающих на территории экологического неблагополучия. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 896–901. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-896-901> <https://elibrary.ru/pywnja>
  20. Мыльникова И.В., Ефимова Н.В. Анализ многолетней заболеваемости детей 15–17 лет на территориях накопленного вреда здоровью. В кн.: *III международный демографический форум «Демография и глобальные вызовы»: Материалы форума*. Воронеж: Цифровая полиграфия; 2024: 222–7. <https://elibrary.ru/kqtdfa>
  21. Гребенщикова В.И., Пастухов М.В., Акимов М.С. Миграция ртути с атмосферными выпадениями в Прибайкалье. В кн.: *Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума*. М.; 2010: 104–9.
  22. Ефимова Н.В., Безгодов И.В., Бичев С.С., Донских И.В., Гребенщикова В.И. Медико-экологические проблемы длительного техногенного загрязнения почвы в Иркутской области. *Гигиена и санитария*. 2012; 91(5): 42–4. <https://elibrary.ru/puhtip>
  23. Charkiewicz A.E., Omeljaniuk W.J., Garley M., Nikliński J. Mercury exposure and health effects: what do we really know? *Int. J. Mol. Sci.* 2025; 26(5): 2326. <https://doi.org/10.3390/ijms26052326>
  24. Wu Y.S., Osman A.I., Hosny M., Elgarhy A.M., Eltaweil A.S., Rooney D.W., et al. The toxicity of mercury and its chemical compounds: molecular mechanisms and environmental and human health implications: a comprehensive review. *ACS Omega*. 2024; 9(5): 5100–26. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07047>
  25. Пашинская Н.Б., Пинтова Т.А., Иващенко Н.Ю., Исаева С.А. Состояние щитовидной железы у детей, имевших контакт с ртутью. *Вестник Смоленской медицинской академии*. 2002; (4): 63–4.
  26. Поляруш С.В., Масаидова И.Б.К. Повышение точности определения уровня церулоплазмينا в клинической практике с помощью ингибиторов протеолиза. *Научный потенциал*. 2024; (4–1): 52–4. <https://elibrary.ru/fyymkk>
  27. Курашвили Л.В., Лавров А.Н., Кириякина Е.А. Состояние электролитного обмена у школьников и взаимосвязь его с функцией митохондрий. *Sciences of Europe*. 2017; (14–1): 55–63. <https://elibrary.ru/ypyyuh>
  28. Пилькевич Н.Б., Марковская В.А., Яворская О.В., Смирнова А.П. Патфизиологическая связь меди с нейродегенеративными расстройствами (обзор). *Микроэлементы в медицине*. 2023; 24(3): 22–30. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-22-30>
  29. Morera A.L., Henry M., García-Hernández A., Fernández-López L. Acute phase proteins as biological markers of negative psychopathology in paranoid schizophrenia. *Actas Esp. Psiquiatr.* 2007; 35(4): 249–52.
  30. Волков М.М., Каюков И.Г., Смирнов А.В. Фосфорно-кальциевый обмен и его регуляция. *Нефрология*. 2010; 14(1): 91–103. <https://elibrary.ru/micorl>

## References

1. Podpaskov A.S., Khizov A.V. Methods for reducing emissions from stationary sources of hazard class I waste containing mercury, lead, chromium and benz(a)pirene. *Nauchnye issledovaniya XXI veka*. 2021; (3): 52–6. <https://elibrary.ru/eetvnt> (in Russian)
2. 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/kzlrln> (in Russian)
3. Bukhtiyarov I.V., Bryleva M.S., Betts K.V., Tikhonova G.I., Salagai O.O. Socio-hygienic aspects of mortality of the working-age population of an industrial city in eastern Siberia (on the example of Ussolye-Sibirskoye, Irkutsk region). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(10): 632–41. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-632-641> <https://elibrary.ru/quqaek> (in Russian)
4. Pastukhov M.V., Poletaeva V.I., Butakov E.V. Distribution of Mercury in the Ussolyehimprom Sludge Storage Facility and Its Impact on the Environment. In: *Geographical Foundations and Environmental Principles of Regional Environmental Policy. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Memory of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences A.N. Antipov [Geograficheskie osnovy i ekologicheskie printsipy regional'noi politiki prirodopol'zovaniya. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati chlena-korrespondenta RAN A.N. Antipova]*. Moscow; 2019: 553–6. <https://elibrary.ru/mwszpk> (in Russian)
5. Kucherskaya T.I., Alikbaeva L.A., Kombarova M.Yu., Lukovnikova L.V., Aleksandrova E.S. Hygienic assessment of mercury content in atmospheric air on the territory of the industrial site of the city of Ussolye-Sibirskoye. In: *Actual Issues of Hygiene. Collection of Scientific Papers of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Aktual'nye voprosy gigieny. sbornik nauchnykh trudov IX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. St. Petersburg; 2024: 133–7. <https://elibrary.ru/gvkhbl> (in Russian)
6. Efimova N.V., Dyakovich M.P., Bicheva G.G., Lisetskaya L.G., Koval P.V., Andrlajitis 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)
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., Lisetskaya L.G. Concentration of mercury in biosubstrates of the population of the Irkutsk region. *Toksikologicheskii vestnik*. 2007; (3): 11–5. <https://elibrary.ru/iavtth> (in Russian)
9. 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)
10. Jyothi N.R., Farook N.A.M. Mercury toxicity in public health. In: *Heavy Metal Toxicity in Public Health*. IntechOpen; 2020: 51–7.
11. Rakitskii V.N., Synitskaya T.A., Skupnevskii S.V. Current issues of environmental mercury pollution (review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(5): 460–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-5-460-467> <https://elibrary.ru/cxkmri> (in Russian)
12. Savchenko O.V. Environmental heavy metals pollution effect on preschool children's health. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (3): 16–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-3-16-20> (in Russian)
13. Avkhimenko M.M. Environmental mercury pollution and the manifestation of mercurialism in children. *Meditsinskaya sestra*. 2016; (1): 16–9. <https://elibrary.ru/vquojt> (in Russian)
14. Yakhina M.R., Lariyona T.K., Daukaev R.A., Allayarova G.R., Adieva G.F., Zelenkovskaya E.E., et al. Element status of the pediatric population of technogenic geochemical areas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(99): 984–9. <https://elibrary.ru/dtymfw> (in Russian)
15. 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 Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1133–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1133-1138> (in Russian)
16. Kudaeva I.V., Dyakovich O.A., Masnavieva L.B., Popkova O.V., Abramats E.A. Features of the lipid exchange in workers employed in aluminium productions. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(9): 857–60. <https://elibrary.ru/wwulkj> (in Russian)
17. Kudayeva I.V., Budarina L.A. Biochemical indexes modification at exposure of metallic mercury vapours. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra*

- Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk.* 2012; (6): 24–7. <https://elibrary.ru/pjbopf> (in Russian)
18. Katamanova E.V., Korchuganova E.N., Slivnitsyna N.V., Kudaeva I.V., Lakhman O.L. The interrelation of neurophysiological, psychological, and biochemical indicators in patients with occupational chronic mercury intoxication suffering from insomnia. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya.* 2020; 60(12): 904–10. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-12-904-910> <https://elibrary.ru/xjbxma> (in Russian)
  19. Kudaeva I.V., Lysenko A.A. The state of lipid exchange in persons living in the territory of environmental illness. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian Journal).* 2023; 102(9): 896–901. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-896-901> <https://elibrary.ru/pywnja> (in Russian)
  20. Mylnikova I.V., Efimova N.V. Analysis of long-term incidence of children aged 15–17 years in areas of accumulated health harm. In: *The 3<sup>rd</sup> International Demographic Forum “Demography and Global Challenges”: Proceedings of the forum [III mezhdunarodnyi demograficheskii forum «Demografiya i global'nye vyzovy»: Materialy foruma].* Voronezh: Tsifrovaya poligrafija; 2024: 222–7. <https://elibrary.ru/kqtdfa> (in Russian)
  21. Grebenshchikova V.I., Pastukhov M.V., Akimova M.S. Migration of mercury with atmospheric precipitation in the Baikal region. In: *Mercury in the Biosphere: Ecological and geochemical aspects. Proceedings of the International Symposium [Rtut' v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma].* Moscow; 2010: 104–9. (in Russian)
  22. Efimova N.V., Bezgodov I.V., Bichev S.S., Donskikh I.V., Grebenshchikova V.I. Medical and environmental problems of long-term technogenic pollution of the soil in the. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian Journal).* 2012; 91(5): 42–4. <https://elibrary.ru/puhitp> (in Russian)
  23. Charkiewicz A.E., Omeljaniuk W.J., Garley M., Nikliński J. Mercury exposure and health effects: what do we really know? *Int. J. Mol. Sci.* 2025; 26(5): 2326. <https://doi.org/10.3390/ijms26052326>
  24. Wu Y.S., Osman A.I., Hosny M., Elgaray A.M., Eltawel A.S., Rooney D.W., et al. The toxicity of mercury and its chemical compounds: molecular mechanisms and environmental and human health implications: a comprehensive review. *ACS Omega.* 2024; 9(5): 5100–26. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07047>
  25. Pashinskaya N.B., Pintova T.A., Ivakhnenko N.Yu., Isaeva S.A. The condition of the thyroid gland in children who have been exposed to mercury. *Vestnik Smolenskoi meditsinskoi akademii.* 2002; (4): 63–4. (in Russian)
  26. Polyarush S.V., Masaidova I.B.K. Enhancing the accuracy of ceruloplasmin level determination in clinical practice through proteolysis inhibitors. *Nauchnyi potentsial.* 2024; (4–1): 52–4. <https://elibrary.ru/fymkk> (in Russian)
  27. Kurashvili L.V., Lavrov A.N., Kurakina E.A. The condition of electrolyte metabolism in schoolchildren and its relationship with mitochondrial function. *Sciences of Europe.* 2017; (14–1): 55–63. <https://elibrary.ru/yppyyh> (in Russian)
  28. Pilkevich N.B., Markovskaya V.A., Yavorskaya O.V., Smirnova A.P. Pathophysiological association of copper with neurodegenerative disorders (review). *Mikroelementy v meditsine.* 2023; 24(3): 22–30. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-22-30> (in Russian)
  29. Morera A.L., Henry M., García-Hernández A., Fernández-López L. Acute phase proteins as biological markers of negative psychopathology in paranoid schizophrenia. *Actas Esp. Psiquiatr.* 2007; 35(4): 249–52.
  30. Volkov M.M., Kayukov I.G., Smirnov A.V. Phosphorus-calcium metabolism and its regulation. *Nefrologiya.* 2010; 14(1): 91–103. <https://elibrary.ru/micorl> (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](mailto:kudaeva_irina@mail.ru)

**Курчевенко Светлана Ивановна**, канд. мед. наук, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [lady.svik@yandex.ru](mailto:lady.svik@yandex.ru)

**Лакман Олег Леонидович**, доктор мед. наук, профессор, профессор РАН, директор ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [lakhman\\_o\\_l@mail.ru](mailto:lakhman_o_l@mail.ru)

**Ефимова Наталья Васильевна**, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [medecolab@inbox.ru](mailto:medecolab@inbox.ru)

**Кучерова Надежда Геннадьевна**, лаборант-исследователь, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [nadezhdakucheroval33@gmail.com](mailto:nadezhdakucheroval33@gmail.com)

**Лысенко Анастасия Анатольевна**, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [doc.anastasia07.07.90@gmail.com](mailto:doc.anastasia07.07.90@gmail.com)

**Старкова Алла Сергеевна**, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [karpova.alana123@yandex.ru](mailto:karpova.alana123@yandex.ru)

**Прохорова Полина Германовна**, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [hurwol@yandex.ru](mailto:hurwol@yandex.ru)

**Рыбакова Анастасия Павловна**, врач клинической лабораторной диагностики, ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: [anastasia.zakroyshchikova@yandex.ru](mailto:anastasia.zakroyshchikova@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](mailto:kudaeva_irina@mail.ru)

**Svetlana I. Kurchevchenko**, PhD (Medicine), clinical laboratory diagnostics doctor, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9155-1008> E-mail: [lady.svik@yandex.ru](mailto:lady.svik@yandex.ru)

**Oleg L. Lakhman**, DSc (Medicine), director, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0013-8013> E-mail: [lakhman\\_o\\_l@mail.ru](mailto:lakhman_o_l@mail.ru)

**Natalia V. Efimova**, DSc (Medicine), professor, leading researcher, Laboratory of environmental and hygienic research, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> E-mail: [medecolab@inbox.ru](mailto:medecolab@inbox.ru)

**Nadezhda G. Kucheroval**, research assistant, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0006-3026-6899> E-mail: [nadezhdakucheroval33@gmail.com](mailto:nadezhdakucheroval33@gmail.com)

**Anastasia A. Lysenko**, clinical laboratory diagnostics doctor, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0001-6521-2130> E-mail: [doc.anastasia07.07.90@gmail.com](mailto:doc.anastasia07.07.90@gmail.com)

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

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

**Anastasia P. Rybakova**, clinical laboratory diagnostics doctor, East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0008-6546-2878> E-mail: [anastasia.zakroyshchikova@yandex.ru](mailto:anastasia.zakroyshchikova@yandex.ru)