



Журба О.М., Меринов А.В., Ефимова Н.В., Катаманова Е.В., Савченков М.Ф.

## Содержание ртути в продуктах растениеводства и биосферах населения на территории объекта накопленного вреда

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

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** В результате многолетней хозяйственной деятельности химических предприятий в зонах городских агломераций наблюдается повышенное накопление потенциально опасных токсичных соединений.

**Материалы и методы.** Изучали содержание ртути в продуктах растениеводства, произведённых на территориях, подвергшихся воздействию объектов бывшего производства химической промышленности. Растительные образцы: картофель, морковь, свёкла столовая, капуста, лук, перец, кабачок. Пробоподготовку проводили с помощью лабораторной системы микроволнового разложения Milestone Ethos UP (Италия). Полученные результаты сравнивали с ПДУ, представленными в техническом регламенте ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». В рамках медицинских осмотров проводили определение ртути в биосферах взрослых и детей, постоянно проживающих на территории Усольского района Иркутской области. Обследованы дети в возрасте 11–16 лет. Ртуть определяли атомно-абсорбционным методом с предварительной минерализацией на специализированном анализаторе ртути серии «Юлия» в соответствии с утверждёнными методическими документами. Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программного обеспечения Jатові с расчётом непараметрических критериев Краскела – Уоллиса и Манна – Уитни (с поправкой Бонферрони и без неё). Результаты представлены в виде медианы (Me), межквартильного размаха ( $Q_{25}–Q_{75}$ ) и Min – Max.

**Результаты.** В пробах овощей, отобранных на территории Усольского района, уровни ртути находились в интервале от 0,029 до 0,095 мг/кг (1,45–4,75 ПДУ), наибольшее превышение отмечено в пробах моркови (0,091 и 0,093 мг/кг), перца (0,092 мг/кг), лука (0,094 мг/кг) и капусты (0,095 мг/кг). В биосферах населения Усольского района обнаружено содержание экотоксиканта в пределах 0–5,4 и 0–3 мкг/л в моче и крови соответственно у взрослого населения, 0–2,7 мкг/л – у детского населения. Доля проб, в которых ртуть не обнаружена, у взрослого населения составила 44,4% (кровь) и 38% (моча), у детского населения – 19,2% (моча).

**Ограничения исследования.** Изучали содержание только одного тяжёлого металла (ртуть) в овощах и биосферах населения.

**Заключение.** О ртутном загрязнении (контаминации) свидетельствуют результаты анализа овощной продукции в постэксплуатационный период градообразующего предприятия. Превышения ПДУ ртути (0,02 мг/кг) обнаружены в 69% проб овощных культур (1,05–4,75 ПДУ). Показатели медианы концентрации ртути в моче и крови обследованных групп населения Усольского района не превышали допустимых значений.

**Ключевые слова:** ртуть; объект накопленного вреда окружающей среде; продукты растениеводства; биологический мониторинг

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ ВСИМЭИ, проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.), не ущемляло прав субъектов исследования, не подвергало их опасности. Все участники и их законные представители дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Журба О.М., Меринов А.В., Ефимова Н.В., Катаманова Е.В., Савченков М.Ф. Содержание ртути в продуктах растениеводства и биосферах населения на территории объекта накопленного вреда. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(12): 1635–1641. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1635-1641> <https://elibrary.ru/xlcjcs>

**Для корреспонденции:** Журба Ольга Михайловна, e-mail: zhurba99@gmail.com

**Участие авторов:** Журба О.М. – поиск источников литературы, обработка данных, написание текста; Меринов А.В. – поиск источников литературы, обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Ефимова Н.В. – концепция и дизайн исследования, научное консультирование; Катаманова Е.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Савченков М.Ф. – концепция и дизайн исследования. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения поисково-научного исследования ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 30.10.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликовано: 15.01.2026

Olga M. Zhurba, Alexey V. Merinov, Natalia V. Efimova, Elena V. Katamanova, Mikhail F. Savchenkov

## Mercury content in plant products and the population's biospheres in the area of accumulated damage

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

### ABSTRACT

**Introduction.** As a result of long-term economic activity of chemical plants in urban agglomeration areas, an increased accumulation of potentially hazardous toxic compounds has been observed.

**Materials and methods.** Biomonitoring, atomic absorption method, statistical analysis

**Results.** In vegetable samples collected in the Ussolsky district, mercury levels ranged from 0.029 to 0.095 mg/kg (1.45–4.75 MPL), with the highest excess levels observed in carrots (0.091 and 0.093 mg/kg), peppers (0.092 mg/kg), onions (0.094 mg/kg), and cabbage (0.095 mg/kg). In the biological environments of the population of the Ussolsky district revealed ecotoxicant levels over the range of 0.0–5.4 and 0.0–3.0 µg/L in urine and blood among adults, respectively, and 0.0–2.7 µg/L among children. The proportion of samples where mercury was not detected was 44.4% for blood, 38.0% for urine among adults, and 19.2% for urine among children.

**Limitations.** The conducted study took into account only the content of heavy metal (mercury) in vegetables and biological environments of the population.

**Conclusion.** Mercury contamination was confirmed by the results of post-operational analysis of vegetable products at the city-forming enterprise. Mercury levels exceeding the maximum permissible limit (0.02 mg/kg) were detected in 69.0% of vegetable samples (by 1.05–4.75 times). Median mercury concentrations in urine and blood among the surveyed population of the Ussolsky district did not exceed permissible limits.

**Keywords:** mercury; accumulated environmental hazard; plant products; biological monitoring

**Compliance with ethical standards.** The study was approved by the Local Ethics Committee of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, The study was conducted in accordance with the ethical principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki (2013 edition), did not infringe on the rights of the study subjects, did not endanger them. All participants and their legal representatives gave informed voluntary written consent to participate in the study.

**For citation:** Zhurba O.M., Merinov A.V., Efimova N.V., Katamanova E.V., Savchenkov M.F. Mercury content in plant products and the population's biospheres in the area of accumulated damage. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1635–1641. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1635-1641> <https://elibrary.ru/xlcjss> (In Russ.)

**For correspondence:** Olga M. Zhurba, e-mail: zhurba99@gmail.com

**Contribution:** Zhurba O.M. — search for literature sources, data processing, text writing; Merinov A.V. — search for literature sources, data processing, statistical processing, text writing; Efimova N.V. — research concept and design, scientific consulting; Katamanova E.V. — research concept, design and editing; Savchenkov M.F. — research concept and design. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The work was carried out within the framework of funds allocated for the implementation of exploratory and scientific research of the state task East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: October 30, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

## Введение

Известно, что объекты накопленного вреда, содержащие опасные загрязняющие вещества, являются потенциальными и реальными источниками негативного воздействия на окружающую среду, что приводит к увеличению заболеваемости и уменьшению продолжительности жизни населения [1–3]. В Иркутской области одной из территорий, имеющей объекты накопленного экологического риска, является Усолье-Сибирское — город с населением 75 тыс. человек, расположенный вдоль левого берега Ангары. Наибольший вклад в техногенное загрязнение территории внесла многолетняя деятельность до 1998 г. градообразующего химического предприятия, где с помощью технологии ртутного электролиза производили жидкий хлор и каустическую соду [4]. За время работы ртутного электролиза поступление ртути в окружающую среду, по разным оценкам, составило от 1354 до 1396 т, при этом в воздушный бассейн поступило более 79 т [4, 5]. Деятельность предприятия «Усольехимпром» привела к загрязнению объектов среды обитания веществами, относящимися преимущественно к I–II классам опасности, в том числе хлорсодержащими органическими соединениями, тяжёлыми металлами (ТМ) — кадмием, свинцом, ртутью [6].

Риск для здоровья населения определяется длительным воздействием токсикантов, обнаруживаемых в атмосферном воздухе, почвенном и снеговом покровах, продуктах продовольственного сырья [6]. Наибольший интерес для оценки состояния компонентов окружающей среды и эколого-геохимической обстановки представляет ртуть (Pb) как один из наиболее опасных загрязнителей биосферы с самым высоким показателем токсичности среди тяжёлых металлов [7, 8]. В период работы предприятия химической промышленности у людей, проживающих вблизи очагов вторичного загрязнения и подвергавшихся алиментарному воздействию ртути, была выявлена экскреция ртути выше нормативных значений, и только у 42,8% экспонированного населения Усольского района экскреция ртути не превышала фоновую [6]. ВОЗ констатирует, что по состоянию на 2020 г. ртуть входит в число 10 химических веществ, вызывающих серьёзную озабоченность органов общественного здравоохранения [9]. Токсичность ртути для человека связана с агглютинацией эритроцитов, ингибированием ферментов и нарушением белкового обмена. Даже в минимальных концентрациях в окружающей среде ртуть способна аккумулироваться в крови, жировой ткани животных и по пищевой цепи поступать в организм человека, вызывая выраженные токсические и мутагенные эффекты [10, 11]. При этом дети в большей степени подвержены негативному воздействию загрязнения среды обитания из-за несовершенства адаптационных механизмов [6]. По данным Кучерской Т.И. с соавт. [12], исследование атмосферного воздуха на разных расстояниях от промплощадки выявило ртутное загрязнение атмосферного воздуха в районе расположения бывшего цеха

электролиза с северо-восточной, юго-восточной и юго-западной сторон. Максимальное превышение (356,6 ПДК) зафиксировано с юго-западной стороны цеха ртутного электролиза, в среднем на территории накопленного вреда отмечено превышение норматива в 21,6 раза.

Загрязнение пищевых продуктов тяжёлыми металлами (ТМ), в том числе ртутью, представляет собой глобальную проблему для здоровья человека [13]. Исследования миграции данного токсиканта в системе «атмосфера — растение — почва» показали, что ртуть, поступающая из атмосферы в виде паров, сорбируется хвоей и прочно удерживается ею [14]. Растения легко поглощают ртуть из питающих растворов, у многих растений концентрация ртути определялась в диапазоне от 0,01 до 0,2 мг/кг [15].

В настоящий период на территории Усолья-Сибирского реализуется проект ликвидации накопленного вреда, строится экотехнопарк «Восточный». Тем не менее длительное поступление загрязняющих веществ в результате многолетней деятельности предприятия продолжало оказывать негативное воздействие на среду обитания из-за большого количества отходов, заброшенных промышленных объектов, создавая угрозу для здоровья населения. С учётом кумулятивных свойств ртути риск, обусловленный её воздействием, определяет необходимость оценки содержания ТМ в биосредах населения и пищевых продуктах на территориях, подвергшихся воздействию объектов бывшего производства химической промышленности.

**Цель исследования** — оценить содержание ртути в продуктах растениеводства и биосредах населения на территории объектов накопленного вреда окружающей среде.

## Материалы и методы

На территории Усольского района Иркутской области исследовали содержание глобального супертоксиканта (ртути) в продуктах растениеводства, произведённых в условиях воздействия на окружающую среду объектов бывшего производства химической промышленности. Растительные образцы представлены картофелем, морковью, свёклой столовой, капустой, луком, перцем, кабачком, выращиваемыми в открытом грунте, поскольку такие растения являются лучшими индикаторами загрязнения по сравнению с тепличными. Отбор проб овощей выполняли непосредственно в местах произрастания, пробы упаковывали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию. Точки отбора растениеводческой продукции распределены на три группы в зависимости от расстояния до объединённой промышленной площадки ОАО «УсольеХимпром»: группа 1 — до 3 км, группа 2 — 3–5 км, группа 3 — более 5 км. Пробоподготовку образцов проводили с помощью лабораторной системы микроволнового разложения Milestone Ethos UP (Италия), для чего навеску водосодержащих проб овощей (1,5–2,5 г) помещали во фторопластовые автоклавы с добавлением реагентов согласно оригинальным методикам для микро-

Таблица 1 / Table 1

**Результаты исследования аккумуляции ртути (мг/кг) в продукции растениеводства на территории Усольского района****Results of the study of mercury accumulation (mg/kg) in crop products on the territory of the Usolsky district**

Место отбора пробы Sampling location	№ пробы Sample No.	№ п/п Index number	Продукт Product	Концентрация ртути, мг/кг Concentration mercury, mg/kg	ПДУ ртути, мг/кг MPL mercury, mg/kg
Город Усолье-Сибирское City of Usolye-Sibirskoye	T1	1	Морковь / Carrot	0.045	0.02
		2	Картофель / Potato	0.052	0.02
		3	Свёкла / Beet	0.077	0.02
		4	Капуста / Cabbage	0.095	0.02
	T2	5	Морковь / Carrot	0.093	0.02
		6	Картофель / Potato	0.069	0.02
		7	Лук / Onion	0.094	0.02
		8	Перец / Pepper	0.092	0.02
	T3	9	Морковь / Carrot	0.091	0.02
		10	Свёкла / Beet	0.039	0.02
		11	Картофель / Potato	0.077	0.02
	T4	12	Морковь / Carrot	0.086	0.02
		13	Свёкла / Beet	0.039	0.02
		14	Картофель / Potato	0.062	0.02
Посёлок Сосновка, Усольский район Sosnovka, Usolsky district	T5	15	Морковь / Carrot	0.048	0.02
		16	Свёкла / Beet	0.030	0.02
		17	Картофель / Potato	0.029	0.02
Посёлок Белореченский, Усольский район Belorechensky, Usolsky district	T6	18	Морковь / Carrot	0.015	0.02
		19	Картофель / Potato	0.021	0.02
		20	Свёкла / Beet	0.024	0.02
		21	Капуста / Cabbage	0.022	0.02
Посёлок Мальта, Усольский район Malta settlement, Usolsky district	T7	22	Морковь / Carrot	0.014	0.02
		23	Свёкла / Beet	0.012	0.02
		24	Картофель / Potato	0.013	0.02
Посёлок Белореченский Belorechensky settlement	T8	25	Морковь / Carrot	0.006	0.02
		26	Картофель / Potato	0.003	0.02
		27	Капуста / Cabbage	0.002	0.02
		28	Свёкла / Beet	0.001	0.02
		29	Кабачок / Zucchini	0.003	0.02
Me				0.039	—
Q <sub>25</sub> —Q <sub>75</sub>				0.014—0.077	—
Min — Max				0.001—0.095	—

волновой минерализации проб (разработчик — компания Milestone). Полученные результаты сравнивали с ПДУ, представленными в техническом регламенте ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»<sup>1</sup>.

Определение ртути в биосредах проводили в рамках медицинских осмотров взрослых и детей, постоянно проживающих на территории Усольского района (г. Усолье-Сибирское и п. Белореченский). Обследованные дети в возрасте 11–16 лет были учащимися общеобразовательных школ Усольского района. Определение ртути выполняли атомно-абсорбционным методом на специализированном анализаторе ртути серии «Юлия» в соответствии с методическими документами<sup>2,3</sup>. Перед измерением выполняли автоклавную минерализацию проб.

<sup>1</sup> ТР ЕАЭС 044/2017 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду», принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 года № 45.

<sup>2</sup> ГОСТ 34786—2021 «Вода питьевая. Методы определения общего числа микроорганизмов, колиформных бактерий, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококков».

<sup>3</sup> МУК 4.2.2314—08 «Методы санитарно-паразитологического анализа воды». Документ утверждён и введён в действие 18 января 2008 г. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко.

Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ ВСИМЭИ (заключения ЛЭК № 1 от 21.12.2023 г.) и выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека», не ущемляло прав и не подвергало опасности благополучие субъектов исследования, проведено с их согласия. Дети обследованы с информированного согласия родителей. Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программного обеспечения Jamovi с расчётом непараметрических критериев Краскела — Уоллиса и Манна — Уитни (с поправкой Бонферрони и без неё). Результаты исследований представлены в виде медианы (*Me*), межквартильного размаха (*Q<sub>25</sub>—Q<sub>75</sub>*) и *Min — Max*.

## Результаты

Результаты мониторинга содержания ртути в овощах на территории Усольского района представлены в табл. 1. Установлено, что в пробах плодоовощной продукции, отобранных на территории Усолья-Сибирского, содержание ртути было в пределах 0,039—0,095 мг/кг (1,95—4,75 ПДУ),

Таблица 2 / Table 2

**Содержание ртути (мг/кг) в овощах в зависимости от удалённости от объединённой промышленной площадки ОАО «УсольеХимпром»**

Mercury content (mg/kg) in vegetables depending on the distance from the integrated industrial site of Usolye-Khimprom JSC

Группа Group	<i>n</i>	<i>Me</i>	<i>Q</i> <sub>25</sub> – <i>Q</i> <sub>75</sub>	Min – Max
1-я / 1 <sup>st</sup>	11	0.077	0.061–0.093	0.039–0.095
2-я / 2 <sup>nd</sup>	3	0.062	0.051–0.074	0.039–0.086
3-я / 3 <sup>rd</sup>	15	0.014	0.005–0.023	0.001–0.048

Примечание. \* – различие между группами статистически значимо при  $p < 0,017$ .

Note: \* – the difference is statistically significant at  $p < 0.017$ .

наибольшее превышение отмечено в пробах моркови (Т3, 0,091 мг/кг), перца (Т2, 0,092 мг/кг), моркови (Т2, 0,093 мг/кг), лука (Т2, 0,094 мг/кг) и капусты (Т1, 0,095 мг/кг). В пробах, отобранных в п. Сосновка, п. Белореченский и п. Мальта, концентрации токсиканта составляли 0,001–0,048 мг/кг (0,05–2,4 ПДУ). Доля проб, в которых был превышен ПДУ ртути, составила в целом по Усольскому району 69%.

Проведённые исследования аккумуляции ртути в зависимости от удалённости источника накопленного загрязнения среды обитания выявили статистически значимые различия ( $p < 0,017$ ) в содержании токсиканта между группами 1 и 3 и группами 2 и 3 (табл. 2).

Результаты определения ртути в биосредах людей, проживающих на территории накопленного экологического ущерба, представлены в табл. 3. Установлено, что содержание ртути составляло 0–5,4 и 0–3 мкг/л в моче и крови соответственно. Превышений допустимых уровней содержания ртути в моче (до 10 мкг/л) [16, 17] не выявлено. Превышение референтного уровня в крови (2 мкг/л) [16] установлено в пяти пробах, при этом превышения нормальной средней концентрации ртути в крови относительно показателей, рекомендуемых ВОЗ (5–10 мкг/л) [18], отсутствовали. Ртуть не идентифицирована в 38 и 44,4% проб мочи и крови соответственно. Содержание ртути в крови женщин и мужчин значительно различалось (среднегрупповой показатель у женщин был выше).

Результаты определения ртути в пробах мочи школьников, постоянно проживающих на территории г. Усолье-Сибирское и п. Белореченский, представлены в табл. 4. Установлено, что медианный показатель уровня Рв в моче школьников Усолья-Сибирского в 3 раза статистически значимо выше, чем у детей п. Белореченский. Сравнение по гендерному признаку не выявило различий содержания ртути в моче детей Усолья-Сибирского. Превышений допустимых уровней содержания ртути в моче (до 10 мкг/л) не выявлено.

### Обсуждение

В Российской Федерации восточные регионы с интенсивно развитой промышленностью характеризуются сложным комплексом экологических проблем, связанных с высокой антропогенной нагрузкой, что приводит к формированию долговременных очагов загрязнения окружающей среды [19, 20]. Из-за технологической деградации многие

Таблица 3 / Table 3

**Содержание ртути в моче и крови населения Усольского района**  
Mercury content in urine and blood in population of the Usolsky district

Субстрат / Substrate	Население / Population	<i>n</i>	<i>Me</i>	<i>Q</i> <sub>25</sub> – <i>Q</i> <sub>75</sub>	Min – Max
Моча, мкг/л Urine, µg/L	Мужчины / Men	111	0.3	0.0–0.9	0.0–5.4
	Женщины / Women	55	0.3	0.0–0.9	0.0–2.4
	Все / All	166	0.3	0.0–0.9	0.0–5.4
Кровь, мкг/л Blood, µg/L	Мужчины* / Men*	106	0.0	0.0–0.3	0.0–3.0
	Женщины* / Women*	38	0.6	0.3–1.2	0.0–1.8
	Все / All	144	0.3	0.0–0.6	0.0–3.0

Примечание. \* – различие статистически значимо при  $p < 0,05$ .

Note: \* – the difference is statistically significant at  $p < 0.05$ .

Таблица 4 / Table 4

**Содержание ртути в моче детей, мкг/л**  
Content of mercury in children's urine, µg/L

Территория Territory	Население / Population	<i>n</i>	<i>Me</i> ( <i>Q</i> <sub>25</sub> – <i>Q</i> <sub>75</sub> )	Min – Max
Город Усолье-Сибирское Usolye-Sibirskoye	Все дети / All children	98	0.90 (0.30–1.5)	0.0–2.7
	Девочки / Girls	48	0.90 (0.53–1.5)	0.0–2.7
	Мальчики / Boys	50	0.90 (0.30–1.5)	0.0–2.4
Посёлок Белореченский Belorechensky settlement	Все дети / All children	95	0.30 (0.30–0.60)	0.0–2.1
	Девочки / Girls	41	0.30 (0.30–0.90)	0.0–2.1
	Мальчики / Boys	54	0.30 (0.30–0.60)	0.0–1.8

Примечание. Различия статистически значимы при  $p < 0,05$  между соответствующими группами.

Note: the differences are statistically significant at  $p < 0.05$  between the corresponding groups.

предприятия перепрофилированы, а некоторые прекратили работу. Отечественные и зарубежные исследователи подтверждают, что ртуть вызывает обеспокоенность в глобальном масштабе вследствие её свободного переноса в атмосфере на большие расстояния, стойкости в окружающей среде, способности к биоаккумуляции в экосистемах [2, 6, 21]. Несвоевременная ликвидация экологического ущерба после прекращения деятельности ООО «УсольеХимпром» обуславливает опасность ртутного загрязнения и представляет риск для здоровья последующих поколений. По результатам исследования [12], концентрации ртути в атмосферном воздухе варьировались в диапазоне от 0,002 до 0,1 мг/м<sup>3</sup>, в 76,8% проб атмосферного воздуха было установлено превышение гигиенического норматива. Поступление паров металлической ртути в приземные слои может быть следствием вторичной эмиссии в результате работ по ликвидации накопленных загрязнителей на промплощадке [22].

Исследования аккумуляции Hg в овощах в зависимости от расстояния до источника накопленного вреда выявили снижение её содержания в продукции, выращенной на наиболее удалённых участках Усольского района (более 5 км). Сравнение полученных нами результатов с данными исследований, проведённых в зонах влияния промышленных предприятий других регионов России, показало более высокую степень загрязнения ртутью растениеводческой продукции, выращенной на участках Усольского района Иркутской области: содержание Hg определено в диапазоне 0,001–0,095 мг/кг, что превышает ПДУ (0,02 мг/кг) в 69% проб (в 1,05–4,75 раза). В то время как среднее содержание ртути в овощах, выращенных в окрестностях Томска, составляло  $0,8–8,4 \cdot 10^{-4}$  мг/кг [23]. В Астраханской области средние концентрации ртути в овощах варьировались в диапазоне 0,0027–0,0046 мг/кг, в бахчевых культурах – 0,0033–0,0040 мг/кг [24]. В Республике Бурятия в зоне с техногенной нагрузкой медианные значения содержания Hg в картофеле составляли 0,0005 мг/кг [25], на территории с развитой горнорудной промышленностью в Республике Башкортостан средние показатели содержания ртути

в овощных культурах были на уровне 0,0020–0,0030 мг/кг [26]. Исследование [27] выявило, что на территории Республики Башкортостан содержание ртути в овощных культурах было в пределах 0,0006–0,0011 мг/кг.

В биопробах взрослого населения Усольского района установлено содержание ртути на уровне 0,0–5,4 и 0,0–3 мкг/л в образцах крови и мочи соответственно, у детей – 0–2,7 мкг/л – в пробах мочи. Доля образцов, в которых ртуть не идентифицирована, составила 44,4% (кровь) и 38% (моча) у взрослого населения, 19,2% (моча) – у детского населения. В норме у лиц, не имеющих симптомов интоксикации, содержание ртути в крови определяется на уровне 5–12 мкг/л [21]. При оценке показателей содержания ртути в биосредах населения территории накопленного химического риска не выявлено превышения референтных уровней, что согласуется с данными [28], показавшими относительно низкий уровень содержания ртути в моче детского населения Усолья-Сибирского (0,1–5,4 мкг/л).

## Заключение

Таким образом, установлено, что в результате многолетней деятельности химических предприятий наблюдается повышенное накопление токсичных химических веществ в зонах городских агломераций. В продукции растениеводства содержание ртути было в интервале 0,001–0,095 мг/кг. Превышение значения ПДУ ртути (0,02 мг/кг) обнаружено в 69% проб овощных культур (в 1,05–4,75 раза). Наибольшие концентрации ртути отмечены в пробах моркови (0,091; 0,093 мг/кг), лука (0,094 мг/кг), капусты (0,095 мг/кг) и перца (0,092 мг/кг). С увеличением расстояния от источника накопленного вреда содержание ртути в овощах снижалось. Показатели медианы концентрации ртути в моче и крови обследованной группы населения Усольского района не превышали допустимых значений. Ртуть не обнаружена в 38% проб мочи и 44,4% проб крови взрослых и в 19,2% проб мочи детей.

## Литература

- Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. Здоровье граждан и продолжительность их жизни как критерий при оценке негативного воздействия объектов накопленного вреда окружающей среды на состояние окружающей среды и человека. *Экология урбанизированных территорий*. 2021; (3): 62–70. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2021-3-62-70> <https://elibrary.ru/mdybdh>
- Малов А.М., Луковникова Л.В., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Щеголихин Д.К. Результаты биомониторинга ртутного загрязнения территории мегаполиса. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1189–94. <https://elibrary.ru/mjesbf>
- 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/10.33029/0016-9900-2020-99-5-460-467> <https://elibrary.ru/cxkmri>
- Чечет Б.Ф. Экологическая ситуация вокруг «УсольеХимпром». *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2023; (10): 299–300. <https://elibrary.ru/rqwaug>
- Качор О.Л., Паршин А.В., Трусова В.В., Курина А.В., Икрамов З.Л.У. Оценка качества атмосферного воздуха в районе будущего экотехнопарка «Восток» (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область) по данным снегогеохимической съемки. *Арктика и Антарктика*. 2025; (2): 15–34. <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2025.2.73789> <https://elibrary.ru/qttslm>
- Мыльникова И.В., Ушакова О.В., Ефимова Н.В., Катаманова Е.В. Сравнительный анализ первичной заболеваемости населения на территории накопленного вреда в постэксплуатационный период химического предприятия. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 932–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-932-939> <https://elibrary.ru/hvonnw>
- Трошкова И.А., Ельчинонова О.А., Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А. Ртуть в почвах рекреационных районов бассейна Нижней Катунь. *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2025; (1): 20–40. <https://doi.org/10.24412/2410-1192-2025-17602> <https://elibrary.ru/hhonnv>
- Гладышев В.Б. Токсичные свойства ртути и ее влияние на организм животных и человека. *The Scientific Heritage*. 2021; (81–2): 16–22. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-16-22> <https://elibrary.ru/mxseab>
- Witkowska D., Słowik J., Chilicka K. Heavy metals and human health: possible exposure pathways and the competition for protein binding sites. *Molecules*. 2021; 26(19): 6060. <https://doi.org/10.3390/molecules26196060>
- Агбалян Е.В., Ефимова Н.В., Шинкарук Е.В. *Ртуть в окружающей среде Ямало-Ненецкого автономного округа: экспозиция и риски здоровью населения*. Салехард: Издательские решения; 2021.
- Барановская Н.В., Иванов В.В., Осипова Н.А., Паничев А.М., Чекрязов И.Ю., Доронина В.Д. и др. Ртуть в почвах и растительности на заповедных территориях Приморского края. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022; 333(11): 90–100. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3759> <https://elibrary.ru/doyswt>
- 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 кн.: *Актуальные вопросы гигиены. Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. СПб.; 2024: 133–7.
- Balali-Mood M., Naseri K., Tahergerabi Z., Khazdair M.R., Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front. Pharmacol.* 2021; 12: 643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
- Ганзей К.С., Пшеничникова Н.Ф., Киселёва А.Г., Юрченко С.Г., Родникова И.М. Содержание ртути в почвенно-растительном покрове островов Русский и Шкота (залив Петра Великого, Приморский край). *Геохимия*. 2021; 66(5): 473–80. <https://doi.org/10.31857/S0016752521030043>
- Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton (Fla.): CRC Press; 2001.
- Цыганенко А.Я., Жуков В.И., Мясоєдов В.В., Завгородний И.В. *Клиническая биохимия*. М.: Трида-Х; 2002.
- Ефимова Н.В., Лисецкая Л.Г., Журба О.М., Тараненко Н.А., Боева А.В., Дьякович О.А. и др. *Региональные референтные уровни содержания химических в биосубстратах населения Иркутской области (Методические рекомендации)*. Ангарск; 2013.
- Программа ООН по окружающей среде. Доклад, информацию о согласованных системах измерения содержания ртути в организме; 2011.

19. Напрасникова Е.В. Экологическое состояние почв индустриального города Усолье-Сибирское. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(6): 68–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-6-68-71> <https://elibrary.ru/xecvpw>
20. Шаяхметов С.Ф., Рукавишников В.С., Журба О.М., Меринов А.В., Алексеев А.Н. Современное состояние загрязнения природной среды тяжелыми металлами на территории города Свирска. *География и природные ресурсы*. 2025; 46(2): 65–72. <https://doi.org/10.15372/GIPR20250206> <https://elibrary.ru/ihheoo>
21. Луконникова Л.В., Сидорин Г.И., Аликбаева Л.А., Галошина А.В. О роли биомониторинга при оценке состояния здоровья населения, подверженного экспозиции ртути. *Токсикологический вестник*. 2017; (5): 2–7. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2017-5-2-7> <https://elibrary.ru/zswior>
22. Zhao S., Duan Y., Liu M., Lu J., Pudasainee D., Gupta R. A review on mercury in coal combustion process: Content and occurrence forms in coal, transformation, sampling methods, emission and control technologies. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2019; 73: 26–64. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.02.001>
23. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека. *Фундаментальные исследования*. 2013; (8–3): 681–6. <https://elibrary.ru/qjgpf>
24. Теплая Г.А., Рыбкин В.С., Полянская Н.В., Калыткина В.П. Содержание тяжелых металлов в овощной продукции и бахчевых культурах Астраханской области. *Естественные науки*. 2013; (1): 059–65. <https://elibrary.ru/pzjoqf>
25. Ефимова Н.В., Тармаева И.Ю., Богданова О.Г. Оценка контаминации пищевых продуктов в Республике Бурятия. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(3): 93–6. <https://elibrary.ru/twembl>
26. Аллаярлова Г.Р., Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Афонкина С.Р., Аухадиева Э.А., Курилов М.В. и др. Аккумуляция тяжелых металлов в системе «почва – растение» на территории с развитой горнорудной промышленностью. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1203–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1203-1208> <https://elibrary.ru/ilhhug>
27. Даукаев Р.А., Ларионова Т.К., Адиева Г.Ф., Аллаярлова Г.Р., Афонкина С.Р., Усманова Э.Н. Содержание микроэлементов в пищевых продуктах, потребляемых жителями промышленного региона. *Эпоха науки*. 2024; (39): 311–6. <https://elibrary.ru/elghal>
28. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Кольдибекова Ю.В., Пустовалова О.В. Изменения биохимических показателей у детей, подвергающихся воздействию объектов накопленного вреда окружающей среде. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(6): 675–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-675-682> <https://elibrary.ru/qfkdmr>

## References

1. Pichugin E.A., Shenfeld B.E. The health of citizens and their life expectancy as a criterion for assessing the negative impact of objects of accumulated environmental damage on the state of the environment and man. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2021; (3): 62–70. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2021-3-62-70> <https://elibrary.ru/ndybdh> (in Russian)
2. Malov A.M., Lukovnikova L.V., Alikbayeva L.A., Iakubova I.S., Shchegolikhin D.K. The results of the monitoring of the mercury contamination within a megapolis. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(12): 1189–94. <https://elibrary.ru/mjesbf> (in Russian)
3. Rakitskii V.N., Synitskaya T.A., Skupnevskii S.V. Current issues of environmental mercury pollution (review). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(5): 460–7. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-5-460-467> <https://elibrary.ru/cxkmri> (in Russian)
4. Chechet B.F. Environmental situation around the «Usolekhimprom». *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress*. 2023; (10): 299–300. <https://elibrary.ru/rqawuk> (in Russian)
5. Kachor O.L., Parshin A.V., Trusova V.V., Kurina A.V., Ikramov Z.L.U. Assessment of air quality in the area of the future ecotonepark "Vostok" (Ussolye-Sibirskoye, Irkutsk region) based on snow geochemical survey data. *Arktika i Antarktika*. 2025; (2): 15–34. <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2025.2.73789> <https://elibrary.ru/qttslm> (in Russian)
6. Mylnikova I.V., Ushakova O.V., Efimova N.V., Katamanova E.V. Comparative analysis of the primary morbidity in the population in the territory of accumulated risk over the post-operation period of a chemical enterprise. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(9): 932–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-932-939> <https://elibrary.ru/hvonnw> (in Russian)
7. Troshkova I.A., Elchinina O.A., Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A. Mercury in soils of recreational areas of the Lower Katunya basin. *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2025; (1): 20–40. <https://doi.org/10.24412/2410-1192-2025-17602> <https://elibrary.ru/lhonvr> (in Russian)
8. Gladyshev V. Toxic properties of mercury and its effect on the organisms of animals and humans. *The Scientific Heritage*. 2021; (81–2): 16–22. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-16-22> <https://elibrary.ru/mxseab> (in Russian)
9. Witkowska D., Słowik J., Chilicka K. Heavy metals and human health: possible exposure pathways and the competition for protein binding sites. *Molecules*. 2021; 26(19): 6060. <https://doi.org/10.3390/molecules26196060>
10. Agbalyan E.V., Efimova N.V., Shinkaruk E.V. Mercury in the Environment of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug: Exposure and Health Risks [Rtut' v okruzhayushchei srede Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga: ekspozitsiya i riski zdorov'yu naseleniya]. Salekhard: Izdatel'skie resheniya; 2021. (in Russian)
11. Baranovskaya N.V., Ivanov V.V., Osipova N.A., Panichev A.M., Chekryzhov I.Yu., Doronina V.D., et al. Mercury in soils and vegetation in protected areas of Primorsky Krai. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2022; 333(11): 90–100. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3759> <https://elibrary.ru/doyswt> (in Russian)
12. Kucherskaya T.I., Alikbayeva L.A., Kombarova M.Yu., Lukovnikova L.V., Aleksandrova E.S. Hygienic assessment of mercury content in the air on the territory of the industrial site of the city of Ussolye-Sibirskoye. In: *Current Issues in 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. (in Russian)
13. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M.R., Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front. Pharmacol.* 2021; 12: 643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
14. Ganzei K.S., Pshenichnikova N.F., Kiselyova A.G., Yurchenko S.G., Rodnikova I.M. Mercury content in the soil-vegetation cover of Ruskyy and Shkot islands (Peter the great bay, Primorsky territory). *Geohimiya*. 2021; 66(5): 473–80. <https://doi.org/10.31857/S0016752521030043> (in Russian)
15. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton (Fla.): CRC Press; 2001.
16. Tsyganenko A.Ya., Zhukov V.I., Myasoedov V.V., Zavgorodniy I.V. *Clinical Biochemistry [Klinicheskaya biokhimiya]*. Moscow: Triada-X; 2002. (in Russian)
17. Efimova N.V., Lisetskaya L.G., Zhurba O.M., Taranenko N.A., Boeva A.V., Dyakov O.A., et al. *Regional Reference Levels of Chemical Content in Biosubstrates of the Population of the Irkutsk Region (Methodological Recommendations) [Regional'nye referentsnye urovni soderzhaniya khimicheskikh v biosubstrakh naseleniya Irkutskoy oblasti (Metodicheskie rekomendatsii)]*. Angarsk; 2013. (in Russian)
18. United Nations Environment Programme. Report on harmonized systems for measuring mercury in the body; 2011. (in Russian)
19. Naprasnikova E.V. The ecological state of the soils of the industrial city of Ussolye-Sibirskoye. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021; 25(6): 68–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-6-68-71> <https://elibrary.ru/xecvpw> (in Russian)
20. Shayakhmetov S.F., Rukavishnikov V.S., Zhurba O.M., Merinov A.V., Alekseenko A.N. The current state of environmental pollution with heavy metals in the city of Svirsk. *Geografiya i prirodnaya resursy*. 2025; 46(2): 65–72. <https://doi.org/10.15372/GIPR20250206> <https://elibrary.ru/ihheoo> (in Russian)
21. Lukovnikova L.V., Sidorin G.I., Alikbaeva L.A., Galochina A.V. On the role of biomonitoring in the assessment of the health of the population exposed to mercury. *Toksikologicheskii vestnik*. 2017; (5): 2–7. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2017-5-2-7> <https://elibrary.ru/zswior> (in Russian)
22. Zhao S., Duan Y., Liu M., Lu J., Pudasainee D., Gupta R. A review on mercury in coal combustion process: Content and occurrence forms in coal, transformation, sampling methods, emission and control technologies. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2019; 73: 26–64. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.02.001>
23. Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P. Heavy metals in soil and vegetables as a risk factor for health of consumers. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; (8–3): 681–6. <https://elibrary.ru/qjgpf> (in Russian)
24. Teplaya G.A., Rybkin V.S., Polyanskaya N.V., Kalyatkins V.P. The heavy metal content in vegetable and melon cultures in the Astrakhan region. *Estestvennye nauki*. 2013; (1): 059–65. <https://elibrary.ru/pzjoqf> (in Russian)
25. Efimova N.V., Tarmaeva I.Yu., Bogdanova O.G. Evaluation of food contamination in the Republic of Buryatia. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(3): 93–6. <https://elibrary.ru/twembl> (in Russian)
26. Аллаярлова Г.Р., Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Афонкина С.Р., Аухадиева Э.А., Курилов М.В. Accumulation of heavy metals in the soil – plant system in areas with the developed mining industry. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1203–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1203-1208> <https://elibrary.ru/ilhhug> (in Russian)
27. Даукаев Р.А., Ларионова Т.К., Адиева Г.Ф., Аллаярлова Г.Р., Афонкина С.Р., Усманова Э.Н. The content of trace elements in food products consumed by residents of the industrial region. *Epokha nauki*. 2024; (39): 311–6. <https://elibrary.ru/elghal> (in Russian)
28. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Koldibekova Yu.V., Pustovalova O.V. Changes in biochemical parameters in children exposed to objects of accumulated environmental damage. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(6): 675–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-675-682> <https://elibrary.ru/qfkdmr> (in Russian)

## Сведения об авторах

**Журба Ольга Михайловна**, доктор биол. наук, вед. науч. сотр., зав. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: zhurba99@gmail.com

**Меринов Алексей Владимирович**, канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: alek-merinov@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

**Катаманова Елена Владимировна**, доктор мед. наук, профессор, главный врач клиники ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: katamanova\_e\_v@mail.ru

**Савченков Михаил Федосович**, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, почетный профессор ФГБНУ ВСИМЭИ, 664003, Иркутск, Россия. E-mail: mfs36@mail.ru

## Information about the authors

**Olga M. Zhurba**, DSc (Biology), leading researcher, head of the laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408> E-mail: zhurba99@gmail.com

**Alexey V. Merinov**, PhD (Biology), researcher, analytical ecotoxicology and biomonitoring laboratory, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432> E-mail: alek-merinov@mail.ru

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

**Elena V. Katamanova**, DSc (Medicine), professor, chief physician, Clinic East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9072-2781> E-mail: katamanova\_e\_v@mail.ru

**Mikhail F. Savchenkov**, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, Professor Emeritus, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Irkutsk, 664003, Russian Federation <https://orcid.org/0000-0002-1246-8327> E-mail: mfs36@mail.ru