



Русанова Д.В.<sup>1</sup>, Катаманова Е.В.<sup>1</sup>, Кудяева И.В.<sup>1</sup>, Лахман О.Л.<sup>1,2</sup>, Протасова Е.Н.<sup>1</sup>,  
Прохорова П.Г.<sup>1</sup>, Старкова А.С.<sup>1</sup>

## Нейрофизиологические и иммунобиохимические изменения у лиц, работавших в контакте с ртутью, и не экспонированного в производственных условиях населения

<sup>1</sup>ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия;

<sup>2</sup>ИГМАПО – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 664049, Иркутск, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Объекты накопленного вреда, содержащие опасные загрязняющие вещества, являются потенциальными и реальными источниками негативного воздействия на окружающую среду, что способствует значительному ухудшению здоровья населения и сокращает качество и продолжительность жизни [1]. При деятельности промышленного объекта ООО «Усольехимпром» (Усольский район) было обнаружено, что у людей, живущих рядом с местами вторичного загрязнения, уровень ртути в организме был выше допустимых значений [5]. Только у 42,8% людей концентрация ртути была в пределах нормы [6]. Была изучена заболеваемость населения г. Усолье-Сибирское. По данным литературы, причинами повышенной заболеваемости были загрязнение окружающей среды и отдалённые последствия воздействия вредных производственных факторов [12–14].

**Цель исследования** — изучить нейрофизиологические и иммунобиохимические изменения у работавших на производстве при ингаляционной экспозиции ртутью и взрослого населения в зависимости от удалённости места проживания от очага загрязнения.

**Материалы и методы.** Группа 1 — стажированные работники, контактировавшие с ртутью (средний возраст  $49,2 \pm 4,4$  года); группа 2 — лица, подвергшиеся хронической ртутной интоксикации в отдалённом периоде (ХРИ, средний возраст  $53,4 \pm 4,3$  года); группа 3 — лица, проживающие на расстоянии менее 3 км от промплощадки (средний возраст  $47,4 \pm 3,9$  года), группа 4 — лица, проживающие на расстоянии 3–5 км от промплощадки (средний возраст  $48,1 \pm 4$  года). Обследуемым проводили электроэнцефалографию, электронейромиографию, определяли серотонин, дофамин, BDNF, концентрацию нейротропных антител к основному белку миелина (ОБМ), к вольтаж-зависимым кальцевым каналам и дофаминовым рецепторам.

**Результаты.** В группе 1 обнаружены умеренные изменения биоэлектрической активности мозга с высокой  $\beta 1$ -активностью, дисфункцией срединных структур, очаговыми изменениями в лобно-височных отделах, в группе 2 — медленноволновая активность  $\Delta$ -диапазона в лобных отделах, в группах 3 и 4 — изменения в меньшей степени выраженности. В группе 1 снижалась скорость проведения импульса по локтевому нерву в локтевом суставе, по большеберцовому нерву; в группах 2 и 3 наблюдали снижение по срединному и локтевому нервам соответственно; в группе 4 — возрастание проксимально-дистального коэффициента. В группе 1 снижались серотонин и BDNF, в группе 2 возрастали дофамин, антитела к вольтаж-зависимым кальцевым каналам, ОБМ, снижались BDNF; в группах 3 и 4 снижались дофамин, антитела к дофаминовым рецепторам и BDNF.

**Ограничения исследования.** Не установлена сопряжённость содержания нейромедиаторов и ЭЭГ и ЭНМГ.

**Заключение.** У лиц, не работавших с токсикантом, формировались умеренные обще мозговые изменения головного мозга, полиритмичная полиморфная активность, высокий уровень медленноволновой активности, изменения правильного распределения основных ритмов, очаг патологической активности, дисфункция срединных структур. Регистрировались изменения сенсорных и моторных аксонов, дисбаланс в системе нейромедиаторов и синтезе антител.

**Ключевые слова:** металлическая ртуть; электроэнцефалография; электронейромиография; антитела; нейротрофический фактор головного мозга; дофамин

**Соблюдение этических стандартов.** Заключение ЛЭК Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований» № 1 от 21.02.2023 г. Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Русанова Д.В., Катаманова Е.В., Кудяева И.В., Лахман О.Л., Протасова Е.Н., Прохорова П.Г., Старкова А.С. Нейрофизиологические и иммунобиохимические изменения у лиц, работавших в контакте с ртутью, и не экспонированного в производственных условиях населения. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(12): 1749–1756. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1749-1756> <https://elibrary.ru/kkbaau>

**Для корреспонденции:** Русанова Дина Владимировна, e-mail: dina.rusanova@yandex.ru

**Участие авторов:** Русанова Д.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, обработка данных, статистический анализ, написание текста, структурирование статьи, редактирование; Катаманова Е.В. — обработка данных, статистический анализ, написание текста; Кудяева И.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, обработка данных, написание текста; Лахман О.Л. — концепция исследования, редактирование; Протасова Е.Н. — сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Прохорова П.Г., Старкова А.С. — сбор материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

**Финансирование.** Финансирование осуществлялось в рамках выполнения Государственного задания по поисковым научным исследованиям. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 07.10.2025 / Поступила после доработки: 26.11.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликовано: 15.01.2026

Dina V. Rusanova<sup>1</sup>, Elena V. Katamanova<sup>1</sup>, Irina V. Kudaeva<sup>1</sup>, Oleg L. Lakhman<sup>1,2</sup>,  
Elena N. Protasova<sup>1</sup>, Polina G. Prokhorova<sup>1</sup>, Alla S. Starkova<sup>1</sup>

## Neurophysiological and immunobiochemical changes in workers exposed to mercury and the general population

<sup>1</sup>East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation;

<sup>2</sup>Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education, Irkutsk, 664049, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Accumulated hazardous waste containing hazardous pollutants are potential and actual sources of adverse impact on the environment, which contributes to a significant deterioration in public health and reduces the quality and life expectancy. During the operation of the industrial facility of Usolye-Sibirskoye Chemical Plant LLC (Usolsky District), mercury levels in the bodies of people living near secondary contamination sites were found to be above acceptable limits. Only 42.8% of people had mercury concentrations within the normal range. The incidence of disease in the population of Usolye-Sibirskoye was studied. According to the literature, the causes of the increased incidence were environmental pollution and the long-term effects of exposure to harmful industrial factors.

**The aim of the study** is to investigate neurophysiological and immunobiochemical changes in industrial workers exposed to mercury through inhalation and in the adult population, depending on the distance of the place of residence from the source of contamination.

**Materials and methods.** Group 1 included long-term workers exposed to mercury (mean age  $49.2 \pm 4.4$  years); group 2 included individuals exposed to chronic mercury intoxication in the late period (CMI, mean age  $53.4 \pm 4.3$  years); group 3 included individuals living less than 3 km from the industrial site (mean age  $47.4 \pm 3.9$  years), group 4 included individuals living 3–5 km from the industrial site (mean age  $48.1 \pm 4$  years). The subjects underwent electroencephalography, electroneuromyography, and measurements of serotonin, dopamine, BDNF, and concentrations of neurotropic antibodies to myelin basic protein (MBP), voltage-dependent calcium channels, and dopamine receptors.

**Results.** In group 1, there were found moderate changes in brain bioelectric activity with high  $\beta 1$ -activity, dysfunction of the midline structures, focal changes in the frontal-temporal areas; in group 2, slow-wave activity of the  $\Delta$ -range in the frontal areas; In group 1, the impulse conduction velocity along the ulnar nerve in the elbow joint and along the tibial nerve decreased; in groups 2 and 3, a decrease was observed in the median and ulnar nerves, respectively; in group 4, an increase in the proximal-distal ratio. In group 1, serotonin and BDNF decreased, in group 2, dopamine, antibodies to voltage-dependent calcium channels, MBP increased, BDNF decreased; In groups 3 and 4, dopamine, antibodies to dopamine receptors, and BDNF decreased.

**Limitations.** A correlation between neurotransmitter levels and EEG and ENMG has not been established.

**Conclusion.** Individuals not exposed to the toxicant developed moderate general cerebral changes, including polyrhythmic polymorphic activity, high levels of slow-wave activity, changes in the normal distribution of fundamental rhythms, a focus of pathological activity, and dysfunction of midline structures. Changes in sensory and motor axons, an imbalance in the neurotransmitter system, and antibody synthesis were also recorded. A correlation between neurotransmitter levels and EEG and ENMG has not been established.

**Keywords:** metallic mercury; electroencephalography; electroneuromyography; antibodies; neurotransmitters

**Compliance with ethical standards.** Conclusion of the LEK of the Federal State Budgetary Scientific Institution «East Siberian Institute of Medical and Environmental Research», No. 1 dated 02/21/2023. All participants gave informed voluntary written consent to participate in the study

**For citation:** Rusanova D.V., Katamanova E.V., Kudaeva I.V., Lakhman O.L., Protasova E.N., Prokhorova P.G., Starkova A.S. Neurophysiological changes during inhalation exposure to mercury in workers in contact with the toxicant and the adult population. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1749–1756. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1749-1756> <https://elibrary.ru/kkbauy> (In Russ.)

**For correspondence:** Dina V. Rusanova, e-mail: dina.rusanova@yandex.ru

**Contribution:** Rusanova D.V. – study concept and design, data collection and processing, statistical processing, writing text, structuring an article, editing; Katamanova E.V. – data processing, statistical processing, writing text; Kudaeva I.V. – study concept and design, data collection and data processing, writing text; Lakhman O.L. – study concept and design, editing; Protasova E.N. – data collection and data processing, statistical processing, writing text; Prokhorova P.G., Starkova A.S. – collection and processing of material. 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.** This work was carried out within the framework of state assignment.

Received: October 7, 2025 / Revised: November 11, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

## Введение

Известно, что объекты накопленного вреда, содержащие опасные загрязняющие вещества, являются источниками негативного воздействия на окружающую среду, которое обуславливает значительное ухудшение здоровья людей, сокращает продолжительность жизни [1]. Яркий пример – промышленное загрязнение предприятием ООО «Усольехимпром» площади в 600 га территории, на которой захоронено более 10 000 т токсических отходов, одним из которых является металлическая ртуть, представляющая наибольшую опасность. Ртуть, активно применяемая в промышленности, – глобальный загрязнитель с нейротоксичными свойствами [2–4]. Было установлено, что в результате деятельности промышленного объекта ООО «Усольехимпром» (Усольский район) у людей, живущих рядом с местами вторичного загрязнения, содержание ртути в организме было

выше допустимых значений [5], и только у 42,8% концентрация ртути не превышала нормальных значений [6].

Сотрудники ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований» установили, что воздействие ртути обуславливало негативные последствия для здоровья: психопатологические проявления и неврологическую симптоматику, в том числе энцефалопатию и невралгии, выраженный психоорганический синдром [7–9]. У лиц, подвергшихся воздействию ртути, наблюдались изменения в концентрации норадреналина, отмечалось повышение уровня дофамина, серотонина и гистамина [10, 11].

Диагностика нарушений здоровья, возникающих при производственном воздействии химических веществ, у жителей городов, на территории которых расположены предприятия химической промышленности, – одна из актуальных задач профилактической медицины. Авторы провели исследование заболеваемости населения г. Усолье-Сибирское. По данным

Таблица 1 / Table 1

**Частота патологических изменений по ЭЭГ в группах, %**

Frequency of pathological changes in EEG in groups, %

Группа Groups	Диффузные изменения / Diffuse changes			Дисфункция срединных структур Dysfunction of the midline structures
	Лёгкие / Mild	Умеренные / Moderate	Выраженные / Pronounced	
1-я / 1 <sup>st</sup> , $n = 47$	$2.5 \pm 1.7$	$72.5 \pm 7.2$	$25.0 \pm 5.2^{*** 1-5}$	$92.5 \pm 9.2^{*** 1-5}$
2-я / 2 <sup>nd</sup> , $n = 51$	$2.7 \pm 1.6$	$50.0 \pm 7.1^{* 2-5}$	$47.3 \pm 6.2^{* 1-2, ** 2-5}$	$94.4 \pm 9.4^{*** 2-5}$
3-я / 3 <sup>rd</sup> , $n = 26$	$15.4 \pm 1.9$	$80.8 \pm 4.6$	$3.9 \pm 1.6$	$42.3 \pm 2.3^{** 1-3, 2-3, 3-5}$
4-я / 4 <sup>th</sup> , $n = 31$	$22.6 \pm 2.3$	$77.4 \pm 3.4$	0	$41.9 \pm 3.1^{** 1-3, 2-3, 3-5}$
Группа сравнения / Comparison group $n = 36$	$13.9 \pm 1.9$	$80.6 \pm 5.1$	$5.5 \pm 1.1$	$27.8 \pm 2.86$

Примечание. Статистически значимые различия: \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$ ; цифрами обозначены номера групп, между которыми выявлены различия.

Note: Statistically significant differences are indicated: \* —  $p < 0.05$ ; \*\* —  $p < 0.01$ ; \*\*\* —  $p < 0.001$ ; The numbers indicate the numbers of the groups between which differences have been identified.

литературы, причинами её повышения были загрязнение окружающей среды и отдалённые последствия воздействия вредных производственных факторов [12–14]. Однако если у работников химического предприятия, контактировавших с парами металлической ртути, считается доказанной корреляция патологических изменений ЦНС и периферических нервов и контакта с токсикантом, то у населения, проживающего в зоне, загрязнённой тяжёлыми металлами, такая взаимосвязь не выявлена.

**Цель исследования** — изучить нейрофизиологические и иммунобиохимические изменения при ингаляционной экспозиции ртутью работавших на производстве и взрослого населения в зависимости от удалённости места проживания от очага ртутного загрязнения.

## Материалы и методы

Обследованы лица мужского пола: группа 1 — стажированные работники химического производства, подвергавшиеся воздействию металлической ртути ( $n = 47$ , средний возраст  $49,2 \pm 4,4$  года, стаж  $18,1 \pm 5,6$  года); группа 2 — пациенты в отдалённом периоде хронической ртутной интоксикации (ХРИ) ( $n = 51$ , средний возраст  $53,4 \pm 4,3$  года, стаж  $15,7 \pm 2,7$  года). В период наблюдения средние концентрации ртути достигали в рабочей зоне  $0,046 \text{ мг/м}^3$ , максимальные значения — до  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , что выше ПДК в 2–5 раз. В цехе ртутного электролиза, где работали обследованные, с 1987 по 1992 г. концентрации ртути превышали ПДК в 8–20 раз и составляли  $0,08–0,2 \text{ мг/м}^3$  [5].

На следующем этапе обследовали взрослое население г. Усолье-Сибирское. Критерии включения — постоянное проживание с подветренной стороны от промплощадки ООО «Усольехимпром» на экспонированной ртутью территории. Критерии исключения: работа в цехе ртутного электролиза и предприятий, где ртуть является элементом технологического процесса; контакт с ртутью в результате бытового загрязнения, аварийных ситуаций; наличие на момент обследования острых инфекционных болезней, обострение хронических болезней. Все обследованные — лица мужского пола. По удалённости места жительства от промплощадки были сформированы две группы: I зона — группа 3 (средний возраст  $47,4 \pm 3,9$  года); II зона — группа 4 (средний возраст  $48,1 \pm 4$  года). В I зоне (менее 3 км от промплощадки) проживали  $40 \pm 9,1\%$  обследованных, во II зоне (3–5 км) —  $60 \pm 7,9\%$  обследованных. Результаты сопоставляли с группой сравнения ( $n = 36$ , мужчины, не имевшие контакта с токсическими веществами, средний возраст  $51,6 \pm 6,8$  года).

Наряду с высоким содержанием ртути до 2006 г. было выявлено снижение уровня ингаляционной нагрузки в 2007–2023 гг. по сравнению с уровнями до 2000 г.: в группе

1 — в 12,6 раза; в группе 2 — в 10,2 раза. Такая динамика обусловлена меньшим загрязнением воздушной среды промплощадки после прекращения использования ртути в технологическом процессе [15].

Электроэнцефалографию (ЭЭГ) выполняли с использованием многофункционального комплекса «Нейрон-Спектр-5». Анализ ЭЭГ включал изучение основных нормальных и патологических ритмов. При описании каждого ритма указывались: частота, характерная для определённого состояния и области мозга; индекс и представленность ритма; особенности изменений ритма во времени при изменении функциональной активности мозга; наличие эпилептиформной активности [16]. Стимуляционная электроэнцефалография (ЭНМГ) была выполнена с помощью электроэнцефалографа «Нейро-ЭМГ-Микро» («Нейрософт», Иваново). Исследование заключалось в анализе состояния сенсорных и моторных волокон срединного и локтевого нервов. Процедура включала стандартное размещение поверхностных пластинчатых электродов для регистрации. Оценку функциональности сенсорных аксонов проводили по антидромной методике тестирования. Для количественного определения уровней серотонина, дофамина и мозгового нейротрофического фактора использовали метод твердофазного конкурентного иммуноферментного анализа на микропланшетах с применением соответствующих тест-наборов производства Cloud-Clone Corp.: 5-Hydroxytryptophan (5-HTP), Dopamine (DA), Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) соответственно. В сыворотке крови также анализировали концентрацию нейротропных аутоантител (АТ) класса G методом твердофазного иммуноферментного анализа и с помощью оригинальной идиотип-антиидиотипической тест-системы «ЭЛИ-Н-Тест» (Россия). Для определения уровня АТ иммуноферментным методом использовали автоматический анализатор Gemini (Stratec Biomedical, Германия).

Все процедуры выполнены в соответствии с этическими стандартами. Каждый участник получал информацию о целях, методах и потенциальных рисках, дал согласие на участие в исследовании. Согласие было одобрено Комитетом по биомедицинской этике ФГБНУ ВСИМЭИ (заключение ЛЭК № 1 от 21.02.2023 г.). Таким образом, права и благополучие участников были защищены, здоровью не был причинён вред.

## Результаты

При исследовании ЭЭГ у всех пациентов обнаружены изменения: дезорганизация активности ЭЭГ и появление медленных волн. Наиболее значительные отклонения от нормы установлены в группе 2: диффузная асинхронная активность в диапазонах медленных  $\Theta$ - и  $\Delta$ -волн, указыва-

Таблица 2 / Table 2

**Локализация очагов патологической активности по ЭЭГ в группах, %**  
**Localization of pathological activity in EEG groups, %**

Группа Groups	Локализация очага патологической активности / Location of the focus of pathological activity		
	Височные / Temporal	Лобные / Frontal	Затылочно-теменные / Occipito-parietal
1-я / 1 <sup>st</sup> , $n = 47$	$12.5 \pm 3.5^{***}$ 1–3, 1–4, 1–5	$12.5 \pm 3.5^{***}$ 1–2, 1–3, 1–4, 1–5	$12.5 \pm 3.5$
2-я / 2 <sup>nd</sup> , $n = 51$	$16.6 \pm 5.5^{***}$ 2–3, 2–4, 2–5	$30.5 \pm 5.4^{***}$ 1–2, 2–3, 2–4, 2–5	$19.3 \pm 5.1$
3-я / 3 <sup>rd</sup> , $n = 26$	$7.6 \pm 2.2^{***}$ 1–2	$3.8 \pm 1.5^{***}$ 1–2	0
4-я / 4 <sup>th</sup> , $n = 31$	$6.4 \pm 2.1^{***}$ 1–2	$2.7 \pm 0.9^{***}$ 1–2	0
Группа сравнения / Comparison group $n = 36$	$2.7 \pm 0.8$	$2.7 \pm 0.8$	0

**Примечание.** Статистически значимые различия: \*\*\* —  $p < 0,001$ ; цифрами обозначены номера групп, между которыми выявлены различия.

**Note:** Statistically significant differences are indicated: \*\*\* —  $p < 0.001$ . The numbers indicate the numbers of the groups between which differences have been identified.

ющая на структурные изменения, особенно в подкорковых областях. Выраженные отклонения наблюдались у 47,3% участников, умеренные — у 50%. Вышеописанный паттерн отклонений выявлялся у 25%, умеренные нарушения — у 72,5%. В группе 1 изменения были менее выражены. Результаты существенно отличались от полученных в группах 3 и 4 и в группе сравнения. Анализ показателей в группах 3 и 4 значимых различий не выявил, но были зафиксированы умеренные общемозговые изменения. Патологическое воздействие соединений ртути на срединные отделы мозга выявлено у всех участников исследования. Активность верхнестебельных структур подтверждалась наличием всплесков  $\Theta$ - и  $\Delta$ -волн, а нижнестебельных — пароксизмами высокоамплитудных (свыше 120 мкВ) гиперсинхронных  $\alpha$ -волн. Наиболее выраженные нарушения в области срединных отделов наблюдались в группах 1 и 2, а в группах 3 и 4 такие отклонения встречались значительно реже (табл. 1).

У обследованных выявлены очаговые изменения в височных, лобных, затылочно-теменных отделах. Изменения регистрировались в виде медленноволновой активности в форме пароксизмов в  $\Theta$ -диапазоне. Чаще патологические нарушения в виде отдельных очагов наблюдались в группах 1 и 2 при ХРИ в лобных отведениях (табл. 2).

Сравнение индексов активности волн показало различия между группами 1 и 2 по  $\Delta$ -индексу и  $\beta_1$ -индексу. Во второй группе наблюдалась более высокая  $\Delta$ -активность, в первой группе преобладала  $\beta_1$ -активность. Во второй группе

$\alpha$ -ритм встречался реже, а  $\beta$ -ритм и активность  $\Delta$ -диапазона были более выражены. Между группами 3 и 4 значимых различий в распределении ритмов не обнаружено, однако активность  $\Delta$ -диапазона в этих группах была выше по сравнению с группой сравнения (табл. 3).

Состояние периферических нервов в группе 1 при сопоставлении результатов с группой сравнения характеризовалось снижением скорости распространения возбуждения импульса (СПИ) в ногах, возрастанием резидуальной латентности срединного нерва, поражением локтевого нерва в области локтя. При ХРИ снижалась СПИ по моторным аксонам в руках и в области локтевого сустава локтевого нерва (табл. 4).

У пациентов группы 3 было обнаружено снижение СПИ в дистальном отделе срединного и локтевого нерва. В группах 3 и 4 увеличивался проксимально-дистальный коэффициент. При исследовании сенсорных аксонов периферических нервов в группе 1 было выявлено снижение амплитуды потенциалов действия (ПД) срединного и локтевого нервов, фиксировалось снижение СПИ по локтевому нерву (табл. 5). В группе 2 наблюдалось снижение амплитуды ПД и СПИ по нервам на руках.

В группах 3 и 4 уровень дофамина, АТ к дофаминовым рецепторам и BDNF был статистически значимо ниже, чем в группе сравнения (табл. 6). Установлена кратность межгрупповых различий по дофамину и BDNF — в 3 и 5 раз соответственно.

Таблица 3 / Table 3

**Значения индексов ритмов ЭЭГ,  $Me (Q_1-Q_3)$**   
**EEG rhythm indices values,  $Me (Q_1-Q_3)$**

Группа Group	$\alpha$ -ритм $\alpha$ -rhythm	$\beta_1$ -ритм $\beta_1$ -rhythm	$\Delta$ -ритм $\Delta$ -rhythm	$\Theta$ -ритм $\Theta$ -rhythm	$\beta_2$ -ритм $\beta_2$ -rhythm
1-я / 1 <sup>st</sup> , $n = 47$	32.9 (31–41)* 4, 5	38.4 (32–49)* 3, 5	14.3 (11–24)	10.3(7–15)	2.1 (1–2.3)* 3, 5
2-я / 2 <sup>nd</sup> , $n = 51$	26.3 (20–32)* 4, 5	20.4 (15–28)* 1, 3–5	25.7 (15–27)* 1, 5	9.0(4–12)	1.9 (1–2.3)* 3–5
3-я / 3 <sup>rd</sup> , $n = 26$	37.7 (26,0–48,9)	10.5 (9.1–15.2)	24.4 (14–37.9)* 1, 5	13.1 (9.9–16,1)	8.5 (6.0–11.1)
4-я / 4 <sup>th</sup> , $n = 31$	48.6 (23,7–61,1)	8.9 (6.9–14.1)	20.6 (9.2–29.7)	12.6 (9.2–17.2)	6.1 (3.8–12.2)
Группа сравнения Comparison group $n = 36$	48.3 (42–63)	10.3 (7.7–15.2)	14.5 (9–18)	12.7 (9.1–16.7)	9.2 (6.2–12.2)

**Примечание.** Статистически значимые различия: \* —  $p < 0,05$ ; цифрами обозначены номера групп, между которыми выявлены различия.

**Note:** Statistically significant differences are indicated: \* —  $p < 0.05$ . The numbers indicate the numbers of the groups between which differences have been identified.

Таблица 4 / Table 4

**Состояние моторных аксонов периферических нервов,  $M \pm m$** **Condition of motor axons of peripheral nerves,  $M \pm m$** 

Группа Groups	Показатели ЭНМГ ENMG indicators	Срединный Medianus	Локтевой нерв Ulnaris
1-я / 1 <sup>st</sup> , $n = 47$ Стажированные работники Trainee workers	Скорость проведения импульса (СПИ) в области локтевого сустава, м/с Impulse conduction velocity in the elbow region, m/s	$56.96 \pm 1.61$	$41.51 \pm 1.36^{***1-3}$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с In the distal part of the nerve trunk, m/s	$53.99 \pm 2.05$	$56.49 \pm 0.66$
	Проксимально-дистальный коэффициент / Proximal/distal coeff.	$1.19 \pm 0.03$	$0.98 \pm 0.02$
	Резидуальная латентность, мс / Residual latency, ms	$2.03 \pm 0.07^{**1-4}$	$1.63 \pm 0.08$
2-я / 2 <sup>nd</sup> , $n = 51$ Отдалённый период ХРИ The remote period of HRI	СПИ в области локтевого сустава, м/с Impulse conduction velocity in the elbow region, m/s	$52.5 \pm 1.79$	$42.6 \pm 1.33^{***2-3}$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с In the distal part of the nerve trunk, m/s	$51.72 \pm 1.33^{**2-5,*1-2}$	$50.44 \pm 0.76^{**2-5,*1-2}$
	Проксимально-дистальный коэффициент / Proximal/distal coeff.	$1.62 \pm 0.47$	$0.97 \pm 0.02$
	Резидуальная латентность, мс / Residual latency, ms	$2.09 \pm 0.07$	$2.52 \pm 1.10^{***2-5,*1-2}$
3-я / 3 <sup>rd</sup> , $n = 26$ I зона Zone I	СПИ в области локтевого сустава, м/с Impulse conduction velocity in the elbow region, m/s	$58.9 \pm 1.79$	$51.77 \pm 2.05$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с In the distal part of the nerve trunk, m/s	$47.38 \pm 1.33^{*3-5}$	$47.91 \pm 2.16^{**3-5}$
	Проксимально-дистальный коэффициент / Proximal/distal coeff.	$1.43 \pm 0.47^{*3-5}$	$1.36 \pm 0.05^{**3-5}$
	Резидуальная латентность, мс / Residual latency, ms	$2.08 \pm 0.07$	$1.04 \pm 0.04$
4-я / 4 <sup>th</sup> , $n = 31$ II зона Zone II	СПИ в области локтевого сустава, м/с Impulse conduction velocity in the elbow region, m/s	$57.55 \pm 1.28$	$49.12 \pm 1.5$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с In the distal part of the nerve trunk, m/s	$52.8 \pm 2.08$	$54.24 \pm 3.4$
	Проксимально-дистальный коэффициент / Proximal/distal coeff.	$1.38 \pm 0.02^{*4-5}$	$1.23 \pm 0.02^{*4-5}$
	Резидуальная латентность, мс / Residual latency, ms	$1.51 \pm 0.04$	$1.04 \pm 0.07$
Группа сравнения Comparison group $n = 36$	СПИ в области локтевого сустава, м/с Impulse conduction velocity in the elbow region, m/s	$57.9 \pm 3.47$	$56.2 \pm 2.81$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с In the distal part of the nerve trunk, m/s	$60.6 \pm 1.09$	$59.45 \pm 1.03$
	Проксимально-дистальный коэффициент / Proximal/distal coeff.	$1.02 \pm 0.02$	$1.04 \pm 0.03$
	Резидуальная латентность, мс / Residual latency, ms	$2.1 \pm 0.02$	$1.8 \pm 0.01$

Примечание. Здесь и в табл. 5: статистически значимые различия: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; цифрами обозначены номера групп, между которыми выявлены различия.

Note: Here and in Table 5: statistically significant differences are indicated: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ ; \*\*\* –  $p < 0.001$ . The numbers indicate the numbers of the groups between which differences have been identified.

Таблица 5 / Table 5

**Состояние сенсорных аксонов периферических нервов,  $M \pm m$** **The condition of sensory axons of peripheral nerves,  $M \pm m$** 

Группа Groups	Показатели ЭНМГ ENMG indicators	Срединный Medianus	Локтевой Ulnaris
1-я / 1 <sup>st</sup> , $n = 47$ Стажированные работники Trainee workers	Сенсорный ответ, $\mu V$ / Sensory response, $\mu V$	$3.68 \pm 0.34^{***1-5}$	$4.16 \pm 0.39^{**1-5}$
	Скорость проведения импульса (СПИ) в дистальном отделе нервного ствола, м/с In the distal part of the nerve trunk, m/s	$57.34 \pm 1.39$	$48.96 \pm 1.57^{***1-5}$
2-я / 2 <sup>nd</sup> , $n = 51$ Отдалённый период ХРИ The remote period of HRI	Сенсорный ответ, $\mu V$ / Sensory response, $\mu V$	$3.43 \pm 0.37^{**1-5}$	$2.76 \pm 0.34^{**1-5}$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с   In the distal part of the nerve trunk, m/s	$53.17 \pm 0.47^{*1-5}$	$44.47 \pm 2.06^{**1-5}$
3-я / 3 <sup>rd</sup> , $n = 26$ I зона Zone I	Сенсорный ответ, $\mu V$ / Sensory response, $\mu V$	$10.10 \pm 1.01$	$13.11 \pm 1.45$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с   In the distal part of the nerve trunk, m/s	$57.30 \pm 2.37$	$49.10 \pm 1.39^{**1-5}$
4-я / 4 <sup>th</sup> , $n = 31$ II зона Zone II	Сенсорный ответ, $\mu V$ / Sensory response, $\mu V$	$10.30 \pm 1.14$	$14.90 \pm 1.03$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с   In the distal part of the nerve trunk, m/s	$53.80 \pm 1.40$	$51.60 \pm 1.11^{**1-5}$
Группа сравнения Comparison group $n = 36$	Сенсорный ответ, $\mu V$ / Sensory response, $\mu V$	$5.36 \pm 0.45$	$6.58 \pm 0.42$
	СПИ в дистальном отделе нервного ствола, м/с   In the distal part of the nerve trunk, m/s	$67.46 \pm 1.18$	$65.37 \pm 0.44$



Таблица 6 / Table 6

Анализ нейромедиаторов и аутоантител в зависимости от удалённости от промплощадки, *Me* ( $Q_{25}$ – $Q_{75}$ )Analysis of neurotransmitters and autoantibodies depending on the distance of the residence from the industrial site, *Me* ( $Q_{25}$ – $Q_{75}$ )

Показатель Indicators	Группа / Group			Референтные значения Reference values
	3-я / 3 <sup>rd</sup> I зона / Zone I <i>n</i> = 26	4-я / 4 <sup>th</sup> II зона / Zone II <i>n</i> = 31	Группа сравнения Comparison group <i>n</i> = 44	
Дофамин, пг/мл   Dopamine, pg/ml	43.9 (12.3–213.7)** <sup>3–5</sup>	72 (30.4–163.3)* <sup>4–5</sup>	214.4 (150.6–259.2)	< 220
Серотонин, нг/мл   Serotonin, ng/ml	20.7 (13.1–44.0)	32.7 (18.7–64.7)	27.1 (11.6–41.3)	20–220
BDNF, пг/мл   pg/ml	10.6 (6.0–14.0)* <sup>3–5</sup>	8.6 (2.2–14.9)* <sup>4–5</sup>	48.0 (35.6–68.2)	BDNF, пг/мл   pg/ml
АТ к S100β, у.е.   Antibodies to S100β, c.u.	–6 (–14–5)	–2 (–10–12)	–2 (–15–9)	Не установлен Not installed
АТ к общему белку миелина, у.е. Antibodies to total myelin protein, c.u.	1 (–4–7)	2 (–3–15)	3 (–5–15)	–15–10
АТ к вольтаж-зависимым Са-каналам, у.е. Antibodies to voltage-dependent Ca channels, c.u.	–2 (–8–5)	0 (–3–4)	–1 (–4–4)	–15–10
АТ к доф. рецепторам, у.е. Antibodies to dopamine receptors, c.u.	0 (–4–3)3–5*	3 (–2–8)4–5*	–5 (–12–0)	–15–10

Примечание. Статистически значимые различия: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; цифрами обозначены номера групп, между которыми выявлены различия. Отрицательные значения в относительном содержании аутоантител показывают снижение от значений средней иммунореактивности, рассчитанной в соответствии с инструкцией производителя; положительные – повышение.

Note: Statistically significant differences are indicated: \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ . The numbers indicate the numbers of the groups between which differences have been identified. Negative values in the relative autoantibody content indicate a decrease from the average immunoreactivity calculated according to the manufacturer's instructions; positive values indicate an increase.

## Обсуждение

В группах обследованных выявлены сходные изменения на ЭЭГ, которые указывали на умеренные диффузные нарушения: наличие полиритмичной полиморфной активности с увеличенной долей медленных волн; неравномерное распределение ключевых ритмов по разным областям мозга; нарушение правильного топического распределения основных ритмов ЭЭГ; наличие очага патологической активности различной локализации; дисфункцию срединных структур; изменение интегральных характеристик ЭЭГ. Общность этих признаков подтверждает токсическое воздействие ртути на структуры головного мозга, особенно на подкорковые зоны.

Изменения в сенсорных и моторных аксонах верхних конечностей у обследованных группы 1 заключались в снижении СПИ в области локтя по локтевому нерву и возрастание РЛ срединного и локтевого нервов. В отдалённом периоде ХРИ снижалась СПИ в дистальном отделе моторного компонента и возрастала РЛ на руках. По сенсорному компоненту снижалась амплитуда ПД нервного ствола и СПИ не только в группе 1, но и в группе 2, когда контакта с токсикантом не было на протяжении длительного времени.

У лиц, проживающих в загрязнённой ртутью зоне, изменения в периферических аксонах характеризовались снижением СПИ по моторному компоненту в дистальном отделе локтевого нерва (группа 3); возрастанием проксимально-дистального коэффициента на верхних конечностях, что говорит об относительном снижении СПИ в дистальном отделе аксонов. Снижение СПИ в дистальном отделе срединного нерва установлено у 60% лиц группы 3 и у 45% лиц группы 4; по локтевому нерву снижение выявлено у 55% обследованных группы 3 и у 48% обследованных группы 4. По сенсорному компоненту установлено снижение СПИ по локтевому нерву в группах обследованных 3 и 4.

В работах сотрудников ФГБНУ ВСИМЭИ показано, что патология центральных и периферических проводящих путей, возникшая вследствие воздействия ртути, индуцируется антигенными структурами [17, 18]. Возрастание количества иммунных клеток сопряжено с демиелинизацией аксонов, гибелью олигодендроцитов в ЦНС. Установленное

увеличение времени прохождения импульса по проводящим структурам нервной системы, возможно, подтверждает вклад перечисленных процессов в блокирование ремиелинизации. Вероятно, выявленные нами изменения относятся к универсальной форме реакции нервной системы на патологическое воздействие – нарушении миелиновой оболочки.

У лиц, проживающих в непосредственной близости от промплощадки (группы 3 и 4), обнаруженные АТ являются, вероятно, предвестниками развития неврологических нарушений. Одно из объяснений низких уровней аутоантител может быть связано с повышенными уровнями антигенсвязанных АТ и образованием иммунных комплексов, что подтверждалось результатами исследования Maftai M. и соавт. [19]. Изменение титра АТ к дофаминергическим рецепторам свидетельствует о нарушениях в работе соответствующих нейронных систем [20]. Если уровень АТ, направленных против данных рецепторов, повышается, это может мешать их взаимодействию с нейромедиатором или влиять на проводимость по сигнальным путям, что способствует развитию патологий ЦНС [21]. Поэтому контроль уровня АТ у лиц, подвергавшихся воздействию паров ртути, прогностически значим и указывает на необходимость тщательного и регулярного мониторинга состояния ЦНС.

Также для обследованных, проживающих в непосредственной близости от промплощадки (группы 3 и 4), установлено снижение содержания дофамина и BDNF. Ранее было показано, что у стажированных работников, контактировавших с ртутью, отмечалось снижение содержания серотонина, а у пациентов в отдалённом периоде ХРИ возрастала концентрация дофамина и снижался уровень BDNF [11]. Низкие значения BDNF, выявленные у этих пациентов, сопоставимы с патологическими изменениями в структурах головного мозга, установленными с помощью ЭЭГ [22, 23]. Известно, что BDNF участвует в регуляции дифференцировки нейрональных клеток, процессах ветвления дендритов и формирования новых синапсов [24]. Снижение уровня BDNF может свидетельствовать о нарушениях восстановления нервной ткани. Сбалансированное взаимодействие иммунобиохимических компонентов обеспечивает нормальное функционирование нервной системы [25]. У людей, про-

живающих вблизи промышленной зоны, выявлены нейрорфизиологические и иммунобиохимические нарушения, что свидетельствует о сложных патологических изменениях при воздействии металлической ртути [26, 27].

## Заключение

Таким образом, установлено, что у лиц, проживающих в непосредственной близости от промплощадки химического комбината, но не подвергавшихся воздействию металлической ртути на производстве, формируются односторонние, но менее выраженные изменения по сравнению с теми, что были выявлены у работников, подвергавшихся

воздействию токсиканта на производстве. У обследованных жителей определяются патологические изменения в ЦНС при тестировании сенсорных и моторных аксонов периферических нервов. Установлен дисбаланс нейромедиаторов, что может являться одним из факторов, лежащих в основе развития установленных нами нарушений по ЭЭГ и в периферических нервах. Полученные результаты подтверждают важность дальнейших комплексных исследований здоровья населения, проживающего в зонах выбросов ртутных производств, что неоднократно обосновывалось литературными данными [28]. Экологический ущерб, нанесенный деятельностью вредного химического производства, следует оценивать как значительный.

## Литература

(п. п. 2, 3, 19, 22, 23, 25 см. References)

1. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. Здоровье граждан и продолжительность их жизни как критерий при оценке негативного воздействия объектов накопленного вреда на состояние окружающей среды и человека. *Экология урбанизированных территорий*. 2021; (3): 62–70. <https://elibrary.ru/mdybdh>
4. Сазонов Г.В., Бузиков О.М. Ртутная промышленность, производство и добыча ртути. *Вестник науки*. 2023; 1(6): 1041–5. <https://elibrary.ru/ineoja>
5. Ефимова Н.В., Лисецкая Л.Г. Содержание ртути в биосубстратах населения Иркутской области. *Токсикологический вестник*. 2007; (3): 11–5. <https://elibrary.ru/iavtth>
6. 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>
7. Катаманова Е.В., Шевченко О.И., Лакхман О.Л. Зависимость состояния нейромедиаторного обмена и изменений в психической сфере при профессиональном контакте с нейротоксикантами. В кн.: *Общие закономерности формирования профессиональных и экологически обусловленных заболеваний: патогенез, диагностика, профилактика. Сборник материалов Всероссийской конференции*. Ангарск; 2014: 50–5. <https://elibrary.ru/swwdqn>
8. Лакхман О.Л., Рукавишников В.С., Шаяхметов С.Ф., Соседова Л.М., Катаманова Е.В., Бодиевкова Г.М. и др. Профессиональные нейротоксикации: клинично-экспериментальные исследования. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(9): 82–3. <https://elibrary.ru/umgqnh>
9. Шевченко О.И., Катаманова Е.В., Лакхман О.Л. Особенности психопатологических изменений у больных с хронической ртутной интоксикацией. *Доктор.Ру*. 2015; (8–9): 59–64. <https://elibrary.ru/vescasr>
10. Кудалева И.В., Маснабиева Л.Б., Попкова О.В., Дьякович О.А. Изменение нейрорхимических показателей у лиц, экспонированных парами ртути. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(4): 11–5. <https://elibrary.ru/trlpl>
11. Кудалева И.В., Рукавишников В.С., Лакхман О.Л. Особенности и закономерности изменений нейрорхимических показателей на разных этапах хронической интоксикации ртутью. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(12): 1462–66. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1462-1466> <https://elibrary.ru/khayux>
12. Ведьшева Т.В. К вопросу о факторах формирования здоровья населения Иркутской области. *Сибирский медицинский журнал*. 2008; 80(5): 75–7. <https://elibrary.ru/jvrumz>
13. Голиков Р.А., Суржиков Д.В., Кислицына В.В. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения. *Научное обозрение. Медицинские науки*. 2017; (5): 20–31. <https://elibrary.ru/zczrku>
14. Урожаева Т.П. Экологические и медико-демографические проблемы городов Иркутской области в 1990-е гг. *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки*. 2015; (6): 366–70. <https://elibrary.ru/yidfsi>
15. Дьякович М.П., Мешакова Н.М., Казакова П.В., Соловьева И.Ю. Влияние стажевой ртутной нагрузки на динамику хронической ртутной интоксикации профессионального генеза. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010; (1): 36–9. <https://elibrary.ru/oorpwn>
16. Гнездицкий В.В. *Вызванные потенциалы мозга в клинической практике*. М.: МЕДпресс-ин; 2003.
17. Бодиевкова Г.М., Рукавишников В.С., Боклаженко Е.В. Оценка иммунорегуляторных маркеров в течение интоксикации ртутью в постконтактном периоде. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(12): 1138–41. <https://elibrary.ru/xqzot>
18. Бодиевкова Г.М., Боклаженко Е.В. Иммунологические критерии диагностики нейротоксикации парами металлической ртути. *Техносферная безопасность*. 2016; 1(4): 23–9. <https://elibrary.ru/xdblbx>
20. Расулова Х.А., Азизова Р.Б. Естественные нейротропные аутоантитела в сыворотке крови больных, страдающих эпилепсией. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2014; 69(5–6): 111–16. <https://doi.org/10.15690/vramn.v69i5-6.1054> <https://elibrary.ru/shnuyh>
24. Русанова Д.В., Лакхман О.Л., Кудалева И.В., Купцова Н.Г. Роль нейромедиаторов и показателей оксидативного стресса в формировании нарушений центральных проводящих структур у пациентов, контактировавших с металлической ртутью. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(12): 802–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-802-808> <https://elibrary.ru/zxxwih>
26. Кудалева И.В., Наумова О.В., Дьякович О.А., Маснабиева Л.Б. Вопросы патогенетических взаимоотношений нейрорхимических показателей при хроническом воздействии ртути. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1127–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1127-1131> <https://elibrary.ru/ylhaot>
27. Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Скупневский С.В. Современные проблемы загрязнения ртутью окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(5): 460–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-5-460-467> <https://elibrary.ru/cxkmri>
28. Рупута В.Ф., Юсупов Д.В., Ярославцева Т.В., Ляпина Е.Е., Турсуналиева Е.М. Экспериментальное исследование и численный анализ распространения ртути в окрестностях Новосибирского завода химконцентратов. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2018; 2(4): 48–58.

## References

1. Pichugin E.A., Shenfel'd 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://elibrary.ru/mdybdh> (in Russian)
2. Cabascango V.E.Q., Bazhin V.Y., Martynov S.A. Automatic control system for thermal state of reverberatory furnaces in production of nickel alloys. *Metallurgist*. 2022; 66(12): 104–16. <https://doi.org/10.1007/s11015-022-01304-3> <https://elibrary.ru/eiptxm>
3. Steckling N. Global burden of disease of mercury. *Ann. Glob. Health*. 2017; 83(2): 234–43.
4. Sazonov G.V. Mercury industry, production and extraction of mercury. *Vestnik nauki*. 2023; 1(6): 1041–5. <https://elibrary.ru/ineoja> (in Russian)
5. Yefimova 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)
6. 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)
7. Katamanova E.V., Shevchenko O.I., Lakhman O.L. Dependence of the state of neurotransmitter metabolism and changes in the mental sphere during professional contact with neurotoxins. In: *General Patterns of Formation of Occupational and Environmentally Related Diseases: Pathogenesis, Diagnosis, Prevention. Collection of Materials of the All-Russian Conference [Obshchie zakonomernosti formirovaniya professional'nykh i ekologicheskii obuslovlennykh zabolevaniy: patogeneiz, diagnostika, profilaktika. Sbornik materialov Vserossiiskoi konferentsii]*. Angarsk; 2014: 50–5. <https://elibrary.ru/swwdqn> (in Russian)
8. Lakhman O.L., Rukavishnikov V.S., Shayahmetov S.F., Sosodova L.M., Katamanova E.V., Bodienkova G.M., et al. Occupational neurointoxications: clinical and experimental research. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(9): 82–3. <https://elibrary.ru/umgqnh> (in Russian)

9. Shevchenko O.I., Katamanova E.V., Lakhman O.L. Specific features of psychopathology in patients with chronic mercury poisoning. *Doktor.Ru*. 2015; (8–9): 59–64. <https://elibrary.ru/vecacp> (in Russian)
10. Kudayeva I.V., Masnavieva L.B., Popkova O.V., Dyakovitch O.A. Neurochemical parameters change in individuals exposed to mercury vapors. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(4): 11–5. <https://elibrary.ru/trlpl> (in Russian)
11. Kudaeva I.V., Rukavishnikov V.S., Lakhman O.L. Features and patterns of changes in neurochemical parameters at different stages of chronic mercury intoxication. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(12): 1462–66. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1462-1466> <https://elibrary.ru/khayux> (in Russian)
12. Vedysheva T.V. To a question on factors of formation of health of the population of Irkutsk area. *Sibirskii meditsinskii zhurnal*. 2008; 80(5): 75–7. <https://elibrary.ru/jvrvmz> (in Russian)
13. Golikov R.A., Surzhikov D.V., Kisilitsyna V.V., Shtaiger V.A. Influence of environmental pollution to the health of the population (review of literature). *Nauchnoe obozrenie. Meditsinskie nauki*. 2017; (5): 20–31. <https://elibrary.ru/zcrucz> (in Russian)
14. Urozhaeva T.P. Ecological and medical-demographic problems cities of the Irkutsk Region in the 1990s. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i sotsial'nye nauki*. 2015; (6): 366–70. <https://elibrary.ru/yidfsi> (in Russian)
15. Dyakovich M.P., Meshchakova N.M., Kazakova P.V., Solovyeva I.Yu. Influence of mercury exposure accumulated during the length of service on dynamics of chronic mercury intoxication of occupational genesis. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2010; (1): 36–9. <https://elibrary.ru/ooopwn> (in Russian)
16. Gnezditskii V.V. *Evoked Brain Potentials in Clinical Practice*. Moscow: MEDpress-in; 2003. (in Russian)
17. Bodienkova G.M., Rukavishnikov V.S., Boklazhenko E.V. The evaluation of immunoregulatory markers in the course of neurointoxication by mercury over the post-exposure period. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(12): 1138–41. <https://elibrary.ru/xqrzot> (in Russian)
18. Bodienkova G., Boklazhenko E. Immunological criteria for diagnosing metallic mercury vapor neurointoxication. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2016; 1(4): 23–9. <https://elibrary.ru/xdblxi> (in Russian)
19. Mafei M., Thurm F., Schnack C., Tuman H., Otto M., Elbert T., et al. Increased levels of antigen-bound  $\beta$ -amyloid autoantibodies in serum and cerebrospinal fluid of Alzheimer's disease patients. *PLoS One*. 2013; 8(7): e68996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068996>
20. Rasulova Kh.A., Azizova R.B. Natural neurotropic autoantibodies in blood serum of epilepsy patients. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2014; 69(5–6): 111–6. <https://doi.org/10.15690/vramn.v69i5-6.1054> <https://elibrary.ru/shnuyh> (in Russian)
21. Lavi Y., Vojdani A., Halpert G., Sharif K., Ostrinski Y., Zyskind I., et al. Dysregulated levels of circulating autoantibodies against neuronal and nervous system autoantigens in COVID-19 patients. *Diagnostics (Basel)*. 2023; 13(4): 687. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13040687>
22. Ron D., Berger A. Targeting the intracellular signaling “STOP” and “GO” pathways for the treatment of alcohol use disorders. *Psychopharmacology (Berl.)*. 2018; 235(6): 1727–43. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-4882-z>
23. Wang C.S., Kavalali E.T., Monteggia L.M. BDNF signaling in context: From synaptic regulation to psychiatric disorders. *Cell*. 2022; 185(1): 620–76. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.12.003>
24. Rusanova D.V., Lakhman O.L., Kudaeva I.V., Kuptsova N.G. The role of neurotransmitters and indicators of oxidative stress in the formation of disorders of central conductive structures in patients who came into contact with metallic mercury. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(12): 802–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-802-808> <https://elibrary.ru/zxxwih> (in Russian)
25. Slifstein M., Kegeles L.S., Xu X., Thompson J.L., Urban N., Castrillon J., et al. Striatal and extrastriatal dopamine release measured with PET and [(18)F] fallypride. *Synapse*. 2010; 64(5): 350–62. <https://doi.org/10.1002/syn.20734>
26. Kudaeva I.V., Naumova O.V., Dyakovich O.A., Masnavieva L.B. Issues of pathogenetic relationships between neurochemical indices under the chronic mercury exposure. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(10): 1127–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1127-1131> <https://elibrary.ru/ylhaot> (in Russian)
27. 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/10.47470/0016-9900-2020-99-5-460-467> <https://elibrary.ru/cxkmri> (in Russian)
28. Raputa V.F., Yusupov D.V., Yaroslavtseva T.V., Lyapina E.E., Tursunaliyeva E.M. Experimental Study and Numerical Analysis of Mercury Distribution in the Vicinity of the Novosibirsk Chemical Concentrates Plant. *Interehkspo Geo-Sibir'*. 2018; 2 (4): 48–58. (In Russian)

## Сведения об авторах

**Русанова Дина Владимировна**, доктор биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. профессиональной и экологически обусловленной патологии ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: dina.rusanova@yandex.ru

**Катаманова Елена Владимировна**, доктор мед. наук, профессор, главный врач клиники ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия. E-mail: aniimt\_clinic@mail.ru

**Кудеева Ирина Валерьевна**, доктор мед. наук, доцент, зам. директора по научной работе, зав. клинико-диагностической лаб. ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: kudaeva\_irina@mail.ru

**Лакхман Олег Леонидович**, доктор мед. наук, профессор, профессор РАН, директор ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: lakhman\_o\_l@mail.ru

**Протасова Елена Николаевна**, зав. лаб. функциональной диагностики ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: kor.052@mail.ru

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

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

## Information about the authors

**Dina V. Rusanova**, DSc (Biology), senior researcher, Laboratory of occupational and environmental pathology, East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1355-3723> E-mail: dina.rusanova@yandex.ru

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

**Irina V. Kudaeva**, DSc (Medicine), associate professor, deputy director for research, head, Clinical and diagnostic laboratory, East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5608-0818> E-mail: kudaeva\_irina@mail.ru

**Oleg L. Lakhman**, DSc (Medicine), professor, professor of the RAS, 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

**Elena N. Protasova**, head, Functional diagnostics laboratory at the East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9247-4072> E-mail: kor.052@mail.ru

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

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