

# ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИММУННОГО СТАТУСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ КОНТАКТЕ СО СВИНЦОМ

**Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Цидильковская Э.С., Коляскина М.М.**

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», Москва,  
Россия

**Резюме.** Иммунная система чувствительна к воздействию факторов внешней среды, в том числе, по данным многочисленных исследований, иммунотоксическим действием обладает свинец. При этом имеются данные о разнонаправленном характере воздействия свинца на иммунную систему, определяемом степенью воздействия данного тяжелого металла, что обуславливает актуальность изучения изменения иммунологических показателей у работников современного свинецперерабатывающего предприятия с учетом специфики уровней и комплекса воздействующих факторов. В эпоху персонализированной медицины мониторинг потенциального воздействия производственных факторов, влияющих на иммунную систему, может способствовать индивидуальному подходу к профилактике нарушений состояния здоровья, связанных с профессиональной деятельностью. Цель исследования: оценить изменения показателей иммунного статуса у работников предприятия по вторичной переработке свинецсодержащих изделий. Основная группа – 62 мужчины, работающие на свинецперерабатывающем предприятии, контрольная группа – 47 мужчин, работающих вне контакта с вредными производственными факторами. Лабораторное обследование включало исследование уровня свинца в крови, клинический анализ крови, определение уровней IL-1 $\beta$ , IL-10, IL-8, MCP-1, C3 и C4 компонентов комплемента, IgA, IgM, IgG в сыворотке крови. В основной группе по сравнению с контрольной выявлены более высокое количество нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов, более высокие уровни IL-8, C3 и C4 компонентов системы комплемента, более низкие уровни IgM. В основной группе достоверно чаще выявлены следующие изменения показателей в сравнении с референтными значениями: повышение C3 компонента комплемента (51,6% в основной группе по сравнению с 12,5% в контрольной группе), снижение IgG (24,2% по сравнению с 6,2%) и повышение IgA (22,6% по сравнению с 6,2%). Выявлены ассоциации между уровнем свинца в крови и количеством лимфоцитов, уровнем IgG, между стажем работы в контакте со свинцом и уровнем MCP-1 и C3 компонента комплемента. Результаты проведенных исследований выявили наличие изменений показателей иммунного статуса у работников свинецперерабатывающего предприятия, которые демонстрируют наличие у свинца провоспалительного эффекта, влияния на гуморальный иммунный статус. Выявленные изменения иммунологических показателей могут лежать в основе механизмов формирования патологических состояний, ассоциированных с воздействием свинца, что определяет актуальность

## Адрес для переписки:

Хотулева Анастасия Григорьевна  
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт  
медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова»  
105275, Россия, Москва, пр. Буденного, 31.  
Тел.: 8 (915) 260-61-89.  
E-mail: hotuleva\_an@mail.ru

## Address for correspondence:

Anastasia G. Khotuleva  
Izmerov Research Institute of Occupational Health  
31 Budenny Ave  
Moscow  
105275 Russian Federation  
Phone: +7 (915) 260-61-89.  
E-mail: hotuleva\_an@mail.ru

## Образец цитирования:

Л.П. Кузьмина, А.Г. Хотулева, Э.С. Цидильковская,  
М.М. Коляскина «Оценка показателей иммунного  
статуса при производственном контакте со свинцом»  
// Российский иммунологический журнал, 2024. Т. 27,  
№ 3. С. 699-706.  
doi: 10.46235/1028-7221-16610-AOI

© Кузьмина Л.П. и соавт., 2024  
Эта статья распространяется по лицензии  
Creative Commons Attribution 4.0

## For citation:

L.P. Kuzmina, A.G. Khotuleva, E.S. Tsidilkovskaya,  
M.M. Kolyaskina "Assessment of immune status markers  
during occupational lead exposure", Russian Journal  
of Immunology/Rossiyskiy Immunologicheskii Zhurnal, 2024,  
Vol. 27, no. 3, pp. 699-706.  
doi: 10.46235/1028-7221-16610-AOI

© Kuzmina L.P. et al., 2024  
The article can be used under the Creative  
Commons Attribution 4.0 License

DOI: 10.46235/1028-7221-16610-AOI

продолжения исследований по оценке изменения иммунологических показателей в динамике и разработке системы мониторинга состояния иммунного статуса у работающих в контакте со свинцом и его соединениями для оптимизации профилактических мероприятий.

*Ключевые слова:* свинец, воздействие свинца, иммунный статус, иммуноглобулины, цитокины, система комплемента

## ASSESSMENT OF IMMUNE STATUS MARKERS DURING OCCUPATIONAL LEAD EXPOSURE

**Kuzmina L.P., Khotuleva A.G., Tsidilkovskaya E.S., Kolyaskina M.M.**

*Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The immune system is sensitive to the effects of environmental factors, and according to numerous studies, lead has an immunotoxic effect. At the same time, there is evidence of the multidirectional nature of the impact of lead on the immune system, determined by the degree of exposure to this heavy metal, which makes it current to study changes in immunological markers in workers of a modern lead recycling plant, taking into account levels and complexity of exposure. In the era of personalized medicine, monitoring the potential influence of occupational factors exposure on the immune system can facilitate a personalized approach to the prevention of work-related health conditions. The aim of the study: to evaluate changes in immune status markers among employees of lead recycling plant. The main group – 62 men working at a lead recycling plant, the control group – 47 men not exposed to occupational factors. Laboratory examination included a determination of the lead blood level, a clinical blood test, the serum levels of IL-1 $\beta$ , IL-10, IL-8, MCP-1, C3 and C4 complement components, IgA, IgM, IgG. In the main group, compared to the control group, a higher number of neutrophils, lymphocytes, monocytes, higher levels of IL-8, C3 and C4 components of the complement system, and lower levels of IgM were detected. In the main group, the following changes in markers were significantly more often detected in comparison with reference values: an increase in the C3 component of complement (51.6% in the main group compared to 12.5% in the control group), decreased IgG (24.2% compared to 6.2%) and increased IgA (22.6% compared to 6.2%). Associations were identified between the lead blood level and the number of lymphocytes, the level of IgG, between work experience in contact with lead and the level of MCP-1 and C3 complement components. The results of the studies revealed the presence of changes in the immune status markers of workers at a lead recycling plant, which demonstrate a proinflammatory effect of lead and an influence on the humoral immune status. The identified changes in immunological parameters may underlie the mechanisms of formation of pathological conditions associated with lead exposure, which determines the relevance of continuing research to assess dynamic changes in immunological parameters and develop a system for monitoring the immune status of workers exposed to lead and its compounds to optimize preventive measures.

*Keywords:* lead, lead exposure, immune status, immunoglobulins, cytokines, complement system

### Введение

Иммунная система является одной из систем, наиболее подверженных воздействию различных факторов внешней среды, в том числе и производственных. При этом в патогенезе заболеваний, ассоциированных с воздействием вредных производственных факторов, важное значение имеют нарушения в функционировании иммунной системы. В эпоху персонализированной медицины мониторинг потенциального воздействия производственных факторов, влияющих на иммунную систему, может способствовать индивидуальному подходу к профилактике наруше-

ний состояния здоровья, связанных с профессиональной деятельностью.

Свинец является одним из металлов, включенных ВОЗ в список приоритетных загрязнителей. Международные организации выдвигают все новые и новые инициативы по минимизации риска воздействия этого тяжелого металла и его производных на здоровье человека и окружающую среду [4]. Свинец обладает кумулятивным эффектом и оказывает токсическое действие на различные органы и системы, в том числе и на иммунную. Экспериментальные и клинические исследования доказывают негативное воздействие соединений свинца как на клеточный, так

и гуморальный врожденный и приобретенный иммунитет, роль свинца в развитии дисбаланса цитокинов [5, 6, 8, 9, 11, 12, 14].

Экспериментальные исследования на лабораторных животных демонстрируют ослабление сопротивляемости бактериальной инфекции, индукцию образования аутоантител под воздействием свинца [11, 13]. Имеются данные об индукции свинцом реакций гиперчувствительности I типа [5, 11], повышенной восприимчивости к острым респираторным заболеваниям у работников, подвергающихся воздействию свинца [13], ассоциации уровня свинца в крови с вероятностью наличия некоторых хронических инфекционных заболеваний и изменением микробиоты [3, 7].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что влияние хронического воздействия свинца может привести как к стимуляции, так и подавлению иммунной системы [8, 12], лежащих в основе иммунопатологических процессов, при этом направленность иммунного ответа может определяться длительностью и степенью воздействия свинца.

Таким образом, имеющиеся данные позволяют рассматривать воздействие свинца как фактор, потенцирующий развитие иммунопатологических процессов, лежащих в основе иммунодефицитных состояний, аутоиммунной и аллергической патологии. В связи с этим актуальным является изучение влияния хронического воздействия свинца и его соединений на иммунный статус работников современных предприятий по переработке свинца, в которых, несмотря на усовершенствования технологических процессов, проведение санитарно-технических мероприятий концентрация свинца в воздухе рабочей зоны остается выше предельно допустимой концентрации (ПДК) [2].

**Цель работы** – оценить изменения показателей иммунного статуса у работников предприятия по вторичной переработке свинецсодержащих изделий.

## Материалы и методы

Основная группа включала 62 мужчин в возрасте от 30 до 66 лет, медиана возраста – 40,5 (36; 48) лет, работающих на предприятии по переработке свинецсодержащих изделий (преимущественно аккумуляторов), со стажем от 1 до 14 лет, медиана стажа 8 (4; 10) лет.

Обследованные основной группы представлены лицами различных профессий, подвергающихся в процессе своей профессиональной деятельности воздействию свинца: 43,5% – плавильщики, 25,8% – слесари, 12,9% – мастера участка плавки и рафинирования свинца, 6,5% – машинисты крана, 4,8% – электромонтеры, по

3,2% – электрогазосварщики, мастера по ремонту металлургического оборудования. Уровень свинца в воздухе рабочей зоны основных производственных помещений составлял  $0,05500 \pm 0,01375$  мг/м<sup>3</sup> (ПДК – 0,05 мг/м<sup>3</sup>).

Контрольная группа включала 47 мужчин в возрасте от 31 до 69 лет, медиана возраста – 42 (37; 48) лет, работающих вне контакта с вредными производственными факторами.

Уровень свинца в крови определяли с помощью многоканального атомно-абсорбционного спектрометра AAnalyst 800 с электротермической атомизацией (референтные значения – до 40 мкг/дл). Клинический анализ крови выполнен на автоматическом гематологическом анализаторе Sysmex XN-1000. Уровни цитокинов (IL-1 $\beta$ , IL-10, IL-8, MCP-1) и иммуноглобулинов А, М, G определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием наборов реагентов АО «Вектор-Бест». Уровни С3 и С4 компонентов комплемента исследовали методом иммунотурбидиметрии с использованием наборов реагентов DiaSys.

Проведение исследования одобрено заключением локального комитета по этике ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол № 5 от 02.08.2023 г.).

Статистический анализ проведен с использованием программы Statistica 10.0. Количественные данные представлены в виде медианы и квартилей: Me ( $Q_{0,25}$ - $Q_{0,75}$ ), где Me – медиана,  $Q_{0,25}$  – нижний квартиль,  $Q_{0,75}$  – верхний квартиль. Наличие различий между группами по количественным данным определялось с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни, по качественным признакам – с использованием критерия хи-квадрат, при значении ожидаемых частот менее 10 применялась поправка Йетса. Анализ взаимосвязей между количественными переменными проводился на основании расчета непараметрического коэффициента корреляции Спирмена ( $r$ ).

## Результаты и обсуждение

Уровень свинца в крови у лиц основной группы составил 38,9 (31,2-51,9) мкг/дл, в 46,8% выявлено превышение по сравнению с референтными значениями, что подтверждает наличие экспозиции к свинцу в данной группе. По результатам выполненных исследований показано, что у лиц, не контактирующих со свинцом, уровень свинца в крови составляет 5,6 (3,8-7,8) мкг/дл.

При проведении сравнительного анализа показателей клинического анализа крови между обследованными группами выявлено более высокое количество лейкоцитов у работников предприятия по вторичной переработке свинца по сравнению с контрольной группой, отличия выявлены

по абсолютному количеству нейтрофилов, лимфоцитов и моноцитов, различий по относительному количеству клеток различных популяций не выявлено (табл. 1). При анализе зависимости лейкоцитарных показателей от уровня свинца в крови выявлено достоверно ( $p = 0,035$ ) более высокое количество лимфоцитов при уровне свинца больше 40 мкг/дл – 2,9 (2,55-3,25)  $\times 10^9$ /л, чем

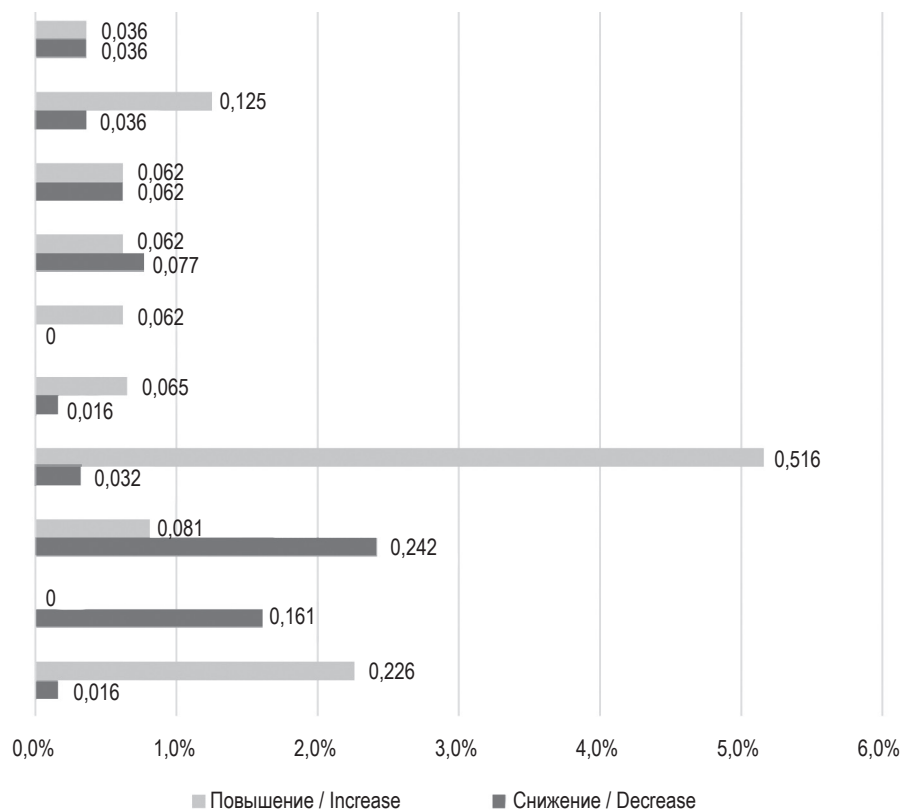
при уровне свинца в пределах референтных значений – 2,56 (2,24-2,95)  $\times 10^9$ /л, зависимости от стажа работы в контакте со свинцом не выявлено.

При сравнении уровней цитокинов в основной группе выявлены более высокие концентрации хемокина IL-8, играющего важную роль в регуляции воспалительного процесса, по сравнению с контрольной группой (табл. 1). Взаимосвя-

ТАБЛИЦА 1. ПОКАЗАТЕЛИ ИММУННОГО СТАТУСА У ОБСЛЕДОВАННЫХ ГРУПП

TABLE 1. MARKERS OF IMMUNE STATUS IN THE EXAMINED GROUPS

Показатель Indicator	Основная группа Main group	Контрольная группа Control group	Уровень значимости Significance level
WBC, $\times 10^9$ /л WBC, $\times 10^9$ /L	8,5 (6,92-9,75)	6,95 (5,86-8,47)	$p < 0,001$
Нейтрофилы, $\times 10^9$ /л Neutrophils, $\times 10^9$ /L	4,26 (3,59-5,63)	3,98 (3,21-4,56)	$p = 0,034$
Лимфоциты, $\times 10^9$ /л Lymphocytes, $\times 10^9$ /L	2,65 (2,32-3,23)	2,23 (1,93-2,63)	$p = 0,001$
Моноциты, $\times 10^9$ /л Monocytes, $\times 10^9$ /L	0,8 (0,69-0,97)	0,65 (0,53-0,74)	$p < 0,001$
Эозинофилы, $\times 10^9$ /л Eosinophils, $\times 10^9$ /l	0,13 (0,10-0,22)	0,15 (0,07-0,23)	$p = 0,755$
Базофилы, $\times 10^9$ /л Basophils, $\times 10^9$ /L	0,04 (0,02-0,06)	0,04 (0,03-0,05)	$p = 0,993$
Нейтрофилы, % Neutrophils, %	52,5 (47,6-61,2)	55,2 (48,6-60,7)	$p = 0,457$
Лимфоциты, % Lymphocytes, %	33,7 (25,5-39,8)	33,2 (29,9-36,9)	$p = 0,694$
Моноциты, % Monocytes, %	9,9 (8,2-11,6)	8,8 (7,7-10,1)	$p = 0,1$
Эозинофилы, % Eosinophils, %	1,7 (1,1-2,9)	2,0 (1,1-3,2)	$p = 0,479$
Базофилы, % Basophils, %	0,5 (0,3-0,8)	0,55 (0,4-0,7)	$p = 0,314$
IL-1 $\beta$ , пг/мл IL-1 $\beta$ , pg/mL	0,44 (0,1-2,0)	1,1 (0,10-3,38)	$p = 0,538$
IL-10, пг/мл IL-10, pg/mL	3,2 (2,25-4,84)	2,88 (1,42-3,68)	$p = 0,319$
IL-8, пг/мл IL-8, pg/mL	11,43 (8,32-16,66)	8,58 (7,75-12,10)	$p = 0,036$
МСР-1, пг/мл MCP-1, pg/mL	298,2 (248,3-399,3)	330,1 (244,7-397,0)	$p = 0,488$
С3 компонент комплемента, г/л C3 complement component, g/L	1,86 (1,52-2,23)	1,33 (1,09-1,65)	$p < 0,001$
С4 компонент комплемента, г/л C4 complement component, g/L	0,28 (0,20-0,31)	0,22 (0,18-0,27)	$p = 0,002$
IgA, г/л IgA, g/L	2,49 (2,06-4,37)	2,29 (2-3)	$p = 0,074$
IgM, г/л IgM, g/L	1,05 (0,69-1,41)	1,26 (0,95-1,72)	$p = 0,023$
IgG, г/л IgG, g/L	10,5 (7,51-11,63)	10,66 (9,25-11,80)	$p = 0,461$



**Рисунок 1. Частота изменений уровней иммуноглобулинов и компонентов комплемента по сравнению с референтными значениями в обследованных группах**

**Примечание.** \* –  $p < 0,05$  по сравнению с контрольной группой.

Figure 1. Frequency of changes in the levels of immunoglobulins and complement components compared with the reference values in the examined groups

Note. \*,  $p < 0.05$  compared to the control group.

зей между уровнями цитокинов и концентрацией свинца в крови не выявлено, имеется ассоциация уровня МСР-1 со стажем работы: при стаже до 10 лет уровень данного хемокина достоверно ( $p < 0,001$ ) ниже – 262,7 (233,3–332,2) пг/мл по сравнению с обследованными со стажем 10 и более лет – 399,3 (290,9–459,4) пг/мл.

Уровни компонентов системы комплемента С3 и С4 достоверно выше в основной группе, чем в контрольной (табл. 1). При этом при оценке частоты изменения показателей по сравнению с референтными значениями показано, что различия между группами есть только по повышению уровня С3 компонента комплемента по сравнению с референтными значениями, выявленному в 51,6% в основной группе и в 12,5% в контрольной (рис. 1). Также показано, что повышение уровня С3 компонента систем комплемента более выражено при большем стаже работы в контакте со свинцом ( $p = 0,049$ ): при стаже до 10 лет уровень С3-комплемента – 1,72 (1,41–2,17) г/л, при стаже 10 и более лет – 2,12 (1,61–2,38) г/л.

Таким образом, выявленные различия иммунологических показателей между основной и контрольной группами, зависимости от уровня свинца в крови и стажа работы свидетельствуют об активации воспалительного процесса у работающих в контакте со свинцом и его соединениями, что подтверждает имеющиеся данные о наличии у свинца провоспалительного эффекта [8, 9, 14]. При этом хроническое воспаление может инициировать развитие заболеваний или усугубить имеющиеся, в патогенезе которых важное значение играет воспалительный процесс.

При оценке различий в концентрации показателей гуморального иммунитета между обследованными группами выявлены более низкие уровни IgM в основной группе (табл. 1). При анализе частоты изменений уровней иммуноглобулинов в сравнении с референсным диапазоном в обследованных группах различий по проценту обследованных со сниженным IgM в основной и контрольной группах не выявлено (рис. 1), продемонстрировано увеличение обследованных в

основной группе со сниженными уровнями IgG (24,2%) и с повышенными уровнями IgA (22,6%) по сравнению с процентом лиц с данными изменениями в контрольной группе.

При анализе наличия взаимосвязей между уровнями иммуноглобулинов и концентрацией свинца выявлена отрицательная корреляционная взаимосвязь уровня IgG с содержанием свинца в крови ( $r = -0,298$ ,  $p = 0,019$ ), что подтверждает влияние воздействия свинца на состояние гуморального иммунитета. При анализе уровней IgG у лиц основной группы в зависимости от содержания свинца в крови показано, что у обследованных с уровнем свинца более 40 мкг/дл концентрация IgG составляла 8,96 (6,86-11,23) г/л, что достоверно ( $p = 0,01$ ) ниже, чем у лиц с уровнем свинца менее 40 мкг/дл – 10,94 (9,64-14,14) г/л.

Таким образом, снижение IgG и IgM при воздействии свинца можно рассматривать как признак иммуносупрессивного действия свинца на гуморальный иммунитет, которое демонстрировали ранее проведенные исследования [5, 6], повышение IgA можно рассматривать как ответную реакцию на воздействие свинецсодержащего аэрозоля на дыхательные пути. Полученные данные согласуются с работами, демонстрирующими изначальное повышение уровней иммуно-

глобулинов в сыворотке при производственном контакте со свинцом и последующее снижение при развитии свинцовой интоксикации [1, 10], что может свидетельствовать о нарушении адаптационных механизмов при воздействии свинца на иммунную систему при увеличении степени воздействия тяжелого металла на организм, что проявляется недостаточностью гуморального иммунитета.

## Заключение

Результаты проведенных исследований выявили наличие изменений показателей иммунного статуса у работников свинецперерабатывающего предприятия, которые демонстрируют наличие у свинца провоспалительного эффекта, влияния на гуморальный иммунный статус. Выявленные изменения иммунологических показателей могут лежать в основе механизмов формирования патологических состояний, ассоциированных с воздействием свинца, что определяет актуальность продолжения исследований по оценке изменения иммунологических показателей в динамике и разработке системы мониторинга состояния иммунного статуса у работающих в контакте со свинцом и его соединениями для оптимизации профилактических мероприятий.

## Список литературы / References

1. Вертелецкая М.И., Боброва И.В., Махнева С.А., Болотнова Т.В. Нарушения иммунной системы у стажированных рабочих и больных хронической свинцовой интоксикацией // Тюменский медицинский журнал, 2013. № 2. С. 7-8. [Verteletskaya M.I., Bobrova I.V., Makhneva S.A., Bolotnova T.V. Disorders of the immune system in interned workers and patients with chronic lead intoxication. *Tyumenskiy meditsinskiy zhurnal = Tyumen Medical Journal*, 2013, no. 2, pp. 7-8. (In Russ.)]
2. Кузьмина Л.П., Соркина Н.С., Хотулева А.Г., Безрукавникова Л.М., Артемова Л.В. Проблема «свинец и здоровье работающих» в условиях современного производства // Медицина труда и промышленная экология, 2018. № 4. С. 14-18. [Kuzmina L.P., Sorkina N.S., Khotuleva A.G., Bezrukavnikova L.M., Artemova L.V. The problem "lead and health of workers" in the conditions of modern industry. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya = Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, 2018, no. 4, pp. 14-18. (In Russ.)]
3. Островская С.С., Шаторная В.Ф. Иммунологические аспекты воздействия свинца и кадмия на организм // Вісник проблем біології і медицини, 2017. № 2. С. 20-24. [Ostrovskaya S.S., Shatornaya V.F. Immunological aspects of the impact of lead and cadmium on the body. *Vestnik problem biologii i meditsini = Bulletin of Problems in Biology and Medicine*, 2017, no. 2, pp. 20-24. (In Russ.)]
4. Хамидулина Х.Х., Давыдова Ю.О. Международное регулирование свинца и его соединений // Гигиена и санитария, 2013. № 6. С. 57-59. [Khamidulina Kh.Kh., Davydova Yu.O. International regulation of the lead and its compounds. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*, 2013, no. 6, pp. 57-59. (In Russ.)]
5. Шейбак В.М., Павлюковец А.Ю. Иммунотоксические и иммунорегуляторные эффекты воздействия свинца на организм млекопитающих // Проблемы здоровья и экологии, 2012. Т. 31, № 1. С. 120-125. [Sheibak V.M., Pavliukovets A.Y. Immunotoxic and immunoregulatory effects of lead impact on mammals. *Problemy zdorovya i ekologii = Health and Ecology Issues*, 2012, Vol. 31, no. 1, pp. 120-125. (In Russ.)]
6. Ebrahimi M., Khalili N., Razi S., Keshavarz-Fathi M., Khalili N., Rezaei N. Effects of lead and cadmium on the immune system and cancer progression. *J. Environ. Health Sci. Eng.*, 2020, Vol. 18, no. 1, pp. 335-343.

7. Eggers S., Safdar N., Malecki K.M. Heavy metal exposure and nasal *Staphylococcus aureus* colonization: analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Environ. Health*, 2018, Vol. 17, no. 1, 2. doi: 10.1186/s12940-017-0349-7.
8. Goyal T., Mitra P., Singh P., Sharma S., Purohit P., Sharma P. Effect of occupational co-exposure to lead and cadmium on selected immunomodulatory cytokines. *Toxicol. Ind. Health.*, 2022, Vol. 38, no. 1, pp. 1-10.
9. Metryka E., Chibowska K., Gutowska I., Falkowska A., Kupnicka P., Barczak K., Chlubek D., Baranowska-Bosiacka I. Lead (Pb) exposure enhances expression of factors associated with inflammation. *Int. J. Mol. Sci.*, 2018, Vol. 19, no. 6, 1813. doi: 10.3390/ijms19061813.
10. Mishra K.P., Chauhan U.K., Naik S. Effect of lead exposure on serum immunoglobulins and reactive nitrogen and oxygen intermediate. *Hum. Exp. Toxicol.*, 2006, Vol. 25, no. 11, pp. 661-665.
11. Mishra K.P. Lead exposure and its impact on immune system: a review. *Toxicol. In Vitro*, 2009, Vol. 23, no. 6, pp. 969-972.
12. Mishra K.P., Rani R., Yadav V.S., Naik S. Effect of lead exposure on lymphocyte subsets and activation markers. *Immunopharmacol Immunotoxicol.*, 2010, Vol. 32, no. 3, pp. 446-449.
13. Suzuki T., Hidaka T., Kumagai Y., Yamamoto M. Environmental pollutants and the immune response. *Nat. Immunol.*, 2020, Vol. 21, no. 12, pp. 1486-1495.
14. Valentino M., Rapisarda V., Santarelli L., Bracci M., Scorcelletti M., Di Lorenzo L., Cassano F., Soleo L. Effect of lead on the levels of some immunoregulatory cytokines in occupationally exposed workers. *Hum. Exp. Toxicol.*, 2007, Vol. 26, no. 7, pp. 551-556.

---

**Авторы:**

**Кузьмина Л.П.** — д.б.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора по научной работе ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», Москва, Россия

**Хотулева А.Г.** — к.м.н., старший научный сотрудник ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», Москва, Россия

---

**Authors:**

**Kuzmina L.P.**, PhD, MD (Biology), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

**Khotuleva A.G.**, PhD (Medicine), Senior Research Associate, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

**Цидильковская Э.С.** — к.м.н., старший научный сотрудник ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», Москва, Россия

**Tsidilkovskaya E.S.**, PhD (Medicine), Senior Research Associate, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

**Коляскина М.М.** — к.м.н., старший научный сотрудник ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», Москва, Россия

**Kolyaskina M.M.**, PhD (Medicine), Senior Research Associate, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation

---

Поступила 29.03.2024  
Принята к печати 02.04.2024

Received 29.03.2024  
Accepted 02.04.2024