

© ГРИГОРЬЕВА А.А., МИРОНОВА Г.Е., 2025

Читать
онлайнRead
online

Григорьева А.А., Миронова Г.Е.

Токсическое воздействие свинца на организм человека (обзор литературы)

ФГБНУ «Якутский научный центр комплексных медицинских наук», 677000, Якутск, Россия

РЕЗЮМЕ

В статье представлен метаанализ токсического влияния свинца на организм человека. Загрязнение почв тяжёлыми металлами является одной из важнейших проблем современной экологии. Увеличение числа автотранспортных средств, оснащённых бензиновыми и дизельными силовыми агрегатами, привело к тому, что основная доля вредных выбросов, в том числе тяжёлых металлов, в окружающую среду крупных городов приходится на автомобили. Тяжёлые металлы, попав в почву, включаются в природный круговорот веществ и удаляются из неё очень медленно при выщелачивании, эрозии и дефляции, а также в результате потребления растениями. Одним из основных загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду от автомобильного транспорта, является свинец, который относится к стабильным загрязнителям, и клинические проявления его токсичности опасны для жизни. Исследования показали, что в органах и тканях свинец накапливается в разной степени. Хроническое свинцовое отравление представляет угрозу физическому и психическому здоровью подрастающего поколения и, следовательно, будущему всего человечества. Свинец создаёт условия для запуска каскада патобиохимических реакций, приводящих к увеличению концентрации продуктов перекисного окисления липидов. Всасывание свинца происходит в основном в бронхиолах и альвеолах, откуда он проникает непосредственно в кровь. Таким образом, при свинцовом отравлении больше всего страдают сердечно-сосудистая, дыхательная системы и репродуктивная системы организма. Высокая токсичность и опасность тяжёлых металлов для здоровья человека, возможность их рассеяния в окружающей среде диктуют необходимость контроля их содержания в почвах, расположенных вдоль транспортных магистралей и имеющих потенциально высокую техногенную нагрузку.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; свинец; здоровье; человек; токсичность; воздействие

Для цитирования: Григорьева А.А., Миронова Г.Е. Токсическое воздействие свинца на организм человека (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2025; 104(6): 787–780. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-6-778-780> <https://elibrary.ru/ckjqbl>

Для корреспонденции: Григорьева Анастасия Анатольевна, e-mail: nastiagrigoryeva@gmail.com

Участие авторов: Григорьева А.А. — сбор материала и обработка данных, написание текста, редактирование; Миронова Г.Е. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 28.12.2024 / Поступила после доработки: 29.01.2025 / Принята к печати: 26.03.2025 / Опубликовано: 31.07.2025

Anastasia A. Grigorieva, Galina E. Mironova

Toxic effects of lead on the human body (literature review)

Yakutsk Scientific Center of Complex Medical Problems, Yakutsk, 677000, Russian Federation

ABSTRACT

The article presents a meta-analysis of the toxic effects of lead on the human body. At present, soil pollution with heavy metals is one of the most important problems of modern ecology. The constant gain of motor transport in the country has led to the fact that the main share of harmful emissions, including heavy metals, into the environment of large cities comes from cars. Heavy metals, having entered the soil, are included in the natural cycle of substances and removed from it very slowly during leaching, erosion, and deflation, as well as consumption by plants. One of the main pollutants entering the environment from motor transport is lead. Lead is a stable pollutant and clinical manifestations of its toxicity are life-threatening. The analysis revealed lead to accumulate in organs and tissues unevenly. Chronic lead poisoning poses a threat, first of all, to the health and mental development of the younger generation and thus the future of the all mankind. Lead creates conditions for the launch of a cascade of pathobiochemical reactions leading to an increase in the concentration of lipid peroxidation products. Lead absorption occurs mainly in the bronchioles and alveoli, from where it penetrates directly into the blood. Thus, with lead poisoning, the cardiovascular and respiratory systems suffer the most. Exposure to lead adversely affects the reproductive system. The high toxicity and danger of heavy metals to human health, the possibility of their dispersion in the environment dictates the need to control their content in soils located along transport highways with a potentially high technogenic load.

Keywords: heavy metals; lead; health; human; toxicity; influence

For citation: Grigorieva A.A., Mironova G.E. Toxic effects of lead on the human body. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(6): 778–780. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-6-778-780> <https://elibrary.ru/ckjqbl> (In Russ.)

For correspondence: Anastasia A. Grigorieva, e-mail: nastiagrigoryeva@gmail.com

Contribution: Grigorieva A.A. — collection of material and data processing, writing of text, editing; Mironova G.E. — editing. 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 study had no sponsorship.

Received: December 28, 2025 / Revised: January 29, 2025 / Accepted: March 26, 2025 / Published: July 31, 2025

Тяжёлые металлы (ТМ) широко распространены в окружающей среде и могут поступать в неё как из природных, так и из антропогенных источников. Известно, что ТМ не поддаются распаду долгое время и накапливаются. Токсическое действие тяжёлых металлов представляет собой серьёзную проблему для здоровья человека и среды обитания. Формы ТМ могут иметь неодинаковые уровни токсичности, и пути их воздействия могут быть различными — от вдыхания и поглощения через кожу до попадания в организм с пищей или водой. При попадании токсичных металлов в организм происходит нарушение внутриклеточного гомеостаза, что может привести к различным патологиям. Например, свободные радикалы, образующиеся в результате окислительного стресса, способны вызвать повреждение клеточных мембран, что ведёт к нарушению их функции. Повреждение белков и ферментов негативно влияет на метаболические процессы, а повреждение ДНК может привести к мутациям и развитию злокачественных новообразований [1–4].

Свинец (Pb) — опасный тяжёлый металл, который широко распространён в окружающей среде в результате антропогенной деятельности и представляет серьёзную угрозу для здоровья населения, особенно детей [5, 6]. В соединениях свинец может находиться в степенях окисления +2 и +4, образуя ряды соединений соответственно Pb (II) и Pb (IV).

Свинец может вызывать окислительный стресс, и полученные данные свидетельствуют о том, что окислительный стресс влияет на патофизиологию отравления свинцом, также называемого плумбизмом. Влияние свинца на организм можно распознать по следующим признакам: ухудшение аппетита, головные боли, гипертония, почечная недостаточность, бессонница, галлюцинации; при хроническом воздействии Pb может привести к олигофрении, врождённым дефектам, аллергии и мышечной слабости [7, 8].

Свинец попадает в организм человека при вдыхании частиц, образующихся при сжигании материалов, например, в ходе выплавки, переработки вторсырья, снятия свинецсодержащей краски или пластиковой плётки кабелей. Также Pb попадает в желудочно-кишечный тракт с загрязнёнными пылью пищевыми продуктами, водой. Обнаружено, что возраст человека коррелирует со степенью токсического действия на организм химических веществ, и дети больше ему подвержены по сравнению со взрослыми [9]. В литературе имеются сведения о том, что для детей характерно повышенное всасывание свинца в кишечнике [10]. Затем Pb поступает в кровеносную систему и далее в паренхиматозные органы (печень, почки, лёгкие), кости и зубы. Из всех систем организма человека именно кровеносная играет важную роль в распределении свинца, делая его доступным для тканей и органов [11, 12]. Аккумуляция свинца в костях происходит в течение длительного времени (десятилетия), а в крови этот период измеряется месяцами. Поэтому несомненным показателем токсичности считается присутствие Pb в костях, что отражает долгосрочную нагрузку на организм.

При оценке токсичности свинца для людей было обнаружено, что его содержание в костной ткани увеличивается во время беременности, лактации, физиологического стресса, при хронических болезнях, а также в пожилом возрасте [13]. В период беременности свинец, накопленный в костной ткани, может проникать в кровоток и воздействовать на плод. У беременных женщин в результате накопления свинца возможны преждевременные роды, выкидыши, мертворождения [13, 14]. В крови свинец оказывает влияние на биосинтез гема [15].

Обладая значительным сходством с тиоловыми (–SH) группами, он действует на функционирование дегидратазы δ-аминолевулиновой кислоты (δ-ALAD), ускоряющей превращение двух молекул δ-аминолевулиновой кислоты (δ-ALA) в порфиobilлиноген (PBG) [16–18]. Ингибирование активности δ-ALAD вызывает накопление δ-ALA в крови. Кроме того, Pb задерживает включение Fe²⁺, так как проникает в молекулу протопорфирина с одновременным

связыванием цинка (Zn²⁺), а не Fe²⁺ в протопорфириновое кольцо, в результате чего образуется протопорфирин цинка (ZPP). Присутствие δ-ALA или ZPP в крови или моче считается мощным маркёром раннего биогенного воздействия свинца на человека. Во многих литературных источниках описаны случаи отравления свинцом, при которых может развиться малокровие в результате ингибирования феррохелатазы и дегидратазы δ-аминолевулиновой кислоты (ALAD) из большинства ферментов, участвующих в биосинтезе гема [18–20].

В экспериментах на крысах δ-ALA было обнаружено повышение уровня 8-оксо-7,8-дигидро-2'-дезоксигуанозина и 5-гидрокси-2'-дезоксигуанидина, приводящее к повреждению ДНК за счёт присоединения гидроксильной группы OH [10, 17, 18]. Также в результате связи с SH-группами нарушается баланс GSH и GSSG, клетки становятся более восприимчивыми к окислительному повреждению [16]. Антиоксиданты, содержащиеся в клетках, восстанавливают активные формы кислорода (АФК), однако под воздействием свинца уровень АФК повышается, в то время как уровень антиоксидантов снижается. Части антиоксидантных ферментов, таких как глутатионпероксидаза, каталаза и супероксиддисмутаза, которые зависят от микроэлементов и простетических групп для ферментативной детоксикации АФК, являются для свинца приоритетными мишенями [16]. Наряду с активизацией антиоксидантных ферментов истощение антиоксидантов и связанных с белком сульфгидрильных групп определяется окислительным повреждением, вызванным свинцом.

По данным исследований, полиненасыщенные жирные кислоты имеют большое количество двойных связей и могут повреждаться в результате окислительного стресса. Перенос свинца через мембрану эритроцитов делает клетку более уязвимой к окислительному повреждению по сравнению с другими [9, 19, 20]. Окисление билипидного слоя клетки в результате взаимодействия с Pb может привести к ухудшению целостности и проницаемости мембран. Некоторые болезни системы кровообращения обусловлены факторами риска, связанными с повышением уровня холестерина, липопротеидов и триглицеридов и действием соединений свинца на сердечно-сосудистую систему [12, 21].

Свинец, участвуя в перекисном окислении липидов и работе мембранных ферментов, способствует развитию болезней системы кровообращения. Установлено, что действие малых концентраций свинца вызывает повышение кровяного давления и при длительном действии может привести к артериальной гипертензии [8, 11, 21]. Механизм, лежащий в основе артериальной гипертензии, обусловлен непосредственно сосудосуживающим эффектом Pb [19, 22]. Из данных литературы известно, что свинец стимулирует синтез липидов в различных органах, особенно в печени [20]. Свинец обладает способностью замещать незаменимые катионы, такие как Ca²⁺ и Mg²⁺, которые участвуют в биологических процессах, в том числе клеточной адгезии, внутри- и межклеточной передаче сигналов, апоптозе, ионном транспорте, свёртывании белков, регуляции ферментов и высвобождении нейротрансмиттеров [22, 23]. При меньших концентрациях замена кальция свинцом действует на активность протеинкиназы, регулирующей нервное возбуждение и хранение информации в памяти [10].

Люди восприимчивы к накоплению свинца в организме, что вызывает повреждение нервной системы и приводит, по мнению некоторых учёных, к таким патологиям, как болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона и расстройства аутистического спектра. Имеются исследования, в которых механизм нейротоксичности, вызванной свинцом, объяснён на нескольких уровнях: метилирование ДНК, модификации гистонов и некодирующие РНК [8].

При изучении воздействия свинца на людей в производственных условиях установлено, что пролиферация лимфоцитов до фитогемагглютинина (РНА) ингибируется, однако не было обнаружено корреляции между ингибированием

пролиферации лимфоцитов и содержанием Pb в крови (BLL). Кроме того, воздействие Pb не влияло на цитотоксичность естественных киллеров (NK). С другой стороны, уровень интерферона- γ (IFN- γ) был значительно повышен у лиц, подвергшихся воздействию Pb. Установлено наличие достоверной положительной корреляции между BLL и уровнем IFN- γ [20, 23]. Также были изучены иммунологические эффекты воздействия свинца на пролиферацию лимфоцитов, выработку IFN- γ и цитотоксичность естественных киллеров (NK-клеток) у лиц, подвергшихся профессиональному воздействию Pb. В изучаемые группы входили водители грузовых автомобилей, работники, изготавливающие аккумуляторные батареи, ювелиры. В группы контроля входили лица, не подвергавшиеся влиянию свинца. Результаты показали, что пролиферация лимфоцитов до фитогемагглютинаина (РНА) ингибируется, в то время как IFN- γ значительно повышается в стимулированных мононуклеарных клетках периферической крови (РВМС) по сравнению со здоровыми [7]. Были оценены тесты функции лёгких (PFT) и респираторные симптомы 108 работников производства аккумуляторов и 100 лиц контрольной группы. Концентрации свинца в сыворотке крови и моче рабочих были значительно выше по сравнению с контрольной группой, в то время как значения PFT — намного ниже. Кроме того, частота респиратор-

ных симптомов, таких как стеснение в груди (26%), кашель (17%) и выделение мокроты (16%), была значительно выше у работников, производящих аккумуляторы, по сравнению с контрольной группой [24, 25].

Изучение зависимости клинических проявлений у работников производства автомобильных аккумуляторов от концентраций свинца в крови и моче показало незначительную корреляцию между сывороточным ALP и BLL [20]. Воздействие Pb на работников автомобильной промышленности выражено повышает уровень свинца в крови и в моче по сравнению с контрольной группой, что может стать причиной нарушения физиологических функций организма.

Заключение

Понимание путей воздействия и проявлений токсичности свинца имеет принципиальное значение в связи с его широким распространением в окружающей среде и рисками для здоровья. Наряду с разработкой стратегий снижения воздействия свинца необходимо дальнейшее изучение механизмов преодоления его опасного влияния на живые организмы и предотвращения воспалительных реакций в органах и тканях, в том числе вследствие нарушения баланса оксидантно-антиоксидантной системы.

Литература / References

1. Flora G., Gupta D., Tiwari A. Toxicity of lead: A review with recent updates. *Interdiscip. Toxicol.* 2012; 5(2): 47–58. <https://doi.org/10.2478/v10102-012-0009-2>
2. Levin R., Zilli Vieira C.L., Rosenbaum M.H., Bischoff K., Mordarski D.C., Brown M.J. The urban lead (Pb) burden in humans, animals and the natural environment. *Environ. Res.* 2021; 193: 110377. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110377>
3. Stalwick J.A., Ratelle M., Gurney K.E.B., Drysdale M., Lazarescu C., Comte J., et al. Sources of exposure to lead in Arctic and subarctic regions: a scoping review. *Int. J. Circumpolar. Health.* 2023; 82(1): 2208810. <https://doi.org/10.1080/22423982.2023.2208810>
4. Shiek S.S., Mani M.S., Kabekkodu S.P., Dsouza H.S. Health repercussions of environmental exposure to lead: Methylation perspective. *Toxicology.* 2021; 461: 152927. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.152927>
5. Yan W., Liu X., Zhang G. Identification of potential food sources affecting blood lead levels and their health hazards (CVD, respiratory diseases, cancer). *Sci. Total Environ.* 2024; 906: 167505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167505>
6. Yu Y.L., Yang W.Y., Hara A., Asayama K., Roels H.A., Nawrot T.S., et al. Public and occupational health risks related to lead exposure updated according to present-day blood lead levels. *Hypertens. Res.* 2023; 46(2): 395–407. <https://doi.org/10.1038/s41440-022-01069-x>
7. Mei Z., Liu G., Zhao B., He Z., Gu S. Emerging roles of epigenetics in lead-induced neurotoxicity. *Environ. Int.* 2023; 181: 108253. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108253>
8. Schneider J.S. Neurotoxicity and outcomes from developmental lead exposure: persistent or permanent? *Environ. Health Perspect.* 2023; 131(8): 85002. <https://doi.org/10.1289/EHP12371>
9. Du Y., Ai S., He J., Gu H., Wang X., Li Z., et al. Health risk assessment of lead via the ingestion pathway for preschool children in a typical heavy metal polluted area. *Environ. Geochem. Health.* 2023; 45(8): 6163–76. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01619-3>
10. Brochin R., Leone S., Phillips D., Shepard N., Zisa D., Angerio A. The cellular effect of lead poisoning and its clinical picture. *GUJHS.* 2008; 5(2): 1–8.
11. Navas-Acien A., Guallar E., Silbergeld E.K., Rothenberg S.J. Lead exposure and cardiovascular disease — a systematic review. *Environ. Health Perspect.* 2007; 115(3): 472–82. <https://doi.org/10.1289/ehp.9785>
12. Poręba R., Gać P., Poręba M., Andrzejak R. Environmental and occupational exposure to lead as a potential risk factor for cardiovascular disease. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2011; 31(2): 267–77. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2010.12.002>
13. Gulson B.L., Mizon K.J., Korsch M.J., Palmer J.M., Donnelly J.B. Mobilization of lead from human bone tissue during pregnancy and lactation — a summary of long-term research. *Sci. Total Environ.* 2003; 303(1–2): 79–104. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(02\)00355-8](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(02)00355-8)
14. Ishitsuka K., Yamamoto-Hanada K., Yang L., Mezawa H., Konishi M., Saito-Abe M., et al. Association between blood lead exposure and mental health in pregnant women: Results from the Japan environment and children's study. *Neurotoxicology.* 2020; 79: 191–9. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.06.003>
15. Skoczyska A. Genetic aspects of hypertensive effect of lead. *Med. Pr.* 2008; 59(4): 325–32. (in Polish)
16. Ahamed M., Siddiqui M.K. Low level lead exposure and oxidative stress: current opinions. *Clin. Chim. Acta.* 2007; 383(1–2): 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2007.04.024>
17. Douki T., Onuki J., Medeiros M.H., Bechara E.J., Cadet J., Di Mascio P. DNA alkylation by 4,5-dioxovaleric acid, the final oxidation product of 5-aminolevulinic acid. *Chem. Res. Toxicol.* 1998; 11(2): 150–7. <https://doi.org/10.1021/tx970157d>
18. Douki T., Onuki J., Medeiros M.H., Bechara E.J., Cadet J., Di Mascio P. Hydroxyl radicals are involved in the oxidation of isolated and cellular DNA bases by 5-aminolevulinic acid. *FEBS Lett.* 1998; 428(1–2): 93–6. [https://doi.org/10.1016/s0014-5793\(98\)00504-3](https://doi.org/10.1016/s0014-5793(98)00504-3)
19. Jan A.T., Azam M., Siddiqui K. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Int. J. Mol. Sci.* 2015; 16(12): 29592–630. <https://doi.org/10.3390/ijms161226183>
20. Dadpour B., Afshari R., Mousavi S.R., Kianoush S., Keramati M.R., Moradi V.A., et al. Clinical and laboratory findings of lead hepatotoxicity in the workers of a car battery manufacturing factory. *Iranian J. Toxicol.* 2016; 10(2): 1–6. <https://doi.org/10.32598/IJT.10.2.327.1>
21. Poreba R., Poreba M., Gać P., Andrzejak R. Ambulatory blood pressure monitoring and structural changes in carotid arteries in normotensive workers occupationally exposed to lead. *Hum. Exp. Toxicol.* 2011; 30(9): 1174–80. <https://doi.org/10.1177/0960327110391383>
22. Vargas H., Castillo C., Posadas F., Escalante B. Acute lead exposure induces renal haeme oxygenase-1 and decreases urinary Na excretion. *Hum. Exp. Toxicol.* 2003; 22(5): 237–44. <https://doi.org/10.1191/0960327103ht3600a>
23. Harshitha P., Bose K., Dsouza H.S. Influence of lead-induced toxicity on the inflammatory cytokines. *Toxicology.* 2024; 503: 153771. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153771>
24. Khazdair M.R., Boskabady M.H., Afshari R., Dadpour B., Behforouz A., Javidi M., et al. Respiratory symptoms and pulmonary function testes in lead exposed workers. *Iran. Red Crescent Med. J.* 2012; 14(11): 737–42. <https://doi.org/10.5812/ircmj.4134>
25. Olana A.T., Kumie A., Abegaz T. Blood lead level among battery factory workers in low and middle-income countries: Systematic review and meta-analysis. *Front. Public Health.* 2022; 10: 970660. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.970660>

Сведения об авторах

Григорьева Анастасия Анатольевна, мл. науч. сотр., ФГБНУ «Якутский научный центр комплексных медицинских проблем», 677000, Якутск, Россия. E-mail: Nastiagrigoryeva@gmail.com

Миронова Галина Егоровна, профессор, доктор биол. наук, ФГБНУ «Якутский научный центр комплексных медицинских проблем», 677000, Якутск, Россия. E-mail: mirogalin@mail.ru

Information about the authors

Anastasia A. Grigorieva, junior researcher, Yakutsk Scientific Center of Complex Medical Problems, Yakutsk, 677000, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1958-327X> E-mail: Nastiagrigoryeva@gmail.com

Galina E. Mironova, Professor, Doctor of Biological Sciences, Yakutsk Scientific Center of Complex Medical Problems, Yakutsk, 677000, Russian Federation, E-mail: mirogalin@mail.ru