

EDN: <https://elibrary.ru/opuvsw>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-142-149>

УДК 613.6.027; 577.125.8; 577.124.8

© Коллектив авторов, 2025

Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Коляскина М.М., Безрукавникова Л.М., Капралова О.А.

Оценка углеводного и липидного обменов у работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275

Введение. Свинец является одним из доказанных факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, что определяется его влиянием на сосудистый тонус, липидный и углеводный обмены, активность воспалительного процесса, в связи с чем мониторинг метаболических показателей является значимым компонентом профилактических мероприятий у работающих в контакте со свинцом и его соединениями.

Цель исследования — анализ изменений показателей углеводного и липидного обменов у работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей для выбора информативных маркеров при оценке сердечно-сосудистого риска.

Материалы и методы. Основная группа — 62 мужчины, работающие на предприятии по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, со стажем 8 (4; 10) лет. Контрольная группа — 30 мужчин, работающих вне контакта с вредными производственными факторами. Лабораторное обследование включало определение уровня свинца в крови, АЛК в моче, показателей углеводного (глюкоза, инсулин) и липидного (холестерин (ХС), холестерин липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), холестерин липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП), триглицериды, аполипопротеины А1 и В, липопротеин (а)) обменов. Проведён расчёт показателей ХС не-ЛПВП, индекса атерогенности (ИА), Апо В/Апо А1, ТГ/ХС ЛПВП, метаболического индекса (МИ), НОМА-IR.

Результаты. У лиц основной группы по сравнению с контрольной выявлены более низкие уровни ХС ЛПВП, Апо А1, более высокие уровни инсулина, НОМА-IR, МИ. Выявлены корреляционные взаимосвязи со стажем работы при отсутствии зависимостей от возраста для показателей ХС ЛПВП ($r=-0,35$, $p=0,006$), ИА ($r=0,258$, $p=0,043$), Апо А1 ($r=-0,313$, $p=0,013$), Апо В/Апо А1 ($r=0,287$, $p=0,024$), МИ ($r=0,262$, $p=0,04$). Показано, что при стаже от 10 лет ниже уровни ХС ЛПВП, Апо А1, выше уровни ИА, Апо В/Апо А1, ТГ/ХС-ЛПВП, МИ по сравнению с работниками с меньшим стажем. Отмечается средняя степень взаимосвязи между НОМА-IR и косвенными маркерами инсулинорезистентности ТГ/ХС ЛПВП ($r=0,525$, $p<0,001$) и МИ ($r=0,568$, $p<0,001$).

Ограничения исследования. Исследование ограничено выборкой обследованных работников одного предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

Заключение. Показано влияние воздействия вредных производственных факторов предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на развитие нарушений липидного и углеводного обменов, что определяет значимость исследования дополнительных лабораторных показателей (ХС ЛПВП, триглицериды) у работников данных предприятий для объективизации оценки состояния метаболических процессов.

Этика. Исследование проведено с соблюдением этических стандартов проведения медицинских исследований с участием человека согласно требованиям Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Проведение исследования одобрено заключением локального комитета по этике ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол заседания этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» № 5 от 02.08.2023 г.).

Ключевые слова: воздействие свинца; работающие в контакте со свинцом; липидный обмен; углеводный обмен; дислипидемия; инсулинорезистентность; биохимические маркеры; холестерин; аполипопротеины

Для цитирования: Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Коляскина М.М., Безрукавникова Л.М., Капралова О.А. Оценка углеводного и липидного обменов у работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. *Мед. труда и пром. экол.* 2025; 65(3): 142–149. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-142-149> <https://elibrary.ru/opuvsw>

Для корреспонденции: Хотулева Анастасия Григорьевна, e-mail: hotuleva_an@mail.ru

Участие авторов:

- | | |
|---------------------|--|
| Кузьмина Л.П. | — концепция и дизайн исследования, редактирование; |
| Хотулева А.Г. | — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, проведение лабораторных исследований, написание текста, редактирование; |
| Коляскина М.М. | — проведение лабораторных исследований, сбор и обработка материала, написание текста; |
| Безрукавникова Л.М. | — концепция и дизайн исследования, редактирование; |
| Капралова О.А. | — проведение лабораторных исследований. |

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 06.03.2025 / Дата принятия к печати: 24.03.2025 / Дата публикации: 07.04.2025

Lyudmila P. Kuzmina, Anastasia G. Khotuleva, Mariya M. Kolyaskina, Lyudmila M. Bezrukavnikova, Olga A. Kapralova
Assessment of carbohydrate and lipid metabolism in workers of lead-acid batteries recycling plant

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275

Introduction. Lead is one of the proven risk factors for developing cardiovascular diseases, which is determined by its effect on vascular tone, lipid and carbohydrate metabolism, as well as the activity of the inflammatory process, and therefore monitoring of metabolic parameters is an important component of preventive measures for workers in contact with lead and its compounds.

The study aims to analyze changes in carbohydrate and lipid metabolism in employees of a lead-acid battery processing plant to select informative markers for assessing cardiovascular risk.

Materials and methods. The main group consisted of 62 men working at a lead-acid battery recycling plant with 8 (4; 10) years of experience. The control group consisted of 30 men who worked outside of contact with harmful industrial factors. The laboratory examination included the determination of blood lead levels, ALA in urine, carbohydrate (glucose, insulin) and lipid (cholesterol (HC), high-density lipoprotein (HDL) cholesterol, low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, triglycerides, apolipoproteins A1 and B, lipoprotein (a)) metabolism. Non-HDL cholesterol, atherogenicity index (IA), apo B/apo A1, TG/HDL cholesterol, metabolic index (MI), HOMA-IR were calculated.

Results. Compared with the control group, individuals in the main group showed lower levels of HDL cholesterol, apo A1, higher levels of insulin, HOMA-IR, and MI. Correlations with work experience were revealed in the absence of age dependence for HDL cholesterol ($r=-0.35$, $p=0.006$), IA ($r=0.258$, $p=0.043$), apo A1 ($r=-0.313$, $p=0.013$), apo B/apo A1 ($r=0.287$, $p=0.024$), MI ($r=0.262$, $p=0.04$). It has been shown that at least 10 years of service, the levels of HDL cholesterol, apo A1 are lower, and the levels of IA, apo B/apo A1, TG/HDL-C, MI are higher compared with employees with less experience. There is an average degree of relationship between HOMA-IR and indirect markers of insulin resistance of TG/HDL cholesterol ($r=0.525$, $p<0.001$) and MI ($r=0.568$, $p<0.001$).

Limitations. The study is limited to a sample of surveyed employees of a single lead-acid battery recycling facility.

Conclusion. The influence of exposure to harmful production factors of a lead-acid battery processing plant on the development of lipid and carbohydrate metabolism disorders is shown, which determines the importance of studying additional laboratory parameters (HDL cholesterol, triglycerides) in employees of these enterprises to objectify the assessment of metabolic processes.

Ethics. The study was conducted in compliance with Ethical standards for conducting medical research involving humans in accordance with the requirements of the Helsinki Declaration of the World Medical Association. The study was approved by the conclusion of the local Ethics Committee of Izmerov Research Institute of Occupational Health (protocol of the meeting of the Ethics Committee No. 5 dated 08/02/2023).

Keywords: lead exposure; working in contact with lead; lipid metabolism; carbohydrate metabolism; dyslipidemia; insulin resistance; biochemical markers; cholesterol; apolipoproteins

For citation: Kuzmina L.P., Khotuleva A.G., Kolyaskina M.M., Bezrukavnikova L.M., Kapralova O.A. Assessment of carbohydrate and lipid metabolism in workers of lead-acid batteries recycling plant. *Med. truda i prom. ekol.* 2025; 65(3): 142–149. <https://elibrary.ru/opuvcw> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-142-149> (in Russian)

For correspondences: Anastasia G. Khotuleva, e-mail: khotuleva_an@mail.ru

Contributions:

Kuzmina L.P. — research concept and design, editing;

Khotuleva A.G. — research concept and design, collection and processing of material, laboratory research, writing, editing;

Kolyaskina M.M. — conducting laboratory research, collecting and processing material, writing text;

Bezrukavnikova L.M. — concept and design of research, editing;

Kapralova O.A. — conducting laboratory tests.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 06.03.2025 / Accepted: 24.03.2025 / Published: 07.04.2025

Введение. Свинец является одним из металлов, включённых в список приоритетных загрязнителей рядом международных организаций, в том числе ВОЗ. Свинец относится к политропным ядам, поражая различные органы и системы, в том числе свинец увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний [1–5], имеются данные о влиянии свинца на липидный и углеводный обмены [6–12].

Согласно оценкам Института измерения показателей и оценки состояния здоровья (Institute for Health Metrics and Evaluation, IHME) в 2021 г. последствия воздействия свинца, в основном в виде сердечно-сосудистых заболеваний, стали причиной более 1,5 миллиона случаев смерти во всём мире. В том же году мировое бремя последствий, вызванных воздействием свинца, оценивалось на уровне свыше 33 миллионов лет, утраченных вследствие инвалидности [13]. Эпидемиологические исследования свидетельствуют, что повышение концентрации свинца в крови с 1,0 мкг/дл до 6,7 мкг/дл ассоциировано с увеличением смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе от ишемической болезни сердца [14].

Таким образом, с учётом роли свинца в потенцировании развития и прогрессирования сердечно-сосудистых заболеваний значимым является выявление тех метаболических показателей, которые изменяются под воздействием данного производственного фактора, для включения выявленных маркёров с систему углублённого мониторинга состояния здоровья работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей для объективизации оценки кардиориска.

Цель исследования — анализ изменений показателей углеводного и липидного обменов у работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей для выбора информативных маркеров при оценке сердечно-сосудистого риска.

Материалы и методы. Основная группа обследованных включала 62 мужчин в возрасте 40,5 (36; 48) лет, работающих на предприятии по переработке свинцово-держакших изделий (преимущественно аккумуляторов), со стажем 8 (4; 10) лет. На основе распределения по стажу были сформированы 3 подгруппы со стажем до 5 лет ($n=18$), 5–9 лет ($n=25$), 10–14 лет ($n=19$). Группы были сопоставимы по возрасту.

Обследованные 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. Основными вредными факторами производственной среды на предприятии являются свинец и его неорганические соединения, азота неорганические соединения, серы оксиды, углерода оксид.

Контрольная группа включала 30 мужчин в возрасте 41,5 (38; 47) лет, работающих вне контакта с вредными производственными факторами. Группа сопоставима с основной по индексу массы тела (ИМТ).

Уровень свинца в крови определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрометра «МТА-1000»

с зеемановской модуляционной поляризационной коррекцией фона производства ООО «Люмэкс», содержание δ-аминолевулиновой кислоты (АЛК) в моче — по реакции образования пиррола с ацетилацетоном при нагревании и спектрофотометрировании окрашенного продукта реакции пиррола с реактивом Эрлиха с последующим пересчётом содержания АЛК на 1 г креатинина (КР).

Уровни глюкозы, холестерина, холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС ЛПВП), холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП) определяли с использованием наборов реагентов «Витал», уровни триглицеридов (ТГ) — наборами реагентов «Thermo Fisher», аполипопротеинов А1 (Апо А1) и В (Апо В), липопротеина (ЛП) (а) — методом иммунотурбидиметрии с использованием наборов реагентов «DiaSys». Инсулин определяли методом иммуноферментного анализа с использованием наборов реагентов «Вектор-Бест».

Проводили расчёт показателей ХС не-ЛПВП (ХС не-ЛПВП = Общий холестерин – ХС ЛПВП), индекса атерогенности (ИА) (ИА = (Общий холестерин – ХС ЛПВП)/ХС ЛПВП), соотношения аполипопротеинов В и А1 (Апо В/Апо А1), расчёт соотношения триглицеридов и ХС-ЛПВП (ТГ/ХС ЛПВП), метаболического индекса (МИ = (ТГ × глюкоза)/ХС-ЛПВП²), индекса инсулинорезистентности НОМА-IR (Homeostasis Model Assessment of Insulin Resistance) (НОМА-IR=(инсулин × глюкоза)/22,5) [15].

Исследование проведено с соблюдением этических стандартов проведения медицинских исследований с участием человека согласно требованиям Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации, с информированного согласия пациентов. Проведение исследования одобрено заключением локального комитета по этике ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол заседания этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» № 5 от 02.08.2023 г.).

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программы Statistica 10.0. Количественные данные представлены в виде медианы и квартилей: Me (Q1; Q3), где Me — медиана, Q1 — нижний квартиль, Q3 — верхний квартиль. Наличие различий между группами по количественным данным определяли с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни (при сравнении двух групп) и с использованием критерия Крускала-Уоллиса (при сравнении трёх групп) с последующим проведением апостериорного анализа при наличии различий попарно между группами. Анализ взаимосвязей между количественными переменными проводили на основании расчёта непараметрического коэффициента корреляции Спирмена (r).

Результаты. Проведён анализ специфических маркеров воздействия свинца на организм, концентрация свинца в крови находилась в диапазоне 15–40 мкг/дл у 53,2% обследованных, у 33,9% — уровень свинца в крови составляет 40–60 мкг/дл, у 12,9% — выше 60 мкг/дл. Уровень АЛК в моче ниже 20 мкмоль/гКР выявлен у 69,3%, у 19,4% — в диапазоне 20–30 мкмоль/гКР, у 11,3% — выше 30 мкмоль/гКР.

У лиц основной группы уровень холестерина <5,2 ммоль/л выявлен в 53,2%, однако у данных лиц отмечается изменение других показателей липидного обмена: уровень ХС ЛПВП <1 ммоль/л выявлен в 69,7%, ХС ЛПНП >3 ммоль/л — в 27,7%, триглицеридов >1,7 ммоль/л — в 24,3%. При этом для в рамках проведения периодических медицинских осмотров исследуется

уровень только общего холестерина, что является недостаточным для оценки состояния липидного обмена.

Для оценки состояния углеводного обмена в рамках проведения периодических медицинских осмотров исследуется уровень глюкозы сыворотки, у лиц основной группы уровень глюкозы <6,1 ммоль/л наблюдается в 75,8%, при этом у 15,8% обследованных с уровнем глюкозы в пределах референтных значений выявлено повышение НОМА-IR>2,7, что свидетельствует о наличии инсулинорезистентности. При этом для оценки наличия инсулинорезистентности без исследования уровня инсулина могут использоваться индексы, рассчитываемые с использованием показателей липидного обмена (ТГ/ХСЛПВП, МИ). Выявлено, что у 57,4% обследованных с уровнем глюкозы <6,1 ммоль/л отмечается повышение данных индексов выше пороговых значений [15], что свидетельствует о их высокой чувствительности при выявлении метаболических нарушений. При этом отмечается средняя степень взаимосвязи между НОМА-IR и косвенными маркерами инсулинорезистентности (коэффициенты корреляции НОМА-IR с ТГ/ХСЛПВП и МИ $r=0,525$ и $r=0,568$ соответственно, $p<0,001$).

При проведении сравнительного анализа маркеров углеводного и липидного обмена между основной и контрольной группами выявлены достоверно более низкие значения уровней ХС ЛПВП и аполипопротеина А1 и более высокие значения инсулина, НОМА-IR и метаболического индекса у работников свинецперерабатывающего предприятия по сравнению с контрольной группой (табл. 1).

У обследованных работников основной группы проведён корреляционный анализ изученных клинко-лабораторных показателей со стажем работы и возрастом, выявлена взаимосвязь со стажем работы показателей, связанных с концентрацией ЛПВП: ХС ЛПВП, ИА, Апо А1, Апо В/Апо А1, МИ (табл. 2), что подтверждает влияние воздействия вредных производственных факторов предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на уровень ЛПВП. Ассоциаций значений показателей углеводного и липидного обмена с уровнем свинца в крови и АЛК в моче не выявлено.

Значения коэффициента корреляции между уровнями апобелка А1, основного белкового компонента ЛПВП, и ХС ЛПВП составляет $r=0,765$ ($p<0,001$). При этом у 13,8% обследованных с уровнем ХС-ЛПВП более 1 ммоль/л выявлен сниженный уровень Апо А1.

Анализ изученных маркеров сердечно-сосудистого риска в различных стажевых группах работников предприятия по вторичной переработке свинецсодержащих изделий, сопоставимых по возрасту, продемонстрировал наличие различий по показателям, связанным с содержанием ЛПВП (ХС-ЛПВП, ИА, Апо А1, Апо В/Апо А1) и наличием инсулинорезистентности (ТГ/ХС ЛПВП, МИ) (табл. 3), при этом значимые изменения этих показателей наблюдаются в группе со стажем от 10 лет.

Изменения показателей содержания атерогенных липопротеинов (ХС ЛПНП, ХС не-ЛПВП, аполипопротеин В) у работников свинецперерабатывающего предприятия не выявлено (табл. 1, 3). Белок аполипопротеин В присутствует во всех атерогенных протеинах, таким образом, показатели ХС не-ЛПВП и Апо В тесно взаимосвязаны. Уровень аполипопротеина В имеет сильную прямую корреляционную взаимосвязь с уровнем ХС ЛПНП ($r=0,833$, $p<0,001$), ХС не-ЛПВП ($r=0,871$, $p<0,001$), что

Таблица 1 / Table 1

Уровни метаболических показателей в обследованных группах
Levels of metabolic markers in the examined groups

Показатель	Референтные значения	Основная группа	Контрольная группа	Уровень значимости
ИМТ, кг/м ²	18,5–25	28 (24; 32)	27,5 (25,4; 29,1)	$p=0,566$
Холестерин, ммоль/л	<5,2	5,1 (4,3; 5,8)	5,2 (4,6; 6,0)	$p=0,576$
ХС ЛПВП, ммоль/л	>1	0,98 (0,82; 1,15)	1,2 (1,12; 1,4)	$p<0,001$
ХС ЛПНП, ммоль/л	<3	3,31 (2,58; 3,97)	3,32 (2,75; 3,98)	$p=0,838$
ТГ, ммоль/л	<1,7	1,53 (1,13; 2,48)	1,4 (1,11; 2,29)	$p=0,347$
ХС не-ЛПВП, ммоль/л	<3,8	4,1 (3,1; 5)	4,1 (3,3; 4,8)	$p=0,964$
ИА	2,2–3,5	4 (3,2; 4,9)	3,6 (2,8; 4,4)	$p=0,111$
Апо А1, мг/дл	>120	127 (112; 152)	156 (134; 177)	$p<0,001$
Апо В, мг/дл	<100	102 (81; 122)	103 (84; 124)	$p=0,796$
Апо В/Апо А1	<0,9	0,77 (0,58; 0,99)	0,61 (0,46; 0,75)	$p=0,151$
ЛП (а), мг/л	<500	81,5 (45; 181)	52 (26; 197)	$p=0,44$
ТГ/ХС ЛПВП	<1,37	1,54 (1,02; 2,57)	0,96 (1,08; 1,57)	$p=0,068$
Глюкоза, ммоль/л	<6,1	5,5 (5,3; 6)	5,6 (5,5; 5,8)	$p=0,45$
Инсулин, мМЕ/л	1–25	7 (3,2; 9,2)	3,5 (2,5; 5,7)	$p=0,037$
НОМА-IR	<2,7	1,68 (0,78; 2,53)	0,86 (0,63; 1,43)	$p=0,046$
МИ	<7	8,56 (5,35; 15,95)	3,72 (2,23; 7,56)	$p=0,008$

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты корреляции метаболических показателей со стажем и возрастом работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей

Correlation coefficients of metabolic markers with the length of service and age in workers of lead-acid batteries recycling plant

Показатель	Корреляция со стажем		Корреляция с возрастом	
	r	p	r	p
Холестерин	0,03	0,82	0,015	0,911
ХС ЛПВП	–0,35	0,006	–0,009	0,942
ХС ЛПНП	–0,046	0,725	0,077	0,553
ТГ	0,105	0,477	–0,028	0,851
Хс не-ЛПВП	0,084	0,515	0,068	0,601
ИА	0,258	0,043	0,072	0,58
Апо А1	–0,313	0,013	–0,057	0,658
Апо В	0,112	0,386	0,022	0,869
Апо В/Апо А1	0,287	0,024	0,071	0,585
ЛП (а)	0,106	0,414	0,089	0,493
ТГ/ХС ЛПВП	0,224	0,08	0,004	0,975
Глюкоза	0,022	0,866	0,212	0,099
Инсулин	0,194	0,186	0,185	0,207
НОМА-IR	0,203	0,167	0,185	0,207
МИ	0,262	0,040	0,039	0,765

косвенно свидетельствует об их взаимозаменяемости. При этом при значениях ХС ЛПНП менее 3 ммоль/л и значениях ХС не-ЛПВП менее 3,8 ммоль/л выявлен повышенный уровень аполипопротеина В в 8%.

Не выявлены различия между группами по уровню липопротеина (а) (табл. 1, 3), отсутствуют зависимости этого показателя от стажа работы и возраста (табл. 2), что подтверждает данные об отсутствии изме-

нения этого показателя в течение жизни [16]. При этом у 11,2% обследованных основной группы уровни уровня ЛП (а) > 500 мг/л, что ассоциировано с повышенным сердечно-сосудистым риском, для данного показателя не выявлено взаимосвязей с другими маркерами липидного обмена.

Обсуждение. Согласно данным ВОЗ [17], уже при концентрациях свинца в крови выше 5 мкг/дл отмечается

Уровни метаболических показателей у работников основной группы в зависимости от стажа
Levels of metabolic markers in the workers of the main group, depending on the length of service

Показатель	Подгруппы			Уровень значимости
	1	2	3	
	Стаж, лет			
	до 5	5–9	10–14	
Возраст, лет	42 (34; 48)	41 (38; 52)	39 (38; 45)	$p=0,787$
Свинец в крови, мкг/дл	38 (30; 50)	40 (32; 57)	39 (30; 47)	$p=0,599$
АЛК в моче, мкмоль/гКР	14 (12; 18)	17 (11; 27)	14 (9; 19)	$p=0,228$
Холестерин, ммоль/л	5,0 (4,3; 5,6)	5,1 (4,2; 5,8)	5,2 (3,7; 6,6)	$p=0,828$
ХС ЛПВП, ммоль/л	1,02 (0,96; 1,2)	1,03 (0,9; 1,23)	0,82 (0,67; 0,95)	$p_{1-3}=0,006$ $p_{2-3}=0,017$
ХС ЛПНП, ммоль/л	3,25 (2,94; 3,94)	3,33 (2,74; 3,67)	3,25 (2,34; 4,65)	$p=0,988$
ТГ, ммоль/л	1,57 (1,17; 1,8)	1,27 (0,93; 1,85)	1,83 (1,29; 2,79)	$p=0,110$
ХС не-ЛПВП, ммоль/л	3,9 (3,34; 4,55)	4,26 (3,18; 5,07)	4,63 (2,85; 5,65)	$p=0,659$
ИА	3,5 (3,2; 4)	4,2 (2,7; 5,1)	4,6 (3,5; 6,8)	$p_{1-3}=0,003$
Апо А1, мг/дл	144,5 (124; 152)	129 (117; 160)	114 (91; 123)	$p_{1-3}=0,018$ $p_{2-3}=0,01$
Апо В, мг/дл	89,5 (75; 120)	101 (86; 117)	115 (77; 142)	$p=0,496$
Апо В/Апо А1	0,64 (0,55; 0,77)	0,8 (0,59; 0,92)	0,93 (0,68; 1,38)	$p_{1-3}=0,022$
ЛП (а), мг/л	84 (22; 153)	80 (37; 400)	83 (52; 184)	$p=0,906$
ТГ/ХС-ЛПВП	1,5 (0,97; 1,62)	1,2 (0,95; 2,34)	2,3 (1,31; 4,16)	$p_{2-3}=0,01$
Глюкоза, ммоль/л	5,9 (4,9; 6,3)	5,5 (5,0; 6,0)	5,5 (5,3; 5,8)	$p=0,701$
Инсулин	5,6 (2,2; 12,1)	5,8 (2,9; 2,1)	7,8 (6,7; 13,8)	$p=0,130$
НОМА-IR	1,28 (0,53; 2,96)	1,41 (0,78; 2,09)	1,88 (1,63; 3,67)	$p=0,132$
МИ	6,4 (5,4; 10,7)	6,5 (3,6; 14,7)	13,4 (8,7; 34,5)	$p_{1-3}=0,032$ $p_{2-3}=0,023$

повышение сердечно-сосудистого риска, при этом у всех обследованных работников предприятия по переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей уровни свинца в крови были выше 15 мкг/дл. При анализе наличия ассоциаций показателей липидного и углеводного обменов с уровнем свинца в крови и стажем работы выявлены только взаимосвязи со стажем — достоверное изменение метаболических показателей наблюдается при стаже от 10 лет, что свидетельствует о значимом повышении сердечно-сосудистого риска при работе на данном предприятии в течение 10 и более лет, отсутствие взаимосвязей с уровнем свинца в крови может быть связано с изменением данного показателя в процессе работы.

Из маркеров липидного обмена под воздействием вредных производственных факторов предприятия по переработке свинцовых аккумуляторов снижаются показатели, ассоциированные с уровнем ЛПВП, обладающих антиатерогенным действием, (ХС ЛПВП, аполипопротеин А1) без изменения уровня общего холестерина и показателей, отражающих содержание атерогенных липопротеинов. Однако имеются данные об изменении при воздействии свинца уровня не только ЛПВП, но и ЛПНП [8, 11], что в данном исследовании не показано, в связи с чем для расширения лабораторного обследования работников свинецперерабатывающего предприятия можно рекомендовать исследование именно ХС ЛПВП. Также показатель ХС ЛПВП используется для расчёта ХС не-ЛПВП, кото-

рый требуется для стратификации сердечно-сосудистого риска по шкале SCORE2, что рекомендуется всем лицам старше 40 лет [18], при этом может быть особо значимым у работающих в контакте со свинцом с учётом выявленного снижения ХС ЛПВП без изменения уровня общего холестерина, который используется для оценки кардиориска по шкале SCORE.

Согласно клиническим рекомендациям по диагностике нарушений липидного обмена [18] хотя бы раз в жизни у любого взрослого рекомендовано измерить уровень липопротеина (а), который является независимым предиктором развития ССЗ и их осложнений [19], что особенно актуально при оценке сердечно-сосудистого риска у работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, влияющих на развитие кардиоваскулярной патологии.

Отсутствие различий по уровню глюкозы между основной и контрольной группами, но наличие у работников свинецперерабатывающего предприятия более высоких уровней инсулина и индекса НОМА-IR свидетельствует о взаимосвязи действия вредных производственных факторов с развитием инсулинорезистентности, ранняя диагностика и коррекция которой позволяет предупредить развитие ассоциированных патологий [20]. Для диагностики инсулинорезистентности дополнительно к уровню глюкозы требуется исследование инсулина, однако наличие значимых корреляционных взаимосвязей

между НОМА-IR и индексом ТГ/ХС ЛПВП, метаболическим индексом позволяет использовать для косвенной оценки инсулинорезистентности скрининговые показатели липидограммы (ХС ЛПВП, триглицериды).

Заключение. На основании проведённого исследования показано влияние воздействия вредных производственных факторов предприятия по переработке свинцово-кислот-

ных аккумуляторных батарей на развитие нарушений липидного и углеводного обмена, что определяет значимость исследования у работников данных предприятий для объективизации оценки состояния метаболических процессов дополнительных лабораторных показателей, в первую очередь ХС ЛПВП и триглицеридов, с оценкой расчётных индексов (ХС не-ЛПВП, ТГ/ХС ЛПВП, МИ).

Список литературы

- 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): 472–482. <https://doi.org/10.1289/ehp.9785>
- Новикова М.А., Пушкарев Б.Г., Судаков Н.П., Никифоров С.Б., Гольдберг О.А. Механизмы влияния свинцовой интоксикации на сердечно-сосудистую систему (сообщение 2). *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2013; 119(4): 15–17. <https://elibrary.ru/qiwqhf>
- Chowdhury R., Ramond A., O’Keeffe L.M., Shahzad S., Kunutsor S.K., Muka T. et al. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *Br Med J.* 2018; 362: k3310. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>
- Соркина Н.С., Кузьмина Л.П., Артемова Л.В., Безрукавникова Л.М. Некоторые вопросы воздействия свинца на заболеваемость органов кровообращения и дыхания. *Мед. труда и пром. ecol.* 2019; 59(12): 983–988. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-983-988> <https://elibrary.ru/fvgjxt>
- Pan Z., Gong T., Liang P. Heavy metal exposure and cardiovascular disease. *Circ Res.* 2024; 134(9): 1160–1178. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.123.323617>
- Prokopowicz A., Sobczak A., Szula-Chraplewska M., Zaciera M., Kurek J., Szołtysek-Boldys I. Effect of occupational exposure to lead on new risk factors for cardiovascular diseases. *Occupational & Environmental Medicine.* 2017; 74(5): 366–373. <https://doi.org/10.1136/oemed-2016-103996>
- Tyrrell J.B., Hafida S., Stemmer P., Adhami A., Leff T. Lead (Pb) exposure promotes diabetes in obese rodents. *J Trace Elem Med Biol.* 2017; 39: 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.10.007>
- He L., Chen Z., Dai B., Li G., Zhu G. Low-level lead exposure and cardiovascular disease: the roles of telomere shortening and lipid disturbance. *J. Toxicol Sci.* 2018; 43(11): 623–630. <https://doi.org/10.2131/jts.43.623>
- Wang N., Sheng Z., Zhou S., Jiang F., Zhang Z. Chronic lead exposure exacerbates hepatic glucolipid metabolism disorder and gut microbiota dysbiosis in high-fat-diet mice. *Food Chem. Toxicol.* 2022; 170: 113451. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113451>
- Wang B., Zhang W., Chen C., Chen Y., Xia F., Wang N. et al. Lead exposure and impaired glucose homeostasis in Chinese adults: A repeated measures study with 5 years of follow-up. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022; 243: 113953. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113953>
- Firoozichahak A., Rahimnejad S., Rahmani A., Parvazimehr A., Aghaei A., Rahimpour R. Effect of occupational exposure to lead on serum levels of lipid profile and liver enzymes: An occupational cohort study. *Toxicol Rep.* 2022; 2(9): 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.02.009>
- Qader A., Rehman K., Akash M.Sh. Biochemical profiling of lead-intoxicated impaired lipid metabolism and its amelioration using plant-based bioactive compound. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(40): 60414–60425. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20069-5>
- Institute for Health Metrics and Evaluation. Lead exposure — Level 3 risk. Seattle: University of Washington; 2024. <https://www.healthdata.org/research-analysis/diseases-injuries-risks/factsheets/2021-lead-exposure-level-3-risk>
- Lanphear B.P., Rauch S., Auinger P., Allen R.W., Hornung R.W. Lowlevel lead exposure and mortality in US adults: a populationbased cohort study. *Lancet Public Health.* 2018; 3(4): e177–e184. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(18\)30025-2](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(18)30025-2)
- Ройтберг Г.Е., Дорош Ж.В., Шархун О.О., Ушакова Т.И., Трубино Е.А. Возможность применения нового метаболического индекса при оценке инсулинорезистентности в клинической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* 2014; 10(3): 264–274. <https://elibrary.ru/shbhzb>
- Афанасьева О.И., Покровский С.Н. Липопротеид(а) — недооценённый в России фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний. Время внедрять в клиническую практику. *Российский кардиологический журнал.* 2024; 29(8): 6035. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6035> <https://elibrary.ru/abzklid>
- Руководство ВОЗ по клиническому ведению лиц, подвергшихся воздействию свинца. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2022 г. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.who.int/ru/publications/i/item/9789240037045>
- Ежов М.В., Кухарчук В.В., Сергиенко И.В., Алиева А.С., Анциферов М.Б., Аншелес А.А. и др. Нарушения липидного обмена. Клинические рекомендации 2023. *Российский кардиологический журнал.* 2023; 28(5): 5471. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5471> <https://elibrary.ru/yvzowj>
- Verbeek R., Sandhu M.S., Hovingh G.K., Sjouke B., Wareham N.J., Zwinderman A.H. et al. Lipoprotein(a) improves cardiovascular risk prediction based on established risk algorithms. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69(11): 1513–1515. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.01.017>
- Голивец Т.П., Ликризон С.В., Дубоносова Д.Г. Инсулинорезистентность как предиктор полиморбидности. Патогенетическая терапия (обзор литературы). *Актуальные проблемы медицины.* 2022; 45(1): 5–19. <https://doi.org/10.52575/2687-0940-2022-45-1-5-19> <https://elibrary.ru/qrzztm>

References

- 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): 472–482. <https://doi.org/10.1289/ehp.9785>
- Novikova M.A., Pushkarev B.G., Sudakov N.P., Nikiforov S.B., Goldberg O.A. Mechanisms of influence of lead intoxication on cardiovascular system (report 2). *Sibirskij Medicinskij Zhurnal (Irkutsk)*. 2013; 119(4): 15–17. <https://elibrary.ru/qiwqhf> (in Russian).
- Chowdhury R., Ramond A., O’Keeffe L.M., Shahzad S., Kunutsor S.K., Muka T. et al. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *Br Med J.* 2018; 362: k3310. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>
- Sorkina N.S., Kuzmina L.P., Artemova L.V., Bezrukavnikova L.M. Issues of the effects of lead on circulatory and respiratory diseases. *Med. truda i prom. ecol.* 2019; 59(12): 983–988. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-983-988>

- 9428-2019-59-12-983-988 <https://elibrary.ru/fvgjxt> (in Russian)
5. Pan Z., Gong T., Liang P. Heavy metal exposure and cardiovascular disease. *Circ. Res.* 2024; 134(9): 1160–1178. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.123.323617>
 6. Prokopowicz A., Sobczak A., Szula-Chraplewska M., Zaciera M., Kurek J., Szoltysek-Boldys I. Effect of occupational exposure to lead on new risk factors for cardiovascular diseases. *Occupational & Environmental Medicine.* 2017; 74(5): 366–373. <https://doi.org/10.1136/oemed-2016-103996>
 7. Tyrrell J.B., Hafida S., Stemmer P., Adhami A., Leff T. Lead (Pb) exposure promotes diabetes in obese rodents. *J Trace Elem Med Biol.* 2017; 39: 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.10.007>
 8. He L., Chen Z., Dai B., Li G., Zhu G. Low-level lead exposure and cardiovascular disease: the roles of telomere shortening and lipid disturbance. *J. Toxicol. Sci.* 2018; 43(11): 623–630. <https://doi.org/10.2131/jts.43.623>
 9. Wang N., Sheng Z., Zhou S., Jiang F., Zhang Z. Chronic lead exposure exacerbates hepatic glucolipid metabolism disorder and gut microbiota dysbiosis in high-fat-diet mice. *Food Chem. Toxicol.* 2022; 170: 113451. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113451>
 10. Wang B., Zhang W., Chen C., Chen Y., Xia F., Wang N. et al. Lead exposure and impaired glucose homeostasis in Chinese adults: A repeated measures study with 5 years of follow-up. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022; 243: 113953. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113953>
 11. Firoozichahak A., Rahimnejad S., Rahmani A., Parvizimehr A., Aghaei A., Rahimpour R. Effect of occupational exposure to lead on serum levels of lipid profile and liver enzymes: An occupational cohort study. *Toxicol Rep.* 2022; 2(9): 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.02.009>
 12. Qader A., Rehman K., Akash M.S.H. Biochemical profiling of lead-intoxicated impaired lipid metabolism and its amelioration using plant-based bioactive compound. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(40): 60414–60425. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20069-5>
 13. Institute for Health Metrics and Evaluation. Lead exposure — Level 3 risk. Seattle: University of Washington; 2024. <https://www.healthdata.org/research-analysis/diseases-injuries-risks/factsheets/2021-lead-exposure-level-3-risk>
 14. Lanphear B.P., Rauch S., Auinger P., Allen R.W., Hornung R.W. Lowlevel lead exposure and mortality in US adults: a populationbased cohort study. *Lancet Public Health.* 2018; 3(4): e177–e184. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(18\)30025-2](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(18)30025-2)
 15. Roytberg G.E., Dorosh Ja.V., Sharkhun O.O., Ushakova T.I., Trubino E.A. New metabolic index use potentialities in evaluation of insulin resistance in clinical practice. *Rational pharmacotherapy in cardiology.* 2014; 10(3): 264–274. <https://elibrary.ru/shbhzb> (in Russian).
 16. Afanasyeva O.I., Pokrovsky S.N. Lipoprotein(a) as underestimated cardiovascular risk factor in Russia. Time to introduce into clinical practice. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal.* 2024; 29(8): 6035. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6035>. <https://elibrary.ru/abzklk> (in Russian).
 17. WHO guideline for the clinical management of exposure to lead Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240037045>
 18. Ezhov M.V., Kukharchuk V.V., Sergienko I.V., Alieva A.S., Antsiferov M.B., Ansheles A.A. et al. Disorders of lipid metabolism. Clinical Guidelines 2023. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal.* 2023; 28(5): 5471. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5471> <https://elibrary.ru/yvzowj> (in Russian).
 19. Verbeek R., Sandhu M.S., Hovingh G.K., Sjouke B., Wareham N.J., Zwinderman A.H. et al. Lipoprotein(a) improves cardiovascular risk prediction based on established risk algorithms. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017; 69(11): 1513–1515. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.01.017>
 20. Golivets T.P., Likrizon S.V., Dubonosova D.G. Insulin resistance as a predictor of polymorbidity. Pathogenetic therapy (review). *Challenges in modern medicine.* 2022; 45(1): 5–19. <https://doi.org/10.52575/2687-0940-2022-45-1-5-19> <https://elibrary.ru/qrzttm> (in Russian).

Сведения об авторах:

Кузьмина Людмила Павловна

заместитель директора по научной работе, заслуженный деятель науки РФ, д-р биол. наук, профессор.

E-mail: lpkuzmina@mail.ru<https://orcid.org/0000-0003-3186-8024>

Хотулева Анастасия Григорьевна

старший научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований, канд. мед. наук.

E-mail: hotuleva_an@mail.ru<https://orcid.org/0000-0003-0359-1785>

Коляскина Мария Михайловна

ст. науч. сотр. лаборатории медико-биологических исследований, канд. мед. наук.

E-mail: kolaskina_m@mail.ru<https://orcid.org/0000-0001-5356-1598>

Безрукавникова Людмила Михайловна

вед. науч. сотр. лаборатории медико-биологических исследований, канд. биол. наук.

E-mail: bezrukavnikovalm@mail.ru<https://orcid.org/0000-0002-0430-4154>

Капранова Ольга Алексеевна

мл. науч. сотр. лаборатории медико-биологических исследований.

E-mail: kapralova_olga54@mail.ru<https://orcid.org/0009-0006-6506-3696>**About the authors:**

Lyudmila P. Kuzmina

The Deputy Director for Research, Honored Scientist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Biol.), Professor.

E-mail: lpkuzmina@mail.ru<https://orcid.org/0000-0003-3186-8024>

Anastasia G. Khotuleva

Senior Research Associate at the Laboratory of Biomedical Research, Cand. of Sci. (Med.).

E-mail: hotuleva_an@mail.ru<https://orcid.org/0000-0003-0359-1785>

Mariya M. Kolyaskina

Senior Research Associate at the Laboratory of Biomedical Research, Cand. of Sci. (Med.)

E-mail: kolaskina_m@mail.ru<https://orcid.org/0000-0001-5356-1598>

Lyudmila M. Bezrukavnikova

Leading Research Associate at the Laboratory of Biomedical Research, Cand. of Sci. (Biol.).

E-mail: bezrukavnikovalm@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0430-4154>

Olga A. Kapralova

Junior Research Associate at the Laboratory of Biomedical Research.

E-mail: kapralova_olga54@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0006-6506-3696>
