

УДК 613.6:669.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ПЛАВИЛЬЩИКОВ СВИНЦА ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Иващенко М.А.¹, Федорук А.А.¹, Каримова Л.К.², Мартин С.В.¹, Кудряшов И.Н.¹,
Беломестнова О.В.¹

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья
рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, Екатеринбург, Россия

²ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия

Свинец благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам широко применяется в различных отраслях промышленности. В настоящее время проведена модернизация ряда производств и в качестве сырья для его получения чаще стали использовать вторичные ресурсы: свинцовый лом, отработанные аккумуляторы, оборотные полупродукты и отходы цветной металлургии. Технологические изменения имеют перспективы внедрения на других предприятиях отрасли, что повлечет увеличение контингента занятых во вредных условиях труда работников. В настоящее время данных о составе и физико-химических свойствах промышленного аэрозоля, присутствующего в воздухе рабочей зоны производства свинца из разнообразного вторичного сырья, недостаточно, что определяет новые риски для здоровья работников.

Цель исследования. Сравнительная оценка условий труда плавильщиков до и после модернизации производства свинца из вторичного сырья для обоснования основных направлений по снижению профессионального риска ущерба здоровью.

Материалы и методы. Проведен сравнительный анализ условий труда работников, занятых получением свинца из вторичного сырья до и после модернизации производства.

Характеристика условий труда до технологической реконструкции производства основана на опубликованных материалах санитарно-гигиенических исследований, проведенных в 1998-2000 гг.

Условия труда в современном производстве оценены по материалам специальной оценки условий труда и производственного лабораторного контроля и по результатам собственных контрольных измерений факторов рабочей среды.

Содержание химических веществ в воздухе рабочей зоны определяли методами атомно-абсорбционной спектроскопии высокого разрешения с непрерывным источником спектра и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Анализ аэрозоля проведен с применением сканирующей электронной микроскопии.

Измерение физических факторов производственной среды (вибрация, освещенность, микроклимат) проводили по общепринятым методикам, уровень шума измеряли с использованием индивидуальных дозиметров. Тяжесть трудового процесса устанавливали по основным эргономическим показателям с учетом характера и длительности операций.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программ Statistica (StatSoft) и Microsoft Office Excel 2021 (Microsoft) и представляли в виде средних значений и диапазонов показателей.

Результаты. В производстве до технологического перевооружения ведущим фактором была пыль сложного химического состава с превышением среднесменной предельно допустимой концентрации свинца в 1,3–2,4 раза. С учетом сочетанного воздействия химического фактора, нагревающего микроклимата, производственного шума и тяжести трудового процесса условия труда плавильщиков соответствовали классу 3.3. В современном производстве, в отличие от предыдущего технологического периода, химический фактор приобрел более выраженный многокомпонентный характер. В зависимости от производственного участка среднесменные концентрации свинца находились в диапазоне 0,426 – 1,007 мг/м³, мышьяка - 0,037-0,0923 мг/м³; оксида цинка - 0,269-4,34 мг/м³; меди - 0,032-0,3420,269-4,34 мг/м³. Одновременное воздействие химических веществ, нагревающего микроклимата, шума и физической нагрузки определило итоговую оценку условий труда плавильщиков как вредный класс 3.4.

Ограничения исследования. Основным ограничением является ретроспективный характер сопоставления производства до технологического перевооружения и современного производства: исторические данные получены в иной нормативной и технологической ситуации, поэтому прямое сравнение возможно только по ключевым гигиеническим показателям.

Часть исторических и современных материалов имеет различный объем измерений по участкам и факторам, поэтому при интерпретации результатов

акцент сделан на среднесменных показателях и ведущих факторах, устойчиво связанных с технологическим процессом.

Обсуждение. Модернизация производства свинца из вторичного сырья не привела к улучшению условий труда плавильщиков. Рост производственной мощности и расширение номенклатуры перерабатываемого вторичного сырья сопровождались сохранением вредных условий труда по совокупности влияния вредных факторов рабочей среды и трудового процесса. В современном производстве приоритетным фактором профессионального риска является аэрозоль сложного химического состава, концентрации входящих в него элементов в воздухе рабочей зоны значительно превышают соответствующие гигиенические нормативы.

Вредные условия труда класса 3.4 и очень высокая категория профессионального риска ущерба здоровью по гигиеническим показателям обуславливает необходимость разработки комплекса профилактических мероприятий, которые должны быть направлены, прежде всего, на снижение воздействия химического фактора.

Выводы:

1. Модернизация производства вторичного свинца, связанная с увеличением доли оборотных полупродуктов и отходов цветной металлургии в составе сырья, сменой технологии плавки и увеличением объемов производства, сопровождается ухудшением условий труда. Сочетанное воздействие факторов риска (промышленный аэрозоль, нагревающий микроклимат, шум, тяжесть трудового процесса) определяет класс условий труда после модернизации как вредный 3.4 (очень высокий профессиональный риск) против 3.3 (высокий профессиональный риск) до ее проведения.
2. В современном производстве ведущим фактором профессионального риска является многокомпонентный аэрозоль, спектр химического состава которого расширился и, кроме свинца, содержит мышьяк, оксид цинка, медь и другие элементы. Основным элементом аэрозоля является свинец, среднесменные концентрации которого достигали до 20 ПДК, среднесменные концентрации мышьяка и оксида цинка - до 10 ПДК.
3. Для снижения профессионального риска ущерба здоровью работников необходима разработка и внедрение комплексного подхода, включающего организационные, технические, санитарно-гигиенические и медико-

профилактические мероприятия. Приоритетными являются меры, направленные на снижение химической нагрузки.

Ключевые слова: производство свинца, вторичное сырье, плавильщик, аэрозоль сложного химического состава, вредные условия труда

Соблюдение этических стандартов: проведение настоящего исследования не требовало одобрения этического комитета.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Иващенко М.А., Федорук А.А., Каримова Л.К., Мартин С.В., Кудряшов И.Н., Беломестнова О.В. Сравнительная гигиеническая оценка условий труда плавильщиков свинца из вторичного сырья в условиях модернизации производства. Медицина труда и экология человека. 2026; 2:135-157.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10206>

Для корреспонденции: Максим Андреевич Иващенко, e-mail: ivachenko@ymrc.ru

COMPARATIVE OCCUPATIONAL HYGIENE ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS OF SMELTERS IN SECONDARY LEAD PRODUCTION UNDER PRODUCTION MODERNIZATION

Ivashchenko M.A.¹, Fedoruk A.A.¹, Karimova L.K.², Martin S.V.¹, Kudryashov I.N.¹,
Belomestnova O.V.¹

¹ Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

Lead, owing to its unique physicochemical properties, is widely used in various industries. At present, a number of production facilities have been modernized, and secondary resources lead scrap, spent batteries, recycled intermediate products and non-ferrous metallurgy wastes-are increasingly used as raw materials for its production. The technological changes have prospects for implementation at other enterprises in the industry, which will increase the number of workers employed in harmful working conditions. Currently, data on the composition and physicochemical properties of

industrial aerosol present in the workplace air during lead production from various secondary raw materials are insufficient, which determines new risks to workers' health.

The purpose of study. To compare the working conditions of smelters before and after modernization of lead production from secondary raw materials in order to substantiate the main directions for reducing occupational health risk.

Materials and methods. A comparative analysis of working conditions was conducted among workers engaged in lead production from secondary raw materials before and after production modernization. The characteristics of working conditions before technological reconstruction were based on published materials of occupational hygiene studies conducted in 1998-2000. Working conditions in modern production were assessed using materials from the special assessment of working conditions and production laboratory control, as well as the results of the authors' own control measurements of workplace factors. The content of chemical substances in workplace air was determined by high-resolution continuum-source atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. Aerosol analysis was performed using scanning electron microscopy. Physical workplace environment factors (vibration, illumination, microclimate) were measured by generally accepted methods; noise levels were measured using personal dosimeters. Physical workload was assessed using the main ergonomic indicators, taking into account the nature and duration of operations. Statistical data processing was performed using Statistica (StatSoft) and Microsoft Office Excel 2021 (Microsoft), and the data were presented as mean values and ranges.

Results. In production before technological modernization, the leading factor was dust of complex chemical composition, with the shift-average maximum permissible concentration of lead exceeded by 1.3-2.4 times. Considering combined exposure to the chemical factor, heating microclimate, industrial noise and physical workload, smelters' working conditions corresponded to class 3.3. In modern production, unlike the previous technological period, the chemical factor acquired a more pronounced multicomponent nature. Depending on the production site, shift-average concentrations ranged from 0.426 to 1.007 mg/m³ for lead, from 0.037 to 0.0923 mg/m³ for arsenic, from 0.269 to 4.34 mg/m³ for zinc oxide, and from 0.032 to 0.342 mg/m³ for copper. Simultaneous exposure to chemical substances, heating microclimate, noise and physical workload determined the final assessment of smelters' working conditions as harmful class 3.4.

Study limitations. The main limitation is the retrospective nature of the comparison between production before the technological retooling and current production: historical

data was obtained under different regulatory and technological conditions, so a direct comparison is only possible for key hygiene indicators.

Some historical and current data contain different measurement volumes across sites and factors, so when interpreting the results, the emphasis is on average shift indicators and key factors consistently linked to the technological process.

Discussion. Modernization of secondary lead production did not improve smelters' working conditions. The growth in production capacity and expansion of the range of processed secondary raw materials were accompanied by the persistence of harmful working conditions due to the combined influence of harmful factors of the workplace environment and labor process. In modern production, the priority occupational risk factor is an aerosol of complex chemical composition; concentrations of its constituent elements in workplace air significantly exceed the corresponding hygienic standards. Harmful working conditions of class 3.4 and a very high category of occupational health risk according to hygienic indicators determine the need to develop a set of preventive measures aimed primarily at reducing exposure to the chemical factor.

Conclusions.

1. Modernization of secondary lead production, associated with an increased proportion of recycled intermediate products and non-ferrous metallurgy wastes in the raw material composition, a change in smelting technology and increased production volumes, is accompanied by deterioration of working conditions. Combined exposure to risk factors (industrial aerosol, heating microclimate, noise and physical workload) determines the working conditions class after modernization as harmful 3.4 (very high occupational risk) compared with 3.3 (high occupational risk) before modernization.
2. In modern production, the leading occupational risk factor is a multicomponent aerosol whose chemical composition spectrum has expanded and, in addition to lead, contains arsenic, zinc oxide, copper and other elements. The main element of the aerosol is lead, whose shift-average concentrations reached up to 20 MPCs, while shift-average concentrations of arsenic and zinc oxide reached up to 10 MPCs.
3. To reduce occupational health risk among workers, it is necessary to develop and implement an integrated approach including organizational, technical, sanitary-hygienic and medical-preventive measures. Measures aimed at reducing the chemical load are a priority.

Keywords: lead production, secondary raw materials, smelter, aerosol of complex chemical composition, harmful working conditions

Compliance with ethical standards: this study did not require approval by the Ethics Committee.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Funding: the study did not have sponsorship.

For citation: Ivashchenko M.A., Fedoruk A.A., Karimova L.K. , Martin S.V., Kudryashov I.N., Belomestnova O.V. Comparative occupational hygiene assessment of working conditions of smelters in secondary lead production under production modernization. Occupational health and human ecology. 2026; 2: 135-157.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10206>

For correspondence: Maxim A. Ivashchenko, e-mail: ivachenko@ymrc.ru

Свинец широко востребован современной промышленностью и применяется при производстве аккумуляторных батарей, кабельной продукции, защитных экранов от ионизирующего излучения, химически стойких конструкционных материалов, припоев и специальных сплавов [1–3]. Существующие технологии получения свинца подразделяются на две группы: переработку свинецсодержащих руд или вторичного сырья. Использование вторичного сырья, включающего свинецсодержащий лом, оборотные материалы и промышленные отходы, рассматривается как более рентабельное и экологически безопасное, позволяющее возвращать металл в хозяйственный оборот и снижать объем накопленных отходов [2, 4].

Производство свинца из вторичного сырья может осуществляться по различным технологическим схемам, отличающимся видом перерабатываемого сырья, применяемыми плавильными агрегатами и стадийностью процесса. На предприятиях, использующих свинецсодержащие руды и концентраты, технологическая цепочка включает подготовку концентрата, плавку и рафинирование. На предприятиях, где используется вторичное сырье, процесс основан на переработке свинецсодержащего лома, прежде всего отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов, а также оборотных полупродуктов, пылей газоочистки и отходов цветной металлургии [1–7]. Различия в сырьевой базе, температурно-технологических режимах и организации производственного

процесса определяют характер и интенсивность воздействия вредных производственных факторов на работников, вместе с тем независимо от типа технологии процесс плавки свинца сопровождается выделением в воздух рабочей зоны высокотоксичных аэрозолей конденсации и дезинтеграции, состав которых определяется свойствами шихты и применяемых реагентов [5, 6, 8].

В настоящее время на изучаемом производстве проведена модернизация технологического процесса с переходом от схем, основанных преимущественно на шахтной плавке аккумуляторного лома, с последующей обработкой черного свинца в рафинировочных котлах, к переработке вторичного свинецсодержащего сырья и отходов цветной металлургии (главным образом – медеплавильного производства) посредством восстановительной плавки в короткобарабанных печах, электротермической переработки оборотных пылей и полупродуктов в руднотермических печах с последующим получением марочного свинца в рафинировочных котлах.

Вовлечение в переработку разнообразных по составу оборотных полупродуктов и отходов цветной металлургии в составе шихтовых материалов, влекущее за собой замену технологий плавки, имеет перспективы внедрения на других предприятиях производства вторичного свинца. В то же время отсутствуют современные данные об условиях труда, характеристике промышленного аэрозоля при производстве свинца из разнообразного вторичного сырья и потенциальном риске здоровью работающих, что определяет актуальность настоящего исследования.

Цель исследования. Сравнительная оценка условий труда плавильщиков до и после модернизации производства свинца из вторичного сырья для обоснования основных направлений снижения профессионального риска ущерба здоровью.

Материалы и методы. Исследованиями были охвачены рабочие места плавильщиков производства свинца из вторичного сырья. Сравнительный анализ гигиенической ситуации включал оценку условий труда при различных технологиях: в производстве, основанном преимущественно на переработке аккумуляторного лома в шахтной печи, и современном производстве переработки вторичного свинецсодержащего сырья и отходов цветной металлургии с применением восстановительной плавки в короткобарабанных и руднотермических печах.

Гигиеническая оценка условий труда в производстве до технологического перевооружения дана на основе ранее проведенных исследований [8].

Для гигиенической оценки современного производства изучены технологические инструкции, шихтовые карты, сведения о сырье и материалах, а также проведены собственные хронометражные наблюдения и контрольные измерения факторов рабочей среды и трудового процесса. При анализе условий труда работников предприятия до и после модернизации сравнивали только аналогичные показатели.

Данные электронной микроскопии аэрозоля воздуха рабочей зоны изучаемого предприятия приведены по результатам работы И.Г. Шеломенцева [9], выполненной с применением сканирующей электронной микроскопии.

Отбор проб воздуха на рабочих местах плавильщиков проводился пооперационно с применением электроаспираторов М822 на фильтры АФА-ХА-20, с последующим расчетом среднесменных концентраций в соответствии с Приложением 9 Руководства Р 2.2.2006-05. Содержание химических веществ в воздухе рабочей зоны оценивали методами атомно-абсорбционной спектрометрии высокого разрешения с непрерывным источником спектра и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Измерение физических факторов производственной среды (вибрация, освещенность, микроклимат) проводили по общепринятым методикам с применением приборов, внесенных в государственный реестр и имеющих действующую поверку («Экофизика-110А», «ТКА-ПКМ», «Метеоскоп-М», «ИК-метр»). Измерение уровней шума выполняли в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9612-2016 по второй стратегии с использованием индивидуальных дозиметров SV-104 Svantek. Тяжесть трудового процесса устанавливали по основным эргономическим показателям с учетом характера и длительности операций в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05.

Оценку классов условий труда проводили в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05; показатели химических и физических факторов сопоставляли с нормативами СанПиН 1.2.3685-21; категорию профессионального риска оценивали с учетом подходов Р 2.2.3969-23.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программ Statistica (StatSoft) и Microsoft Office Excel 2021 (Microsoft) и представляли в виде средних значений и диапазонов показателей.

Результаты. В ходе проведенного исследования изучены технологические процессы, используемое сырье и оборудование производств свинца из вторичного сырья до и после технологического перевооружения.

Технология и условия труда работников производства на основе шахтной плавки аккумуляторного лома подробно освещены в работе [8]. В публикации указано, что технологическая схема включала подготовку лома, загрузку шихты и флюсов в шахтную печь, плавку, выпуск черного свинца и шлака, последующее рафинирование и розлив готового продукта. Ведущим вредным производственным фактором являлся аэрозоль сложного химического состава, включающий такие элементы, как свинец, цинк и сурьму. Основными источниками пыли являлись загрузочный бункер, шахтная печь, электрические печи, разливочные конвейеры, а также операции по разделке лома, загрузке сырья, выпуску металла и шлака, рафинированию и розливу металла. Среднесменные концентрации пыли на рабочих местах плавильщиков шахтной печи составляли $4,7-77,1 \text{ мг/м}^3$, по данным электронной микроскопии доля частиц размером до 2 мкм составляла 93,7%.

Основным химическим компонентом аэрозоля был свинец, среднесменные концентрации которого на основных рабочих местах составляли от 0,063 до 0,12 мг/м^3 и, соответственно, превышали ПДК в 1,3–2,4 раза. Концентрации сурьмы, олова, меди, железа, цинка соответствовали действующим гигиеническим нормативам.

Микроклимат до технологического перевооружения формировался под влиянием шахтной и электрических печей, расплавленного металла, шлака и разливочных конвейеров. В теплый период года температура воздуха на рабочих местах плавильщиков шахтной печи достигала $25,8-26,4^\circ\text{C}$, интенсивность теплового облучения при отдельных операциях - 1744 Вт/м^2 . В рафинировочном отделении температура воздуха находилась в допустимых пределах, однако максимальная интенсивность теплового облучения достигала $697,5 \text{ Вт/м}^2$.

Эквивалентные уровни звука превышали ПДУ на 1-5 дБА, общая и локальная вибрация соответствовали допустимым величинам.

По тяжести труд плавильщиков относился к классам 3.2–3.3. Общая оценка условий труда с учетом воздействия всех производственных факторов отнесена к классу 3.3.

После технологического перевооружения процесс включал подготовку сырья, плавку свинецсодержащих материалов в короткобарабанных (КБП) и руднотермических (РТП) печах, а также рафинирование черного свинца в котлах до получения марочного металла (РК). Используемое сырье характеризовалось сложным химическим составом и содержало свинец, цинк, мышьяк, сурьму, кадмий, медь, олово, железо и другие элементы.

На участке КБП длительность рабочей смены плавильщиков составляет 12 часов, на участках РТП и РК – восьмичасовая рабочая смена. В функциональные обязанности плавильщиков КБП и РТП входит загрузка сырьевых материалов, обслуживание печей и изложниц, розлив черного свинца и шлакоштейнового промпродукта; плавильщиков РК – операции по загрузке черного свинца и реагентов, ведение стадий рафинирования, съем окислов и дроссов, зачистка котлов и розлив марочного свинца.

В современном производстве источниками аэрозоля дезинтеграции являются следующие технологические операции: подготовка сырья, его загрузка в бункеры, печи и котлы; аэрозоль конденсации образуется при выплавке и розливе металла.

Высокая плотность размещения оборудования способствует распространению аэрозольного загрязнения, характерного для конкретного участка, по всему помещению.

Сравнительная характеристика условий труда плавильщиков в двух производствах свинца представлена в таблице 1.

По среднесменным показателям ведущим загрязнителем современного производства остается свинец: по расчетным контрольным замерам превышение ПДКс.с. на участке КБП составляло 8,52 раза, на участке РТП – 20,14 раза и на участке РК – 11,54 раза. Для мышьяка расчетная кратность превышения ПДК с.с. на различных участках составляла от 3,72 до 9,23 раза. Концентрация цинка оксида превышала допустимый среднесменный уровень только на участке РТП – 8,68 раза. Средний уровень загрязнения воздуха рабочей зоны медью не превышал ПДКс.с.; на участке РТП он составлял 0,68 ПДКс.с. Приведенные данные свидетельствуют, что наиболее неблагоприятная химическая нагрузка формировалась на участках РТП, где перерабатывались оборотные полупродукты, пыли и золы газоочистки и РК, где проводили многостадийные процессы рафинирования свинца при открытом зеркале металла.

Таблица 1. Вредные факторы производственной среды на рабочих местах плавильщиков

Table 1. Harmful factors of the production environment at the workplaces of smelters

Вредные производственные факторы	ПДК _{сс} /ПД _у	До модернизации	После модернизации		
			КБП	РТП	РК
Химические факторы (среднесменные концентрации):					
Pb	0,05 мг/м ³	0,065-0,120	0,426 ± 0,113	1,007 ± 0,103	0,577 ± 0,090
As (неорг.)	0,01 мг/м ³	ниже ПДК	0,037 ± 0,006	0,090 ± 0,010	0,0923 ± 0,0248
ZnO	0,5 мг/м ³	ниже ПДК	0,269 ± 0,016	4,340 ± 1,025	0,334 ± 0,015
Cu	0,5 мг/м ³	ниже ПДК	0,032 ± 0,002	0,342 ± 0,120	0,174 ± 0,033
Физические факторы:					
Шум	80 дБ	81–85 дБА	87,6–89,2 дБ	87,5 дБ	85,1 дБ
Температура воздуха	15–26 °С	25,8–26,4 °С	32,6–33,3 °С	31,7–36,2 °С	до 38,1 °С
Интенсивность теплового излучения	140 Вт/м ²	до 1744 Вт/м ² ; в рафинировочном отделении до 697,5 Вт/м ²	250–513 Вт/м ² ; при розливе 720–828 Вт/м ²	402 Вт/м ² ; при розливе 573–635 Вт/м ²	318 Вт/м ²

По данным сканирующей электронной микроскопии, в воздухе рабочей зоны современного производства преобладали аэрозоли конденсации со сферическими, овальными и агрегированными частицами, размером менее 1 мкм. Микроклимат современного производства может быть оценен как нагревающий. На участке КБП температура воздуха у печи составляла 32,6°C, на площадке обслуживания изложниц 33,3°C. На участке РТП средняя температура в рабочей зоне составляла 31,7°C, при выполнении такой операции, как розлив металла, достигала 36,2°C. На участке РК температура воздуха также превышала гигиенический норматив и достигала 38,1°C при обезмеживании расплава.

Интенсивность теплового излучения превышала санитарные нормы на всех обследованных рабочих местах и колебалась от 250 до 513 Вт/м², при операциях розлива на участках КБП и РТП возрастала до 720-828 и 573-635 Вт/м² соответственно. Экспозиционная доза теплового облучения варьировала от 1729 до 3205 Вт·ч, что соответствовало вредному классу 3.2-3.3.

По данным измерений, локальная вибрация не превышала гигиенические нормативы, тогда как уровни производственного шума формировали вредные условия труда. Эквивалентный уровень шума на участке КБП составлял 87,6 дБ у печи и 89,2 дБ на площадке обслуживания изложниц, на участке РТП - 87,5 дБ, на участке РК - 85,1 дБ. По фактору производственного шума условия труда всех плавильщиков соответствовали классу 3.2.

Оценка тяжести трудового процесса показала, что у плавильщиков современного производства вредный класс условий труда формировался за счет таких эргономических показателей, как суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены с пола, масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную, статическая нагрузка, рабочая поза «стоя», наклоны корпуса более 30°, а также перемещение в пространстве.

Общая оценка условий труда плавильщиков различных производств приведена в таблице 2.

Из приведенных данных следует, что до модернизации условия труда плавильщиков в производстве свинца из лома оценивались как вредные, с итоговым классом 3.3, что соответствовало высокому профессиональному риску. Ведущими факторами являлись: химические, шум, микроклимат, тяжесть труда, значения которых находились в диапазоне классов 3.1–3.3.

После технологической модернизации условия труда на участках КБП, РТП и РК также отнесены к вредным, однако итоговый класс повысился до 3.4, что соответствует очень высокому профессиональному риску. Основным фактором ухудшения условий труда являлся химический, который на всех участках современного производства достиг класса 3.4. Вместе с тем у плавильщиков всех производственных участков имеют место значительные физические нагрузки (классы 3.2-3.3).

Таблица 2. Общая оценка условий труда плавильщиков в различных производствах свинца

Table 2. General assessment of working conditions of smelters in various lead production facilities

Производственные факторы	До модернизации	После модернизации		
	Шахтная плавка	КБП	РТП	РК
Химический	3.2-3.3	3.4	3.4	3.4
Шум	3.1	3.2	3.2	3.2
Локальная вибрация	2.0	2.0	2.0	2.0
Микроклимат	3.1-3.2	3.2	3.2	3.3
Освещенность	2	2	2	2
Тяжесть труда	3.2-3.3	3.2-3.3	3.2	3.3
Итоговый класс	3.3	3.4	3.4	3.4
Категория риска	высокий	очень высокий	очень высокий	очень высокий

Общая оценка условий труда работников стала соответствовать классу 3.4 и категории очень высокого риска за счет повышения интенсивности воздействия химического фактора (класс 3.4).

Обсуждение. Модернизация производства свинца из вторичного сырья не привела к улучшению условий труда плавильщиков. Рост производственной мощности и расширение номенклатуры перерабатываемого вторичного сырья сопровождались сохранением вредных условий труда по совокупности влияния вредных факторов рабочей среды и трудового процесса. В современном производстве приоритетным фактором профессионального риска является аэрозоль сложного химического состава, основным компонентом которого является свинец; концентрации ряда входящих в него элементов в воздухе рабочей зоны значительно превышают соответствующие гигиенические нормативы.

Свинец является кумулятивным ядом, его неорганические соединения отнесены к вероятным канцерогенам для человека [10, 11]. Хроническая профессиональная экспозиция свинцом у работников свинецперерабатывающих производств ассоциирована с изменением эритроцитарных и ретикулоцитарных показателей, нарушениями со стороны органов кровообращения и дыхания, изменениями артериального давления, проявлениями окислительного стресса, изменениями экспрессии генов репарации ДНК и неблагоприятными отдаленными исходами [12-20].

Проведенные исследования спектрального состава аэрозоля показали преобладание респирабельной и ультрадисперсной фракций в аэрозоле воздуха рабочей зоны [9]. Это повышает его потенциальную опасность вследствие способности мелкодисперсных частиц проникать в глубокие отделы легких [21, 22].

Полученные нами данные согласуются с результатами других авторов, показавших, что на работников производства свинца из аккумуляторного лома воздействует комплекс вредных производственных факторов [5-7, 23-25]. Используемое в современном производстве разнообразное многокомпонентное сырье может содержать широкий спектр токсичных примесей, мониторинг за которыми должен быть предусмотрен программой производственного контроля.

Рассматриваемая технология переработки многокомпонентного вторичного сырья способствует сокращению накопления в окружающей среде промышленных отходов. Вместе с тем увеличение объемов производства, плотности размещения оборудования, недостаточная эффективность работы систем вентиляции может сопровождаться возрастанием поступления вредных веществ и распространением аэрозольного загрязнения по производственным помещениям,

увеличением интенсивности шума и тепловыделений, что ведет к возрастанию профессионального риска здоровью и требует проведения мероприятий, направленных на снижение уровня и времени воздействия факторов риска. На этапе планирования необходимо уделять внимание рациональному размещению производственного оборудования.

В изучаемом производстве вредные условия труда класса 3.4 и очень высокая категория профессионального риска ущерба здоровью по гигиеническим показателям обуславливают необходимость разработки комплекса профилактических мероприятий, которые должны быть направлены, прежде всего, на снижение воздействия химического фактора. Особое внимание следует уделить зонам загрузки, плавки, выпуска и розлива металла, а также укрытию и герметизации источников пыле- и газовой выделений, аспирации мест перегрузки и транспортировки пылеобразующих материалов.

Важное значение имеет механизация и автоматизация операций, сопровождающихся наибольшим пыле- и газовой выделением, включая работы с летками, выбивку изложниц, чистку оборудования и удаление производственных отложений. Уборка помещений и оборудования должна проводиться промышленными методами, исключающими вторичное пылеобразование.

Организационные мероприятия должны предусматривать рационализацию режимов труда и отдыха с учетом нагревающего микроклимата, ограничение времени пребывания работников в наиболее неблагоприятных зонах, а также контроль применения средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Медико-профилактические мероприятия должны включать проведение периодических медицинских осмотров в соответствии с действующим законодательством, формирование групп риска с последующим лечением и оздоровлением работников.

Выводы:

1. Модернизация производства вторичного свинца, связанная с увеличением доли оборотных полупродуктов и отходов цветной металлургии в составе сырья, сменой технологии плавки и увеличением объемов производства, сопровождается ухудшением условий труда. Сочетанное воздействие факторов риска (промышленный аэрозоль, нагревающий микроклимат, шум, тяжесть трудового процесса) определяет класс условий труда после модернизации как вредный 3.4

(очень высокий профессиональный риск) против 3.3 (высокий профессиональный риск) до ее проведения.

2. В современном производстве ведущим фактором профессионального риска является многокомпонентный аэрозоль, спектр химического состава которого расширился и, кроме свинца, содержит мышьяк, оксид цинка, медь и другие элементы. Основным элементом аэрозоля является свинец, среднесменные концентрации которого достигали до 20 ПДК, среднесменные концентрации мышьяка и оксида цинка - до 10 ПДК.

3. Для снижения профессионального риска ущерба здоровью работников необходима разработка и внедрение комплексного подхода, включающего организационные, технические, санитарно-гигиенические и медико-профилактические мероприятия. Приоритетными являются меры, направленные на снижение химической нагрузки.

Ограничения исследования. Основным ограничением является ретроспективный характер сопоставления производства до технологического перевооружения и современного производства: исторические данные получены в иной нормативной и технологической ситуации, поэтому прямое сравнение возможно только по ключевым гигиеническим показателям.

Часть исторических и современных материалов имеет различный объем измерений по участкам и факторам, поэтому при интерпретации результатов акцент сделан на среднесменных показателях и ведущих факторах, устойчиво связанных с технологическим процессом.

Список литературы:

1. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2025: Lead. Reston (VA): U.S. Geological Survey; 2025. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-lead.pdf> (дата обращения: 12.05.2026).
2. European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. 2.C.5 Lead production. Copenhagen: EEA; 2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/2-industrial-processes-and-product-use/2-c-metal-production/2-c-5-lead-production-2023> (дата обращения: 12.05.2026).
3. International Lead and Zinc Study Group. World Lead Factbook 2023. Lisbon: ILZSG; 2023. URL: https://www.ilzsg.org/wp-content/uploads/SitePDFs/1_ILZSG%20World%20Lead%20Factbook%202023.pdf (дата обращения: 12.05.2026).

4. United Nations Environment Programme. Used Lead Acid Batteries (ULAB). Nairobi: UNEP; 2024. URL: <https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/pollution-and-health/heavy-metals/used-lead-acid-batteries> (дата обращения: 12.05.2026).
5. Чудинин Н.В. Санитарно-гигиеническая характеристика условий труда при переработке аккумуляторного лома. Гигиена и санитария. 2012;(2):33-37.
6. Чудинин Н.В., Кирюшин В.А. Приоритетные вопросы гигиены труда на предприятиях вторичного свинца. Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2013;21(3):92-97.
7. Маркова О.Л., Иванова Е.В., Кирьянова М.Н., Плеханов В.П. Гигиеническая оценка состояния воздушной среды при производстве свинцово-кислотных аккумуляторов на разных этапах модернизации производства. Экология человека. 2018;(1):31-35. DOI: 10.33396/1728-0869-2018-1-31-35.
8. Федорук А.А. Гигиеническая характеристика производства свинца из вторичного сырья. В кн.: Гигиенические проблемы охраны здоровья городского населения на современном этапе: сборник научно-практических работ. Екатеринбург; 2002:177-180.
9. Шеломенцев И.Г. Многометрическая идентификация и анализ наночастиц в составе полидисперсных аэрозолей воздуха рабочей зоны на основе сканирующей электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией. Гигиена и санитария. 2026;105(4):378-386.
10. World Health Organization. Lead poisoning and health. Geneva: WHO; 2024. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health> (дата обращения: 12.05.2026).
11. International Agency for Research on Cancer. Inorganic and organic lead compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 87. Lyon: IARC; 2006.
12. 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):14-19. DOI: 10.31089/1026-9428-2018-4-14-19.
13. Соркина Н.С., Кузьмина Л.П., Артемова Л.В., Безрукавникова Л.М. Некоторые вопросы воздействия свинца на заболеваемость органов кровообращения и дыхания. Медицина труда и промышленная экология. 2019;59(12):983-988. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-12-983-988.
14. Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Безрукавникова Л.М., Соркина Н.С., Цидильковская Э.С. Использование современных клинико-лабораторных методов исследования при проведении биологического мониторинга воздействия свинца на организм работников свинецперерабатывающего предприятия. Здоровье населения и среда обитания. 2018;7(304):43-47.
15. Шаихова Д.Р., Кикоть А.М., Береза И.А., Сутункова М.П., Брагина И.В., Гурвич В.Б. Экспрессия генов репарации ДНК у работников производства свинца из

- вторичного сырья. Медицина труда и промышленная экология. 2024;64(9):628-632. DOI: 10.31089/1026-9428-2024-64-9-628-632.
16. Хотулева А.Г., Козырева М.С. Эритроцитарные и ретикулоцитарные параметры при проведении биологического мониторинга воздействия свинца на организм. Медицина труда и промышленная экология. 2020;60(11):873-876. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-873-876.
17. 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. Hypertension Research. 2023;46(2):395-407. DOI: 10.1038/s41440-022-01069-x.
18. Kim M.G., Kim Y.W., Ahn Y.S. Does low lead exposure affect blood pressure and hypertension? Journal of Occupational Health. 2020;62(1):e12107. DOI: 10.1002/1348-9585.12107.
19. 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. Frontiers in Public Health. 2022;10:970660. DOI: 10.3389/fpubh.2022.970660.
20. Koh D.H., Locke S.J., Chen Y.C., Purdue M.P., Friesen M.C. Lead exposure in US worksites: a literature review and development of an occupational lead exposure database from the published literature. American Journal of Industrial Medicine. 2015;58(6):605-616. DOI: 10.1002/ajim.22448.
21. Минигалиева И.А., Сутункова М.П., Клинова С.В., Соловьева С.Н., Привалова Л.И., Гурвич В.Б., и др. Экспериментальное изучение кардиотоксического действия наночастиц оксида свинца при разных путях поступления в организм. Здоровье населения и среда обитания. 2020;9(330):67-72. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-67-72.
22. Flora G., Gupta D., Tiwari A. Toxicity of lead: a review with recent updates. Interdisciplinary Toxicology. 2012;5(2):47-58. DOI: 10.2478/v10102-012-0009-2.
23. Чудинин Н.В., Кирюшин В.А., Ракитина И.С. Оценка профессионального риска как метод прогнозирования состояния здоровья работников, занятых во вредных условиях труда. Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2013;(1):5-7.
24. Апрелева Н.Н., Сетко Н.П. Физиолого-гигиеническая оценка безопасности воздушной среды на рабочих местах плавильщиков, вальцовщиков и операторов вторичной обработки цветных металлов. Научное обозрение. Медицинские науки. 2015;(1):52-53.
25. Шур П.З., Редько С.В., Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Фокин В.А. Оценка условий труда и состояния здоровья работников предприятий цветной металлургии. Медицина труда и промышленная экология. 2023;63(8):537-544. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-8-537-544.

References:

1. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2025: Lead. Reston (VA): U.S. Geological Survey; 2025. Available from: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-lead.pdf> (accessed 12.05.2026).
2. European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. 2.C.5 Lead production. Copenhagen: EEA; 2023. Available from: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/2-industrial-processes-and-product-use/2-c-metal-production/2-c-5-lead-production-2023> (accessed 12.05.2026).
3. International Lead and Zinc Study Group. World Lead Factbook 2023. Lisbon: ILZSG; 2023. Available from: https://www.ilzsg.org/wp-content/uploads/SitePDFs/1_ILZSG%20World%20Lead%20Factbook%202023.pdf (accessed 12.05.2026).
4. United Nations Environment Programme. Used Lead Acid Batteries (ULAB). Nairobi: UNEP; 2024. Available from: <https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/pollution-and-health/heavy-metals/used-lead-acid-batteries> (accessed 12.05.2026).
5. Chudin N.V. Sanitary and hygienic characteristics of working conditions during battery scrap processing. *Gigiena i Sanitariya*. 2012;(2):33-37. (In Russ.)
6. Chudin N.V., Kiryushin V.A. Priority occupational hygiene issues at secondary lead enterprises. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2013;21(3):92-97. (In Russ.)
7. Markova O.L., Ivanova E.V., Kir'yanova M.N., Plekhanov V.P. Hygienic assessment of air state in lead-acid accumulator production at different stages of production updating. *Ekologiya Cheloveka*. 2018;(1):31-35. (In Russ.) DOI: 10.33396/1728-0869-2018-1-31-35.
8. Fedoruk A.A. Hygienic characteristics of secondary lead production. In: Hygienic problems of protecting urban population health at the current stage: collection of scientific and practical works. Ekaterinburg; 2002:177-180. (In Russ.)
9. Shelomentsev I.G. Multimetric identification and analysis of nanoparticles in polydisperse aerosols of workplace air based on scanning electron microscopy combined with energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Gigiena i Sanitariya*. 2026;105(4):378-386. (In Russ.)
10. World Health Organization. Lead poisoning and health. Geneva: WHO; 2024. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health> (accessed 12.05.2026).
11. International Agency for Research on Cancer. Inorganic and organic lead compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 87. Lyon: IARC; 2006.
12. Kuz'mina L.P., Sorkina N.S., Khotuleva A.G., Bezrukavnikova L.M., Artemova L.V. The problem of "lead and workers' health" in modern production conditions. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2018;(4):14-19. (In Russ.) DOI: 10.31089/1026-9428-2018-4-14-19.

13. Sorkina N.S., Kuz'mina L.P., Artemova L.V., Bezrukavnikova L.M. Some issues of lead exposure and morbidity of circulatory and respiratory organs. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2019;59(12):983-988. (In Russ.) DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-12-983-988.
14. Kuz'mina L.P., Khotuleva A.G., Bezrukavnikova L.M., Sorkina N.S., Tsidil'kovskaya E.S. Use of modern clinical and laboratory methods in biological monitoring of lead exposure in workers of a lead-processing enterprise. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2018;7(304):43-47. (In Russ.)
15. Shaikhova D.R., Kikot A.M., Bereza I.A., Sutunkova M.P., Bragina I.V., Gurvich V.B. Expression of DNA repair genes in workers producing lead from recycled materials. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2024;64(9):628-632. (In Russ.) DOI: 10.31089/1026-9428-2024-64-9-628-632.
16. Khotuleva A.G., Kozyreva M.S. Erythrocyte and reticulocyte parameters during biological monitoring of lead exposure to the body. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2020;60(11):873-876. (In Russ.) DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-873-876.
17. 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. *Hypertension Research*. 2023;46(2):395-407. DOI: 10.1038/s41440-022-01069-x.
18. Kim M.G., Kim Y.W., Ahn Y.S. Does low lead exposure affect blood pressure and hypertension? *Journal of Occupational Health*. 2020;62(1):e12107. DOI: 10.1002/1348-9585.12107.
19. 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. *Frontiers in Public Health*. 2022;10:970660. DOI: 10.3389/fpubh.2022.970660.
20. Koh D.H., Locke S.J., Chen Y.C., Purdue M.P., Friesen M.C. Lead exposure in US worksites: a literature review and development of an occupational lead exposure database from the published literature. *American Journal of Industrial Medicine*. 2015;58(6):605-616. DOI: 10.1002/ajim.22448.
21. Minigalieva I.A., Sutunkova M.P., Klinova S.V., Solov'eva S.N., Privalova L.I., Gurvich V.B., et al. Experimental study of the cardiotoxic effect of lead oxide nanoparticles by different routes of administration. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020;9(330):67-72. (In Russ.) DOI: 10.35627/2219-5238/2020-330-9-67-72.
22. Flora G., Gupta D., Tiwari A. Toxicity of lead: a review with recent updates. *Interdisciplinary Toxicology*. 2012;5(2):47-58. DOI: 10.2478/v10102-012-0009-2.

23. Chudin N.V., Kiryushin V.A., Rakitina I.S. Occupational risk assessment as a method for predicting health status of workers employed in harmful working conditions. *Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2013;(1):5-7. (In Russ.)
24. Apreleva N.N., Setko N.P. Physiological and hygienic assessment of air safety at workplaces of smelters, rolling-mill operators and operators of secondary non-ferrous metal processing. *Scientific Review. Medical Sciences*. 2015;(1):52-53. (In Russ.)
25. Shur P.Z., Red'ko S.V., Fadeev A.G., Goryaev D.V., Fokin V.A. Assessment of working conditions and health status of workers at non-ferrous metallurgy enterprises. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023;63(8):537-544. (In Russ.) DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-8-537-544.

Сведения об авторах

Иващенко Максим Андреевич - заведующий информационно-аналитическим отделом ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», e-mail: ivachenko@ymrc.ru; ORCID: 0000-0003-1253-3202

Федорук Анна Алексеевна – канд. мед. наук, ученый секретарь, ведущий научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», e-mail: annaf@ymrc.ru; ORCID: 0000-0002-6354-0827

Каримова Лилия Казымовна - д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела комплексных проблем гигиены и экологии человека ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», e-mail: iao_karimova@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-4995-0854

Мартин Сергей Викторович – заведующий отделом медицины труда, научный сотрудник ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», e-mail: martin@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-5863-2164

Кудряшов Иван Николаевич – научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», e-mail: kudryashov@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-7051-5657

Беломестнова Ольга Владимировна - младший научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский - научный центр

профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», Email: belomestnova@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-7886-4392

Information about the authors

Maxim A. Ivashchenko, Head of the Information Analysis Department, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, E-mail: ivachenko@ymrc.ru; ORCID: 0000-0003-1253-3202

Anna A. Fedoruk – Cand. Sci. (Med.), learned secretary, leading researcher at the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers, e-mail: annaf@ymrc.ru; ORCID: 0000-0002-6354-0827

Liliya K. Karimova – Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief researcher at the Department of Complex Problems of Hygiene and Human Ecology of the Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, e-mail: iao_karimova@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-4995-0854

Sergey V. Martin – Head of the Department of Occupational Health, researcher, e-mail: martin@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-5863-2164

Ivan N. Kudryashov – Researcher at the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers, e-mail: kudryashov@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-7051-5657

Olga V. Belomestnova, Junior Researcher, Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, E-mail: belomestnova@ymrc.ru; ORCID: 0000-0001-7886-4392

Поступила/Received: 15.05.2026
Принята в печать/Accepted: 15.06.2026