



Шабардина Л.В.<sup>1</sup>, Минигалиева И.А.<sup>1</sup>, Сутункова М.П.<sup>1,2</sup>, Панов В.Г.<sup>1,3</sup>,  
Федорук А.А.<sup>1</sup>, Микушина Н.А.<sup>1</sup>

## Влияние факторов коксохимического производства на гематологические и биохимические показатели рабочих

<sup>1</sup>ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 620028, Екатеринбург, Россия;

<sup>3</sup>Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, 620219, Екатеринбург, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Коксохимическая промышленность характеризуется воздействием на рабочих комплекса производственных факторов (химическое загрязнение, неблагоприятный микроклимат, шум, вибрация, физические нагрузки). Особую опасность представляют бензол и его гомологи, обладающие гематотоксичностью и канцерогенностью. Изучение общих механизмов такого воздействия – приоритетное направление фундаментальной гигиенической науки.

**Цель исследования** – изучение влияния производственных факторов на организм рабочих коксохимического предприятия в зависимости от стажа работы.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования была периферическая кровь работников коксохимического производства, контактирующих с бензолом и фенолом. Группой сравнения стали лица, соотносимые по полу и возрасту, не контактирующие с данными соединениями. Проведён анализ условий труда, гематологических и биохимических показателей.

**Результаты.** Корреляционно-регрессионный анализ выявил ряд взаимосвязей между некоторыми эритроцитарными, тромбоцитарными индексами и стажем. Обнаружены отклонения показателей клеточного звена и биохимических показателей крови. Получены статистически значимые изменения параметров, свидетельствующие о развитии гипоксии, в группе исследования.

**Ограничения исследования** связаны с изучением условий труда и состояния здоровья работников одного коксохимического предприятия. Небольшая выборка не позволяет сделать однозначных причинно-следственных выводов о факторах, влияющих на гематологические и биохимические нарушения. В исследовании учитывали только влияние вредных производственных факторов на отклонения гематологических и биохимических индексов у работников.

**Заключение.** Выявленные отклонения указывают на ингибирование общей резистентности у работников коксохимических предприятий, подверженных неблагоприятному профессиональному воздействию. Полученные данные могут быть основой для разработки мер по своевременному обнаружению и профилактированию рисков развития патологии.

**Ключевые слова:** коксохимическое производство; бензол; оценка риска; система крови

**Соблюдение этических стандартов.** Все данные анализировали в депersonализованном виде, поэтому заключения этического комитета не требовались.

**Для цитирования:** Шабардина Л.В., Минигалиева И.А., Сутункова М.П., Панов В.Г., Федорук А.А., Микушина Н.А. Влияние факторов коксохимического производства на гематологические и биохимические показатели рабочих. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(2): 178–183. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-2-178-183> <https://elibrary.ru/cnboqx>

**Для корреспонденции:** Шабардина Лада Владимировна, e-mail: lada.shabardina@mail.ru

**Вклад авторов:** Шабардина Л.В. – сбор материала, обработка данных, написание текста; Минигалиева И.А., Сутункова М.П., Федорук А.А. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Панов В.Г., Микушина Н.А. – обработка данных. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 30.10.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликована: 13.03.2026

Lada V. Shabardina<sup>1</sup>, Ilzira A. Minigalieva<sup>1</sup>, Marina P. Sutunkova<sup>1,2</sup>, Vladimir G. Panov<sup>1,3</sup>,  
Anna A. Fedoruk<sup>1</sup>, Natalya A. Mikushina<sup>1</sup>

## Effects of coke production factors on some hematological and biochemical parameters in workers

<sup>1</sup>Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation;

<sup>2</sup>Ural State Medical University, Yekaterinburg, 620028, Russian Federation;

<sup>3</sup>Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620219, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Coke chemical industry is noted for workers' exposure to a whole range of adverse occupational factors, including chemical pollutants, poor microclimate, noise, vibration, and heavy physical work. Hemotoxic and carcinogenic benzene and its homologues pose a particular hazard. Studying the general mechanisms of their effects is a priority area of fundamental hygiene science.

**The aim of the study.** To examine health effects of harmful occupational factors in coke workers by duration of current employment.

**Materials and Methods.** We tested peripheral blood samples taken from coke workers exposed to benzene and phenol and compared the results with those of the controls matched by sex and age but unexposed to these chemicals. We analyzed working conditions, hematological and biochemical parameters.

Original article

**Results.** The correlation and regression analysis revealed a number of relationships between certain red blood cell and platelet parameters and occupational exposure duration and showed altered cellular and biochemical blood parameters. Significant changes in markers of hypoxia were observed in the exposed workers.

**Limitations.** These are determined by the scope of the study, which focused on working conditions and the health status in workers at a single coke plant. The small sample size precludes definitive cause-and-effect conclusions regarding the factors affecting hematological disorders. The study considered only the effect of harmful industrial factors on deviations in hematological and biochemical indices in workers.

**Conclusions.** The established alterations show inhibition of general resistance in coke workers exposed to occupational hazards. Our findings can serve as the basis for developing measures for the timely detection and prevention of disease risks. Only harmful production factors were observed in terms of deviations in hematological and biochemical parameters among workers in various workshops.

**Keywords:** coke production; benzene; risk assessment; circulatory system

**Compliance with ethical standards.** All data were analyzed in a depersonalized form; therefore, approval from the ethics committee was not required.

**For citation:** Shabardina L.V., Minigalieva I.A., Sutunkova M.P., Panov V.G., Fedoruk A.A., Mikushina N.A. Effects of coke production factors on some hematological and biochemical parameters in workers. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2026; 105(2): 178–183. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-2-178-183> <https://elibrary.ru/cnboqx> (In Russ.)

**For correspondence:** Lada V. Shabardina, e-mail: lada.shabardina@mail.ru

**Contribution:** Shabardina L.V. – data collection and analysis, draft manuscript preparation; Minigalieva I.A., Sutunkova M.P., Fedoruk A.A. – study conception and design, editing; Panov V.G., Mikushina N.A. – data analysis. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of its final version.

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

**Funding.** The study had no sponsorship.

Received: October 30, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: March 13, 2026

## Введение

Коксохимическая промышленность — важнейшее звено металлургического комплекса, обеспечивающее сырьевыми ресурсами черную металлургию и другие промышленные секторы [1]. Основные технологические процессы коксования сопровождаются выбросами многих вредных веществ, загрязняющих воздух рабочей зоны и прилегающие территории, особую угрозу представляют летучие токсические соединения (канцерогенные ароматические углеводороды, газы и пары угарного газа, сероводорода и аммиака), формирующие устойчивый химический фон с выраженным негативным воздействием [2].

Коксохимическое производство характеризуется негативным влиянием на работающих комплекса факторов производственной среды и трудового процесса — химического загрязнения воздуха рабочих помещений, неблагоприятного микроклимата, шума, вибрации, нервно-эмоционального напряжения и тяжёлого физического труда [3, 4]. Сочетанное воздействие вредных факторов на организм работающих может вызывать различные системные ответы организма, изменяя токсикокинетику и токсикодинамику токсических соединений, а также провоцируя различные патологические состояния и болезни с многофакторной этиологией [5].

Особая опасность коксохимического производства заключается в негативном воздействии на организм бензола и его гомологов, обладающих доказанным гематотоксическим и канцерогенным действием. Озабоченность вызывает и неоднозначное действие данных органических загрязнителей на фоне физической нагрузки [6].

Недостаток информации о сочетанном и комбинированном действии производственных факторов обуславливает актуальность изучения общих закономерностей и механизмов их воздействия, что становится приоритетным направлением гигиенической науки. Такие исследования необходимы для создания новой методологии и критериев комплексной оценки многофакторного вредного влияния на работников с целью дальнейшего научного обоснования и разработки профилактических мер, направленных на предотвращение профессиональных и производственно обусловленных болезней, снижение профессионального риска.

**Цель исследования** — изучение влияния производственных факторов на организм рабочих коксохимического предприятия в зависимости от стажа работы.

**Ограничения исследования** связаны с изучением условий труда и состояния здоровья работников одного коксохи-

мического предприятия. Небольшая выборка не позволяет сделать однозначных причинно-следственных выводов о факторах, влияющих на гематологические и биохимические нарушения. В исследовании учитывали только влияние вредных производственных факторов на отклонения гематологических и биохимических индексов у работников.

## Материалы и методы

Объектом исследования были данные об условиях труда, гематологические и биохимические показатели рабочих основных профессий на коксохимическом предприятии — газозаводчика коксовых печей, дзверевого, люкового.

В группу наблюдения были включены рабочие основных цехов коксохимического производства ( $n = 33$ , мужчины, средний возраст  $47,22 \pm 1,33$  года, общий стаж работы  $25,42 \pm 1,39$  года, стаж в профессии  $3,48 \pm 0,52$  года, стаж во вредных условиях труда  $6,85 \pm 0,39$  года), подверженные в процессе трудовой деятельности влиянию вредных производственных факторов, в том числе бензола и фенола.

В группу сравнения вошли работники предприятия ( $n = 40$ , мужчины, средний возраст  $45,77 \pm 1,54$  года), занятые на административной работе и не подвергавшиеся действию вредных производственных факторов. Обе группы были сопоставимы по стажу, возрасту и полу.

Оценка условий труда работников основных профессий коксохимического производства выполнена на основе Специальной оценки условий труда (СОУТ).

Для определения гематологических и биохимических показателей проведено исследование крови (ОАК и биохимический анализ) в период прохождения работниками периодического медицинского осмотра на базе ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП. В период с 2014 по 2024 г. был исследован 191 образец крови рабочих группы наблюдения и 55 образцов в группе сравнения.

Статистическая обработка выполнена с использованием стандартного пакета программ MS Excel и Statistica 10.0. Проверка нормальности распределения показателей осуществлялась с применением тестов Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. Для изучения связи переменных (стаж и показатели крови) использовали методы корреляционно-регрессионного анализа, в том числе коэффициент корреляции Спирмена, статистически значимыми считали значения при  $p < 0,05$ . Статистическая значимость различий между группами оценивалась по  $t$ -критерию Стьюдента и с помощью  $U$ -теста Манна — Уитни, статистически значимыми считали значения при  $p < 0,05$ .

Таблица 1 / Table 1

## Показатели регрессионного анализа по стажу во вредных условиях

Regression analysis indicators by years in adverse occupational exposure

Показатель Parameter	$R^2$	$pV-F (= pV - b1)$
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/L	0.48920373	0.035985306
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/L	0.20665488	0.160096105

## Результаты

Изучение условий труда на ряде рабочих мест выявило превышение среднесменных концентраций бензола в 1,4 раза и максимальных разовых концентраций фенола в 5,8 раза. Итоговый класс по химическому фактору оценивается как вредный первой и второй степеней, на отдельных рабочих местах, в том числе за счёт эффекта суммации веществ однонаправленного действия, — как вредный третьей степени. Регрессионный анализ выявил некоторую тенденцию к положительной связи параметра средней концентрации гемоглобина в эритроците и показателя гемоглобина со стажем во вредных условиях (табл. 1).

Таблица 2 / Table 2

Показатели регрессионного анализа по стажу в профессии  
Regression indicators by years in occupation

Показатель Parameter	$R^2$	$pV-F (= pV - b1)$
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/L	0.863769746	0.000287294
Тромбоциты, $10^6$ /мл Platelet count, $10^6$ /mL	0.891275733	0.055925992
Средний объём тромбоцита, $\mu\text{м}^3$ Mean platelet volume, $\mu\text{м}^3$	0.625	0.111367155

Стаж в профессии также оказывал некоторое влияние на параметр средней концентрации гемоглобина в эритроците. Кроме того, отмечена положительная связь с числом тромбоцитов, а также с параметром среднего объёма тромбоцитов, хотя и незначимая статистически (табл. 2). Корреляционный анализ показал отрицательную связь процентного показателя эозинофилов со стажем в профессии ( $r_s = -0,508$ ;  $p = 0,0188$ ).

Установлено и влияние общего стажа на число ретикулоцитов ( $R^2 = 0,998$ ;  $p = 0,0315$ ). При этом корреляционный анализ выявил отрицательную связь процентного показателя гранулоцитов с общим стажем ( $r_s = -0,461$ ;  $p = 0,0112$ ).

Таблица 3 / Table 3

Результаты общего клинического анализа крови работников коксохимического предприятия,  $\bar{X} \pm S_x$ Complete blood count results in coke workers,  $\bar{X} \pm S_x$ 

Показатель Parameter	Группа сравнения Comparison group	Группа исследования Study group
Лейкоциты, $10^9$ /л   Leukocyte count, $10^9$ /L	$6.26 \pm 0.19$	$7.66 \pm 0.17^* \bullet$
Лимфоциты, $10^9$ /л   Lymphocyte count, $10^9$ /L	$2.090 \pm 0.065$	$2.599 \pm 0.058^* \bullet$
Моноциты, $10^9$ /л   Monocyte count, $10^9$ /L	$0.84 \pm 0.15$	$0.549 \pm 0.022$
Гранулоциты, $10^9$ /л   Granulocyte count, $10^9$ /L	$2.93 \pm 0.20$	$1.84 \pm 0.16^* \bullet$
Нейтрофилы, $10^9$ /л   Neutrophil count, $10^9$ /L	$4.01 \pm 0.35$	$2.38 \pm 0.20^* \bullet$
Эозинофилы, $10^9$ /л   Eosinophil count, $10^9$ /L	$0.138 \pm 0.018$	$0.125 \pm 0.021 \bullet$
Базофилы, $10^9$ /л   Basophil count, $10^9$ /L	$0.00 \pm 0.00$	$0.0280 \pm 0.0026^* \bullet$
Лимфоциты, %   Lymphocytes, %	$33.93 \pm 0.89$	$35.22 \pm 0.67$
Моноциты, %   Monocytes, %	$7.73 \pm 0.39$	$7.73 \pm 0.21$
Гранулоциты, %   Granulocytes, %	$54.31 \pm 1.02$	$53.79 \pm 1.14$
Нейтрофилы, %   Neutrophils, %	$57.02 \pm 1.28$	$53.20 \pm 1.29$
Эозинофилы, %   Eosinophils, %	$2.20 \pm 0.27$	$2.87 \pm 0.52$
Базофилы, %   Basophils, %	$0.262 \pm 0.022$	$0.613 \pm 0.050^* \bullet$
Эритроциты, $10^{12}$ /мл   Erythrocyte count, $10^{12}$ /mL	$4.766 \pm 0.038$	$4.786 \pm 0.035$
Гемоглобин, г/л   Hemoglobin, g/L	$142.57 \pm 1.16$	$147.26 \pm 1.83^* \bullet$
Гематокрит, %   Hematocrit, %	$0.3710 \pm 0.0070$	$0.3904 \pm 0.0096 \bullet$
Средний объём эритроцита, $\mu\text{м}^3$   Mean corpuscular volume, $\mu\text{м}^3$	$77.97 \pm 1.50$	$89.25 \pm 0.67^* \bullet$
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/L	$386.66 \pm 7.60$	$345.96 \pm 5.05^* \bullet$
Тромбоциты, $10^6$ /мл   Platelet count, $10^6$ /mL	$227.08 \pm 7.51$	$227.73 \pm 4.18$
Средний объём тромбоцита, $\mu\text{м}^3$   Mean platelet volume, $\mu\text{м}^3$	$8.34 \pm 0.11$	$8.70 \pm 0.16$
Тромбокрит, %   Plateletcrit, %	$0.1872 \pm 0.0055$	$0.1977 \pm 0.0044$
Ретикулоциты периферической крови, %   Peripheral blood reticulocytes, %	$0.46 \pm 0.22$	$0.835 \pm 0.032^* \bullet$
СОЭ, мм/ч   ESR, mm/hour	$6.74 \pm 0.64$	$6.12 \pm 0.33$

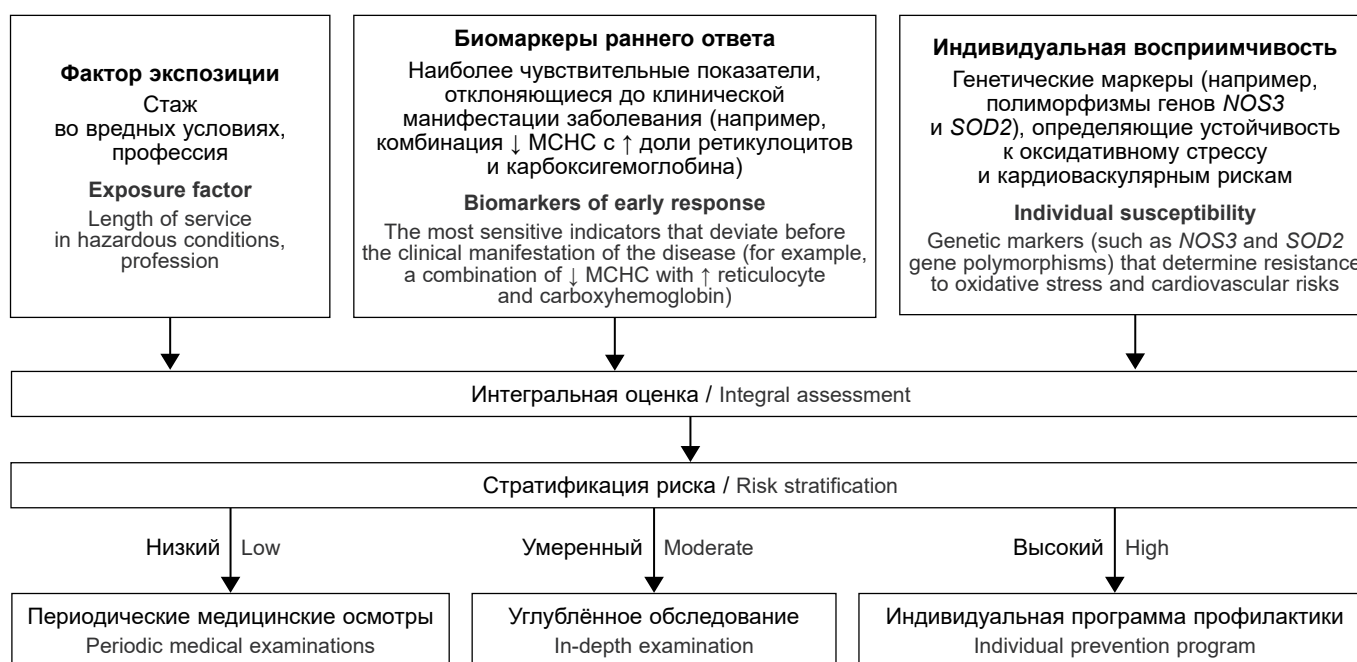
Примечание. Здесь и в табл. 4: \* — статистически значимые отличия от группы сравнения с применением  $t$ -критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ); • — статистически значимые отличия от группы сравнения с применением критерия Манна — Уитни ( $p < 0,05$ ).

Note: Here and in Table 4: \* — statistically significant differences from the comparison group using the Student's  $t$ -test ( $p < 0.05$ ); • — statistically significant differences from the comparison group using the Mann–Whitney test ( $p < 0.05$ ).

Таблица 4 / Table 4

**Результаты биохимического анализа крови работников коксохимического предприятия,  $X \pm S_x$**   
**Biochemistry blood test results in coke workers,  $X \pm S_x$**

Показатель / Parameter	Группа сравнения / Comparison group	Группа исследования / Study group
АЛТ, Е/л / Alanine transaminase, Units/L	28.16 ± 3.90	39.82 ± 3.80*
АСТ, Е/л / Aspartate aminotransferase, U/L	22.38 ± 1.75	31.54 ± 1.96*
ЛПВП, ммоль/л / High-density lipoproteins, mmol/L	1.198 ± 0.047	1.39 ± 0.11
ЛПНП, ммоль/л / Low-density lipoproteins, mmol/L	3.62 ± 0.17	2.91 ± 0.39
Гликозилированный гемоглобин, % / Glycated hemoglobin, %	5.082 ± 0.090	5.657 ± 0.085*
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/L	4.86 ± 0.12	5.173 ± 0.092*
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/L	5.424 ± 0.070	6.01 ± 0.12*
Карбоксигемоглобин, % / Carboxyhemoglobin, %	0.55 ± 0.29	2.34 ± 0.91*
Метгемоглобин, % / Methemoglobin, %	0.170 ± 0.042	0.465 ± 0.047*



Алгоритм интегральной оценки профессионального риска работников коксохимического производства.

Algorithm of integral assessment of occupational risks in coke workers.

По результатам общего анализа крови было установлено статистически значимое увеличение числа лейкоцитов, лимфоцитов, базофилов, ретикулоцитов, показателя гемоглобина и гематокрита, среднего объёма эритроцита, а также выявлено значимое снижение количества гранулоцитов, нейтрофилов, эозинофилов и показателя средней концентрации гемоглобина в эритроците при сопоставлении со значениями группы сравнения (табл. 3).

Анализ результатов биохимического анализа крови двух групп показал статистически значимое повышение показателей аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ), гликозилированного гемоглобина, общего холестерина, глюкозы, карбоксигемоглобина и метгемоглобина (табл. 4).

## Обсуждение

Механизмы нарушений здоровья, связанных с профессиональной химической экспозицией и действием других факторов трудового процесса, изучены недостаточно, что препятствует своевременной профилактике патологических изменений у работников.

Поступление бензола, его гомологов и других ароматических соединений в организм вследствие производственного контакта обуславливает развитие многих нарушений со стороны системы крови и гомеостаза. К ключевым органам-мишеням при такой химической нагрузке относится костный мозг. Установленные в результате корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи между некоторыми эритроцитарными индексами и показателями гранулоцитов тесно сопряжены с развитием анемии [7], обусловленной бензол-индуцированным снижением кроветворной функции [8]. Аналогичные сдвиги характерны для бензольной интоксикации [9], такие нарушения согласуются с данными о миелосупрессивном действии бензола [10].

Результаты оценки параметров иммунокомпетентного звена крови продемонстрировали существенные изменения нескольких показателей у работников основных профессиональных групп коксохимического производства, что позволяет говорить об ответной реакции организма на химическую нагрузку, выражающейся в повышении числа лейкоцитов и лимфоцитов. Отмеченная супрессия гранулоцитарного ряда, вероятно, связана с подавлением гемопоэза под влиянием бензола и его гомологов [11]. Кроме того,

Таблица 5 / Table 5

**Этапы, критерии и параметры оценки профессионального риска**  
**Stages, criteria and parameters for occupational risk assessment**

Этап оценки Stage of assessment	Критерий Criterion	Параметр Parameter	Баллы Points
1. Фактор экспозиции Exposure	Стаж работы во вредных условиях, лет Duration of harmful exposure at work, years	< 5 5–15 > 15	0 1 2
2. Биомаркёры раннего ответа Biomarkers of early response	Гематологические показатели: / Blood parameters: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ МСНС (&lt; 370 г/л   g/L)</li> <li>• ↑ доли ретикулоцитов   ↑ reticulocyte percentage (&gt; 2%)</li> <li>• Маркёры гипоксии (изменения показателей HGB и HCT) Hypoxia markers (changes in HGB and HCT)</li> </ul> Биохимические показатели: / Biochemical parameters: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↑ АЛТ (&gt; 40.0 Е/л) и (или) ↑ АСТ (&gt; 37.0 Е/л)   ↑ ALT (&gt; 40.0 U/L) and/or ↑ AST (&gt; 37.0 U/L)</li> <li>• ↑ карбоксигемоглобина (&gt; 1.5% у некурящих и &gt; 9.0% у курящих) ↑ carboxyhemoglobin (&gt; 1.5% in non-smokers and &gt; 9.0% in smokers)</li> <li>• ↑ гликозилированного гемоглобина (&gt; 6%)   ↑ glycated hemoglobin (&gt; 6%)</li> </ul>	Каждое отклонение Each change  Каждое отклонение Each change	1  1
3. Индивидуальная восприимчивость Personal susceptibility	Полиморфизм генов:   Gene polymorphism: Ген <i>NOS3</i> : GT или TT   <i>NOS3</i> gene: GT or TT Ген <i>SOD2</i> : CT или TT   <i>SOD2</i> gene: CT or TT	Каждый критерий Each criterion	1

Таблица 6 / Table 6

**Интегральная оценка профессионального риска**  
**Integral assessment of occupational risk**

Сумма баллов Score	Группа риска Risk group	Рекомендуемые меры профилактики Recommended preventive measures
0–2	Низкий риск Low risk	Ежегодное прохождение ПМО Annual medical examination
3–5	Умеренный риск Moderate risk	Углублённое медицинское обследование два раза в год; консультация профпатолога; коррекция факторов образа жизни In-depth examination twice a year; consultation with an occupational physician; lifestyle modification
≥ 6	Высокий риск High risk	Индивидуальная программа мониторинга с привлечением узких специалистов; временный или постоянный перевод на рабочее место с меньшим уровнем воздействия; обязательная медикаментозная или немедикаментозная профилактика Individual monitoring program with the involvement of narrow specialists; consideration of temporary or permanent transfer to a lower-exposure workplace; mandatory drug or non-drug prophylaxis

снижение числа гранулоцитов и отрицательная корреляция их уровня со стажем могут отражать ранние стадии токсической анемии и угнетение иммунного ответа, связанные с апоптозом клеток-предшественников в костном мозге [12].

Повышенные показатели гемоглобина, гематокрита и числа ретикулоцитов могут свидетельствовать о компенсаторном ответе на гипоксию. Выявленные в ходе анализа биохимических показателей изменения в группе исследования также позволяют говорить о развитии гипоксии у рабочих, подвергающихся воздействию ароматических соединений. В частности, повышенные показатели карбокси- и метгемоглобина, зачастую развивающиеся при интоксикации анилином (один из продуктов метаболизма бензола), снижают кислородтранспортную функцию крови [13].

Серьёзный вклад в развитие нарушений здоровья могут вносить и повышенные уровни общего холестерина и глюкозы у группы исследования в сопоставлении с группой сравнения. Эти результаты согласуются с данными о воздействии бензола и его производных на липидный обмен [14, 15]. Наблюдаемые негативные тенденции показателей АЛТ и АСТ могут свидетельствовать о гепатотоксичности ароматических соединений, загрязняющих воздух производственных помещений, и выступать ранними предикторами патологий печени [16].

Настоящее исследование, выявившее комплекс взаимосвязанных изменений гематологических и биохимических

показателей, позволяет перейти к разработке проактивной системы скрининга. Полученные данные говорят о необходимости перехода от унифицированной оценки здоровья рабочих к персонализированным алгоритмам, учитывающим индивидуальный профиль риска (см. рисунок).

С целью практического внедрения полученных результатов возможно ввести алгоритм стратификации для оценки индивидуального риска развития профессионально обусловленной патологии (табл. 5, 6).

Предложенный примерный алгоритм оценки профиля риска и дальнейших мероприятий по его минимизации позволяет перейти от выявления нарушений здоровья к разработке и применению мер управления рисками для здоровья работников и активному профилактированию профессионально обусловленных болезней.

## Заключение

Вредное воздействие производственных факторов различной природы на рабочих коксохимического производства через угнетение резистентности организма и перенапряжение функциональных систем провоцирует гематологические нарушения, выраженность которых в отдельных случаях зависит от стажа.

Выявленные отклонения в клеточном звене и биохимических показателях крови, установленные в группе исследования, указывают на снижение иммунологической

реактивности организма, тенденцию к сенсбилизации и нарушение адаптационных механизмов, что подтверждает ингибирование общей резистентности у работников коксохимических предприятий, подверженных неблагоприятному профессиональному воздействию.

Ограничения исследования не позволяют уверенно говорить о причинно-следственной связи, но полученные

данные могут быть основой для разработки мер своевременного обнаружения потенциальных индивидуальных рисков развития патологии для раннего выявления доклинических изменений у лиц, контактирующих в процессе трудовой деятельности с бензолом и другими ароматическими соединениями, что важно для эффективного внедрения профилактических и оздоровительных программ.

## Литература

(п.п. 7–16 см. References)

1. Егорова А.М. Профессиональная адаптация металлургов. В кн.: *Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения: Материалы XII Республиканской научно-практической конференции*. Рязань; 2008: 130–1.
2. Шеблякова К.А., Железковская Н.С. Структура выбросов коксохимического производства. В кн.: *Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения: сборник трудов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции*. Кемерово; 2017. <https://elibrary.ru/ynpxkd>
3. Измеров Н.Ф., ред. *Профессиональный риск для здоровья работников*. М.: Тривант; 2003. <https://elibrary.ru/lobimu>
4. Новикова Т.А., Безрукова Г.А., Алешина Ю.А., Кочетова Н.А., Райкова С.В. Условия труда и состояние здоровья работников нефтеперерабатываю-

- щего производства. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(11): 1312–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1312-1320> <https://elibrary.ru/yvghit>
5. Алпысбаева Ж.Т., Смагулов Н.К. Оценка и прогнозирование системного взаимодействия организма работников коксохимического производства в процессе адаптации к вредным условиям труда. *Безопасность труда в промышленности*. 2014; (1): 74–6. <https://elibrary.ru/rtatqd>
6. Минигалиева И.А., Шабардина Л.В., Рябова Ю.В., Никогосян К.М., Панов В.Г., Сутункова М.П. Экспериментальное изучение сочетанного действия бензола и физической нагрузки на крыс. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(1): 101–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-101-109> <https://elibrary.ru/qzvrne>

## References

1. Egorova A.M. Occupational adaptation of metallurgists. In: *Public Health Surveillance: Proceedings of the XII Republican Scientific and Practical Conference [Sotsial'no-gigienicheskii monitoring zdorov'ya naseleniya: Materialy XII Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. Ryazan'; 2008: 130–1. (in Russian)
2. Shcheblyakova K.A., Zhelezovskaya N.S. Structure of emissions from coke production. In: *Environmental Problems of Industrially Developed and Mining Regions: Solutions: Proceedings of the Second Russian Youth Scientific and Practical Conference [Ehkologicheskie problemy promyshlennno razvitykh i resursodobyvayushchikh regionov: puti resheniya: sbornik trudov II Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. Kemerovo; 2017. <https://elibrary.ru/ynpxkd> (in Russian)
3. Izmerov N.F., ed. *Occupational Risk for Workers' Health [Professional'nyi risk dlya zdorov'ya rabotnikov]*. Moscow: Trovant; 2003. <https://elibrary.ru/lobimu> (in Russian)
4. Novikova T.A., Bezrukova G.A., Aleshina Yu.A., Kochetova N.A., Raikova S.V. Working conditions and health status in workers in oil refining production. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(11): 1312–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1312-1320> <https://elibrary.ru/yvghit> (in Russian)
5. Alpyysbaeva Zh.T., Smagulov N.K. Assessment and prediction of systemic interactions of the body of workers in coke production in the process of adaptation to harmful working conditions. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014; (1): 74–6. <https://elibrary.ru/rtatqd> (in Russian)
6. Minigaliev I.A., Shabardina L.V., Ryabova Yu.V., Nikogosyan K.M., Panov V.G., Sutunkova M.P. Experimental study of the combined effect of benzene exposure and physical load in rats. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2025; 104(1): 101–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-101-109> <https://elibrary.ru/qzvrne> (in Russian)
7. Zhang Z., Gao S., Dong M., Luo J., Xu C., Wen W., et al. Relationship between red blood cell indices (MCV, MCH, and MCHC) and major adverse cardiovascular events in anemic and nonanemic patients with acute coronary syndrome. *Dis. Markers*. 2022; 2022: 2193343. <https://doi.org/10.1155/2022/2193343>
8. Faiola B., Fuller E.S., Wong V.A., Pluta L., Abernethy D.J., Rose J., et al. Exposure of hematopoietic stem cells to benzene or 1,4-benzoquinone induces gender-specific gene expression. *Stem Cells*. 2004; 22(5): 750–8. <https://doi.org/10.1634/stemcells.22-5-750>
9. D'Andrea M.A., Reddy G.K. Hematological and hepatic alterations in nonsmoking residents exposed to benzene following a flaring incident at the British petroleum plant in Texas City. *Environ. Health*. 2014; 13: 115. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-115>
10. Faulhammer F., van Ravenzwaay B., Schnatter A.R., Rooseboom M., Kamp H., Flick B., et al. The short-term toxicity and metabolome of benzene. *Toxicol. Lett*. 2024; 400: 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2024.07.913>
11. Qu Q., Shore R., Li G., Jin X., Chen L.C., Cohen B., et al. Validation and evaluation of biomarkers in workers exposed to benzene in China. *Res. Rep. Health Eff. Inst*. 2003; (115): 1–72; discussion 73–87.
12. Zhang Z., Shi W., Ru L., Lv W. Biomarkers of occupational benzene exposure: A systematic review to estimate the exposure levels and individual susceptibility at low doses. *Toxicol. Ind. Health*. 2024; 40(9–10): 539–55. <https://doi.org/10.1177/07482337241259053>
13. Chen R.J., Nappé T.M. *Methemoglobinemia*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025
14. Shin S.S., Yang E.H., Lee H.C., Moon S.H., Ryoo J.H. Association of metabolites of benzene and toluene with lipid profiles in Korean adults: Korean National Environmental Health Survey (2015–2017). *BMC Public Health*. 2022; 22(1): 1917. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14319-x>
15. Baek S., Park E., Park E.Y. Association of urinary benzene metabolite and the ratio of triglycerides to high-density lipoprotein cholesterol: A cross-sectional study using the Korean National Environmental Health Survey (2018–2020). *Toxics*. 2023; 11(12): 985. <https://doi.org/10.3390/toxics11120985>
16. Neghab M., Hosseinzadeh K., Hassanzadeh J. Early liver and kidney dysfunction associated with occupational exposure to sub-threshold limit value levels of benzene, toluene, and xylenes in unleaded petrol. *Saf. Health Work*. 2015; 6(4): 312–6. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.07.008>

## Сведения об авторах

**Шабардина Лада Владимировна**, мл. науч. сотр. отд. токсикологии и биопрофилактики ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: shabardinalv@ymrc.ru

**Минигалиева Ильзира Амировна**, доктор биол. наук, зав. отд. токсикологии и биопрофилактики ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: ilzira@ymrc.ru

**Сутункова Марина Петровна**, доктор мед. наук, директор ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: sutunkova@ymrc.ru

**Панов Владимир Григорьевич**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. отд. токсикологии и биопрофилактики ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП» Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия

**Федорук Анна Алексеевна**, канд. мед. наук, вед. науч. сотр., ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: annaf@ymrc.ru

**Микущина Наталья Анатольевна**, мл. науч. сотр., ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: mikushinana@ymrc.ru

## About the authors

**Lada V. Shabardina**, junior researcher, Department of toxicology and bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8284-0008> E-mail: shabardinalv@ymrc.ru

**Ilzira A. Minigaliev**, DSc (Biology), head, Department of toxicology and bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0097-7845> E-mail: ilzira@ymrc.ru

**Marina P. Sutunkova**, DSc (Medicine), director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1743-7642> E-mail: sutunkova@ymrc.ru

**Vladimir G. Panov**, PhD (Physics&Mathematics), senior researcher, Department of toxicology and bioprophylaxis, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6718-3217>

**Anna A. Fedoruk**, PhD (Medicine), leading researcher, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6354-0827> E-mail: annaf@ymrc.ru

**Natalya A. Mikushina**, junior researcher, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0004-8375-8462> E-mail: mikushinana@ymrc.ru