

УДК 616.12-008: 616-057: 669 (470.54)
DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.09

Читать
онлайн



Научная статья

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РИСКА РАЗВИТИЯ КАРДИОМЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ У МЕТАЛЛУРГОВ

Е.Д. Константинова¹, В.Г. Газимова², С.Ю. Огородникова¹, Т.А. Маслакова¹,
Д.В. Чаурина², А.С. Шастин²

¹Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 620990, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 20

²Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий, Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Попова, 30

Рост распространенности метаболического синдрома обуславливает поиск простых, неинвазивных и бюджетных методов выявления лиц, входящих в группу риска его развития, позволяющих с минимальными издержками реализовать принципы превентивной и персонализированной медицины в управлении рисками развития кардиометаболических нарушений среди работающего населения.

В связи с этим построены прогностические математические модели риска развития кардиометаболических нарушений у металлургов. Оценены результаты периодических медицинских осмотров работников металлургического предприятия за 5 лет. Диагностика метаболического синдрома проведена в соответствии с критериями Международной федерации диабета. Рассчитан индекс округлости тела (BRI). Для проверки нормальности распределения исследуемых показателей был применен критерий Шапиро – Уилка. Критерии Стьюдента и Вилкоксона (с поправкой Бонферрони) для зависимых выборок использовались для определения статистической значимости различий средних величин и медиан. Для показателей, распределение которых на всех временных срезах соответствовало нормальному, был применен однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA). Для показателей с распределением, отличным от нормального, был применен критерий Фридмана. Подход, основанный на методе тепловых карт, был использован для визуализации корреляций между предикторами. Кокс-регрессия использована для выявления независимых предикторов развития артериальной гипертензии и метаболического синдрома. В качестве метода верификации принимался визуальный анализ графиков Log-Minus-Log (LML). Для оценки качества моделей построены ROC-кривые и рассчитана AUC.

Использование Кокс-регрессии с изменяющимися во времени ковариатами позволило учесть динамику изменений в состоянии здоровья работников. Анализ регрессии Кокса выявил, что уровень глюкозы натощак является наиболее сильным независимым предиктором развития метаболического синдрома за 5 лет наблюдения. Индекс BRI как предиктор развития метаболического синдрома продемонстрировал лучшие комплексные результаты по всем показателям, включая оптимальный баланс между чувствительностью и специфичностью, а также общей точностью. Сравнительный анализ ROC-кривых показал, что индекс BRI является наиболее точным инструментом для прогнозирования риска развития метаболического синдрома в исследуемой профессиональной группе. Полученные модели могут быть рекомендованы для формирования групп риска среди работников вредных производств с целью разработки и внедрения индивидуализированных программ медико-профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление и коррекцию кардиометаболических нарушений.

Ключевые слова: антропометрические индексы, прогностическая модель, Кокс-регрессия, ROC-анализ, кардиометаболические нарушения, индекс округлости тела, персонализированная медицина, управление рисками.

© Константинова Е.Д., Газимова В.Г., Огородникова С.Ю., Маслакова Т.А., Чаурина Д.В., Шастин А.С., 2026

Константинова Екатерина Даниловна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией биостатистики (e-mail: K_Konst@ecko.uran.ru; тел.: 8 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X>).

Газимова Венера Габдрахмановна – доктор медицинских наук, заведующий отделом организации медицины труда (e-mail: venera@ymrc.ru; тел.: 8 (343) 312-84-86; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3591-3726>).

Огородникова Светлана Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории биостатистики (e-mail: ogor.svetlana@ecko.uran.ru; тел.: 8 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7193-3607>).

Маслакова Татьяна Анатольевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории биостатистики (e-mail: masta@ecko.uran.ru; тел.: 8 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027>).

Чаурина Диана Васильевна – врач по гигиене труда отдела организации медицины труда (e-mail: chaurinadv@ymrc.ru; тел.: 8 (343) 312-84-86; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2545-8169>).

Шастин Александр Сергеевич – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела организации медицины труда (e-mail: shastin.64@mail.ru; тел.: 8 (922) 038-27-99; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8363-5498>).

Свердловская область относится к числу наиболее крупных и экономически развитых российских регионов, для которых характерна сложная медико-демографическая ситуация. Отмечается высокая смертность населения в трудоспособном возрасте – в 2023 г. показатель составил 581,3 на 100 тыс. населения; низкая ожидаемая продолжительность жизни при рождении – 71,84 г. в сравнении с общероссийскими показателями (соответственно 500,7 и 73,41 г.)¹. Растет доля работников, занятых во вредных условиях труда, которая в 2023 г. составила 42,9 % (2004 г. – 36,2 %); в отдельных видах экономической деятельности показатель еще выше (обрабатывающее производство – 50,1 %)². При этом смертность на производстве в результате заболеваний превышает смертность от несчастных случаев, основной причиной которой являются болезни системы кровообращения (БСК) [1, 2]. В Свердловской области в 2025 г. в 96,2 % случаев смерть на производстве связана с болезнями органов кровообращения. Специалисты отмечают высокую степень патологической пораженности БСК работников металлургического производства [3, 4].

Одним из важнейших факторов риска развития БСК является метаболический синдром (МС), называемый эпидемией XXI в. [5]. МС – патологическое состояние, характеризующееся ожирением, инсулинорезистентностью, артериальной гипертензией, гиперлипидемией [6]. Распространенность МС среди взрослого населения мира очень высока и, согласно прогнозам, данный показатель продолжит расти [7, 8]. МС опасен своими последствиями – ростом распространенности сахарного диабета 2-го типа и сердечно-сосудистых заболеваний, – определяющими значительный экономический и социальный ущерб для государства.

Доказано существенное влияние условий труда на здоровье работающего населения, в том числе на развитие МС [9–11]. Специалисты отмечают высокую распространенность МС среди работающего населения [12–14].

Однако в текущих социально-экономических условиях особое внимание следует обратить не только на государственные гарантии и корпоративные программы работодателей, направленные на сохранение трудового долголетия работников, но и на поведение самого работника в части отношения к своему здоровью [15]. Работник часто не рассматривает свое здоровье как личную ответственность и

перекладывает возникающие риски для своего здоровья на работодателя и государство. Во многом причинами этого является недостаточная осведомленность работников о влиянии индивидуальных поведенческих факторов риска на здоровье и их недооценка. Внедряемые на предприятиях корпоративные программы, хоть и направлены на формирование осознанного отношения работников к своему здоровью, ориентированы на большие трудовые коллективы и носят общий рекомендательный характер. Оценка рисков здоровью, связанных с работой, ориентирована, как правило, на группы работников, находящихся в одинаковых условиях воздействия вредных производственных факторов. Учет индивидуальных особенностей проводится в основном в отношении пола, возраста и стажа [16].

Рост распространенности МС обуславливает поиск простых, неинвазивных и бюджетных методов выявления лиц, входящих в группу риска его развития, позволяющих с минимальными издержками реализовать принципы превентивной и персонализированной медицины в управлении рисками развития кардиометаболических нарушений³.

В основе МС лежат центральное ожирение и инсулинорезистентность [6]. Для скрининга метаболических нарушений используются простые антропометрические параметры — индекс массы тела (ИМТ), окружность талии (ОТ), отношение ОТ к окружности бедер. При этом ИМТ как показатель физического здоровья не передает компонентный состав тела – соотношение жировой и мышечной массы. ОТ лучше, чем ИМТ, отражает висцеральный или абдоминальный тип ожирения, но при этом определяет абдоминальное ожирение с точки зрения абсолютного размера талии, который увеличивается вместе с общим размером тела.

Исследования доказали, что именно тип распределения жировой ткани тесно связан с частотой развития артериальной гипертензии (АГ), сахарного диабета, атеросклероза и МС. Это привело к разработке новых антропометрических индексов, таких как BRI [17].

Цель исследования – построить прогностические математические модели риска развития кардиометаболических нарушений у металлургов.

Материалы и методы. Объектом исследования явились результаты периодических медицинских осмотров (ПМО) 530 работников – мужчин металлургического предприятия Свердловской области в возрасте от 21 до 66 лет ($44,0 \pm 9,3$ г. – по

¹ Ожидаемая продолжительность жизни при рождении [Электронный ресурс] // ЕМИСС: Единая межведомственная информационно-статистическая система. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31293> (дата обращения: 18.12.2025).

² Условия труда работников в организациях Свердловской области [Электронный ресурс] // Управление Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области и Курганской области. – URL: <https://66.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Условия%20труда%20работников%202020-2024%20поправлен.pdf> (дата обращения: 25.12.2025).

³ Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий: Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 [Электронный ресурс] // Президент России. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755> (дата обращения: 20.12.2025).

состоянию на 2020 г.), занятых во вредных условиях труда (КУТ 3.1–3.4). ПМО проведены с 2020 по 2024 г. на базе ФБУН «Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора (ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора).

Кумулятивная инцидентность рассчитывалась по формуле:

$$\text{Кумулятивная инцидентность (период)} = \frac{\text{Кол-во новых случаев заболеваний за период}}{\text{Кол-во лиц в популяции риска в начале исследования}} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

Для изучения патологической пораженности АГ и МС были использованы лабораторные (уровень общего холестерина в крови, глюкозы в плазме натощак), инструментальные показатели (данные измерения артериального давления), объективные антропометрические данные (рост, вес, окружность талии) и данные анкетирования⁴.

Были использованы следующие критерии оценки⁵:

– избыточная масса тела (ИЗБМТ) – по индексу массы тела (ИМТ) ≥ 25 –29,9 кг/м², ожирение по ИМТ ≥ 30 кг/м²;

– повышенный уровень артериального давления (АД) – систолическое артериальное давление (САД) ≥ 140 мм рт. ст., диастолическое артериальное давление (ДАД) ≥ 90 мм рт. ст.;

– нарушенная гликемия натощак – по уровню глюкозы плазмы натощак $\geq 6,1$ ммоль/л;

– гиперхолестеринемия – по уровню общего холестерина крови $> 4,9$ ммоль/л;

– окружность талии как показатель абдоминального отложения жира – принята у мужчин ≥ 94 см [7];

BRI был рассчитан по формуле

$$BRI = 364,2 - 365,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{WC}{2\pi}\right)^2}{(0,5 \cdot H)^2}}, \quad (2)$$

где WC – окружность талии, H – рост.

Диагностика МС проведена в соответствии с критериями Международной федерации диабета (IDF)⁶. Согласно данным критериям, диагноз МС может быть поставлен при наличии абдоминального ожирения в сочетании с любыми двумя факторами риска из нижеприведенных:

– триглицериды $\geq 1,7$ ммоль/л;
– холестерин ЛПВП $< 1,03$ ммоль/л;
– артериальное давление ≥ 130 и ≥ 85 мм рт. ст. или наличие диагностированной АГ;

– уровень глюкозы в крови натощак у участников $\geq 5,6$ ммоль/л или наличие диагностированного сахарного диабета.

Данные детерминанты включают комбинацию категориальных и пограничных факторов риска, которые легко измерить в клинической практике.

Для всех количественных показателей на каждом временном срезе (2020–2024) была проведена проверка нормальности распределения с использованием критерия Шапиро – Уилка. Для показателей, распределение которых на всех временных срезах соответствовало нормальному, был применен однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA). Для показателей с распределением, отличным от нормального, был применен критерий Фридмана. Для определения того, между какими именно годами наблюдений имеются статистически значимые различия, был проведен post-hoc-анализ.

Для определения статистической значимости различий средних величин и медиан использовались критерии Стьюдента и Вилкоксона (для зависимых выборок с поправкой Бонферрони).

Подход, основанный на методе тепловых карт, был использован для визуализации корреляций между предикторами [18], Кокс-регрессия – для выявления независимых предикторов развития АГ и МС. Проверка допущения о пропорциональности рисков была проведена при помощи визуального анализа графиков Log-Minus-Log (LML).

Для оценки качества моделей были построены ROC-кривые и рассчитана AUC.

Проведение исследования согласовано локальным этическим комитетом ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (заключение № 6 от 11.12.2023).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных статистических программ Statistica 10 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA); корреляционная матрица реализована в пакете R. Статистическая значимость различий оценивалась на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлены лабораторные, инструментальные, антропометрические и клинические характеристики работников по годам наблюдения.

⁴ Организация проведения диспансеризации определенных групп взрослого населения (4-е издание с дополнениями и уточнениями): Методические рекомендации / утв. Минздравом РФ 27.12.2017 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/71883416/?ysclid=m4v1tlpghp221204388> (дата обращения: 11.11.2025).

⁵ Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации, VII пересмотр [Электронный ресурс] / В.В. Кухарчук, М.В. Ежов, И.В. Сергиенко, Г.Г. Арабидзе, М.Г. Бубнова, Т.В. Балахонина, В.С. Гуревич, М.А. Качковский [и др.] // Атеросклероз и Дислипидемии. – 2020. – № 1 (38). – С. 7–40. – URL: <https://jad.noatero.ru/index.php/jad/article/view/274> (дата обращения: 04.12.2025).

⁶ The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome [Электронный ресурс] // IDF Communications. – 2006. – 24 p. – URL: <https://idf.org/media/uploads/2023/05/attachments-30.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

Таблица 1

Лабораторные, инструментальные, антропометрические и клинические характеристики работников за 2020–2024 гг.

Параметр	Год наблюдения					p-значение
	2020	2021	2022	2023	2024	
	$\bar{X} \pm SD$					
Возраст, лет	42,4 ± 9,3	43,4 ± 9,3	44,4 ± 9,3	45,4 ± 9,3	46,4 ± 9,3	
ИМТ, кг/м ²	27,0 ± 4,2 ²³⁴	27,1 ± 4,1 ²³⁴	27,3 ± 4,3 ⁴	27,3 ± 4,2 ⁴	27,6 ± 4,4	< 0,0001
Окружность талии, см	93,5 ± 11,5 ¹²³⁴	92,7 ± 11,5 ²³⁴	95,0 ± 11,8 ⁴	94,5 ± 12,5 ⁴	97,1 ± 11,9	< 0,0001
САД, мм рт. ст.	135,0 ± 14,6 ¹	137,0 ± 15,8 ²³	134,1 ± 15,0	134,1 ± 15,1	135,2 ± 16,0	0,0003
ДАД, мм рт. ст.	86,1 ± 10,3	86,2 ± 10,5	86,9 ± 9,7	86,9 ± 10,2	87,3 ± 10,9	0,0825
	<i>Медиана [P25–P75]</i>					
Глюкоза в крови, ммоль/л	5,9 [5,6–6,3] ¹²³⁴	6,1 [5,7–6,5] ²³⁴	5,6 [5,1–6,1] ⁴	5,6 [5,3–6,0] ⁴	6,2 [5,8–6,7]	< 0,0001
Холестерин в крови, ммоль/л	5,1 [4,4–5,8] ¹²³⁴	5,2 [4,6–5,9] ³⁴	5,3 [4,5–6,0] ³⁴	5,3 [4,7–6,1] ⁴	5,7 [4,9–6,5]	< 0,0001
BRI, отн. ед.	3,9 [3,2–4,7] ²³⁴	3,8 [3,0–4,6] ²³⁴	3,9 [3,3–4,9] ⁴	3,9 [3,2–4,9] ⁴	4,2 [3,5–5,1]	< 0,0001

Примечание: ¹ – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2021 г.; ² – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2022 г.; ³ – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2023 г.; ⁴ – обнаружены статистически значимые различия исследуемых показателей по сравнению с 2024 г.

В целом наблюдается общая тенденция – большая часть показателей увеличивается год от года. Статистически значимое увеличение продемонстрировали все параметры, за исключением АД, что, вероятно, связано с коррекцией артериального давления гипотензивными препаратами в соответствии с медицинскими рекомендациями по результатам ПМО.

Несмотря на имеющиеся медицинские рекомендации по результатам ПМО, за исследуемый период частота выявления МС и АГ у рабочих увеличились в 3,3 и 2,7 раза соответственно, что доказывает необходимость системного подхода к организации медико-профилактических мероприятий среди работников (рис. 1).

Помимо патологической пораженности МС и АГ, для данных показателей была рассчитана кумулятивная инцидентность на период исследования:

$$\text{Кумулятивная инцидентность АГ (5 лет)} = \frac{52 + 36 + 49 + 30}{530 - 98} \cdot 100\% = \frac{167}{432} \cdot 100\% = 38,7\% \quad (3)$$

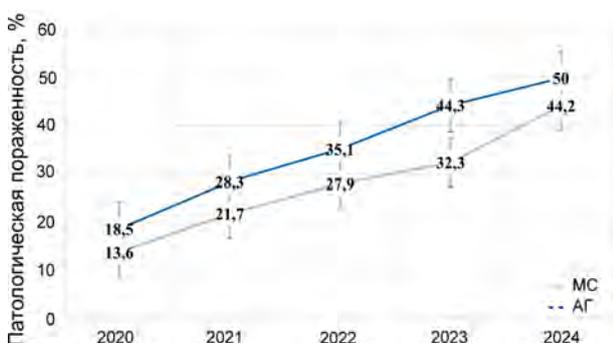


Рис. 1. Динамика патологической пораженности МС и АГ по годам исследования

Из 432 человек, не имевших АГ на старте исследования, у 167 развилась АГ, что составило 38,7 %.

$$\text{Кумулятивная инцидентность МС (5 лет)} = \frac{43 + 33 + 23 + 63}{530 - 72} \cdot 100\% = \frac{162}{458} \cdot 100\% = 35,4\% \quad (4)$$

Для МС кумулятивная инцидентность составила 35,4 %. Это означает, что у 35,4 % человек из исследуемой когорты МС развился в течение 5 лет наблюдения.

Для оценки вероятности развития МС и АГ были построены прогностические модели на основе регрессии Кокса с несколькими предикторами. Для исключения проблемы мультиколлинеарности был выполнен корреляционный анализ предикторов с визуализацией результатов посредством тепловых карт (рис. 2).



Рис. 2. Корреляционная матрица предикторов

Выявлена высокая степень корреляции (r от 0,7 до 0,8) между традиционными и новыми антропометрическими индексами.

Перед построением регрессионной модели пропорциональных рисков Кокса проведена проверка допущения о пропорциональности рисков для модели пропорциональных рисков Кокса с помощью визуального анализа графиков Log-Minus-Log. Визуальный анализ графиков, построенных для каждой ковариаты, включенной в итоговую модель, показал, что кривые всех независимых переменных для разных категорий зависимых переменных (АГ и МС) были параллельны друг другу и не пересекались. Это свидетельствует о выполнении допущения о пропорциональности рисков для всех анализируемых предикторов.

Использование Кокс-регрессии с изменяющимися во времени ковариатами позволило учесть динамику изменений в состоянии здоровья работников. Во избежание мультиколлинеарности, обусловленной высокой корреляцией между антропометрическими предикторами ОТ, ИМТ и BRI, были разработаны отдельные аналитические модели.

Например, модель № 1 для оценки риска МС включает в качестве антропометрического предиктора исключительно ИМТ, наряду с уровнем глюкозы и холестерина в сыворотке крови, повышенным артериальным давлением (или установленным диагнозом АГ) и злоупотреблением алкоголем. В модели № 2 в качестве антропометрического предиктора используется только BRI, в то время как остальные (неантропометрические) предикторы остаются идентичными: уровень глюкозы, холестерина в сыворотке крови и повышенное АД (или диагностированная АГ) (табл. 2).

Анализ регрессии Кокса (модель № 2 для МС) выявил, что уровень глюкозы натощак является наиболее сильным независимым предиктором развития метаболического синдрома за 5 лет наблюдения (HR = 2,33; 95 % ДИ: 1,68–3,23; $p < 0,001$). В предметном смысле это означает, что при прочих равных условиях работники с повышенным уровнем глюкозы натощак имеют риск развития МС в 2,33 раза выше (или на 133 % выше), чем работники с нормальным уровнем глюкозы. Согласно результатам многофакторного анализа регрессии Кокса, каждый однократный прирост индекса BRI был ассоциирован с увеличением вероятности развития синдрома на 44 % (HR = 1,44; 95 % ДИ: 1,32–1,57; $p < 0,001$). Значимыми предикторами также оказались уровень холестерина (HR = 2,04; 95 % ДИ: 1,52–2,75; $p < 0,001$) и наличие повышенного АД (HR = 1,48; 95 % ДИ: 1,09–1,98; $p = 0,010$). Трактую аналогично вышеизложенному: при прочих равных условиях работники с повышенным уровнем холестерина имеют риск развития МС в 2,04 раза выше (или на 104 % выше), чем работники с нормальным уровнем холестерина. Наличие повышенного АД (или диагностированной ранее АГ) повышает риск развития МС на 48 %.

По результатам анализа модели № 1 для АГ выявлено, что каждое увеличение ИМТ на 1 кг/м² было связано с увеличением риска развития АГ на 6 %, а каждый из повышенных уровней глюкозы и холестерина добавлял по 28 % к риску развития МС (по сравнению с нормальными уровнями). В модели пропорциональных рисков Кокса HR показывает, как изменение предиктора влияет на скорость наступления события в будущем, в данном случае развития АГ. При HR > 1 рост предиктора увеличивает риск развития АГ. Однако в проведенном исследовании наблюдается обратная зависимость (HR < 1),

Таблица 2

Результаты многофакторного Кокс-регрессионного анализа

Отклик	Модель	Предиктор	HR [CI]	p-значение
МС	№ 1	Глюкоза норма (да/нет)	2,29 [1,18–3,18]	< 0,001
		Холестерин норма (да/нет)	2,20 [1,16–2,97]	< 0,001
		Повышенное АД (да/нет)	1,44 [1,16–1,93]	= 0,015
		Алкоголь (да/нет)	1,39 [1,17–1,91]	= 0,037
		ИМТ, кг/м ²	1,15 [1,01–1,18]	< 0,001
	№ 2	Глюкоза норма (да/нет)	2,33 [1,68–3,23]	< 0,001
		Холестерин норма (да/нет)	2,04 [1,52–2,75]	< 0,001
		Повышенное АД (да/нет)	1,48 [1,09–1,98]	= 0,010
	BRI, отн. ед.	1,44 [1,32–1,57]	< 0,001	
АГ	№ 1	Глюкоза норма (да/нет)	1,28 [1,03–1,65]	= 0,047
		ИМТ, кг/м ²	1,06 [1,03–1,09]	< 0,001
		Холестерин норма (да/нет)	1,28 [1,03–1,63]	= 0,047
		Алкоголь (да/нет)	0,69 [0,54–0,89]	= 0,006
		Повышенное АД (да/нет) *	0,24 [0,17–0,36]	< 0,001
	№ 2	Холестерин норма (да/нет)	1,32 [1,04–1,70]	= 0,032
		ОТ, см	1,02 [1,03–1,07]	= 0,008
		Алкоголь (да/нет)	0,68 [0,52–0,88]	= 0,003
	Повышенное АД (да/нет) *	0,23 [0,16–0,33]	< 0,001	

Примечание: * – наличие повышенного АД как предиктор в моделях для АГ указывает на состояние на предыдущих этапах наблюдения.

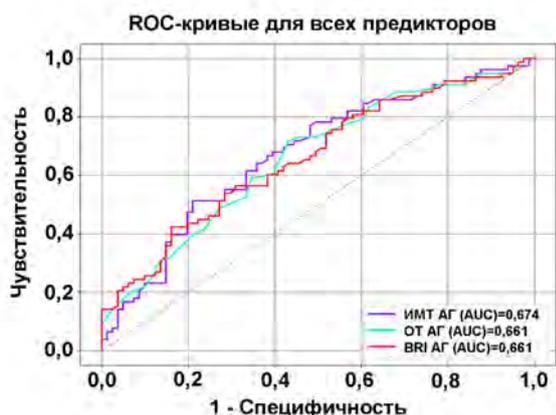


Рис. 3. ROC-кривые исследуемых предикторов (ИМТ, ОТ, BRI) для АГ

Таблица 3

Прогностические характеристики антропометрических индексов для АГ

Предиктор	Площадь под кривой (AUC)	Чувствительность	Специфичность	Точность
ОТ	0,661	0,718	0,568	0,615
ИМТ	0,674	0,667	0,605	0,619
BRI	0,661	0,615	0,580	0,585

что указывает на сильный эффект скрытого фактора, в данном случае – коррекцию гипотензивными препаратами в соответствии с медицинскими рекомендациями по результатам ПМО. При этом те показатели, которые не корректируются или отражают истинную метаболическую дисфункцию (ИМТ, глюкоза, холестерин), показывают ожидаемый рост риска ($HR > 1$). Таким образом, значения $HR = 0,23$ и $HR = 0,24$ для АД в моделях Кокса для развития АГ напрямую связаны с медикаментозной коррекцией АД у части обследованных работников.

С целью сравнения прогностических способностей различных моделей развития АГ и МС был проведен анализ ROC-кривых всех исследуемых предикторов (рис. 3, 4, табл. 3, 4). При интерпретации ROC-кривых для МС (см. рис. 4) важно подчеркнуть, что данный анализ направлен не на подтверждение связи ожирения и МС, а на сравнительную оценку эффективности (чувствительности и специфичности) различных антропометрических индексов (ИМТ и BRI) как скрининговых инструментов при проведении ПМО.

Наибольшее значение площади под кривой (AUC) установлено для ИМТ, что говорит о его высокой прогностической способности в отношении развития АГ.

Наибольшее значение площади под кривой (AUC) установлено для BRI, что говорит о его высокой прогностической способности в отношении развития МС.

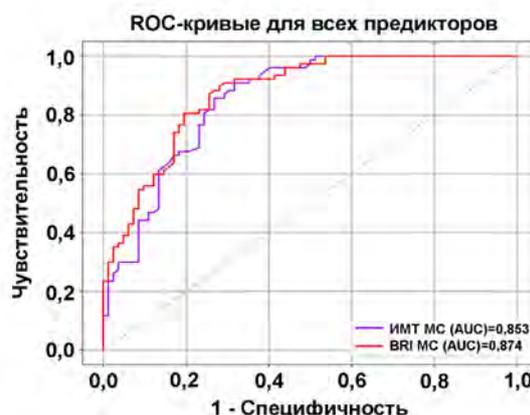


Рис. 4. Сравнительные ROC-кривые антропометрических индексов (ИМТ, BRI) как скрининговых тестов для выявления риска МС

Таблица 4

Прогностические характеристики антропометрических индексов для МС

Предиктор	Площадь под кривой (AUC)	Чувствительность	Специфичность	Точность
ИМТ	0,853	0,818	0,732	0,741
BRI	0,874	0,818	0,756	0,759

Проведенное проспективное исследование на когорте работников металлургического предприятия продемонстрировало высокую кумулятивную инцидентность АГ и МС (38,7 и 35,4 % за 5 лет соответственно), что подтверждает актуальность поиска эффективных инструментов для раннего выявления кардиометаболических нарушений в условиях вредного производства. Полученные данные легли в основу построения прогностических моделей с использованием регрессии Кокса, позволивших оценить вклад различных факторов в развитие этих состояний.

Одной из задач исследования являлась апробация и оценка информативности индекса округлости тела (BRI) как предиктора кардиометаболических нарушений, поскольку результаты с применением этого индекса недостаточно представлены в современной отечественной литературе. Выполненный сравнительный анализ ROC-кривых подтвердил высокую прогностическую способность BRI в отношении развития МС (AUC = 0,874), что превосходит показатели традиционных индексов ИМТ и ОТ. Индекс BRI как предиктор развития МС продемонстрировал лучшие комплексные результаты, включая оптимальный баланс между чувствительностью и специфичностью. Это указывает, что BRI, отражающий не просто массу тела, а распределение жировой ткани [17], является более тонким инструментом для выявления работников с неблагоприятным метаболическим профилем.

Представленные ROC-кривые для МС (см. рис. 4) следует интерпретировать в контексте сравнительного скрининга. Несмотря на то что ожирение является компонентом МС, высокая площадь под кривой (AUC) для BRI подтверждает его значимость как более тонкого инструмента для выявления работников с неблагоприятным распределением жировой ткани, что чрезвычайно важно для формирования групп риска. Этот результат подтверждает целесообразность использования новых антропометрических индексов для более точной оценки рисков развития кардиометаболических нарушений. Полученные данные о высокой прогностической способности BRI как предиктора развития МС согласуются с результатами других исследований, в которых BRI демонстрировал превосходство над традиционными антропометрическими показателями в диагностике метаболических нарушений [19, 20]. Важно отметить, что в крупном проспективном когортном исследовании BRI являлся независимым предиктором общей и сердечно-сосудистой смертности с показателями HR, сопоставимыми по величине с полученными в нашей работе [21]. Это подтверждает, что BRI является не только эффективным скрининговым, но и перспективным прогностическим инструментом для оценки кардиометаболического риска.

Для прогнозирования АГ наибольшее значение AUC установлено для ИМТ (0,674), что говорит о его относительно более высокой прогностической способности в отношении данного исхода по сравнению с ОТ и BRI.

Различия в прогностической способности индекса округлости тела (BRI) в отношении АГ и МС имеют под собой четкое патофизиологическое обоснование. Как показано в основополагающей работе D.M. Thomas et al. [17], BRI был разработан для оценки распределения жировой ткани и доли висцерального жира. Именно висцеральное ожирение является ключевым звеном патогенеза МС, запуская каскад инсулинорезистентности, дислипидемии и воспаления. Поэтому прямая и сильная связь BRI с МС (AUC = 0,874), компонентом которого и является ожирение, абсолютно закономерна. BRI в данном случае выступает как интегральный маркер «метаболической дисфункции», которая лежит в основе синдрома. В отличие от МС, развитие АГ обусловлено гораздо более широким спектром факторов. Хотя висцеральное ожирение и является важным фактором риска АГ, ключевую роль в ее патогенезе играют дисфункция ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, гиперактивность симпатической нервной системы, состояние сосудистой стенки (эндотелиальная дисфункция, жесткость), водно-солевой баланс. Эти механизмы лишь частично связаны с формой тела, которую оценивает BRI.

Как мы уже отмечали в обсуждении результатов регрессии Кокса (см. табл. 2), значительная часть работников с выявленными по результатам ПМО нарушениями получала гипотензивную тера-

пию по результатам ранее проведенных медосмотров. Факт приема гипотензивных препаратов «смазывает» истинную связь между антропометрическими показателями и манифестацией АГ, так как давление искусственно поддерживается в норме. BRI, будучи чисто антропометрическим индексом, не может учесть этот фактор, в отличие от комплексных моделей Кокса, где мы это скорректировали. Для МС медикаментозная коррекция одного из основных факторов риска (ОТ) не проводится, что делает связь с BRI более «чистой». Тем не менее полученные для АГ результаты BRI (AUC = 0,661) полностью согласуются с литературными данными. Например, в исследованиях, где BRI сравнивался с ИМТ и ОТ в отношении риска АГ, он редко демонстрировал драматическое превосходство, часто показывая сопоставимые или даже чуть более слабые результаты, особенно в кросс-секционных срезах [19–20]. ИМТ, в свою очередь, может лучше отражать общую нагрузку на сердечно-сосудистую систему, связанную с массой тела, что и объясняет его более высокий показатель AUC = 0,674 для АГ в нашем исследовании.

Таким образом, более скромные результаты BRI для АГ по сравнению с МС не являются недостатком индекса, а отражают его специфичность как маркера именно метаболического здоровья, а не универсального предиктора всех кардиоваскулярных событий.

Особый интерес представляют результаты многофакторного регрессионного анализа для АГ, где наряду с ожидаемым вкладом ИМТ, глюкозы и холестерина, были выявлены факторы, требующие отдельного обсуждения.

Во-первых, обращает на себя внимание протективная роль употребления алкоголя (HR = 0,69; $p = 0,006$), что, на первый взгляд, противоречит устоявшимся представлениям о его кардиотоксичности. Мы склонны объяснять этот феномен несколькими причинами. Это может быть как проявлением так называемого «парадокса здорового рабочего», когда умеренное употребление алкоголя ассоциировано с лучшим социальным положением и меньшим уровнем стресса, однако наше исследование не собирало детальных данных о характере потребления. С другой стороны, мы не можем исключить эффект «обратной причинности»: работники с уже диагностированной и контролируемой АГ, понимая риски, могли сознательно снизить потребление алкоголя к моменту включения в исследование, что и создало иллюзию защитного эффекта на старте наблюдения. Это подчеркивает ограниченность одномоментной оценки такого сложного поведенческого фактора и необходимость более глубокого изучения характера употребления алкоголя в будущих исследованиях.

Во-вторых, ключевой научной находкой, составляющей, на наш взгляд, элемент новизны работы, является разнонаправленное влияние медикаментозной коррекции на результаты анализа. Как и

ожидалось, повышенный уровень глюкозы и холестерина закономерно увеличивали риск развития АГ ($HR > 1$). Однако парадоксальное значение HR для повышенного АД на предыдущих этапах наблюдения (0,23 и 0,24) напрямую указывает на сильный искажающий эффект. Этот результат является не ошибкой модели, а отражением реальной клинической практики: работники, у которых на предыдущих медосмотрах было выявлено повышенное давление, получали медицинские рекомендации и, вероятно, начали гипотензивную терапию. Искусственное поддержание нормальных цифр АД на фоне приема препаратов «разрывает» прямую связь между антропометрическими показателями и манифестацией заболевания в наблюдаемый период. Это важный методологический аспект, демонстрирующий, что при построении прогностических моделей в реальных когортах необходимо учитывать не только факторы риска, но и последующие медицинские вмешательства. Использованная нами регрессионная модель Кокса с временными ковариатами позволила частично нивелировать этот эффект, но полностью исключить его влияние невозможно без данных о приверженности терапии.

Таким образом, именно комплексный анализ всех факторов, включая «протективный» алкоголь и искажающий эффект лечения, представляет собой научную новизну работы, демонстрируя сложность и многогранность процессов управления рисками на реальном производстве. Полученные модели могут стать основой для формирования групп риска и разработки персонализированных профилактических программ. Учитывая простоту выполнения и специфичность оценки BRI, предлагаем использовать данный предиктор при проведении массовых обязательных и профилактических медицинских осмотров как один из прогностических критериев развития МС.

Сильные стороны проведенного исследования, обеспечивающие высокую достоверность полученных данных, включают:

- проспективный дизайн;
- полное наблюдение (0 % выбывших);
- большой объем когорты (530 человек);

- четкие и стандартизированные критерии диагностики.

Ограничения исследования:

- специфичность когорты (работники одного металлургического предприятия);
- отсутствие данных о генетических факторах, параметрах питания, уровне физической активности или хронического стресса.

Выводы:

1. За пятилетний период наблюдения среди металлургов частота выявления МС и АГ у рабочих увеличилась в 3,3 и 2,7 раза соответственно. Кумулятивная инцидентность составила 35,4 % для МС и 38,7 % для АГ.

2. Построенные прогностические модели на основе многофакторного анализа Кокса обладают высокой предсказательной способностью. Независимыми предикторами развития МС явились повышенное АД, уровень глюкозы и холестерина в крови, а также индекс BRI.

3. Сравнительный анализ ROC-кривых показал, что индекс BRI ($AUC = 0,874$) является наиболее точным инструментом для прогнозирования риска развития МС в исследуемой профессиональной группе, превосходя по совокупности характеристик ИМТ и ОТ.

4. Полученные модели могут быть рекомендованы для формирования групп риска среди работников вредных производств с целью разработки и внедрения индивидуализированных программ медико-профилактических мероприятий, направленных на раннее выявление и коррекцию кардиометаболических нарушений.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках выполнения Отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России», а также за счет субсидий Минобрнауки РФ на выполнение научной темы FUMN-2024-0002.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Оганов Р.Г., Масленникова Г.Я. Демографические тенденции в Российской Федерации: вклад болезней системы кровообращения // Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. – 2012. – Т. 11, № 1. – С. 5–10. DOI: 10.15829/1728-8800-2012-1-5-10
2. Смертность от острых форм ишемической болезни сердца у мужчин и женщин в Российской Федерации в 2015 и 2019 годах / И.В. Самородская, М.Г. Бубнова, О.А. Акулова, И.Ф. Матвеева // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 3273. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3273
3. Воробьева А.А., Горбушина О.Ю., Лешкова И.В. Особенности лабораторных и функциональных проявлений сердечно-сосудистой патологии у работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов (на примере титаномagneвского производства) // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы XV Всероссийской научно-практической online-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием. – Саратов, 2025. – С. 64–67.
4. Особенности факторов риска развития производственно-обусловленной патологии у работников металлургического производства / Е.М. Власова, Е.А. Полевая, М.М. Порошина, М.И. Тиунова, В.Б. Алексеев // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 11. – С. 926–930. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-926-930

5. The obesity transition: stages of the global epidemic / L.M. Jaacks, S. Vandevijvere, A. Pan, C.J. McGowan, C. Wallace, F. Imamura, D. Mozaffarian, B. Swinburn, M. Ezzati // *Lancet Diabetes Endocrinol.* – 2019. – Vol. 7, № 3. – P. 231–240. DOI: 10.1016/S2213-8587(19)30026-9
6. Dommermuth R., Ewing K. Metabolic syndrome: systems thinking in heart disease // *Prim. Care.* – 2018. – Vol. 45, № 1. – P. 109–129. DOI: 10.1016/j.pop.2017.10.003
7. Metabolic syndrome across Europe: different clusters of risk factors / A. Scuteri, S. Laurent, F. Cucca, J. Cockcroft, P. Guimaraes Cunha, L. Rodriguez Mañas, F.U. Mattace Raso, M. Lorenza Muiesan [et al.] // *Eur. J. Prev. Cardiol.* – 2015. – Vol. 22, № 4. – P. 486–491. DOI: 10.1177/2047487314525529
8. Saklayen M.G. The global epidemic of the metabolic syndrome // *Curr. Hypertens. Rep.* – 2018. – Vol. 20, № 2. – P. 12. DOI: 10.1007/s11906-018-0812-z
9. Дьякович О.А. Распространенность метаболического синдрома у работников различных профессиональных групп // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2020. – Т. 60, № 10. – С. 674–680. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-10-674-680
10. Бакиров А.Б., Гимранова Г.Г. Приоритетные направления научных исследований в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности // *Медицина труда и экология человека.* – 2016. – № 3. – С. 5–10.
11. Jeong H.-S. The relationship between workplace environment and metabolic syndrome // *Int. J. Occup. Environ. Med.* – 2018. – Vol. 9, № 4. – P. 176–183. DOI: 10.15171/ijom.2018.1346
12. Особенности структуры метаболического синдрома у работников нефтедобывающего предприятия / А.Е. Носов, Е.М. Власова, А.С. Байдина, О.Ю. Устинова // *Анализ риска здоровью.* – 2020. – № 2. – С. 63–71. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.07
13. Распространенность факторов риска метаболического синдрома у работников, занятых подземной добычей руды / Е.М. Власова, А.А. Воробьева, В.Б. Алексеев, Ю.А. Ивашова, А.Е. Носов // *Гигиена и санитария.* – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1418–1425. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1418-1425
14. Occupation and metabolic syndrome: is there correlation? A cross sectional study in different work activity occupations of German firefighters and office workers / M. Straub, P. Foshag, B. Przybylek, M. Horlitz, A. Lucia, F. Sanchis-Gomar, R. Leischik // *Diabetol. Metab. Syndr.* – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 57. DOI: 10.1186/s13098-016-0174-0
15. Шарыпова С.Ю., Корнилицына М.Д. Оценка населением рисков здоровью как фактор выбора стратегии самосохранительного поведения // *Анализ риска здоровью.* – 2025. – № 1. – С. 74–87. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.07
16. Концептуальные основы корпоративной интеллектуальной риск-ориентированной системы анализа, прогноза и профилактики профессиональных и производственно-обусловленных нарушений здоровья работников / Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, М.А. Землянова, Д.В. Горяев, О.Ю. Устинова, П.З. Шур // *Анализ риска здоровью.* – 2023. – № 4. – С. 19–32. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.02
17. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue emerging from a new geometrical model / D.M. Thomas, C. Bredlau, A. Bosity-Westphal, M. Mueller, W. Shen, D. Gallagher, Y. Maeda, A. McDougall [et al.] // *Obesity (Silver Spring).* – 2013. – Vol. 21, № 11. – P. 2264–2271. DOI: 10.1002/oby.20408
18. Использование новых антропометрических индексов для выявления риска метаболического синдрома среди промышленных работников / Е.Д. Константинова, Т.А. Маслакова, С.Ю. Огородникова, П.В. Серебряков, В.Г. Газимова // *Профилактическая медицина – 2024: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.* – СПб., 2024. – С. 101–107.
19. Feasibility of body roundness index for identifying a clustering of cardiometabolic abnormalities compared to BMI, waist circumference and other anthropometric indices: the China Health and Nutrition Survey, 2008 to 2009 / S. Tian, X. Zhang, Y. Xu, H. Dong // *Medicine (Baltimore).* – 2016. – Vol. 95, № 34. – P. e4642. DOI: 10.1097/MD.0000000000004642
20. Comparison of anthropometric indices for predicting the risk of metabolic syndrome in older adults / S. Khosravian, M.A. Bayani, S.R. Hosseini, A. Bijani, S. Mouodi, R. Ghadimi // *Rom. J. Intern. Med.* – 2021. – Vol. 59, № 1. – P. 43–49. DOI: 10.2478/rjim-2020-0026
21. Body roundness index and all-cause mortality among US adults / X. Zhang, N. Ma, Q. Lin, K. Chen, F. Zheng, J. Wu, X. Dong, W. Niu // *JAMA Netw. Open.* – 2024. – Vol. 7, № 6. – P. e2415051. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.15051

Опыт использования прогностических математических моделей риска развития кардиометаболических нарушений у металлургов / Е.Д. Константинова, В.Г. Газимова, С.Ю. Огородникова, Т.А. Маслакова, Д.В. Чаурина, А.С. Шастин // Анализ риска здоровью. – 2026. – № 1. – С. 95–105. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.09



Research article

EXPERIENCE IN USING PREDICTIVE MATHEMATICAL MODELS FOR ASSESSING RISKS OF CARDIOMETABOLIC DISORDERS IN METALLURGISTS

**E.D. Konstantinova¹, V.G. Gazimova², S.Yu. Ogorodnikova¹, T.A. Maslakova¹,
D.V. Chaurina², A.S. Shastin²**

¹Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Sofia Kovalevskaya Str., Ekaterinburg, 620990, Russian Federation

²Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, 30 Popova Str., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation

The increasing prevalence of metabolic syndrome is driving the search for simple, non-invasive, and cost-effective methods for identifying individuals at risk for its development that allow for the implementation of preventive and personalized medicine principles in managing the risk of cardiometabolic disorders among the working population at minimal cost.

The aim of the study is to develop risk predictive models for cardiometabolic disorders in metallurgists.

The study focused on the results of periodic medical examinations of workers at a metallurgical plant over the previous five years. Metabolic syndrome was diagnosed in compliance with the criteria of the International Diabetes Federation. The body roundness index (BRI) was calculated. The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of the distribution of the studied parameters. Either the paired Student's t-test or the Wilcoxon signed-rank test (with Bonferroni correction) was applied to determine the statistical significance of differences between means and medians for dependent samples. One-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used for parameters with a normal distribution across all time point. The Friedman test was employed for parameters with non-normal distributions. A heatmap-based approach was used to visualize correlations between predictors while Cox regression was applied to identify independent predictors of hypertension and metabolic syndrome. The proportional hazards assumption was verified through the visual analysis of Log-Minus-Log (LML) plots. To assess the quality of the models, we constructed ROC curves and calculated the area under the curve (AUC).

Using Cox regression with time-varying covariates allowed us to account for the dynamics of changes in workers' health. Cox regression analysis revealed that the fasting blood glucose level was the strongest independent predictor of the metabolic syndrome over 5 years of observation. As a predictor of metabolic syndrome, BRI demonstrated the best results across all parameters, including an optimal balance between sensitivity and specificity, as well as overall accuracy. The ROC curve comparison showed that the body roundness index is the most accurate tool for predicting the risk of metabolic syndrome in the occupational group under study. The resulting models can be recommended for establishing risk groups among industrial workers exposed to occupational hazards for further development and implementation of personalized preventive medicine programs aimed at early detection and treatment of cardiometabolic disorders.

Keywords: anthropometric indices, predictive model, Cox regression, ROC analysis, cardiometabolic disorders, body roundness index, personalized medicine, risk management.

References

1. Oganov R.G., Maslennikova G.Ya. Demographic trends in the Russian Federation: the impact of cardiovascular disease. *Mezhdunarodnyi zhurnal serdtsa i sosudistykh zabolevaniy*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 5–10. DOI: 10.15829/1728-8800-2012-1-5-10 (in Russian).

© Konstantinova E.D., Gazimova V.G., Ogorodnikova S.Yu., Maslakova T.A., Chaurina D.V., Shastin A.S., 2026

Ekaterina D. Konstantinova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Head of the Biostatistics Laboratory (e-mail: K_Konst@ecko.uran.ru; tel.: +7 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X>).

Venera G. Gazimova – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Occupational Medicine Organization (e-mail: venera@ymrc.ru; tel.: +7 (343) 312-84-86; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3591-3726>).

Svetlana Yu. Ogorodnikova – Junior Researcher of Biostatistics Laboratory (e-mail: ogor.svetlana@ecko.uran.ru; tel.: +7 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7193-3607>).

Tatiana A. Maslakova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of Biostatistics Laboratory (e-mail: masta@ecko.uran.ru; tel.: +7 (343) 374-53-44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027>).

Diana V. Chaurina – occupational hygienist at the Department of Occupational Medicine Organization (e-mail: chaurinadv@ymrc.ru; tel.: +7 (343) 312-84-86; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2545-8169>).

Aleksandr S. Shastin – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department of Occupational Medicine Organization (e-mail: shastin.64@mail.ru; tel.: +7 (922) 038-27-99; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8363-5498>).

2. Samorodskaya I.V., Bubnova M.G., Akulova O.A., Matveeva I.F. Mortality from acute types of coronary artery disease in men and women in Russia in 2015 and 2019. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2022, vol. 21, no. 6, pp. 3273. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3273 (in Russian).
3. Vorob'eva A.A., Gorbushina O.Yu., Leshkova I.V. Osobennosti laboratornykh i funktsional'nykh proyavlenii serdechno-sosudistoi patologii u rabotnikov, podvergayushchikhsya vozdeystviyu vrednykh proizvodstvennykh faktorov (na primere titanomagnievogo proizvodstva) [Features of laboratory and functional manifestations of cardiovascular pathology in workers exposed to harmful occupational factors (using titanium and magnesium production as an example)]. *Gigiena, ekologiya i riski zdorov'yu v sovremennykh usloviyakh: materialy XV vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi online konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov s mezhduнародnym uchastiem*, Saratov, 2025, pp. 64–67 (in Russian).
4. Vlasova E.M., Polevaya E.A., Poroshina M.M., Tiunova M.I., Alekseev V.B. Features of risk factors of development of the production caused pathology at workers of metallurgical production. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, vol. 59, no. 11, pp. 926–930. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-926-930 (in Russian).
5. Jaacks L.M., Vandevijvere S., Pan A., McGowan C.J., Wallace C., Imamura F., Mozaffarian D., Swinburn B., Ezzati M. The obesity transition: stages of the global epidemic. *Lancet Diabetes Endocrinol.*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 231–240. DOI: 10.1016/S2213-8587(19)30026-9
6. Dommermuth R., Ewing K. Metabolic syndrome: systems thinking in heart disease. *Prim. Care*, 2018, vol. 45, no. 1, pp. 109–129. DOI: 10.1016/j.pop.2017.10.003
7. Scuteri A., Laurent S., Cucca F., Cockcroft J., Guimaraes Cunha P., Rodriguez Mañas L., Mattace Raso F.U., Lorenza Muiesan M. [et al.]. Metabolic syndrome across Europe: different clusters of risk factors. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 2015, vol. 22, no. 4, pp. 486–491. DOI: 10.1177/2047487314525529
8. Saklayen M.G. The global epidemic of the metabolic syndrome. *Curr. Hypertens. Rep.*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 12. DOI: 10.1007/s11906-018-0812-z
9. Dyakovich O.A. Prevalence of metabolic syndrome in employees of various professional groups. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2020, vol. 60, no. 10, pp. 674–680. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-10-674-680 (in Russian).
10. Bakirov A.B., Gimranova G.G. Priority areas of science in extraction of oil, petroleum refining, petrochemical industry. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2016, no. 3, pp. 5–10 (in Russian).
11. Jeong H.-S. The relationship between workplace environment and metabolic syndrome. *Int. J. Occup. Environ. Med.*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 176–183. DOI: 10.15171/ijoem.2018.1346
12. Nosov A.E., Vlasova E.M., Baidina A.S., Ustinova O.Yu. Structural peculiarities of metabolic syndrome in workers employed at oil extracting enterprise. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 2, pp. 63–71. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.07.eng
13. Vlasova E.M., Vorobyova A.A., Alekseev V.B., Ivashova Yu.A., Nosov A.E. Analysis of the prevalence of metabolic syndrome risk factors and the option of their correction among workers in underground mining. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 12, pp. 1418–1425. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1418-1425 (in Russian).
14. Straub M., Foshag P., Przybylek B., Horlitz M., Lucia A., Sanchis-Gomar F., Leischik R. Occupation and metabolic syndrome: is there correlation? A cross sectional study in different work activity occupations of German firefighters and office workers. *Diabetol. Metab. Syndr.*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 57. DOI: 10.1186/s13098-016-0174-0
15. Sharypova S.Yu., Kornilitsyna M.D. Assessment of health risks by working population as a factor in choosing a strategy for self-preservation. *Health Risk Analysis*, 2025, no. 1, pp. 74–87. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.07.eng
16. Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Zemlyanova M.A., Goryaev D.V., Ustinova O.Yu., Shur P.Z. Conceptual foundations of a corporate intelligent risk-based system for analysis, prediction and prevention of occupational and work-related health disorders of workers. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 4, pp. 19–32. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.02.eng
17. Thomas D.M., Bredlau C., Bosy-Westphal A., Mueller M., Shen W., Gallagher D., Maeda Y., McDougall A. [et al.]. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue emerging from a new geometrical model. *Obesity (Silver Spring)*, 2013, vol. 21, no. 11, pp. 2264–2271. DOI: 10.1002/oby.20408
18. Konstantinova E.D., Maslakova T.A., Ogorodnikova S.Yu., Serebryakov P.V., Gazimova V.G. Ispol'zovanie novykh antropometricheskikh indeksov dlya vyyavleniya riska metabolicheskogo sindroma sredi promyshlennykh rabotnikov [Using novel anthropometric indices for identifying metabolic syndrome risk in industrial workers]. *Profilakticheskaya meditsina – 2024: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhduнародnym uchastiem*, Saint Petersburg, 2024, pp. 101–107 (in Russian).
19. Tian S., Zhang X., Xu Y., Dong H. Feasibility of body roundness index for identifying a clustering of cardiometabolic abnormalities compared to BMI, waist circumference and other anthropometric indices: the China Health and Nutrition Survey, 2008 to 2009. *Medicine (Baltimore)*, 2016, vol. 95, no. 34, pp. e4642. DOI: 10.1097/MD.0000000000004642
20. Khosravian S., Bayani M.A., Hosseini S.R., Bijani A., Mouodi S., Ghadimi R. Comparison of anthropometric indices for predicting the risk of metabolic syndrome in older adults. *Rom. J. Intern. Med.*, 2021, vol. 59, no. 1, pp. 43–49. DOI: 10.2478/rjim-2020-0026
21. Zhang X., Ma N., Lin Q., Chen K., Zheng F., Wu J., Dong X., Niu W. Body roundness index and all-cause mortality among US adults. *JAMA Netw. Open*, 2024, vol. 7, no. 6, pp. e2415051. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.15051

Konstantinova E.D., Gazimova V.G., Ogorodnikova S.Yu., Maslakova T.A., Chaurina D.V., Shastin A.S. Experience in using predictive mathematical models for assessing risks of cardiometabolic disorders in metallurgists. *Health Risk Analysis*, 2026, no. 1, pp. 95–105. DOI: 10.21668/health.risk/2026.1.09.eng

Получена: 11.02.2026

Одобрена: 11.03.2026

Принята к публикации: 26.03.2026