



Газимова В.Г.¹, Шастин А.С.¹, Чаурина Д.В.¹, Константинова Е.Д.²,
Маслакова Т.А.², Огородникова С.Ю.², Вараксин А.Н.², Борцов С.М.³

Использование математических моделей в оценке системы кровообращения у работающих во вредных условиях труда

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский—научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 620014, Екатеринбург, Россия;

²ФГБУН «Институт промышленной экологии» УрО РАН, 620990, Екатеринбург, Россия;

³ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 620028, Екатеринбург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. По результатам медицинских осмотров у металлургов в структуре впервые выявленной соматической заболеваемости болезни системы кровообращения (БСК) являются одной из ведущих патологий. Для оценки распространённости БСК у работающих во вредных условиях труда возможно применение в качестве инструмента различных математических решений.

Цель исследования — обосновать возможность применения методов дисперсионного анализа и дерева классификации (ДК) для оценки распространённости БСК у работающих во вредных условиях труда для разработки и реализации медико-профилактических мероприятий, направленных на снижение уровня заболеваемости и смертности на рабочем месте.

Материалы и методы. В исследование были включены результаты медицинских осмотров и анкетирования 308 работников основных профессий сталелитейного производства и сформирована база данных. Взаимосвязь БСК с индивидуальными и производственными факторами риска исследовали с использованием одно- и двухфакторного дисперсионного анализа. Для многофакторного анализа применён метод ДК.

Результаты. При проведении одно- и двухфакторного анализа выявлена статистически значимая зависимость распространённости БСК от отягощённого семейного анамнеза по БСК ($p = 0,001$), подтверждена статистически значимая связь ($p < 0,05$) с возрастом, стажем работы во вредных условиях труда, избыточной массой тела, уровнем глюкозы и общего холестерина в крови. Методом ДК сформированы решающие правила отнесения работников к классам потенциально здоровых либо больных (определена распространённость БСК при сочетании факторов риска).

Ограничения исследования. Исследование ограничено результатами, полученными при проведении медицинского осмотра работников, за один год.

Заключение. Результат использования методов дисперсионного анализа и ДК позволяет рекомендовать их для оценки распространённости различных болезней у работающих во вредных условиях труда.

Ключевые слова: факторы риска для здоровья; дисперсионный анализ; болезни системы кровообращения; дерево классификации

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора» (заключение от 11.12.2023 г. № 6).

Для цитирования: Газимова В.Г., Шастин А.С., Чаурина Д.В., Константинова Е.Д., Маслакова Т.А., Огородникова С.Ю., Вараксин А.Н., Борцов С.М. Использование математических моделей в оценке системы кровообращения у работающих во вредных условиях труда. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 947–953. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-947-953> <https://elibrary.ru/jicbjr>

Для корреспонденции: Газимова Венера Габдрахмановна, e-mail: venera@ymrc.ru

Участие авторов: Газимова В.Г. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста; Шастин А.С. — сбор материала и обработка данных, написание текста; Чаурина Д.В. — сбор материала и обработка данных; Константинова Е.Д., Маслакова Т.А., Огородникова С.Ю., Вараксин А.Н. — статистическая обработка данных, написание текста; Борцов С.М. — сбор материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Поступила: 19.04.2024 / Поступила после доработки: 15.05.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликовано: 16.10.2024

Venera G. Gazimova¹, Aleksandr S. Shastin¹, Diana V. Chaurina¹, Ekaterina D. Konstantinova²,
Tatiana A. Maslakova², Svetlana Yu. Ogorodnikova², Anatoly N. Varaksin², Semyon M. Bortsov³

Using mathematical models in the assessment of the circulatory system in employees working under harmful occupational conditions

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

²Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation;

³Ural State Medical University, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. According to the results of medical examinations of metallurgists, in the structure of newly identified somatic morbidity, circulatory system diseases (CSD) are one of the leading pathologies. To assess the prevalence of CSD in workers in harmful working conditions, it is possible to use various mathematical solutions as a tool.

The objective of the study was to substantiate the possibility of using variance analysis and classification tree (CT) methods to assess the prevalence of circulatory diseases in industrial workers.

Materials and methods. Data of medical examinations and a questionnaire-based survey of three hundred eight workers of steel production were input into a database. The interrelationship between CSD and individual and occupational risk factors was examined using a one- and two-way ANOVA. The classification tree method was used for a multivariate analysis.

Results. The one- and two-way ANOVA revealed a statistically significant correlation between the CSD family history ($p=0.001$) and age, years of occupational exposure, overweight, blood glucose level, total cholesterol ($p<0.05$) and the CSD prevalence in the steel workers. We applied the classification tree method to make decisions on referring the subjects to potentially “healthy” and “sick” workers by determining the CSD prevalence in relation to various combinations of risk factors.

Limitations. This study is limited to the results of medical examinations of the workers collected over a one-year period.

Conclusions. Our experience in using the analysis of variance and classification tree to evaluate the CSD prevalence in ferrous industry employees allows recommending them for use in assessing the prevalence of various diseases in workers exposed to occupational hazards.

Keywords: health risk factors; analysis of variance; diseases of the circulatory system; classification tree

Compliance with ethical standards. The study was approved by the Ethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers (protocol No. 6 of December 11, 2023).

For citation: Gazimova V.G., Shastin A.S., Chaurina D.V., Konstantinova E.D., Maslakova T.A., Ogorodnikova S.Yu., Varaksin A.N., Bortsov S.M. Using mathematical models in the assessment of the circulatory system in employees working under harmful occupational conditions. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2024; 103(9): 947–953. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-947-953> <https://elibrary.ru/jicbjr> (In Russ.)

For correspondence: Venera G. Gazimova, e-mail: venera@ymrc.ru

Contributions: Gazimova V.G. — study conception and design, data collection and processing, collection and processing of the material, writing the text; Shastin A.S. — collection and processing of the material, writing the text; Chaurina D.V. — data collection and processing; Konstantinova E.D., Maslakova T.A., Ogorodnikova S.Yu., Varaksin A.N. — statistical data analysis, writing the text; Bortsov S.M. — data collection. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 19, 2024 / Revised: May 5, 2024 / Accepted: July 31, 2024 / Published: October 16, 2024

Введение

Сохранение здоровья работающего населения и продление трудового долголетия входят в число стратегических направлений государственной политики [1, 2]. Особую озабоченность вызывает состояние здоровья работающих во вредных условиях труда, оказывающих негативное воздействие на здоровье [3–8].

По результатам периодических медицинских осмотров (ПМО) работников предприятий чёрной металлургии Свердловской области (СО), проведённых в ФБУН «Екатеринбургский медицинский — научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий» Роспотребнадзора (ЕМНЦ ПОЗРПП) в 2018–2022 гг., в структуре впервые выявленной хронической соматической заболеваемости ведущее место занимали БСК (15,9%), являющиеся не только ведущей причиной смертности населения трудоспособного возраста, но и смертности на рабочем месте [9–14]. Поэтому для снижения заболеваемости и смертности работающих от БСК необходимо разрабатывать и внедрять на всех уровнях медико-профилактические мероприятия, направленные на раннюю диагностику и профилактику этих патологий [14–16].

Для оценки распространённости БСК у работающих с учётом воздействия индивидуальных и производственных факторов возможно применение в качестве инструмента различных математических методов. При этом многофакторная обусловленность развития БСК у работающих требует достаточного арсенала математических методов в изучении обуславливающих их приоритетных детерминант.

Определённую сложность в решении задач многофакторного анализа вносит многообразие встречающихся типов данных: непрерывные и дискретные количественные, категориальные, ранговые. Следует помнить о невозможности получения стопроцентной точности результатов моделирования, поскольку изучалась сеть причинно-следственных связей возникновения патологии. Как правило, факторы риска возникновения болезни взаимосвязаны, и один фактор редко является непосредственной причиной болезни, за исключением инфекций. Поскольку необходима контролируемость алгоритмов, потенциально влияющих на здоровье работников, нежелательно применение моделей типа «чёрного ящика» с непрозрачной работой алгоритма. И наконец, желательно получение понятных решающих правил модели для использования врачами. Таким требованиям

препятствует применение сложных закрытых алгоритмов при обработке медико-биологических данных, и наряду с классическими методами дисперсионного анализа исследователи используют подход, основанный на методе деревьев классификации (ДК), в основу которого положен прозрачный алгоритм работы [17–20].

Цель исследования — обосновать возможность применения методов дисперсионного анализа и ДК для оценки распространённости БСК у работающих во вредных условиях труда для разработки и реализации медико-профилактических мероприятий, направленных на снижение уровня заболеваемости и смертности на рабочем месте.

Материалы и методы

Объектом исследования были работники предприятия чёрной металлургии СО, прошедшие ПМО в 2023 г. в ЕМНЦ ПОЗРПП. Исследование проведено сплошным методом. Общий объём наблюдений (n) составил 308 человек (мужчины). В группу исследования вошли работники четырёх основных профессий сталелитейного производства: сталевары, подручные сталеваров, разлишники стали и миксеровые. По данным производственно-лабораторного контроля и специальной оценки условий труда, класс условий труда (КУТ) сталеваров, подручных сталеваров и разлишников стали отнесён к вредному 3.4, миксеровых — к вредному 3.3. Средний возраст работников — $40,1 \pm 8,9$ года. Средний стаж работы во вредных условиях труда — $15,1 \pm 9$ лет. Для целей исследования вся группа работников была разделена на четыре возрастные когорты: группа 1 — 20–29 лет ($n = 47$); группа 2 — 30–39 лет ($n = 115$); группа 3 — 40–49 лет ($n = 98$); группа 4 — 50–59 лет ($n = 48$).

По результатам ПМО сформирована база данных с включением следующих показателей: идентификационный номер работника, возраст, профессия, стаж работы во вредных условиях труда, наименование вредных производственных факторов, действующих на данном рабочем месте, класс условий труда, данные анкетирования каждого работника по образу жизни (курение, употребление алкоголя, низкая физическая активность, нерациональное питание) и отягощённому семейному анамнезу. В базу данных также были включены отдельные медико-биологические показатели работников: рост, масса тела, окружность талии (ОТ), индекс массы тела (ИМТ), артериальное давление (АД), уровень общего холестерина и глюкозы в крови натощак и данные

Таблица 1 / Table 1

Характеристика работников предприятия по возрастным группам

Characteristics of the workers by age groups

Показатель Indicator	Группа / Group			
	1 n = 47	2 n = 115	3 n = 98	4 n = 48
Возраст, лет, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] / Age, years, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	27.5 [24.9–28.5]	35.9 [33.7–37.7]	45.2 [42.3–47.6]	53.4 [51.4–56.4]
Стаж работы во вредных условиях труда, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] Years of working under harm occupational conditions, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	4.0 [2.0–6.0]	11.0 [8.0–16.0]	21.0 [17.0–24.0]	27.0 [23.0–30.5]
Окружность талии, см, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] Waist circumference, cm, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	91.0 [84.0–95.0]	94.0 [86.0–98.0]	95.0 [86.0–100.0]	97.0 [91.0–106.5]
ИМТ, кг/м ² , <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] / BMI, kg/m ² , <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	26.2 [24.7–28.7]	27.4 [24.4–29.4]	27.2 [25.2–29.8]	28.9 [25.0–30.5]
Уровень глюкозы в крови, ммоль/л, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] Blood glucose level, mmol/L, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	5.2 [5.1–5.7]	5.4 [5.0–5.9]	5.8 [5.5–6.1]	5.8 [5.3–6.6]
Уровень общего холестерина в крови, ммоль/л, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] Total blood cholesterol level, mmol/L, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	4.8 [4.0–5.4]	5.0 [4.4–5.7]	5.3 [4.5–5.9]	5.3 [4.7–6.5]
САД, мм рт. ст., <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] / SBP, mm Hg, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	126.0 [120.0–135.0]	129.0 [120.0–140.0]	136.5 [126.0–142.0]	136.0 [129.0–150.0]
ДАД, мм рт. ст., <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅] / DBP, mm Hg, <i>Me</i> [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	78.0 [72.0–86.0]	85.0 [76.0–90.0]	89.5 [82.0–97.0]	90.0 [85.0–96.0]
Болезни системы кровообращения, число работников, абс. (%) Diseases of the circulatory system, abs. (%)	10 (21.3)	24 (20.9)	39 (39.8)	38 (79.2)
Курение, число работников, абс. (%) / Smoking, abs. (%)	19 (40.4)	46 (40.0)	33 (33.7)	13 (27.1)
Низкая физическая активность, число работников, абс. (%) Low physical activity, workers number, abs. (%)	5 (10.6)	18 (15.7)	22 (22.4)	6 (12.5)
Нерациональное питание, число работников, абс. (%) Imbalanced nutrition, workers number, abs. (%)	10 (21.3)	24 (20.9)	20 (20.4)	9 (18.8)
Употребление алкоголя, число работников, абс. (%) Alcohol consumption, workers number, abs. (%)	19 (40.4)	46 (40.0)	44 (44.9)	22 (45.8)
Повышенное АД, число работников, абс. (%) High blood pressure, workers number, abs. (%)	10 (21.3)	44 (38.3)	54 (55.1)	31 (64.6)

соматической заболеваемости (болезни, выявленные при проведении ПМО или имеющиеся в анамнезе у работника, коды в соответствии с МКБ-10).

Для статистического анализа исследуемые количественные переменные при необходимости были переведены в бинарную форму (ОТ, САД, ДАД, уровень глюкозы и общего холестерина в крови, ИМТ). Выше нормы считали уровень САД > 140 мм рт. ст. и (или) ДАД > 90 мм рт. ст., уровень глюкозы в крови натощак > 6,0 ммоль/л, уровень общего холестерина > 5,5 ммоль/л. Критерием признака наличия метаболического синдрома и абдоминального ожирения считали ОТ у мужчин больше 94 см вне зависимости от массы тела [21, 22]. По общепринятой методике был рассчитан индекс массы тела (ИМТ) [23]. Оценку ИМТ проводили по следующему критерию: 18,5 ≤ ИМТ < 25 кг/м² – нормальная масса тела, 25 ≤ ИМТ < 30 кг/м² – избыточная масса тела, ИМТ ≥ 30 кг/м² – ожирение. Работников с дефицитом веса ИМТ < 18,5 кг/м² в данных профессиях не было.

Для анализа данных применяли методы описательной статистики, сравнения долей, дисперсионного анализа и ДК. Проверку нормальности распределения проводили с использованием теста Шапиро – Уилка. Для переменных, имеющих отличное от нормального распределение, описательная статистика включала в себя расчёт медианных значений (*Me*), 25-го и 75-го перцентилей [Q₂₅; Q₇₅]. Оценка значимости различий распространённости таких показателей, как курение, низкая физическая активность, употребление алкоголя, повышенное АД, в возрастных группах определялась с помощью метода сравнения долей. Для оценки различий медиан использовали медианный тест Манна – Уитни. Взаимосвязь распространённости БСК с факторами индивидуального риска и условиями труда исследовали с использованием одно- и двухфакторного дисперсионного анализа. Для многофакторного анализа был применён метод ДК.

Статистическую обработку проводили с помощью прикладного пакета Statistica for Windows v. 10. Статистическая значимость различий оценивалась при $p < 0,05$.

Результаты

Основные характеристики работников, медико-биологические показатели и распространённость индивидуальных факторов риска для здоровья в возрастных группах 1–4 представлены в табл. 1.

Выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$) уровня глюкозы и САД между группами 1 и 3, 1 и 4, 2 и 3, 2 и 4. Для ДАД значимые различия выявлены во всех парах, кроме групп 3 и 4 ($p = 0,58$). Для уровня общего холестерина в крови такие различия выявлены в группах 1 и 3, 1 и 4, 2 и 4.

Однофакторный дисперсионный анализ выявил статистически значимую зависимость распространённости БСК от отягощённого семейного анамнеза по БСК ($p = 0,001$).

Ожидаемо получено подтверждение статистически значимой связи ($p < 0,05$) распространённости БСК с возрастом, стажем работы во вредных условиях труда, избыточной массой тела, уровнем глюкозы и общего холестерина в крови. При этом в обследуемой группе не выявлена статистически значимая связь с такими факторами риска развития БСК, как курение ($p = 0,806$) и употребление алкоголя ($p = 0,29$).

Поскольку показатель «возраст» является значимым предиктором роста распространённости БСК в проведённом однофакторном анализе, этот показатель использован в двухфакторном дисперсионном анализе в сочетании с иными предикторами (рис. 1).

При исследовании зависимости распространённости БСК от совместного действия возраста и ИМТ установлены статистически значимые различия в группах 1, 2, 3 ($p < 0,05$). Зависимость распространённости БСК от совместного

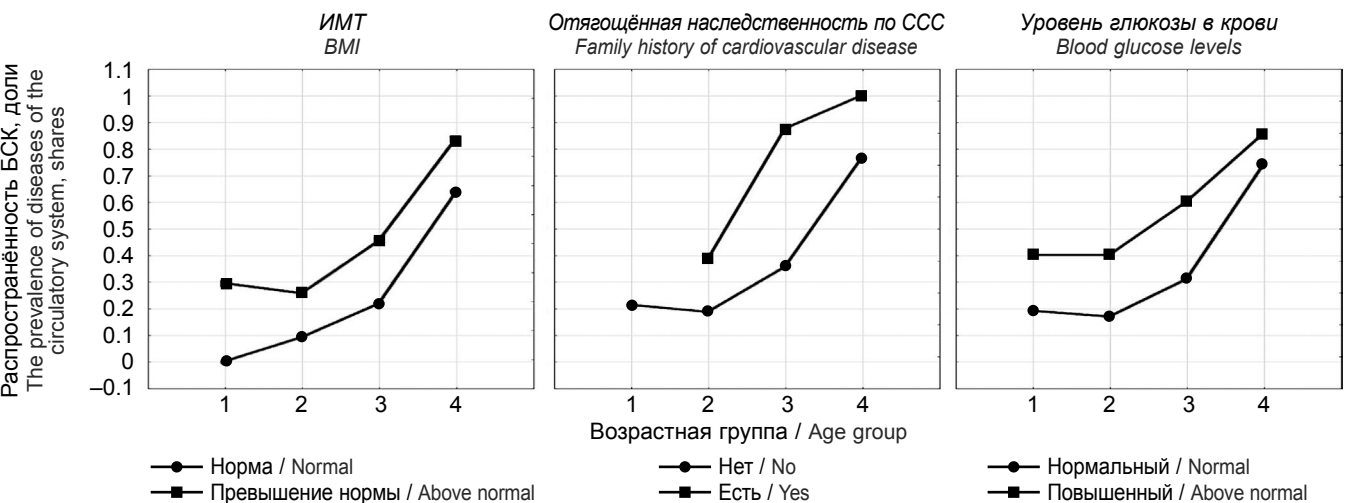


Рис. 1. Распространённость БСК при совместном действии возраста и ИМТ, отягощённого семейного анамнеза по сердечно-сосудистым болезням и уровня глюкозы в крови.

Fig. 1. The prevalence of diseases of the circulatory system (DCS) under the combined impact of the age and BMI, DCS family history, and blood glucose level.

действия возраста и отягощённого семейного анамнеза выявлена только в группе 3 ($p = 0,004$). Зависимость распространённости БСК от совместного действия возраста и уровня глюкозы в крови выявлена в группах 2 ($p = 0,02$) и 3 ($p = 0,006$). Не обнаружена зависимость распространённости БСК от совместного действия уровня общего холестерина и возраста (влияние возраста оказалось сильнее). Основная задача многофакторного анализа – нахождение комплекса факторов, изменяющих распространённость патологии, и разделение выборки на два класса (больные и здоровые) – решалась с применением метода ДК. В качестве входных данных для построения модели ДК использовали выбранные на этапе однофакторного дисперсионного анализа переменные, значимо связанные с наличием либо отсутствием БСК (табл. 2).

Классификация осуществлялась на два класса: 0 – отсутствие БСК, 1 – наличие БСК. Возраст, общий вредный стаж, ОТ, уровень глюкозы и общего холестерина в крови были представлены в виде количественных непрерывных переменных. Переменная ИМТ представлена в бинарном виде.

Построение ДК осуществлялось методом C&RT – подхода бинарной классификации с последовательным полным перебором всех возможных вариантов одномерного ветвления. Для оценки качества классификации использовали показатели чувствительности (Se), специфичности (Sp) и доли верно классифицированных объектов.

Результаты исследования методом ДК представлены на рис. 2.

В построенном ДК $Se = 78,2\%$, $Sp = 81,1\%$. Доля верно классифицированных объектов – $78,9\%$. Решающие правила попадания в класс «больные» (вершины 3, 9, 11, 13). Повышенный риск получить хроническую патологию системы кровообращения возникает, если у работника:

- возраст старше 50 лет;
- возраст до 50 лет включительно + избыточная масса тела и ожирение + уровень глюкозы в крови превышает 7,1;
- возраст до 50 лет включительно + избыточная масса тела и ожирение + уровень глюкозы крови в не превышает 7,1 + стаж во вредных условиях > 26 лет;
- возраст до 50 лет включительно + избыточная масса тела и ожирение + уровень глюкозы крови не превышает 7,1 + стаж во вредных условиях составляет 26 лет или меньше + ОТ > 94 см.

Работник потенциально будет отнесён к классу «здоровые» (вершины 4, 6, 12), если:

- возраст до 50 лет включительно + уровень глюкозы крови не превышает 5,4;
- возраст до 50 лет включительно + уровень глюкозы крови выше 5,4 + ИМТ норма;
- возраст до 50 лет включительно + избыточная масса тела и ожирение + уровень глюкозы крови не превышает 7,1 + стаж во вредных условиях составляет 26 лет или меньше + ОТ ≤ 94 см.

Распространённость БСК для объединённого класса «здоровые» $W_0 = 15,1\%$ ($n = 186$). Распространённость БСК для объединённого класса «больные» $W_1 = 67,2\%$ ($n = 122$).

Переменные, вошедшие в модель ДК, и их кодировка

Variables entered the classification tree model and their coding

Таблица 2 / Table 2

Название переменной Variable name	Кодировка Coding	Интерпретация кода Code interpretation
Наличие БСК / Presence of diseases of the circulatory system (DCS)	1/0	Есть БСК / Нет БСК (DCS present / No)
ИМТ / BMI	1/0	Избыточный ИМТ или ожирение / ИМТ в пределах нормы (Overweight or obese / Normal BMI)
Возраст / Age	Нет / None	Абсолютные значения / Absolute values
Общий вредный стаж / Total harmful term of service	Нет / None	Абсолютные значения / Absolute values
Окружность талии / Waist circumference	Нет / None	Абсолютные значения / Absolute values
Уровень глюкозы в крови / Blood glucose level	Нет / None	Абсолютные значения / Absolute values
Уровень общего холестерина в крови / Total blood cholesterol level	Нет / None	Абсолютные значения / Absolute values



Рис. 2. Дерево классификации для оценки вклада индивидуальных факторов риска и ВПФ в распространённость БСК у работников сталелитейного производства.

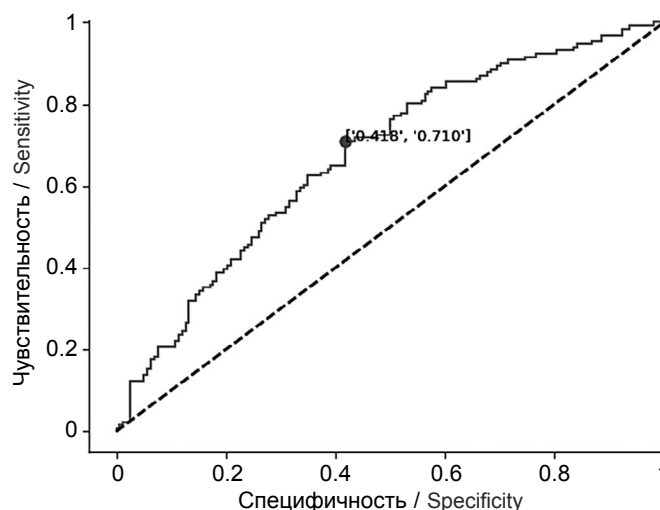
Fig. 2. Classification tree for assessing contribution of individual and occupational risk factors to the DCS prevalence in steel workers.

Для двух классов рассчитан относительный риск повышенной распространённости болезни при одновременном действии найденного комплекса факторов риска $RR = \frac{W_1}{W_0} = \frac{67,2\%}{15,1\%} = 4,5$ [95%-й ДИ = 3,1–6,4].

Обсуждение

Зависимость распространённости БСК от совместного действия факторов возраста и отягощённого семейного анамнеза выявлена только в группе 3 ($p = 0,004$), что может быть обусловлено относительно молодым возрастом родителей работников группы 1 и недостаточным числом случаев отягощённого семейного анамнеза в группе 4 ($n = 5$).

Выявленная высокая степень распространённости патологии БСК при совместном действии факторов «возраст» и «отягощённый семейный анамнез по сердечно-сосудистым патологиям» в группе 3 коррелирует с результатами проведённых ранее исследований [24].



AUC = 0.674
SE = 0.710
1-Sp = 0.418
Срез / Cut of point = 37.697
Коэффициент Юдена / Yuden coefficient = 0.292
Точность / Precision = 0.630
Точность / Precision = 0.594
F1 = 0.587

Возрастная категория, лет / Age category, years = [20–30, 31–40, 41–50, 51–59]
Выбранный предиктор / The selected predictor – Возраст / Age
Выбранный исход / The chosen outcome = АД / blood pressure

Рис. 3. ROC-кривая для оценки качества работы бинарного классификатора.

Fig. 3. ROC curve for assessing the performance of the binary classifier.

В данном случае при анализе совместного действия уровня общего холестерина крови и возраста влияние возраста оказалось сильнее.

Отсутствие статистически значимых связей с доказанными факторами риска развития БСК – курением ($p = 0,806$) и употреблением алкоголя ($p = 0,29$) – связано, вероятно, с качеством заполнения респондентами анкет при выявлении данных факторов риска. Распространённость БСК у некурящих (35,5%) и не употребляющих алкоголь (18%) достаточно высока (36,9% – у курящих, 23% – у употребляющих алкоголь).

Поскольку в исследовании были использованы результаты медицинского осмотра работников, занятых в близких по классу условиях труда (3.3–3.4), в модель был включён только стаж работы во вредных условиях труда.

В итоговый вариант многофакторной модели, построенной с помощью метода ДК, переменная «уровень общего холестерина» не вошла по этой же причине (влияние возраста, уровня глюкозы крови и стажа оказалось сильнее).

У работников 30–39 лет уже наблюдался устойчивый статистически значимый рост САД и ДАД.

Была построена ROC-кривая оценки качества работы бинарного классификатора АД в зависимости от возраста и определено пороговое значение – 37,7 года (рис. 3). То есть у работников исследуемой группы в этом возрасте происходит устойчивый переход от нормальных значений АД к повышенным.

С помощью метода ДК построена диагностическая прогностическая модель хорошего качества, достаточно уверенно выявляющая оба класса. Алгоритм ДК позволяет использовать переменные разных типов, и в этом состоит одно из основных его преимуществ. Очевидно, что исследователь для решения разных задач может при необходимости преобразовывать переменные одного типа в переменные другого

типа. Однако существует экспертное мнение о том, что не следует излишне увлекаться дихотомизацией предикторов, поскольку это может привести к снижению качества математической модели за счёт её огрубления [25–27]. Именно поэтому предикторы (возраст, уровень глюкозы крови, стаж вредной общи) включены в модель в виде непрерывных переменных.

Решающие правила модели приведены в предыдущем разделе. Результаты нашего исследования (в том числе показатели уровня глюкозы 5,4 и 7,1 ммоль/л) справедливы для конкретной исследуемой профессиональной группы, находящейся под влиянием производственных и индивидуальных факторов риска.

Применение метода ДК способствует быстрому выявлению скрытых связей между данными в самой очевидной форме. К преимуществам метода, помимо поддержки и числовых, и категориальных признаков, можно отнести высокую интерпретируемость модели и малое число входящих параметров. Легко визуализируются как само дерево, так и конкретное решающее правило (путь в дереве от корневой вершины к терминальной). К тому же алгоритм ДК способен учитывать опыт группы экспертов, рассматривающих кон-

кретную задачу. Последнее обстоятельство повышает актуальность предложенного подхода.

Опыт применения математических моделей (дисперсионный анализ и ДК) даже на небольшой группе лиц показал широкие возможности, предоставляемые врачам-специалистам, специалистам в области медицины труда, при определении группы риска развития БСК у работающих для подготовки и реализации медико-профилактических мероприятий, направленных на снижение уровня заболеваемости и смертности на рабочем месте.

Заключение

Достоинствами предлагаемого подхода с применением дисперсионного анализа и алгоритма построения ДК являются: количественная оценка вклада индивидуальных и вредных производственных факторов в риск развития БСК, прозрачность алгоритма, наглядность, понятность и лёгкая интерпретируемость решающих правил. Результат использования дисперсионного анализа и ДК позволяет рекомендовать эти методы для оценки распространённости различных патологий у работающих во вредных условиях труда.

Литература

(п.п. 7, 8, 18–20, 23, 25–27 см. References)

1. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Орлов М.С., Ярушин С.В., Мишина А.Л. Научная концепция развития нормативно-методической основы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1226–30. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1226-1230> <https://elibrary.ru/yqxmuu>
2. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Козловских Д.Н., Романов С.В., Диконская О.В. и др. Информационно-аналитическая поддержка управления риском для здоровья населения на основе реализации концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНСО*. 2019; (9): 4–12. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12> <https://elibrary.ru/tzkwsa>
3. Будкарь Л.Н., Гурвич В.Б., Карпова Е.А., Кудрина К.С., Обухова Т.Ю., Солoduшкин С.И. и др. Кардиоваскулярные токсические эффекты у работников медплавильного производства, экспонированных к тяжёлым металлам. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(1): 37–44. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-1-37-44> <https://elibrary.ru/kjbqpo>
4. Валева Э.Т., Галимова Р.Р., Дистанова А.А., Сулейманова И.Ф., Галиуллина Д.М., Бояринова Н.В. и др. Производственная среда автомобилестроения как один из факторов риска развития болезней системы кровообращения у работников. *Анализ риска здоровью*. 2023; (2): 95–103. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.2.09> <https://elibrary.ru/vjpuob>
5. Важенни А.А., Транковская Л.В., Анищенко Е.Б., Тарасенко Г.А. Особенности условий труда и состояния здоровья специалистов Роспотребнадзора. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2018; (2): 33–6. <https://doi.org/10.17238/PmJ1609-1175.2018.2.33-36> <https://elibrary.ru/xpuuyr>
6. Воробьева А.А., Власова Е.М., Лешкова И.В., Горбушина О.Ю., Устинова О.Ю. Влияние производственной среды на здоровье работников титаномагниевого производства. *Санитарный врач*. 2022; (11): 840–53. <https://doi.org/10.33920/med-08-2211-05>
7. Усачева Е.В., Куликова О.М. Экономический ущерб от потерь здоровья населения вследствие болезней системы кровообращения (на примере Омской области). *Общественное здоровье и здравоохранение*. 2016; (2): 31–8. <https://elibrary.ru/whcmpl>
8. Вафин А.Ю., Галиуллин А.Н. Анализ смертности населения республики Татарстан от болезней системы кровообращения. В кн.: *Здоровье человека в XXI веке: Сборник научных статей IX Российской научно-практической конференции*. Казань; 2017: 436–8. <https://elibrary.ru/yugkiv>
9. Макаров С.А., Максимов С.А., Шаповалова Э.Б., Стряпчев Д.В., Артамонова Г.В. Смертность от болезней системы кровообращения в Кемеровской области и Российской Федерации в 2000–2016 годах. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019; 8(2): 6–11. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-2-6-11> <https://elibrary.ru/mjdldor>
10. Каримова Л.К., Гимаева З.Ф., Бакиров А.Б., Мулдашева Н.А., Капцов В.А. Внезапная смерть на рабочем месте от общих заболеваний и меры профилактики (на примере Республики Башкортостан). *Пермский медицинский журнал*. 2021; 38(1): 123–34. <https://doi.org/10.17816/pmj381123-134> <https://elibrary.ru/xdcnhm>
11. Мохначук И.И., Пиктушанская Т.Е., Брылева М.С., Бетц К.В. Смертность на рабочем месте на предприятиях угольной промышленности России. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(2): 88–93. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-88-93> <https://elibrary.ru/qxwppq>
12. Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Беленков Ю.Н. Национальные рекомендации по определению риска и профилактике внезапной сердечной смерти. М.: 2018.
13. Мулдашева Н.А., Астрелина Т.Н., Каримова Л.К., Шаповал И.В., Гимаева З.Ф., Фагамова А.З. и др. Внезапная смерть на рабочем месте вследствие общего заболевания на предприятиях и в организациях Республики Башкортостан. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(2): 101–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-2-101-108>
14. Мамедов М.Н., Сушкова Л.Т., Исаков Р.В., Худяков М.Б., Драпкина О.М. Оценка риска сердечно-сосудистых осложнений в неорганизованной популяции мужчин и женщин трудоспособного возраста во Владимирской области. *Профилактическая медицина*. 2023; 26(12): 46–51. <https://doi.org/10.17116/profmed2023261246>
15. Орехова Л.И., Глушанко В.С. Разработка логистической регрессионной модели для прогнозирования вероятности развития болезней системы кровообращения. В кн.: *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации: материалы 78-ой научной сессии ВГМУ*. Витебск; 2023. <https://elibrary.ru/qxtkaf>
16. Mach F., Baigent C., Catapano A.L., Koskinas K.C., Casula M., Badimon L. и др. Рекомендации ESC/EAS по лечению дислипидемий: модификация липидов для снижения сердечно-сосудистого риска. *Российский кардиологический журнал*. 2020; 25(5): 121–93. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3826> <https://elibrary.ru/fdliiw>
17. Верткин А.Л., Толстов С.Н. Консенсус экспертов по междисциплинарному подходу к ведению, диагностике и лечению больных с метаболическим синдромом. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2013; 12(6): 41–82. <https://elibrary.ru/rsyqur>
18. Воевода М.И., Максимов В.Н., Малютина С.К. Семейный анамнез и его связь с сердечно-сосудистыми заболеваниями в мужской популяции Новосибирска. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2006; 26(4): 56–62. <https://elibrary.ru/hvidqj>

References

1. Popova A.Yu., Gurvich V.B., Kuzmin S.V., Orlov M.S., Yarushev S.V., Mishina A.L. The paradigm of the development of the regulatory and methodological framework aimed to maintain sanitary and epidemiological welfare of the population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1226–30. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1226-1230> <https://elibrary.ru/yqxmuu> (in Russian)
2. Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Gurvich V.B., Kozlovskikh D.N., Romanov S.V., Dikonskaya O.V., et al. Data-driven risk management for public health as supported by the experience of implementation for development concept of the social and hygienic monitoring framework in the Russian Federation up to 2030. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2019; (9): 4–12. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12> <https://elibrary.ru/tzkwsa> (in Russian)
3. Budkar L.N., Gurvich V.B., Karpova E.A., Kudrina K.S., Obukhova T.Yu., Solodushkin S.I., et al. Cardiovascular toxicity in copper production workers exposed to heavy metals. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(1): 37–44. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-1-37-44> <https://elibrary.ru/kjbqpo> (in Russian)
4. Valeeva E.T., Galimova R.R., Distanova A.A., Suleimanova I.F., Galiullina D.M., Boyarinova N.V., et al. Work environment of the automotive industry as a risk

Original article

- factor of diseases of the circulatory system among workers. *Analiz riska zdorov'yu*. 2023; (2): 95–103. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.2.09.eng>
5. Vazhenina A.A., Trankovskaya L.V., Anishchenko E.B., Tarasenko G.A. Peculiarities of working conditions and health of specialists of the federal service for surveillance on consumer rights protection and human wellbeing. *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal*. 2018; (2): 33–6. <https://doi.org/10.17238/PmJ1609-1175.2018.2.33-36> <https://elibrary.ru/xpuyep> (in Russian)
 6. Vorobeva A.A., Vlasova E.M., Leshkova I.V., Gorbushina O.Yu., Ustinova O.Yu. Impact of the industrial environment on the health of workers in titanium and magnesium production. *Sanitarnyi vrach*. 2022; (11): 840–53. <https://doi.org/10.33920/med-08-2211-05> (in Russian)
 7. Hulshof C.T.J., Pega F., Neupane S., van der Molen H.F., Colosio C., Daams J.G., et al. The prevalence of occupational exposure to ergonomic risk factors: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environ. Int.* 2021; 146: 106157. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106157>
 8. Carles C., Verdun-Esquer C., Leclerc I., Baldi I. Occupational cancers: Risks and prevention. *Bull. Cancer*. 2019; 106(7–8): 665–77. <https://doi.org/10.1016/j.bulcan.2018.10.010> (in French)
 9. Usacheva E.V., Kulikova O.M. Economic damage from loss of health due to cardiovascular diseases (after the example of Omsk region). *Obshchestvennoe zdorov'e i zdoravookhranenie*. 2016; (2): 31–8. <https://elibrary.ru/whcmpl> (in Russian)
 10. Vafin A.Yu., Galiullin A.N. Analysis of mortality from circulatory diseases in the population of the Republic of Tatarstan. In: *Human Health in the XXI Century: Proceedings of the IX Russian Scientific and Practical Conference [Zdorov'e cheloveka v XXI veke: Sbornik nauchnykh statei IX Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]*. Kazan'; 2017: 436–8. <https://elibrary.ru/yugkiv> (in Russian)
 11. Makarov S.A., Maksimov S.A., Shapovalova E.B., Stryapchev D.V., Artamonova G.V. Mortality from circulatory system diseases in the Kemerovo region and the Russian federation in 2000–2016. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyykh zabolevanii*. 2019; 8(2): 6–11. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-2-6-11> <https://elibrary.ru/mjdior> (in Russian)
 12. Karimova L.K., Gimaeva Z.F., Bakirov A.B., Muldasheva N.A., Kaptsov V.A. Sudden death from common diseases at workplace and preventive measures (on the example of the republic of Bashkortostan). *Permskii meditsinskii zhurnal*. 2021; 38(1): 123–34. <https://doi.org/10.17816/pmj381123-134> <https://elibrary.ru/xdcnhm> (in Russian)
 13. Mokhnachuk I.I., Piktushanskaya T.E., Bryleva M.S., Betts K.V. Workplace mortality at coal industry enterprises of Russia. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(2): 88–93. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-2-88-93> <https://elibrary.ru/qxwppq> (in Russian)
 14. Shlyakhto E.V., Arutyunov G.P., Belenkov Yu.N. *National Recommendations for Determining the Risk and Prevention of Sudden Cardiac Death [Natsional'nye rekomendatsii po opredeleniyu riska i profilaktike vnezapnoi serdechnoi smerti]*. Moscow; 2018. (in Russian)
 15. Muldasheva N.A., Astrelina T.N., Karimova L.K., Shapoval I.V., Gimaeva Z.F., Fagamova A.Z., et al. Sudden death in the workplace due to general diseases at Bashkortostan enterprises and organizations. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(2): 101–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-2-101-108> (in Russian)
 16. Mamedov M.N., Sushkova L.T., Isakov R.V., Khudyakov M.B., Drapkina O.M. Risk assessment of cardiovascular complications in unorganized population of the working-age men and women in the Vladimir region. *Profilakticheskaya meditsina*. 2023; 26(12): 46–51. <https://doi.org/10.17116/profmed20232612146> (in Russian)
 17. Orekhova L.I., Glushanko V.S. Development of a logistic regression model for predicting the likelihood of developing circulatory system diseases. In: *Achievements of Fundamental, Clinical Medicine and Pharmacy: Proceedings of the 78th Scientific Session of VSMU [Dostizheniya fundamental'noi, klinicheskoi meditsiny i farmatsii: materialy 78-oi nauchnoi sessii VGMU]*. Vitebsk; 2023. <https://elibrary.ru/qxtkaf> (in Russian)
 18. Buntine W. Learning classification trees. In: Hand D.J., ed. *Artificial Intelligence Frontiers in Statistics*. Chapman and Hall/CRC; 2020: 182–201.
 19. Gimovsky A.C., Zhuo D., Levine J.T., Dunn J., Amarn M., Peaceman A.M. Benchmarking cesarean delivery rates using machine learning-derived optimal classification trees. *Health Serv. Res.* 2022; 57(4): 796–805. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.13921>
 20. Santora L., Byrne D., Klöckner C. Exploring quality of life reported by Norwegian older adults using classification tree approach on group profiles. *Ageing. Int.* 2022; 47(4): 816–46. <https://doi.org/10.1007/s12126-021-09454-6>
 21. Mach F., Baigent C., Catapano A.L., Koskinas K.C., Casula M., Badimon L., et al. The Task Force for the management of dyslipidaemias of the European Society of Cardiology (ESC) and European Atherosclerosis Society (EAS). 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias: lipid modification to reduce cardiovascular risk. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*. 2020; 25(5): 121–93. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3826> <https://elibrary.ru/fdliiw> (in Russian)
 22. Vertkin A.L., Tolstov S.N. Experts' consensus on the interdisciplinary approach towards the management, diagnostics, and treatment of patients with metabolic syndrome. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2013; 12(6): 41–82. <https://elibrary.ru/rsyqyp> (in Russian)
 23. Mifflin M.D., St. Jeor S.T., Hill L.A., Scott B.J., Daugherty S.A., Koh Y.O. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990; 51(2): 241–7. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>
 24. Voevoda M.I., Maksimov V.N., Mal'yutina S.K. Family history and its relation to CVD in male population of Novosibirsk. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2006; 26(4): 56–62. <https://elibrary.ru/hvidqj> (in Russian)
 25. Gustafson P., Le Nhu D. Comparing the effects of continuous and discrete covariate misclassification, with emphasis on the dichotomization of misclassified predictors. *Biometrics*. 2002; 58(4): 878–87. <https://doi.org/10.1111/j.0006-341x.2002.00878.x>
 26. Fedorov V., Mannino F., Zhang R. Consequences of dichotomization. *Pharm. Stat.* 2009; 8(1): 50–61. <https://doi.org/10.1002/pst.331>
 27. van Smeden M., Reitsma J.B., Riley R.D., Collins G.S., Moons K.G. Clinical prediction models: diagnosis versus prognosis. *J. Clin. Epidemiol.* 2021; 132: 142–5. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.01.009>

Сведения об авторах

Газимова Венера Габдрахмановна, канд. мед. наук, зав. отд. организации медицины труда ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: venera@ymrc.ru

Шастин Александр Сергеевич, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. организации медицины труда ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: shastin@ymrc.ru

Чаурина Диана Васильевна, врач по гигиене труда, отд. организации медицины труда ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 620014, Екатеринбург, Россия. E-mail: chaurinadv@ymrc.ru

Константинова Екатерина Даниловна, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., зав. лаб. биostatистики ИПЭ УрО РАН, 620990, Екатеринбург, Россия. E-mail: K_konst@ecko.uran.ru

Маслакова Татьяна Анатольевна, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. лаб. биostatистики ИПЭ УрО РАН, 620990, Екатеринбург, Россия. E-mail: masta@ecko.uran.ru

Огородникова Светлана Юрьевна, мл. науч. сотр. лаб. биostatистики ИПЭ УрО РАН, 620990, Екатеринбург, Россия. E-mail: ogor.svetlana@ecko.uran.ru

Вараксин Анатолий Николаевич, гл. науч. сотр. лаб. биostatистики ИПЭ УрО РАН, 620990, Екатеринбург, Россия. E-mail: varaksin@ecko.uran.ru

Борцов Семен Михайлович, студент 6-го курса, лечебно-профилактический факультет, ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России, 620028, Екатеринбург, Россия. E-mail: borcovsemen@yandex.ru

Information about the authors

Venera G. Gazimova, MD, PhD, leading researcher, head of the Department of Occupational Medicine Organization, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3591-3726> E-mail: venera@ymrc.ru

Aleksandr S. Shastin, MD, PhD, senior researcher, Department of Occupational Medicine Organization, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8363-5498> E-mail: shastin@ymrc.ru

Diana V. Chaurina, occupational health doctor, Department of Occupational Medicine Organization, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0009-2545-8169> E-mail: chaurinadv@ymrc.ru

Ekaterina D. Konstantinova, MD, PhD, Senior Researcher, Head of the Biostatistics Laboratory, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X> E-mail: K_konst@ecko.uran.ru

Tatiana A. Maslakova, MD, PhD, researcher of the Biostatistics Laboratory, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027> E-mail: masta@ecko.uran.ru

Svetlana Yu. Ogorodnikova, junior researcher of the Biostatistics Laboratory, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7193-3607> E-mail: ogor.svetlana@ecko.uran.ru

Anatoly N. Varaksin, MD, PhD, DSci., chief researcher of the Biostatistics Laboratory, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2689-3006> E-mail: varaksin@ecko.uran.ru

Semyon M. Bortsov, 6th year student, Faculty of Treatment and Prevention, Ural State Medical University, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0005-7423-690X> E-mail: borcovsemen@yandex.ru