

Выхованец Ю.Г.<sup>1</sup>, Тетюра С.М.<sup>1</sup>, Выхованец Т.А.<sup>1</sup>, Черняк А.Н.<sup>1</sup>, Габараева З.Г.<sup>2</sup>

## Оценка влияния метеорологических и экологических факторов на заболевания системы кровообращения у населения промышленного региона

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 283003, Донецк, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Юго-Осетинский государственный университет имени А.А. Тиболова», 100001, Цхинвал, Республика Южная Осетия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** В условиях глобальных климатических изменений важной задачей является разработка современных методов моделирования и прогнозирования комплексного влияния метеорологических и экологических компонентов окружающей среды на физическое здоровье для оперативной разработки мер профилактики сердечно-сосудистой патологии (ССП) у человека.

**Цель исследования** — разработка эффективного метода гигиенической оценки риска возникновения ССП, формирующейся под влиянием комплексного воздействия метеорологических и химических факторов окружающей среды.

**Материалы и методы.** Изучали среднегодовые и среднесезонные колебания метеорологических факторов, рассчитывали биоклиматические индексы, индекс патогенности метеорологической ситуации и жёсткости погоды, проводили оценку концентраций химических веществ в атмосферном воздухе, анализ влияния метеорологических факторов окружающей среды на частоту возникновения ССП у населения, проживающего в индустриальном регионе.

**Результаты.** На основе проведённых исследований установлено неблагоприятное комбинированное влияние метеорологических компонентов окружающей среды на процессы терморегуляции у жителей промышленного региона. Выявлена взаимосвязь между среднесуточными показателями скорости ветра и сезонным превышением предельно допустимых концентраций некоторых веществ в атмосферном воздухе за ряд лет. Сочетание сезонных колебаний метеорологических факторов с повышенными уровнями загрязнений атмосферного воздуха города тяжёлыми металлами являются факторами, увеличивающими частоту возникновения ССП у населения.

**Ограничения исследования.** Исследования не имели методических и административных ограничений.

**Заключение.** Разработан метод расчёта и оценки риска возникновения ССП, формирующейся под влиянием комплексного воздействия метеорологических и химических факторов окружающей среды.

**Ключевые слова:** метеорологические факторы; экологические факторы; сердечно-сосудистая патология; математическая модель

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Выхованец Ю.Г., Тетюра С.М., Выхованец Т.А., Черняк А.Н., Габараева З.Г. Оценка влияния метеорологических и экологических факторов на заболевания системы кровообращения у населения промышленного региона. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2025; 69(1): 70–76. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2025-69-1-70-76> <https://elibrary.ru/fhhqxy>

**Для корреспонденции:** Выхованец Юрий Георгиевич, e-mail: roger1965@mail.ru

**Участие авторов:** Выхованец Ю.Г. — концепция статьи, статистический анализ данных, написание текста, составление списка литературы; Тетюра С.М. — дизайн исследований, статистический анализ данных, написание текста; Выхованец Т.А. — сбор и обработка материала, написание текста; Черняк А.Н. — статистический анализ данных, написание текста; Габараева З.Г. — сбор и обработка материала, написание текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Поступила: 18.12.2023 / Принята к печати: 19.03.2024 / Опубликована: 28.02.2025

Yuri G. Vykhovanets<sup>1</sup>, Sergey M. Tetyura<sup>1</sup>, Tatiana A. Vykhovanets<sup>1</sup>, Alla N. Chernyak<sup>1</sup>, Zema G. Gabaraeva<sup>2</sup>

## Assessment of the influence of meteorological and environmental factors on diseases of the circulatory system in the population of the industrial region

<sup>1</sup>M. Gorky Donetsk State Medical University, Donetsk, 283003, Russian Federation;

<sup>2</sup>A.A. Tibilov South Ossetian State University, Tskhinval, 100001, Republic of South Ossetia

### ABSTRACT

**Introduction.** In the context of global climate changes occurring on the planet, an important task is to develop modern methods for modelling and forecasting the complex influence of meteorological and environmental components of the environment on physical health, for the rapid development of measures to prevent diseases of the cardiovascular system in human.

**The purpose.** Development of an effective method for hygienic assessment of the risk of cardiovascular pathology, which is formed under the influence of the complex effects of meteorological and chemical environmental factors.

**Materials and methods.** The average annual and seasonal fluctuations of meteorological factors were studied. Bioclimatic indices, the index of pathogenicity of the meteorological situation, and severity of the weather were calculated. Concentrations of chemicals in atmospheric air were assessed, and the influence of meteorological environmental factors on the incidence of cardiovascular pathology in the population living in an industrial region was analyzed.

## Актуальные вопросы гигиены

**Results.** Based on the conducted studies, an unfavourable combined effect of meteorological components of the environment on thermoregulation processes in residents of an industrial region has been established. The relationship between the average daily wind speed and the seasonal excess of the maximum permissible concentrations of certain substances in the atmospheric air over a number of years has been revealed. The combination of seasonal fluctuations in meteorological factors with increased levels of pollution of the city's atmospheric air with heavy metals are factors that increase the incidence of cardiovascular pathology in the population.

**Research limitations.** The studies had no methodological or administrative restrictions.

**Conclusions:** There has been developed the method for calculating and assessing the risk of cardiovascular pathology, formed under the influence of the complex effects of meteorological and chemical environmental factors.

**Keywords:** meteorological factors; environmental factors; cardiovascular pathology; mathematical model

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of a conclusion from the biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Vykhanets Yu.G., Tetyura S.M., Vykhanets T.A., Chernyak A.N., Gabaraeva Z.G. Assessment of the influence of meteorological and environmental factors on diseases of the circulatory system in the population of the industrial region. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii / Health Care of the Russian Federation, Russian journal.* 2025; 69(1): 70–76. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2025-69-1-70-76> <https://elibrary.ru/fhhqxy> (in Russian)

**For correspondence:** Yuri G. Vykhanets, e-mail: roger1965@mail.ru

**Contribution of the authors:** Vykhanets Yu.G. — concept of the article, statistical data analysis, text writing, compiling a list of references; Tetyura S.M. — research design, statistical data analysis, text writing; Vykhanets T.A. — collecting and processing material, writing text; Chernyak A.N. — statistical data analysis, text writing; Gabaraeva Z.G. — collecting and processing material, writing text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

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

Received: December 18, 2023 / Accepted: March 19, 2024 / Published: February 28, 2025

## Введение

Жизнедеятельность человека, состояние его здоровья как на популяционном, так и на индивидуальном уровне находятся в тесной взаимосвязи с географическими, социальными, экологическими, медико-биологическими и другими факторами. Разностороннее влияние на состояние здоровья человека оказывают климатические условия его проживания [1–5]. В последнее десятилетие в результате глобальных климатических изменений на планете возросло негативное влияние этих факторов на организм человека [6–10]. При этом в промышленных регионах неблагоприятное влияние климатических факторов может усиливаться за счёт интенсивной производственной деятельности и загрязнения окружающей среды различными веществами [11, 12]. В ряде научных публикаций приводятся результаты исследований о взаимосвязи между синоптической обстановкой в сочетании с высокими уровнями концентраций некоторых химических веществ в атмосферном воздухе и возникновением патологических изменений в жизненно важных системах организма человека (системы дыхания, кровообращения и др.) [13–15]. Так, низкая температура атмосферного воздуха в сочетании с высокой влажностью и скоростью движения ветра зимой в индустриальных регионах может приводить к росту острых и обострению хронических заболеваний у человека [16, 17]. Поэтому важной задачей является разработка современных методов моделирования и прогнозирования комплексного влияния метеорологических и экологических компонентов окружающей среды на показатели здоровья человека.

Цель исследования — разработка эффективного метода гигиенической оценки риска возникновения сердечно-сосудистой патологии (ССП), формирующейся под влиянием комплексного воздействия метеорологических и химических факторов окружающей среды.

## Материалы и методы

Научные исследования выполнены на кафедрах медицинской физики, математики и информатики, гигиены и экологии им. проф. О.А. Ласткова ФГБОУ ВО ДонГМУ Минздрава России в рамках научно-исследовательской работы в 2019–2023 гг. Информация по погодным показателям была обобщена на основе данных, представленных

Государственной метеорологической службой Донецкой Народной Республики (форма ТСГ-1) по городу Донецку за 2015–2019 гг. Проводился анализ метеорологических показателей окружающей среды: температуры, влажности, скорости движения атмосферного воздуха, давления атмосферного воздуха.

В процессе изучения синоптических факторов окружающей среды проводили расчёт интегральных величин: эффективной температуры (ЭТ), эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ), радиационно-эквивалентно-эффективной температуры (РЭЭТ), эффективной температуры по Стедмену (SET), индекса жары, индекса охлаждения ветром (WCI), индекса ветрового сухого охлаждения по Хиллу (HWCI). Анализировали индексы патогенности метеорологической ситуации, суммарный индекс патогенности метеорологической ситуации, индекс жёсткости по С. Бодману [18], годовые и сезонные среднемесячные концентрации химических веществ, зарегистрированные на стационарных постах контроля в Донецке по улицам Щорса и Кобозева, которые были представлены Министерством здравоохранения ДНР. Для оценки суммарных эффектов воздействия химических веществ в атмосферном воздухе на организм жителей Донецка рассчитывали индекс загрязнения атмосферного воздуха [19]. Для оценки взаимосвязи между факторами окружающей среды и возникновением ССП у взрослого населения города проведён анализ этих заболеваний по данным амбулаторно-поликлинической службы за 2015–2019 гг. (по кварталам), которые были предоставлены Министерством здравоохранения ДНР.

На каждом этапе исследований проводилась математическая обработка данных при помощи статистических пакетов прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoft), MedStat v. 5.2 [20], которые включают все алгоритмы одномерного и многомерного статистического анализа, параметрических и непараметрических методов сравнений статистических совокупностей. Наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на формирование ССП человека, определяли с использованием методов пошаговой многофакторной регрессии (метод исключения факторов). Для анализа качества построения математической модели проводили расчёт и оценку по критерию Дурбина–Уатсона и значения сериальной корреляции, ROC-анализ.

**Таблица 1.** Сезонные среднесуточные амплитуды колебаний метеорологических показателей за 2015–2019 гг.**Table 1.** Seasonal average daily amplitudes of fluctuations in meteorological indicators for the period 2015–2019

| Сезон<br>Season | Среднесуточная амплитуда колебаний метеорологических показателей<br>Average daily amplitudes of fluctuations in meteorological indicators |   |   |  |
|-----------------|---|---|---|--|
|                 | температура воздуха, °C<br>ambient air temperature, °C  | влажность воздуха, %<br>ambient air humidity, % | скорость движения атмосферного воздуха, м/с<br>atmospheric air speed, m/s | давление атмосферного воздуха, гПа<br>atmosphere pressure, hPa |
| Зима   Winter   | 3,0–5,0   | 13,0–24,0                                       | 11,0–18,0   | 4,1–5,3  |
| Весна   Spring  | 7,0–7,3   | 25,0–33,5                                       | 13,0–16,5   | 2,3–2,9  |
| Лето   Summer   | 8,0–8,8   | 22,5–37,0                                       | 1,0–15,2  | 2,7–3,1  |
| Осень   Autumn  | 4,1–5,0   | 14,0–25,5                                       | 13,4–14,8   | 3,0–4,6  |

## Результаты

В течение изучаемого периода одной из актуальных экологических проблем в Донецке является загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий, которые расположены в черте города, и автомобильным транспортом, осуществляющим грузовые перевозки по городским автомагистралям. Установлено, что в промышленных городах Донбасса каждый третий анализ атмосферного воздуха не соответствует гигиеническим нормативам.

Анализ метеорологических данных позволил выявить определённые закономерности в формировании метеорологической обстановки на изучаемой территории (**табл. 1**).

Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее значительные среднесуточные амплитуды колебаний температуры атмосферного воздуха наблюдаются летом и весной, влажности атмосферного воздуха — весной и летом. Высокие значения амплитуды скорости движения атмосферного воздуха выявлены в зимний и весенний периоды, атмосферного давления — в зимний период.

Для изучения влияния годовых и среднесуточных перепадов температуры, относительной влажности, скорости движения и давления атмосферного воздуха на тепловые ощущения человека был проведён расчёт средних сезонных значений биометеорологических индексов (**табл. 2**).

Оценка сезонных изменений тепловых ощущений человека на основе расчёта сезонных индексов ЭТ за ряд лет позволила установить, что в весной этот индекс превышал уровень «умеренно» (6–0°C) на 40,6%, а осенью — на 43,4%. Летом показатель был выше уровня «прохладно» (12–16°C) на 43,4%. В результате анализа сезонных изме-

нений уровня комфорта человека на основе индекса ЭТ установлено, что зимой этот индекс превышал уровень «холодно» (от –12 до –18°C) на 23,3%, а в остальные периоды находился в пределах оптимальных для человека значений.

Полученные результаты оценки индекса РЭТ позволяют предположить, что на изучаемой территории человек будет проживать в условиях комфортных температур. Это обусловлено тем, что в основу расчётов этого индекса, кроме вышеперечисленных метеорологических факторов, заложена оценка величины солнечной радиации, которая на изучаемой территории считается достаточно высокой для одетого человека. Исследования позволили выявить существенные различия между полученными значениями SET зимой и летом. Это связано с выраженным колебанием изучаемых показателей в эти периоды. На величину SET будут влиять значительные колебания давления атмосферного воздуха зимой. В течение этого периода амплитуды среднесуточных колебаний давления атмосферного воздуха доходили до 5,4 гПа. В результате оценки степени опасности для человека уровня изменений WCI установлено, что индекс превышал значения, соответствующие уровню «прохладно» (менее 0,7 Вт/м<sup>2</sup>/ч), зимой на 40,2%, весной — на 39,2%, летом — на 27,1%. Это связано с существенными колебаниями скорости ветра и температуры атмосферного воздуха в эти сезоны. В результате оценки потенциальной опасности колебаний метеофакторов для функционирования организма человека на основе WCI установлено, что этот показатель превышал значения, соответствующие уровню «комфортно» (от 0,6 до 0,9°C), зимой на 27,5%, весной — на 26,5%, осенью — на 24,3%.

**Таблица 2.** Средние сезонные значения биометеорологических индексов по Донецку за 2015–2019 гг.,  $M \pm m$  (95% ДИ)  
**Table 2.** Average seasonal values of biometeorological indices for the city of Donetsk for the period 2015–2019,  $M \pm m$  (95% CI)

| Показатель   Indicator   | Зима   Winter                   | Весна   Spring                | Лето   Summer                 | Осень   Autumn                |
|--|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Эффективная температура, °C<br>Effective temperature, °C   | $-0,17 \pm 0,2$<br>(–0,1–0,3)   | $10,1 \pm 0,2$<br>(9,7–10,6)  | $21,2 \pm 0,2$<br>(19,5–21,7) | $10,6 \pm 0,2$<br>(10,2–11)   |
| Эквивалентно-эффективная температура, °C<br>Equivalent effective temperature, °C                       | $-22,0 \pm 0,4$<br>(–20,8–21,3) | $-4,7 \pm 0,4$<br>(–3,5––3,9) | $14,3 \pm 0,4$<br>(13,6–15,1) | $-4,1 \pm 0,4$<br>(–3,8––3,3) |
| Радиационно-эквивалентно-эффективная температура, °C<br>Radiation equivalent effective temperature, °C | $22,1 \pm 0,1$<br>(21,9–22,3)   | $19,7 \pm 0,1$<br>(19,1–19,9) | $24,1 \pm 0,1$<br>(23,9–24,3) | $19,4 \pm 0,1$<br>(18,2–19,6) |
| Эффективная температура по Стедмену, °C<br>Stedman effective temperature, °C                           | $2,3 \pm 0,3$<br>(–1–3,7)       | $8,1 \pm 0,3$<br>(7,5–8,7)    | $24,4 \pm 0,3$<br>(22,7–25)   | $8,8 \pm 0,3$<br>(8,2–9,5)    |
| Индекс охлаждения ветром, Вт/м <sup>2</sup> /ч<br>Wind cooling index, W/m <sup>2</sup> /h              | $1,17 \pm 0,1$<br>(1,0–1,2)     | $1,15 \pm 0,1$<br>(0,9–1,9)   | $0,96 \pm 0,1$<br>(0,3–0,9)   | $0,8 \pm 0,1$<br>(0,74–0,9)   |
| Индекс ветрового (сухого) охлаждения Хилла, °C<br>Hill wind (dry) cooling index, °C                    | $1,24 \pm 0,1$<br>(0,9–1,6)     | $1,28 \pm 0,1$<br>(1,1–1,3)   | $0,99 \pm 0,1$<br>(0,5–0,2)   | $1,19 \pm 0,1$<br>(1,0–1,3)   |

Актуальные вопросы гигиены

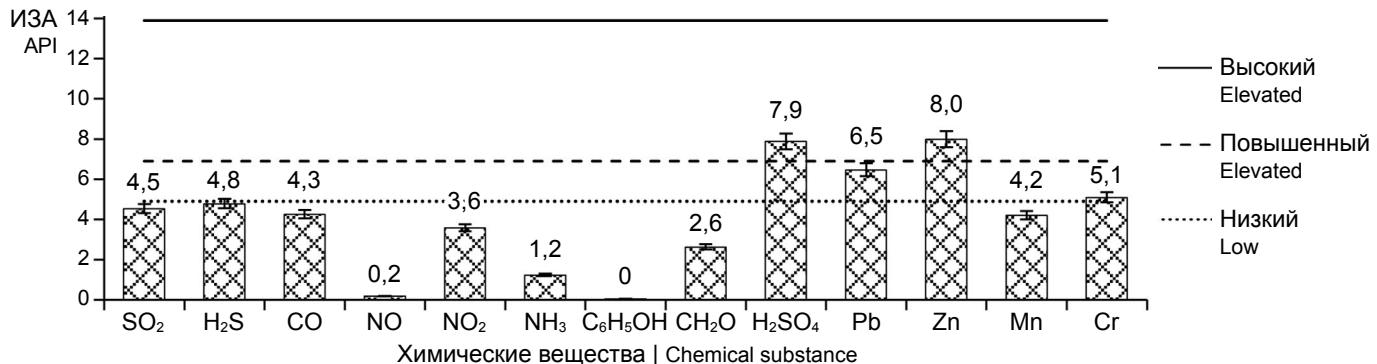


Рис. 1. Индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в Донецке по данным годовых среднесуточных концентраций химических веществ за 2015–2019 гг.

Fig. 1. Air pollution index (API) in Donetsk based on annual average daily concentrations of chemicals for 2015–2019.

Анализ среднесезонных концентраций пыли в атмосферном воздухе города показал, что максимальные концентрации пыли были весной и составляли  $0,16 \pm 0,002$  (95% ДИ 0,15–0,16) мг/м<sup>3</sup>. При этом среднесезонные концентрации пыли в атмосферном воздухе в этот период были на 25% выше, чем зимой ( $p < 0,05$ ). Увеличение скорости движения атмосферного воздуха в весенний сезон приводит к росту концентрации пыли в атмосферном воздухе ( $r = 0,62$ ;  $p < 0,05$ ). Высокие средние концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе были зарегистрированы летом и составляли  $0,774 \pm 0,011$  (95% ДИ 0,753–0,796) мг/м<sup>3</sup>, что на 4,1% превышало концентрации этого вещества зимой ( $p < 0,05$ ). Рост концентраций оксида углерода летом, вероятно, обусловлен снижением скорости движения атмосферного воздуха ( $r = 0,5$ ;  $p < 0,05$ ). Среднесезонные концентрации диоксида азота в атмосферном воздухе были зарегистрированы осенью и равнялись  $0,043 \pm 0,001$  (95% ДИ 0,041–0,044) мг/м<sup>3</sup>. Эти значения были на 13,7% выше, чем летом ( $p < 0,05$ ). Увеличение количества осадков в этот период может способствовать интенсивному растворению диоксида азота в дождевой воде и приводить к выпадению кислотных дождей.

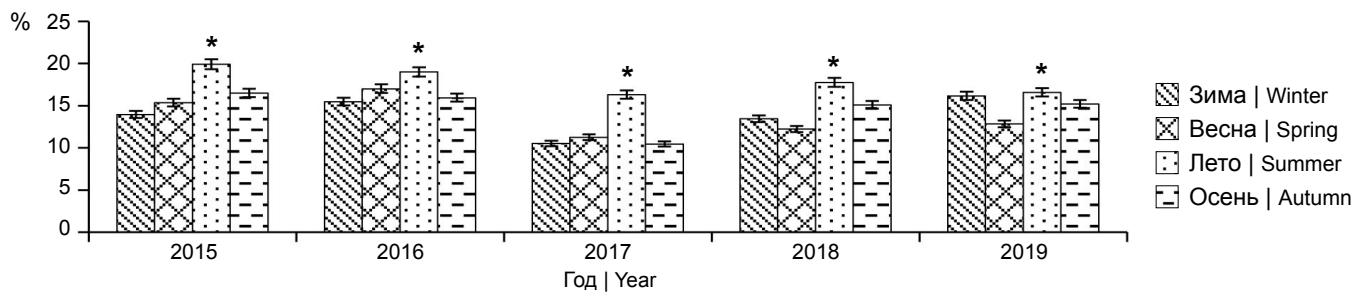
Исследованиями установлено, что увеличение среднесуточных значений скорости ветра в весенний период года до  $23,1 \pm 0,9$  (95% ДИ 18,4–29,2) м/с может приводить к увеличению значений концентраций пыли в атмосферном воздухе на  $0,08$  мг/м<sup>3</sup> ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,05$ ) и уменьшению концентраций фенола на  $0,14$  мг/м<sup>3</sup> ( $r = 0,63$ ;  $p < 0,05$ ) по отношению к их предельно допустимой концентрации.

Увеличение осенью среднесуточной скорости ветра до  $25,1 \pm 1,2$  (95% ДИ 18,4–36,2) мг/м<sup>3</sup> способствует уменьшению концентраций диоксида азота в атмосферном воздухе на  $0,11$  мг/м<sup>3</sup> ( $r = 0,51$ ;  $p < 0,05$ ) и фенола на  $0,18$  мг/м<sup>3</sup> ( $r = 0,59$ ;  $p < 0,05$ ) по отношению к их предельно допустимой концентрации.

Результаты оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха на основе расчёта индекса загрязнения атмосферного воздуха в течение изучаемого периода отражены на рис. 1. Для серной кислоты он в среднем превышал границу, соответствующую «повышенному» уровню загрязнения атмосферы, на 36,7%, а для цинка — на 37,4%. Среднее значение индекса загрязнения атмосферного воздуха для свинца и хрома превысило верхние граничные значения «низкого» уровня показателей на 23,1 и 2% соответственно.

Колебания метеорологических факторов в сочетании с загрязнением атмосферного воздуха промышленными предприятиями и автотранспортом создают предпосылки для роста заболеваемости населения. При оценке уровня заболеваемости населения важной задачей является оценка абсолютного риска развития ССП. Показатели абсолютного риска развития ССП в различные сезоны у жителей Донецка за 2015–2019 гг. представлены на рис. 2.

В результате анализа полученных данных установлено, что наиболее высокие показатели абсолютного риска развития ССП отмечались в летне-осенний период. Так, летом значения абсолютного риска выросли в среднем на 20%, а осенью — в среднем на 17%. Весной повышение



\* —  $p < 0,05$  (достоверность различий летнего периода по сравнению с остальными сезонами года)  
(the reliability of differences in the summer period compared to other seasons of the year)

Рис. 2. Показатели абсолютного риска развития сердечно-сосудистой патологии (ССП) у жителей Донецка в различные сезоны за 2015–2019 гг., %.

Fig. 2. Indicators of the absolute risk of developing pathology of the cardiovascular system in Donetsk residents during different seasons of the year for 2015–2019, %.

уровня абсолютного риска развития ССП были несколько ниже, чем летом, и составляли в среднем 16%. Высокий уровень абсолютного риска развития гипертонической болезни отмечался в летний период, превышение по сравнению с другими сезонами составляло в среднем 8,5%. Кроме этого, были установлены максимальные значения абсолютного риска развития мозговых инсультов в осенний период года, превышения которых составляли в среднем 9,8%.

При комплексном воздействии на организм человека метеорологических факторов окружающей среды и загрязнения атмосферного воздуха различными химическими веществами немаловажной задачей является разработка методов прогнозирования риска развития ССП и определение факторов, которые могут оказывать наиболее достоверное влияние на возникновение ССП у человека. В качестве критерия, характеризующего ССП, нами предложено использовать показатель риска возникновения сердечно-сосудистой патологии (РВССП, %). Учитывая множество факторных признаков, влияющих на показатель РВССП, было решено для прогнозирования показателя использовать методы регрессионного анализа (пошаговую регрессию с методом исключения факторов). Математическое моделирование проводили с применением блока регрессионного анализа.

Всего в качестве изучаемых факторов были выбраны 66 показателей, полученных в результате исследований. При построении математической модели в качестве прогнозируемого параметра использовали показатель РВССП. На этапе построения математической модели с применением метода пошагового исключения была создана многомерная линейная модель на 9 входных переменных.

Уравнение многофакторной модели прогнозирования показателя РВССП:

$$\text{РВССП} = 0,638 \cdot Ст + 0,003 \cdot T_{\text{CP}} + 0,186 \cdot T_{\text{AM}} + 0,144 \cdot H_{\text{CP}} + 0,315 \cdot V_{\text{CP}} + 2,611 \cdot P_{\text{CP}} + 0,024 \cdot \text{РЭЭТ} + 0,073 \cdot C_{\text{CO}} - 37,946 \cdot C_{\text{аммиак}} + 8,824,$$

где Ст — стандартизованный показатель среднемесячной высоты положения солнца над горизонтом, град.;  $T_{\text{CP}}$  — среднесуточная температура атмосферного воздуха, °C;  $T_{\text{AM}}$  — среднесуточная амплитуда изменений температуры атмосферного воздуха, °C;  $H_{\text{CP}}$  — среднесуточная влажность атмосферного воздуха,%;  $V_{\text{CP}}$  — среднесуточная скорость движения атмосферного воздуха, м/с;  $P_{\text{CP}}$  — среднесуточное атмосферное давление, гПа; РЭЭТ — радиационно-эквивалентная эффективная температура, °C;  $C_{\text{CO}}$  — средняя концентрация оксида углерода в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{аммиак}}$  — средняя концентрация паров аммиака в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

При проведении математического моделирования абсолютного риска возникновения ССП у жителей критическое значение риска составило 17,9%. Если прогнозируемый абсолютный риск превышал критическое значение, то в заключении ставилась оценка «высокий риск», если не превышал, — «низкий риск». Анализ показателей итоговой статистики для этой модели указывает на достаточно высокие прогностические способности линейной модели на 9 признаках. Множественное значение коэффициента корреляции  $R$  составило 0,9059, скорректированное значение коэффициента детерминации  $R^2 = 0,8207$ . Значение  $F$ -критерия в модели — 923,701 при  $p = 0,0001$ .

Для оценки эффективности полученной модели применяли метод построения ROC-кривых. На этом этапе определяли показатели чувствительности и специфичности по представленному в расчётах оптимальному по-

рогу принятия/отклонения нулевой гипотезы. В результате проведённых расчетов чувствительность модели составила 94,9 (95% ДИ 92,4–96,7%), а специфичность — 64,3 (95% ДИ 51,9–67,3%).

Для оценки качества построенной модели рассчитывали площадь под ROC-кривыми для многофакторной модели прогнозирования показателя РВССП на 9 входных переменных, она составила  $0,790 \pm 0,014$  (95% ДИ 0,771–0,809). Это значение подтверждает предположение о хорошем качестве построенной математической модели и значимо отличается от 0,5 ( $p < 0,001$ ).

## Обсуждение

Годовые и сезонные колебания метеофакторов могут влиять на увеличение частоты возникновения ССП человека. Превалирующее значение температурного фактора в возникновении ССП отмечено и во многих других исследованиях [2, 10, 14, 18]. Увеличение частоты приступов стенокардии может быть связано как с изменением агрегации тромбоцитов, так и с увеличением концентрации уровня глюкозы в плазме крови и конечных продуктов перекисного гликирования. В дальнейшем эти продукты могут запускать патологические процессы, направленные на морффункциональные изменения сосудистой стенки, приводящие к ускоренному развитию атеросклероза [21]. В исследованиях показано, что у больных ишемической болезнью сердца в период значительных колебаний температуры атмосферного воздуха в организме повышается концентрация биомаркеров воспаления, С-реактивного белка и фибриногена [18, 21]. По данным ряда исследований, у пациентов с ишемической болезнью сердца и стабильной стенокардией в летне-осенний период существенно модифицируются сезонные биоритмы системы гемостаза и реологии крови по сравнению с лицами, у которых отсутствует данная патология [10, 14]. В основном у таких лиц нарушаются механизмы регуляции гомеостаза. На этом фоне повышаются вязкость крови и индекс агрегации эритроцитов, что сопровождается резким ухудшением состояния человека [22].

Колебания метеорологических факторов, приводящие к изменению биоклиматических индексов и индексов патогенности метеорологической ситуации, интенсивное загрязнение атмосферного воздуха будут способствовать увеличению или уменьшению значений прогнозируемого показателя РВССП. Неблагоприятные климатические изменения в сочетании с загрязнением атмосферного воздуха могут приводить к увеличению показателя РВССП. Это является основанием для разработки и внедрения в систему здравоохранения более эффективных методов профилактики ССП в регионе. В случае если прогнозируемый показатель РВССП будет уменьшаться, это будет являться количественным критерием, свидетельствующим об эффективности методов профилактики негативного воздействия на человека неблагоприятных факторов окружающей среды.

**Ограничение исследований.** Исследования не имели методических и административных ограничений.

## Выходы

Годовые и сезонные среднесуточные колебания температуры атмосферного воздуха, влажности, скорости движения воздуха, атмосферного давления, а также загрязнение атмосферного воздуха приводят к нарушению процессов физиологической адаптации сердечно-сосудистой системы человека к факторам окружающей среды

Актуальные вопросы гигиены

и способствуют развитию ССП у жителей индустриального региона. Меры по снижению неблагоприятного сочетанного влияния колебаний метеорологических факторов окружающей среды и интенсивного загрязнения атмосферного воздуха должны учитывать потенциальный риск возникновения ССП на основе расчёта показателя

РВССП. Расчёт и анализ динамики изменений этого показателя позволит осуществлять оперативное наблюдение за эффективностью профилактических мероприятий по снижению негативного комбинированного воздействия метеорологических и химических факторов окружающей среды на человека в условиях индустриального региона.

ЛИТЕРАТУРА  
(п.п. 1, 6–9, 11–15, 21 см. References)

2. Колягина Н.М., Бережнова Т.А., Кулинцова Я.В., Елистратова О.С., Драпалиук М.А. Неблагоприятная метеорологическая обстановка как фактор риска развития кардиоваскулярных заболеваний. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2021; 23(8): 28–33. <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2021-23-8-28-33> <https://elibrary.ru/utqrtj>
3. Помазкова Н.В., Фалейчик Л.М., Усманов М.Т. Оценка биоклиматических условий для развития туризма в национальном парке «Кодар» (Северное Забайкалье). *Устойчивое развитие горных территорий*. 2019; 11(4): 484–97. <https://elibrary.ru/nmqyni>
4. Лукьянец А.С., Брагин А.Д. Влияние природно-климатических факторов на уровень заболеваемости населения России. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2021; 29(2): 197–202. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2021-29-2-197-202> <https://elibrary.ru/gbccsk>
5. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколовский Ю.И. *Защита населения и территорий Российской Федерации в условиях изменения климата*. М.; 2016. <https://elibrary.ru/vxgjnr>
10. Евзельман М.А., Орлова А.Д., Митяева Е.В., Камчатнов П.Р. Метеорологические факторы риска развития ишемического инсульта. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019; 119(8-2): 35–8. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911908235> <https://elibrary.ru/eptlqg>
16. Бикмухаметова Л.М., Русак С.Н. Климатоэкологическая обусловленность здоровья населения в условиях среднего Приобья. *Проблемы региональной экологии*. 2019; (5): 11–7. <https://elibrary.ru/kqttsli>
17. Кузьменко Н.В., Плисс М.Г., Цырлин В.А. Зависимость циркансуальной динамики артериального давления от сезонных колебаний метеорологических и гелиофизических факторов. Мета-анализ. *Российский кардиологический журнал*. 2019; 24(1): 80–93. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-1-80-93> <https://elibrary.ru/ywyouth>
18. Воронин Н.М. *Основы медицинской и биологической климатологии*. М.: Медицина; 1981.
19. Тикунов В.С., Белоусов С.К. Интегральная характеристика качества атмосферного воздуха городов Европы. *Теоретическая и прикладная экология*. 2023; (1): 47–55. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-047-055> <https://elibrary.ru/xjckrb>
20. Лях Ю.Е. Основы компьютерной биостатистики. Анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом. *MedStat*; 2006.
22. Паршина С.С., Киричук В.Ф., Токаева Л.К. Сезонные биоритмы гемореологических показателей в 11-летнем солнечном цикле в норме и при патологии. В кн.: Чибисов С.М., Рапопорт С.И., Благонравов М.Л., ред. *Хронибология и хрономедицина*. М.; 2018. <https://elibrary.ru/vnxwzk>

REFERENCES

1. Lee S.H. Influence of meteorological factors on development of spontaneous pneumothorax. *Medicine (Baltimore)*. 2022; 101(45): e31488. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000031488>
2. Kolyagina N.M., Berezhnova T.A., Kulintsova Ya.V., Elistratova O.S., Drapalyuk M.A. Adverse meteorological situation as a risk factor for cardiovascular diseases. *Mediko-farmatsevticheskii zhurnal «Pul's»*. 2021; 23(8): 28–33. <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2021-23-8-28-33> [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/utqrtj)
3. Pomazkova N.V., Faleychik L.M., Usmanov M.T. Bioclimatic conditions evaluation for tourism development in the Kodar national park (Northern Transbaikalia). *Ustoichivoe razvitiye gornykh territorii*. 2019; 11(4): 484–97. [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/nmqyni)
4. Lukyanets A.S., Bragin A.D. The impact of natural climatic factors on level of population morbidity in Russia. *Problemy sotsial'noi gigienny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*. 2021; 29(2): 197–202. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2021-29-2-197-202> [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/gbccsk)
5. Akimov V.A., Durnev R.A., Sokolovskii Yu.I. *Protection of the Population and Territories of the Russian Federation in the Context of Climate Change [Zashchita naseleniya i territorii Rossiiskoi Federatsii v usloviyah izmeneniya klimata]*. Moscow; 2016. [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/vxgjnr)
6. Mirković A., Savić N. Influence of meteorological factors on human health. *Sestrinska vizija*. 2022; 6(10): 17–21. <https://doi.org/10.5937/SESTRVIZ2210017M>
7. Qin T., Hao Y., Wu Y., Chen X., Zhang S., Wang M., et al. Association between averaged meteorological factors and tuberculosis risk: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Res.* 2022; 212(Pt. D): 113279. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113279>
8. Wang Q., Li X. Correlation analysis between meteorological factors and pollutants based on copula theory. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2022; 2168(1): 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2168/1/012028>
9. Wu Z., Miao C., Li H., Wu S., Gao H., Liu W., et al. The lag-effects of meteorological factors and air pollutants on child respiratory diseases in Fuzhou, China. *J. Glob. Health*. 2022; 12: 11010. <https://doi.org/10.7189/jogh.12.11010>
10. Evzelman M.A., Orlova A.D., Mityaeva E.V., Kamchatnov P.R. Meteorological risk factors of ischemic stroke. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. C.C. Korsakova*. 2019; 119(8-2): 35–8. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911908235> [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/eptlqg)
11. Yao Q. Effects of meteorological factors on the vertical distribution of peroxyacetyl nitrate in autumn in Tianjin. *Aerosol Air Qual. Res.* 2022; 22(11): 220226. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220226>
12. Ahmad N. Impact of local and global factors and meteorological parameters in temporal variation of atmospheric potential gradient. *Adv. Space Res.* 2021; 67(8): 2491–503. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.046>
13. Krupin E.O. Assessing heat stress in cattle based on analysis of meteorological factors. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; 46(4): 390–4. <https://doi.org/10.3103/S1068367420040102> <https://elibrary.ru/vsbodm>
14. He X., Zhai S., Liu X., Liang L., Song G., Song H., et al. Interactive short-term effects of meteorological factors and air pollution on hospital admissions for cardiovascular diseases. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(45): 68103–17. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20592-5>
15. Chen S., Huang L., Cai D., Li B., Yang J. Association between meteorological factors and COVID-19: a systematic review. *Int. J. Environ. Health Res.* 2023; 33(12): 1254–68. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2083090>
16. Bikmukhametova L.M., Rusak S.N. Climatological dependence of the population health in the conditions of the middle Priobye. *Problemy regional'noi ekologii*. 2019; (5): 11–7. [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/kqttsli)
17. Kuzmenko N.V., Pliss M.G., Tsyrlyn V.A. The dependence of circannual dynamics of blood pressure on seasonal fluctuations of meteorological and heliophysical factors. Meta-analysis. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*. 2019; 24(1): 80–93. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-1-80-93> [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/ywyouth)
18. Voronin N.M. *Fundamentals of Medical and Biological Climatology [Osnovy meditsinskoi i biologicheskoi klimatologii]*. Moscow: Meditsina; 1981. (in Russian)
19. Tikunov V.S., Belousov S.K. Integral classification of air quality in European cities. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2023; (1): 47–55. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-047-055> [\(in Russian\)](https://elibrary.ru/xjckrb)

20. Lyakh Yu.E. Fundamentals of computer biostatistics. Information Analysis in Biology, Medicine and Pharmacy by the Statistical Package. MedStat; 2006. (in Russian)
21. Rus A.A., Mornoş C. The impact of meteorological factors and air pollutants on acute coronary syndrome. *Curr. Cardiol. Rep.* 2022; 24(10): 1337–49. <https://doi.org/10.1007/s11886-022-01759-5>
22. Parshina S.S., Kirichuk V.F., Tokaeva L.K. Season biorhythms of hemorheological parameters in the 11-year solar cycle, under normal and under pathological conditions. In: Chibisov S.M., Rapoport S.I., Blagonravov M.L., ed. *Chronobiology and Chronomedicine [Hronobiologiya i hronomedicina]*. Moscow; 2018: 108–33. (in Russian)

### Информация об авторах

*Выхованец Юрий Георгиевич*, доктор мед. наук, доцент, зав. кафедрой медицинской физики, математики и информатики ФГБОУ ВО ДонГМУ Минздрава России, 283003, Донецк, Россия. E-mail: roger1965@mail.ru

*Тетюра Сергей Михайлович*, канд. мед. наук, доцент каф. медицинской физики, математики и информатики, ФГБОУ ВО ДонГМУ Минздрава России, 283003, Донецк, Россия. E-mail: tsergmich@mail.ru

*Выхованец Татьяна Анатольевна*, канд. мед. наук, доцент каф. гигиены и экологии им. проф. О.А. Ласткова, ФГБОУ ВО ДонГМУ Минздрава России, 283003, Донецк, Россия. E-mail: vykhovanets64@mail.ru

*Черняк Алла Николаевна*, канд. мед. наук, доцент каф. медицинской физики, математики и информатики ФГБОУ ВО ДонГМУ Минздрава России, 283003, Донецк, Россия. E-mail: allacherniak@mail.ru

*Габараева Зема Гурамовна*, науч. сотр. медико-биологической лаборатории, ФГБОУ ВО «Ого-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова», 100001, Цхинвал, Республика Южная Осетия. E-mail: zema74-74zema@mail.ru

### Information about the authors

*Yuri G. Vykhovanets*, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Medical Physics, Mathematics and Informatics, M. Gorky Donetsk State Medical University, Donetsk, 283003, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0006-5368-6124> E-mail: roger1965@mail.ru

*Sergey M. Tetyura*, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Medical Physics, Mathematics and Informatics, M. Gorky Donetsk State Medical University, Donetsk, 283003, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0008-2813-3477> E-mail: tsergmich@mail.ru

*Tatyana A. Vykhovanets*, PhD (Medicinee), Associate Professor of the Department of Hygiene and Ecology named after prof. O.A. Lastkova, M. Gorky Donetsk State Medical University, Donetsk, 283003, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0006-4165-4483> E-mail: vykhovanets64@mail.ru

*Alla N. Chernyak*, PhD (Medicinee), Associate Professor of the Department of Medical Physics, Mathematics and Informatics, M. Gorky Donetsk State Medical University, Donetsk, 283003, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0005-2397-6932> E-mail: allacherniak@mail.ru

*Zema G. Gabaraeva*, researcher at the medical and biological laboratory, A.A. Tibilov South Ossetian State University, Tskhinval, 100001, Republic of South Ossetia, <https://orcid.org/0009-0007-4733-084X> E-mail: zema74-74zema@mail.ru