

ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН КАК ВОЗМОЖНЫЙ ФАКТОР РИСКА НЕОТЛОЖНЫХ СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ ГЕМОДИНАМИКИ | У ЖИТЕЛЕЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

^{1,2} Е. В. Евстафьева*, ² Н. А. Прокопенко, ³ В. А. Лапченко

¹ Институт фундаментальной медицины и здоровьесбережения, Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

² Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И. М. Сеченова, г. Ялта, Россия

³ Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН, филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», пгт Курортное, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Среди атмосферных поллютантов второе место по степени опасности для здоровья человека Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) отводит приземному озону, концентрацию которого необходимо контролировать при определении качества воздуха. Особенно важно это на южных территориях, где имеются условия для его образования в повышенных концентрациях. При этом если связь между воздействием озона и респираторными заболеваниями хорошо установлена, то в отношении сердечно-сосудистых заболеваний сведения носят спорный характер.

ЦЕЛЬ. Определить роль приземного озона как возможного фактора риска в возникновении неотложных состояний системы гемодинамики жителей на территории Южного берега Крыма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ. Выполнено исследование суточной регистрации вызовов скорой медицинской помощи (СМП) по причине неотложных состояний сердечно-сосудистой системы (ССС), по данным Единого Крымского республиканского территориального центра экстренной помощи Министерства здравоохранения Республики Крым за период 2018–2022 гг., и концентрации приземного озона (КПО) на основании данных Карадагской станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ). Измерения КПО проводили оптическим методом с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA); связь сопоставляемых данных анализировали посредством непараметрического корреляционного анализа по Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Уровень КПО на Черноморском побережье Крыма в исследуемый период претерпевал типичные суточные и сезонные колебания, достигая максимальных значений в летние месяцы и дневные часы. Однако наблюдалось и нетипичное увеличение КПО в холодное или прохладное время года: например, в январе 2019 г. или декабре 2022 г. Среднегодовые концентрации озона, как правило, превышали нормативные значения. Между КПО и частотой неотложных состояний ССС положительные значимые корреляции отмечены в феврале 2019, 2020 и 2022 гг., марте 2022 г., апреле 2020 г.; отрицательные корреляции были установлены в сентябре 2018 г. и 2022 г., мае 2019 г. и январе 2022 г. При этом, если минимальные концентрации озона были не менее 40 мкг/м³ и поднимались в течение месяца до 100 мкг/м³, их увеличение приводило к росту числа вызовов СМП. Если же минимальные значения КПО были в пределах 15–20 мкг/м³ и в течение месяца не превышали 50–60 мг/м³, наблюдали негативную зависимость количества вызовов от КПО.

ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные данные по установлению факта значимости КПО для функционирования ССС на прибрежной территории Крыма согласуются с рядом научных публикаций, в том числе о разнонаправленном характере выявленной зависимости, который может свидетельствовать как о задержке реакции организма на повышение КПО, так и о ее нелинейном характере. Важную роль в конечном эффекте влияния озона может играть опосредованное влияние других метеопогодных и техногенных факторов, чем, по всей вероятности, и объясняется зачастую спорный характер получаемых в разных регионах мира эпидемиологических сведений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Анализ данных СМП о зависимости частоты возникновения неотложных состояний ССС от КПО дает основание рассматривать приземный озон как фактор риска для кардиологических больных, однако ее неоднозначный характер требует дальнейших исследований для определения его опасных/безопасных уровней в таком регионе как черноморское побережье России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, приземный озон, сердечно-сосудистая система, неотложные состояния

*Для корреспонденции: Евстафьева Елена Владимировна, e-mail: e.evstafeva@mail.ru

*For correspondence: Elena V. Evstafeva, e-mail: e.evstafeva@mail.ru

Для цитирования: Евстафьева Е. В., Прокопенко Н. А., Лапченко В. А. Приземный озон как возможный фактор риска неотложных состояний системы гемодинамики у жителей южного берега Крыма // Морская медицина. 2025. Т. 11, № 4. С. 81–89, doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-4-81-89>; EDN: <https://elibrary.ru/LFBKRN>

For citation: Evstafeva E. V., Prokopenko N. A., Lapchenko V. A. Ground-level ozone as a potential risk factor for emergency hemodynamic conditions in residents of the southern coast of Crimea // *Marine Medicine*. 2025. Vol. 11, No. 4. P. 81–89, doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-4-81-89>; EDN: <https://elibrary.ru/LFBKRN>

GROUND-LEVEL OZONE AS A POTENTIAL RISK FACTOR FOR EMERGENCY HEMODYNAMIC CONDITIONS IN RESIDENTS OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

^{1, 2} *Elena V. Evstafeva**, ²*Natalia A. Prokopenko*, ³*Vladimir A. Lapchenko*

¹Institute of Fundamental Medicine and Health Preservation, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

²Academic Research Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation named after I. M. Sechenov, Yalta, Russia

³ T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Kurortnoe, Russia

INTRODUCTION. The World Health Organization (WHO) ranks ground-level ozone as the second most dangerous atmospheric pollutant to human health. Its concentration must be monitored when determining air quality. This is especially important in southern regions, where conditions favour its formation in elevated concentrations. While the link between ozone exposure and respiratory diseases is well established, the evidence regarding cardiovascular diseases is controversial.

OBJECTIVE. To determine the role of ground-level ozone as a possible risk factor in the occurrence of emergency conditions of the hemodynamic system of residents in the territory of the Southern Coast of Crimea.

MATERIALS AND METHODS. A study was conducted on the daily registration of emergency medical services (EMS) calls due to cardiovascular emergencies, based on data from the Unified Crimean Republican Territorial Center for Emergency Care of the Ministry of Health of the Republic of Crimea for the period 2018–2022, and ground-level ozone concentrations (GLO) based on data from the Karadag station of background environmental monitoring (SBEM). GLO measurements were performed optically using an APOA 370 automatic gas analyzer (HORIBA); the dependence of the compared data was analyzed using nonparametric Spearman correlation analysis.

RESULTS. During the study period, the ozone depletion level on the Black Sea coast of Crimea exhibited typical daily and seasonal fluctuations, reaching maximum values in the summer months and daytime hours. However, atypical increases in ozone depletion were also observed during cold or cool seasons: for example, in January 2019 and December 2022. Average annual ozone concentrations generally exceeded the standard values. Positive significant correlations were observed between ozone depletion and the incidence of cardiovascular emergencies in February 2019, 2020, and 2022, March 2022, and April 2020. Negative correlations were found in September 2018 and 2022, May 2019, and January 2022. Moreover, if minimum ozone concentrations were at least 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and rose to 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during the month, their increase led to an increase in the number of emergency calls. If minimum ozone concentrations were within 15–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and did not exceed 50–60 mg/m^3 during the month, a negative relationship between the number of calls and ozone concentrations was observed, indicating a nonlinear nature.

DISCUSSION. The data obtained establishing the significance of ozone for the functioning of the cardiovascular system in the coastal area of Crimea are consistent with a number of scientific publications, including those on the multidirectional nature of the identified relationship, which may indicate either a delayed response to increased ozone or its nonlinear nature. The indirect influence of other meteorological and anthropogenic factors may play a significant role in the final effect of ozone, which likely explains often the controversial nature of epidemiological data obtained in different regions of the world.

CONCLUSION. Analysis of emergency medical service data on the dependence of the incidence of cardiovascular emergencies on the ozone level provides grounds for considering ground-level ozone as a risk factor for cardiac patients, but its ambiguous nature requires further research to determine its dangerous/safe levels in a region such as the Black Sea coast of Russia.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, ground-level ozone, cardiovascular system, emergency conditions

Введение. Прогрессивное изменение экологической ситуации, глобальная и локальные трансформации среды обитания приводят к росту факторов риска и их роли во влиянии на здоровье населения. Так, в последние десятилетия высокую заболеваемость сердечно-сосудистой системы (ССС) связывают с атмосферным загрязнением. Среди атмосферных поллютантов второе место по степени опасности для здоровья человека Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) отводит приземному озону, концентрацию которого необходимо контролировать при определении качества воздуха [1]. По этой причине во многих странах в настоящее время уделяется значительное внимание проблеме влияния приземного озона на здоровье человека, а многочисленные исследования свидетельствуют о его разнообразном негативном воздействии на системы организма [2]. Основной вклад в разработку этой проблемы вносят США, Китай и Великобритания [3], при этом «горячие точки» исследований сосредоточены на широком спектре задач – от токсикологических до популяционных эпидемиологических исследований, от респираторной системы до нервной [4].

Но если связь между воздействием озона и респираторными заболеваниями установлена, то сведения о его влиянии на сердечно-сосудистые заболевания носят спорный характер [5, 6], который можно объяснить рядом причин, включая длительность экспозиции, различие природно-климатических условий и техногенную нагрузку в регионе [7–9]. Тем не менее в научной литературе имеется достаточно заслуживающих доверия данных [10], которые говорят, что такая связь существует и даже дается количественная оценка прироста заболеваемости наиболее распространенными видами сердечно-сосудистых нозологий, за исключением аритмий при каждом увеличении концентрации приземного озона (КПО) на 10 мкг/м³ [11, 12].

Более вероятно негативное влияние приземного озона на южных территориях, где он обраzuется в более высоких концентрациях, и чему способствуют высокий уровень ультрафиолетового излучения и температуры атмосферного воздуха. С другой стороны, южные регионы России, в частности, Крым, и особенно его южный берег, являются рекреационными зонами, где сосредоточено большое количество санат-

торно-курортных учреждений. Однако известно, что на приморских территориях в зонах массового отдыха КПО имеет тенденцию к возникновению опасных для здоровья озоновых эпизодов [13]. В связи с этим особенно важно располагать информацией об изменениях этого фактора, о чем свидетельствует положительная мировая практика успешного управления риском путем создания превентивной системы реагирования на увеличение КПО, что позволяет эффективно снизить возникновение неотложных состояний пульмонологических и особенно кардиологических больных [14].

В отечественных исследованиях представлены единичные работы об изменчивости КПО и его влиянии на здоровье населения, что обусловлено в том числе ограниченным количеством мониторинговых станций. Одна из таких немногочисленных в Российской Федерации фоновых станций находится в Республике Крым.

Цель. Определить роль приземного озона как возможного фактора риска в возникновении неотложных состояний системы гемодинамики жителей на территории Южного берега Крыма, учитывая признанную в мире актуальность проблемы и низкую степень ее изученности на территории Российской Федерации.

Материал и методы. По данным Единого Крымского республиканского территориального центра экстренной помощи Министерства здравоохранения Республики Крым, проанализирована ежесуточная регистрация вызовов скорой медицинской помощи (СМП) по причине неотложных состояний ССС населения Ялты за период 2018–2022 гг. Из всей совокупности вызовов СМП в течение суток отбирались вызовы, причиной которых являлись неотложные состояния ССС. Они включали: МКБ10 I10–I15 Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением; МКБ10 I20–I25 Ишемическая болезнь сердца; МКБ10 I21 Острый инфаркт миокарда; МКБ10 I60–I69 Цереброваскулярные болезни; МКБ10 I64 Инсульт неуточненный как кровоизлияние или инфаркт; МКБ10 I44–I49 Другие болезни сердца – и были объединены в таблице Excel со сведениями о дате и времени вызова, места жительства, возраста и пола пациента.

Базы данных КПО формировались в результате регистрации в Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природном за-

поведнике РАН на станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ) ($44^{\circ} 9400' с. ш.$, $35^{\circ} 2368' в. д.$, 180 м над у. м.). Измерения КПО проводили оптическим методом с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA, Япония). Среднечасовые значения КПО использовали для расчетов средних КПО за месяц (ср.сут.). Кроме этого, отмечали озонаевые эпизоды: максимальные (*max.*) и минимальные (*min.*) за сутки величины КПО. Учитывая особенности реагирования организма на быстрое изменение внешнего фактора, анализировали наличие корреляций с амплитудой КПО, которую определяли как разность между максимальным и минимальным за сутки значением КПО (амплитуда). Уровни КПО оценивали, сравнивая с нормативами, принятыми в России: для среднегодовых значений – 30 мкг/м³; для максимальной разовой концентрации за час – 160 мкг/м³, для суточной в течение 8 ч – 100 мкг/м³ [15].

Анализ зависимости сопоставляемых данных, а именно: частоты неотложных состояний ССС от КПО на территории Южного берега Крыма (Большая и Малая Ялта), выполнен с помощью непараметрического корреляционного анализа по Спирмену в программном пакете Statistica 12, поскольку исследуемые ряды данных не всегда подчинялись закону нормального распределения. Помимо этого, данный вид анализа используется на начальных этапах исследований и достаточно уверенно позволяет установить влияние приземного озона на здоровье населения [16], имея в виду коэффициенты корреляции, уровень значимости которых был $\leq 0,05$. Однако, учитывая эпидемиологический характер исследования, в котором осуществлялся анализ генеральной, а не выборочной совокупности данных (абсолютное количество всех без исключения вызовов по причине отмеченных выше нозологий за указанные периоды), принимали во внимание также корреляционные зависимости при $p < 0,1$.

Таким образом, гипотеза настоящего исследования заключалась в выяснении возможной роли приземного озона в возникновении неотложных состояний ССС у жителей Южного берега Крыма.

Результаты. Уровень КПО на Черноморском побережье Крыма за исследуемый период претерпевал типичные суточные и сезонные колебания, достигая максимальных значений

в летние месяцы и дневные часы (рис. 1). Однако иногда имело место нетипичное увеличение КПО в холодное или прохладное время года, например, в январе 2019 г. или декабре 2022 г. В целом эти колебания были почти вдвое выше нормативных среднегодовых значений на протяжении всего периода наблюдения.

Выявлены статистически значимые прямые и обратные корреляционные связи между КПО ($0,34 < r_s < 0,53$; $0,002 < p < 0,05$) и тенденцией к зависимости ($0,32 < r_s < 0,34$; $0,09 < p < 0,07$) количества вызовов СМП от КПО как в теплый, так и в холодный сезон года (табл. 1).

Так, положительные значимые корреляции отмечены в феврале 2019, 2020 и 2022 гг., марта 2022 г., апреле 2020 г.; негативный же характер корреляций установлен в сентябре 2018 г. и 2022 г., мае 2019 г. и январе 2022 г.

Поскольку последнее может указывать на более сложный, чем линейный, характер дозовой зависимости, было рассмотрено графическое представление установленных связей, которое позволило обнаружить некоторую закономерность. В частности, если минимальные концентрации озона были не менее 40 мкг/м³ и колебались в течение месяца до 100 мкг/м³, то их увеличение приводило к росту количества вызовов СМП (рис. 2).

Если же минимальные значения КПО были в пределах 15–20 мкг/м³ и в течение месяца не поднимались выше 50–60 мг/м³, в этом случае наблюдали негативную зависимость количества вызовов от КПО (см. рис. 2).

На основании полученных данных можно констатировать факт значимого влияния приземного озона на состояние ССС жителей Южного берега Крыма, однако характер этого влияния может быть различным.

Обсуждение. Полученные данные по установлению факта значимости КПО для функционирования ССС на прибрежной территории Крыма согласуются с рядом научных публикаций. Так, результаты наблюдения за 12 028 жителями среднего и пожилого возраста из 126 городов Китая показали, что длительное воздействие озона может увеличить распространность гипертонии и способствовать повышению уровня артериального давления [5]. Аналогичным образом разная направленность реакции на изменение КПО в зависимости от его уровня совпадает с выявленным другими авторами U-образным, наряду с линейным и J-образным, характером

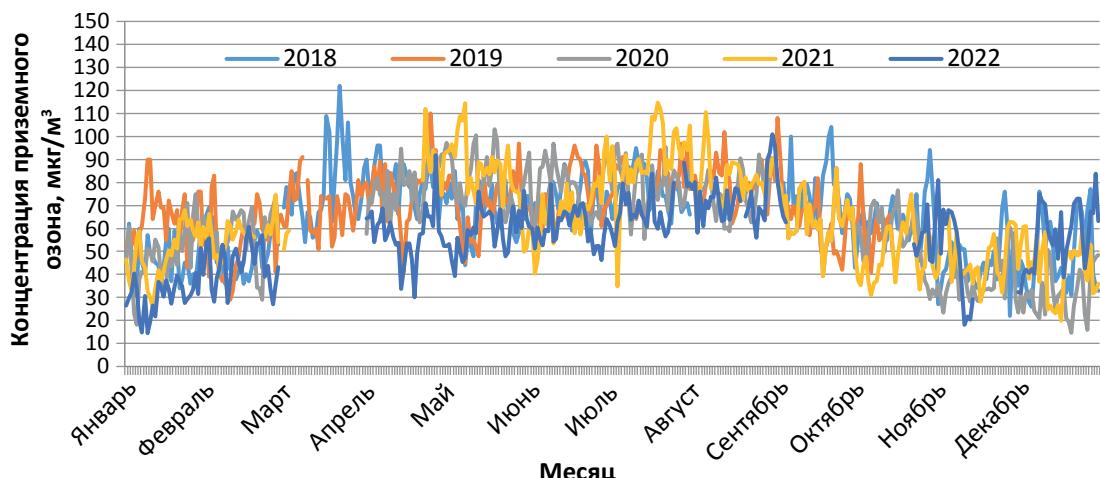


Рис.1. Изменения концентрации приземного озона в разные периоды наблюдения

Fig. 1. Changes in the concentration of ground-level ozone during different observation periods

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа количества вызовов скорой медицинской помощи и характеристик приземного озона в разные месяцы и годы

Table 1

Results of correlation analysis of the number of emergency medical services calls and ground-level ozone characteristics in different months and years

Месяц	Год				
	2018	2019	2020	2021	2022
Январь	-	-	-	-	ср.сут. -0,48; 0,006 max. -0,53; 0,002 min. -0,53; 0,002
Февраль	-	ср.сут. 0,34; 0,08	ср.сут. 0,43; 0,02 max. 0,5; 0,004	-	max. 0,34 ; 0,08 min. 0,32 ; 0,09
Март	-	-	-	-	ср.сут. 0,4; 0,02 max. 0,44; 0,01
Апрель	-	-	max. 0,45; 0,01	-	-
Май		min -0,36; 0,05 амплитуда 0,32; 0,08			
Июнь	-	-	min. 0,33; 0,08	-	-
Август	-	-	-	-	амплитуда 0,34; 0,07
Сентябрь	ср.сут. 0,44; 0,01 max. -0,40; 0,03 min. -0,38; 0,04	-	-	-	max. -0,46; 0,009 min. -0,45; 0,01 амплитуда -0,48; 0,007

Примечание: приведены статистически значимые ($p < 0,05$) или приближающиеся к ним ($p < 0,1$) коэффициенты корреляции с соответствующими уровнями значимости; ср.сут. – среднесуточный

Note: The table shows statistically significant ($p < 0.05$) or nearly so ($p < 0.1$) correlation coefficients with the corresponding significance levels

зависимости реакции от КПО [17]. Установленные в последней работе в ходе ретроспективных исследований за пятилетний период 43 400 случаев сердечной одышки в Южном регионе Франции по сути означают, что потенциальный рост рисков для здоровья может увеличиваться не только при росте КПО, но и при снижении его концентрации, что является не таким уж

парадоксальным, а даже, наоборот, известным фактом в физиологии человека, когда и чрезмерные, и недостаточные дозы могут вызывать негативные эффекты. Влиять на характер зависимости может и сочетание озона с действием других факторов. На это указывают 2 588 930 ежедневных посещений в течение трех лет для кардиореспираторных осмотров в Японском

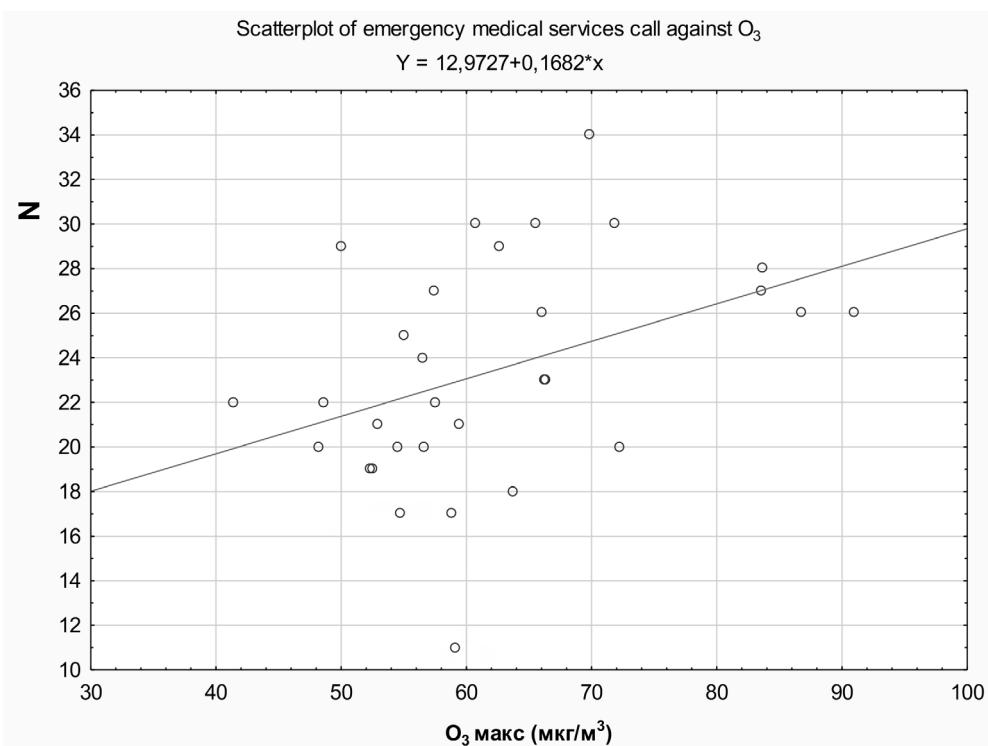


Рис. 2. Корреляция ($r = 0,44$; $p < 0,01$) между общим количеством вызовов скорой медицинской помощи по причине сердечно-сосудистых заболеваний и максимальной за сутки концентрацией приземного озона в марте 2022 г.

Fig. 2. Correlation ($r = 0.44$; $p < 0.01$) between the total number of ambulance calls due to cardiovascular diseases and the maximum daily ground-level ozone value in March 2022

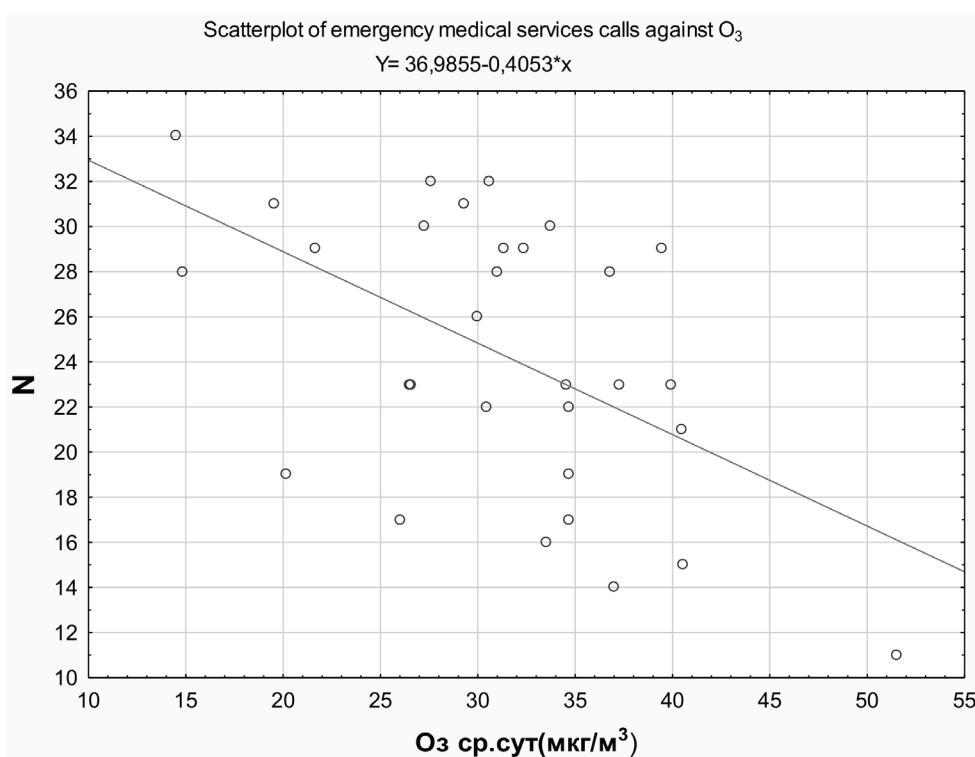


Рис. 3. Корреляция ($r = -0,48$; $p = 0,006$) между общим количеством вызовов по причине сердечно-сосудистых заболеваний и среднесуточной (ср.сут.) величиной концентрации приземного озона (O_3) в январе 2022 г.

Fig. 3. Correlation ($r = -0.48$; $p = 0.006$) between the total number of emergency calls due to cardiovascular diseases and the average daily ground-level ozone value in January 2022

медицинском центре. Они также подтвердили U-образную зависимость, однако корректировка содержания оксидов азота, в частности моноксида азота (NO), ослабила нижнюю кривую риска и впоследствии изменила форму функции «концентрация – реакция», причем значительное снижение наблюдалось в зимний период [18].

Кроме этого, обратный в большинстве случаев характер корреляций может свидетельствовать и о задержке реакции организма на повышение КПО, что также согласуется с литературными данными [16, 19]. Все это свидетельствует о том, что конечный эффект влияния озона может быть модифицирован другими метеопогодными и техногенными факторами и, следовательно, иметь выраженные региональные особенности. Этим, по всей вероятности, и объясняется зачастую спорный характер получаемых в разных регионах мира эпидемиологических сведений.

В пользу того, что эти сведения заслуживают внимания, свидетельствует патофизиология, которая подтверждает эпидемиологическую связь между смертностью, заболеваемостью, с одной стороны, и озоном – с другой, основываясь на химическом и токсическом свойстве озона как сильного окислителя, способного не только разрушать резину, каучук, но даже окислять металлы платиновой группы [20]. Известно, что острое воздействие озона на человека приводит к нарушению обмена веществ и энергии, накоплению активных форм кислорода, инициирующих повреждение клеток и ведущих к развитию оксидативного стресса, особенно у лиц с сердечно-легочными заболеваниями. Окислительные повреждения клеток приводят к нарушению проводимости клеточных мембран кардиомиоцитов и дисфункции

миокарда, вазоконстрикции артериол, повышению общего периферического сопротивления и прогрессированию артериальной гипертонии, внезапному сужению коронарных артерий, приводящему к ишемии миокарда. Вдыхание воздуха, загрязненного озоном, вызывает изменение вариабельности сердечного ритма [21]. В нашем исследовании наличие прямой или обратной зависимости в один и тот же сезон года может свидетельствовать, что, помимо такого важного фактора, как температура атмосферного воздуха, индуцированные озоном эффекты могут существенно зависеть от ряда других факторов, на фоне которых осуществляется его действие на организм.

Заключение. Между характеристиками КПО и вызовами СМП по причине неотложных состояний ССС в ряде случаев выявлены средние, иногда сильные корреляционные зависимости. Они носили разнонаправленный характер, что могло быть обусловлено как запаздыванием (лаг-фазой) реакции организма на изменение концентрации озона, не обнаруживаемой при использовании простого корреляционного анализа, так и уровнем КПО в течение месяца, и нелинейным характером зависимости «доза–эффект». Наличие корреляций между КПО и вызовами СМП как в теплое, так и в холодное время года свидетельствует о том, что важную роль в эффектах, индуцированных озоном, могут играть другие метеопогодные и техногенные факторы, на фоне которых осуществляется его действие.

В совокупности с установленным фактом значимого влияния озона это требует дальнейших исследований, направленных на определение его опасных/безопасных уровней в таком регионе, как Южный берег Крыма.

Сведения об авторах:

Евстафьева Елена Владимировна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник ГБУЗ РК «Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И. М. Сеченова»; Россия, 298603, г. Ялта, ул. Мухина, д. 10/3; заведующая кафедрой «Физиология, экологическая и морская медицина» Института фундаментальной медицины и здоровьесбережения, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»; Россия, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33; ORCID: 0000-0002-8331-4149; SPIN: 2768-1760; e-mail: e.evstafeva@mail.ru

Прокопенко Наталья Александровна – заместитель директора по лечебной работе, врач-кардиолог, ГБУЗ РК «Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И. М. Сеченова»; Россия, 298603, г. Ялта, ул. Мухина, д. 10/3; e-mail: natalia.prokorenko79@mail.ru

Лапченко Владимир Александрович – научный сотрудник отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН, филиал ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»; Россия, 298188, пгт. Курортное, ул. Науки, д. 24; SPIN: 7551-1174; ORCID: 0000-0002-6441-710X; e-mail: ozon.karadag@gmail.com

Author information:

Elena V. Evstafeva – Dr of Sci. (Biol.), Professor, major scientific collaborator at Academic Research scientific collaborator at Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation named after I. M. Sechenov; Russia, 298603, Yalta, Mukhin Str., 10/3; Head of Department “Physiology, Ecological and Marine Medicine”, of the Institute of Fundamental Medicine and Health Preservation, Sevastopol State University; Russia, 299053, Sevastopol, Universitetskaya, 33; SPIN: 2768-1760 ORCID: 0000-0002-8331-4149; e-mail: e.evstafeva@mail.ru

Natalia Alexandrovna Prokopenko – Deputy Director for Medical Work, Cardiologist, Academic Research Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation named after I. M. Sechenov; Russia, 298603, Yalta, Mukhin Str., 10/3; e-mail: natalia.prokopenko79@mail.ru

Vladimir A. Lapchenko – Researcher at the Department of Biodiversity and Environmental Monitoring, T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS; Russian, 298188, Kurortnoye, Nauka Str., 24; SPIN: 7551-1174; ORCID: 0000-0002-6441-710X; e-mail: ozon.karadag@gmail.com

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и дизайн – Е. В. Евстафьева; статистическая обработка материала – Е. В. Евстафьева, Н. А. Прокопенко, В. А. Лапченко; подготовка рукописи – Е. В. Евстафьева, Н. А. Прокопенко, В. А. Лапченко.

Author contribution. All authors confirm the compliance of their authorship, according to the ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, the conduct of the study and the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Special contribution. EVE concept and design. EVE, NAP, VAL statistical processing of the material. EVE, NAP, VAL preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Финансирование: Работа выполнена в рамках Государственного задания код 11.040.1 № 720000.Р.91.1.01020001001. Лапченко В.А. принял участие в работе в рамках темы Гос. задания № 124030100098 – 0.).

Funding: The work was carried out within the framework of the State Assignment code 11.040.1 No. 720000.R.91.1.01020001001. Lapchenko V.A. took participation in the frames of the State Assignment No. 124030100098 – 0.).

Поступила/Received: 12.07.2025

Принята к печати/Accepted: 15.12.2025

Опубликована/Published: 30.12.2025

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Amann M., et al. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. WHO Regional Office for Europe DK02100. Copenhagen, Denmark, 2008, 94 p.
2. Gu J., Shi Y., Zhu Y., Chen N. Ambient air pollution and cause-specific risk of hospital admission in China: A nationwide time-series study. *PLoS Med*, 2020, 17(8), e1003188. doi: 10.1371/journal.pmed.1003188.
3. Jian Z., Cai J., Chen R., Niu Y., Kan H. A bibliometric analysis of research on the health impacts of ozone air pollution. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2024, 31(11), 16177–16187. doi: 10.1007/s11356-024-32233-0. Epub 2024 Feb 7.
4. Zhang X., Wang S. J., Wan S. C., Li X., Chen G. Ozone: complicated effects in central nervous system diseases. *Med Gas Res*, 2025, 15(1), 44–57. doi: 10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00005.
5. Niu Zh., Duan Zh., Wei J., et al. Associations of long-term exposure to ambient ozone with hypertension, blood pressure, and the mediation effects of body mass index: A national cross-sectional study of middle-aged and older adults in China. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2022, 242, 113901. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113901.
6. Rich D. Q., Frampton M. W., Balmes J. R., Bromberg P. A., et al. Multicenter Ozone Study in older Subjects (MOSES): Part 2. Effects of Personal and Ambient Concentrations of Ozone and Other Pollutants on Cardiovascular and Pulmonary Function. *Res Rep Health Eff Inst*, 2020, (192, Pt 2), 1–90. PMID: 32239870.
7. GuiZ.H.,GuoZ. Y., ZhouY.,DharmageS., et al. Long-term ambient ozone exposure and childhood asthma, rhinitis, eczema, and conjunctivitis: A multi-city study in China. *J Hazard Mater*, 2024, 478, 135577. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.135577.
8. Evstafeva E. V., Lapchenko V. A., Gubin Y. L., Dudchenko L.Sh., et al. Long-term exposure to ambient ozone and respiratory health: ozone-induced incidences of respiratory diseases. *Environment and Public Health Research*, 2025, Vol. 3, No. 1, doi: <https://doi.org/10.59400/ephr3158>.
9. Swanson T. J., Jamal Z., Chapman J. Ozone Toxicity. 2022 Nov 15. In: *Stat Pearls [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing*. 2025, 2022, PMID: 28613502 Bookshelf ID: NBK430751 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28613502>.
10. Cao X., You X., Wang D., Qiu W., et al. Short-term effects of ambient ozone exposure on daily hospitalizations for circulatory diseases in Ganzhou, China: A time-series study. *Chemosphere*, 2023, 327, 138513. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138513. Epub 2023 Mar 27.
11. Cheng J., Zheng H., Wei J., Huang C., et al. Short-term residential exposure to air pollution and risk of acute myocardial infarction deaths at home in China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023, 30(31), 76881–76890. doi: 10.1007/s11356-023-27813-5. Epub 2023 May 29.

12. Zhang X., Maji K.J., Wang Zh., Yang F. F., et al. Associations between Different Ozone Indicators and Cardiovascular Hospital Admission: A Time-Stratified Case-Crossover Analysis in Guangzhou, China. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20(3), 2056.
13. Звягинцев А. М., Кузнецова И. Н., Шалыгина И. Ю., Лезина Е. А. и др. Исследования и мониторинг приземного озона в России. *Труды Гидрометцентра России*. 2017. вып. 265. С. 506–570 [Zvyagintsev A. M., Kuznetsova I. N., Shalygina I. Yu., Lezina E. A., et al. Research and monitoring of ground-level ozone in Russia. *Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia*, 2017, Issue 265, pp. 506–570 (In Russ.)].
14. Park Y. H., Koo J. H., Jeong H., et al. Evaluation of an air quality warning system for vulnerable and susceptible individuals in Korea: An interrupted time series analysis. *Epidemiology and Health*, 2023, 45, e2023020. doi: 10.4178/epih.e2023020. Epub 2023 Feb 14.
15. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 N2 “Об утверждении санитарных правил норм СанПиН 01.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания” [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 2 of Sanitary Rules and Norms SanPiN 1.2.3685-21 “Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans” (In Russ.)].
16. Liang S., Sun C., Liu C., et al. The Influence of Air Pollutants and Meteorological Conditions on the Hospitalization for Respiratory Diseases in Shenzhen City, China. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(10), 5120. doi: 10.3390/ijerph18105120.
17. Simões F., Bouveyron Ch., Piga D., et al. Cardiac dyspnea risk zones in the South of France identified by geo-pollution trends study. *Sci Rep*, 2022, 12, 1900. doi: 10.1038/s41598-022-05827-2.
18. Seposo X., Ueda K., Fook Sh. Ng., et al. Role of oxides of nitrogen in the ozone-cardiorespiratory visit association. *Environ Pollut*, 2023, 317, 120802. doi: 10.1016/j.envpol.2022.120802.
19. Fuller Ch. H., Jones J. W., Roblin D. Evaluating changes in ambient ozone and respiratory-related healthcare utilization in the Washington, DC metropolitan area. *Environ Res*, 2020, No. 186, pp.109603. doi: 10.1016/j.envres.2020.109603.
20. Разумовский С. В., Зайков Г. Е. *Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетика и механика)*. М.: Наука; 1974. 322 с. [Razumovsky S. V., Zaykov G. E. *Ozone and its reactions with organic compounds (kinetics and mechanics)*. Moscow: Nauka; 1974, 322 p. (In Russ.)].
21. Srebot V., Al Gianicolo E., Rainaldi G., Trivella M. G., Sicari R. Ozone and cardiovascular injury. *Cardiovasc Ultrasound*, 2009, 7, 30. doi:10.1186/1476-7120-7-30.