
**ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

УДК 504.3.054+064.3+612.014.464

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО
ОЗОНА И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАК ФАКТОРОВ
РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕОТЛОЖНЫХ СОСТОЯНИЙ
ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ**

© 2019 г. Е. В. Евстафьева¹, В. А. Лапченко², А. С. Макарова^{3*},
Т. Ф. Бурухина³, Н. К. Абибулаева¹, И. А. Евстафьева¹

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

²Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского — природный заповедник Российской академии наук,
п. г. т. Курортное, Феодосия, Россия

³Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

*E-mail: Annmakarova@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2019;
после доработки 08.03.2019;
принята в печать 20.03.2019

Данная статья посвящена оценке динамики концентрации приземного озона (КПО), влияющих на нее метеорологических факторов и их роли как факторов риска в возникновении неотложных состояний здоровья на примере населения г. Симферополя. В течение всего 2017 года среднесуточная КПО в воздухе существенно превышала ПДК; сезонная динамика характеризовалась двумя максимумами — в весенний и летний период. Установлена статистически значимая зависимость КПО от температуры, влажности и давления атмосферного воздуха; показано, что при северо-восточном направлении ветра КПО значимо выше, чем при юго-западном (с моря). Для оценки влияния КПО и других метеофакторов на здоровье человека выполнено сопоставление ежесуточных данных с частотой неотложных состояний дыхательной и сердечно-сосудистой систем, устанавливаемой по числу вызовов скорой помощи в г. Симферополе. Выявлена значимая зависимость частоты вызовов скорой помощи по причине приступов бронхиальной астмы и острого коронарного синдрома от КПО, температуры и влажности атмосферного воздуха, а аритмии — от скорости ветра.

Ключевые слова: приземный озон, температура воздуха, метеофакторы, неотложные состояния, дыхательная и сердечно-сосудистая система.

DOI: 10.1134/S0207401X19110037

ВВЕДЕНИЕ

К числу приоритетных экологических проблем современности относится загрязнение атмосферы, влияющее на здоровье человека и окружающую среду. Масштабы последствий этого огромны — от негативных эффектов влияния на отдельные виды объектов окружающей среды до глобальных изменений климата, которые обусловлены как уменьшением стратосферного озонового слоя, так и увеличением концентрации тропосферного озона в приземном слое. При этом, несмотря на относительно меньшую долю последнего (10% против 90% стратосферного озона), именно его количественные изменения обуславливают многочисленные негативные эффекты [1].

В связи с этим в последние десятилетия в мире наблюдается повышенный интерес к поведению тропосферного озона в нижнем, примерно 10-ки-

лометровом слое атмосферы. Это связано с рядом обстоятельств, среди которых — токсичность озона и часто встречающиеся превышения его предельно допустимой концентрации (ПДК), опасной для здоровья концентрации, вследствие чего Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включила озон в список пяти основных загрязнителей, содержание которых необходимо контролировать при определении качества воздуха. Озон играет ключевую роль в химических и фотохимических процессах в тропосфере, обуславливая ее окислительную способность, и является одним из основных, после водяного пара и углекислого газа, парниковых газов. Согласно данным Европейского агентства по окружающей среде [2, 3], основными загрязнителями воздуха в Европе, вызывающими озабоченность состоянием здоровья населения, являются аэрозоль и озон.

Озон — естественная составляющая атмосферы, поскольку образуется здесь естественным путем при воздействии на кислород ультрафиолетового излучения Солнца (с длиной волны менее 242 нм); он обнаруживается на всех высотах до 80 км; у поверхности Земли его концентрации обычно находятся в диапазоне 10–120 мкг/м³. Согласно большинству наблюдений и всем прогнозам, на большинстве населенных территорий в настоящее время происходит рост озона в приземном слое атмосферы, что должно привести к учащению эпизодов с опасными для здоровья концентрациями. Если остальные основные загрязнители атмосферы (оксиды углерода, азота и серы, а также аэрозоль) в концентрациях, опасных для здоровья, являются в основном продуктами антропогенной деятельности и потому относятся к первичным загрязнителям атмосферы, то озон называют вторичным загрязнителем, так как в повышенных концентрациях он образуется в фотохимических реакциях с участием первичных загрязнителей. Увеличение концентрации приземного озона (КПО) в 2–4 раза в разных регионах мира по сравнению с доиндустриальной эпохой [4] и негативные последствия этого требуют постоянного контроля. Однако, несмотря на достаточно многочисленные исследования тропосферного озона за рубежом [5], в отечественных исследованиях мало представлены данные об изменчивости КПО и его влиянии на здоровье населения, что обусловлено в том числе отсутствием достаточного количества мониторинговых станций, а порой и непониманием актуальности данной проблемы. Одна из таких немногочисленных в Российской Федерации станций находится в Республике Крым. Наличие на полуострове станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ) в Карадагском природном заповеднике и возможность постоянной регистрации КПО в приземном слое атмосферы, а также активно ведущиеся в течение многих лет медико-экологические исследования в регионе [2] создают возможность для изучения самых различных аспектов данной проблематики.

Так, хорошо известно радиомиметическое, мутагенное, генотоксическое действия озона, а также его влияние на дыхательную и другие системы организма, обусловленное сильными окислительными свойствами [6]. При этом степень влияния собственно озона, особенно его относительно невысоких концентраций, в значительной степени может быть опосредована другими природными (погодно-климатическими) и антропогенными факторами. В частности, скорость фотодиссоциации озона, которая запускает фотохимические процессы в атмосфере, зависит в том числе от притока солнечной энергии, и его концентрация растет пропорционально интенсивности суммарной солнечной радиации и тесно коррелирует с температурой атмосферного воздуха [1]. По этой

причине риск его негативного воздействия на здоровье ожидаемо может быть более высоким в регионах, где сочетание этих факторов более выражено, особенно в летний период, когда имеют место так называемые волны жары или затяжные периоды аномально высокой температуры. Следует отметить, что во многих странах в настоящее время уделяется значительное внимание этой проблеме, и в мире работают десятки тысяч мониторинговых станций, перманентно регистрирующих изменения концентрации озона. В таких странах, где давно столкнулись с проблемой тропосферного озона, разработаны различные способы минимизации его отрицательного влияния на здоровье населения. Например, в исследовании [7], проведенном в десятках городов США, определен коэффициент так называемой “озоновой смертности” для разных штатов. Этот показатель определяется как величина дополнительной смертности, выраженная в процентах, на каждые 20 мкг/м³ озона.

К числу территорий, входящих в аридную зону и характеризующихся низкой влажностью атмосферного воздуха и относительно высоким уровнем солнечной радиации, способствующими образованию высоких КПО [8], относится Крымский полуостров [8]. Высокие значения КПО регистрировались в курортном районе Юго-Восточного Крыма уже в начале 90-х годов прошлого века. Максимальная зарегистрированная КПО за весь период наблюдения на СФЭМ с 2006 по 2017 составила 193 мкг/м³ и наблюдалась 30 августа 2011 года. [7]. При этом в качестве ПДК озона в России принято среднее за 20–30 мин ее значение, составляющее 160 мкг/м³. Всемирная организация здравоохранения в качестве предельной рекомендует среднюю за 8 ч концентрацию в 100 мкг/м³, а в странах Европейского Союза установлена за этот же период концентрация в 120 мкг/м³.

Настоящая работа посвящена анализу динамики КПО и ее взаимосвязи с такими физическими характеристиками атмосферы, как температура, влажность, давление, скорость ветра, а также с возникновением неотложных состояний дыхательной и сердечно-сосудистой систем у населения на примере населения г. Симферополя.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели были поставлены временные ряды среднесуточных, максимальных, минимальных КПО (мкг/м³) и амплитуды их изменений в атмосферном воздухе в зависимости от среднесуточных (T_{min} , °C) и максимальных температур воздуха (T_{max} , °C), влажности (U , %) атмосферного воздуха, скорости (F_f , м/с) и направления ветра, атмосферного давления (P_{min} , Торр). Для анализа годовой динамики использо-

вались данные за 2017 год, которые были сопоставлены с подобными данными исследований, проведенных ранее, за 2013 и 2014 годы [9]. Кроме того, были проанализированы корреляции среднесуточных КПО с вызовами скорой помощи по причине острого коронарного синдрома (ОКС), приступов бронхиальной астмы (БА) и сердечной аритмии (СА) у жителей г. Симферополя. Аналогичный анализ был проведен и для погодных характеристик. Для анализа были взяты данные за январь, апрель, июль и октябрь месяцы 2017 года. Использовались статистические данные Симферопольской Станции скорой медицинской помощи.

При проведении измерений КПО на СФЭМ ФГБУН “Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского — Природный заповедник РАН” (далее СФЭМ ФГБУН “КНС — ПЗ”) был использован оптический метод (поглощение в УФ-области) регистрации с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA, Япония). Отбор проб осуществлялся с использованием тефлоновых трубок на высоте 2 м от поверхности земли. Данные непрерывной регистрации озона усреднялись за минутный, получасовой и часовой интервалы наблюдений с сохранением информации в регистраторе I/O—EXPANDER (HORIBA, Япония). С помощью программы IOVIS 2.2 извлекались из регистратора среднечасовые данные по КПО, на основании которых исследовалась суточная и сезонная изменчивость озона за весь период наблюдений в течение года.

Взаимосвязь между уровнем КПО и характеристиками атмосферы (давление, температура, влажность) оценивали с помощью выборочного коэффициента линейной корреляции. Расчетное значение сравнивали с критическим при доверительной вероятности $p = 0.95$.

Для оценки влияния скорости ветра на уровень КПО использовали методы непараметрической статистики, которые позволяют исследовать выборки, закон распределения которых неизвестен или отличается от нормального. Методы непараметрической статистики широко используются, например, для выявления тенденций и принятия обоснованных решений при смене технологий [10–12], обработки результатов исследований в биологии и медицине [13] и т.д.

По данным наблюдений с 2013 по 2017 год сформированы девять выборочных совокупностей значений КПО, соответствующих различным направлениям ветра (отсутствие ветра, северное, северо-западное, западное, юго-западное, южное, юго-восточное, восточное и северо-восточное направления ветра) и семь выборочных совокупностей значений КПО, соответствующих различной силе ветра. В каждой группе выборки сравнивались между собой по уровню КПО.

Оценка различий выборок по уровню КПО проводилась с помощью H -критерия Крускала—Уоллиса, который позволяет установить, что уровень изучаемого признака (КПО) изменяется от выборки к выборке. Выдвинуты следующие гипотезы:

- между выборками существуют лишь случайные различия по уровню КПО (основная гипотеза);
- существуют неслучайные различия между выборками по уровню КПО (альтернативная).

Алгоритм подсчета H -критерия изложен в работе [14]. Согласно этому алгоритму выборки, соответствующие различным направлениям ветра, объединялись. Значения КПО объединенной выборки ранжировались. Затем подсчитывались суммы рангов значений КПО каждой выборки. Наблюдаемая величина H -критерия вычислялась по формуле

$$H_{\text{набл}} = \left[\frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} \right] - 3(N+1), \quad (1)$$

где N — общее число объектов в объединенной выборке, n_i — количество объектов в каждой из выборок, T_i — сумма рангов каждой из выборок.

Величины $H_{\text{набл}}$ сравнивали с критической величиной $H_{\text{кр}}$ при доверительной вероятности $p = 0.95$. Если $H_{\text{набл}} < H_{\text{кр}}$, основная гипотеза принимается, т.е. различия между выборками по уровню КПО незначимы. Аналогично сравнивались выборки значений КПО, соответствующие различной силе ветра. Взаимосвязь между уровнем КПО, климатическими параметрами и количеством вызовов скорой помощи оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В течение всего 2017 года среднесуточная КПО в воздухе существенно превышала ПДК, принятую для этого показателя равной 30 мкг/м³ [15]. При этом имела место выраженная сезонная изменчивость: наиболее высокие КПО отмечены в июле и августе месяцах; минимальные среднесуточные ее величины были в декабре (рис. 1).

Самые высокие значения КПО наблюдались: 3 апреля, 3 июля, 13 августа и 17 сентября в ясные безветренные дни (122, 127, 135 и 128 мкг/м³ соответственно), а самая низкая концентрация — 5 декабря (8 мкг/м³), когда влажность воздуха составляла 87%. Максимальные значения КПО в течение суток на протяжении всего года наблюдались в дневные часы (рис. 2).

Суточный ход озона определяется скоростью фотохимических процессов и интенсивностью вертикального перемешивания, зависящей от градиента температуры. Как и в предыдущие го-

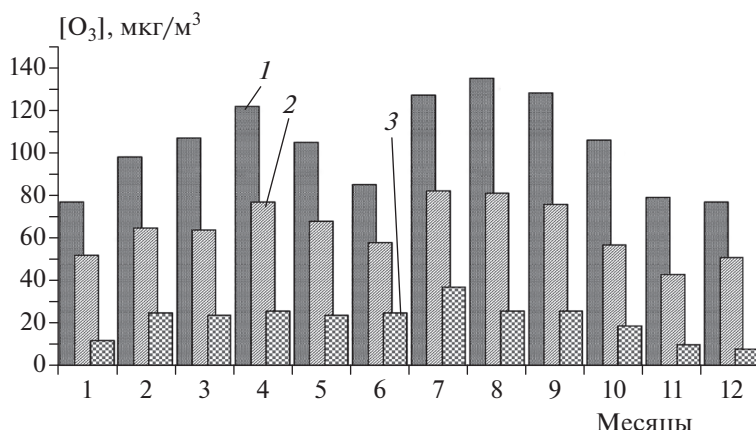


Рис. 1. Динамика максимальных (1), среднесуточных (2) и минимальных КПО по месяцам 2017 г. на СФЭМ ФГБУН “КНС – ПЗ РАН”.

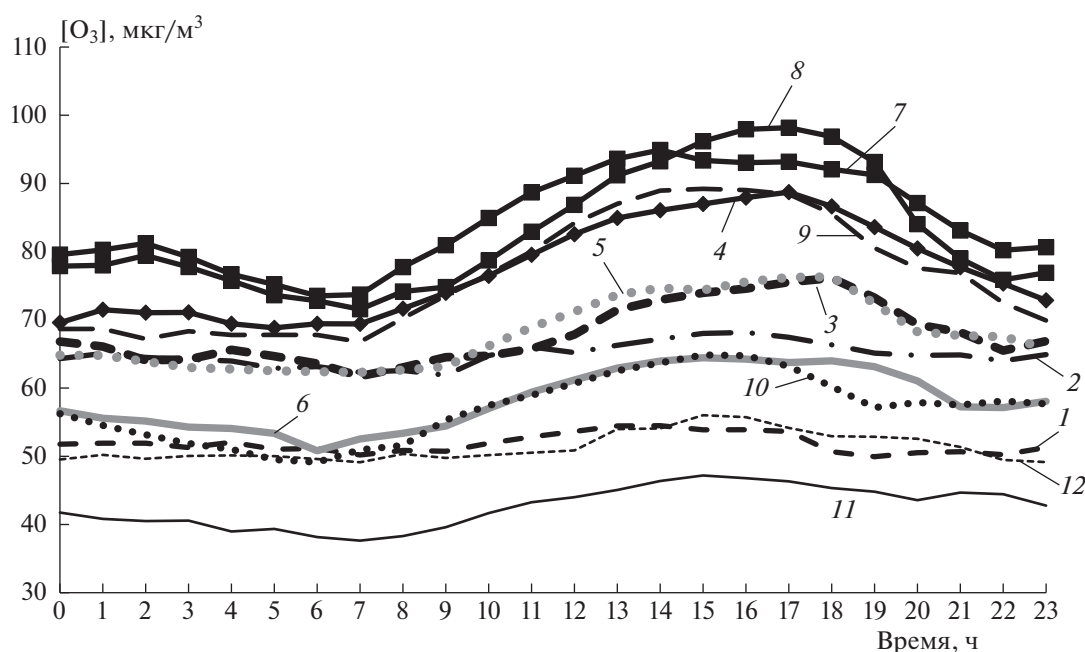


Рис. 2. Динамика изменения среднечасовых значений КПО по месяцам (цифры у кривых) в 2017 г. на СФЭМ ФГБУН “КНС – ПЗ РАН”.

ды, в 2017 году были отмечены шесть типов суточного хода КПО, а именно:

- 1) в течение суток один максимум – основной суточный ход;
- 2) два максимума;
- 3) три максимума;
- 4) практически прямая в течение суток;
- 5) постепенный рост концентрации с утра к вечеру;
- 6) постепенное падение с утра к вечеру.

Суточная изменчивость КПО слабее осенью и зимой, сильнее – весной и летом (рис. 3). При этом повторяемость высоких, опасных для здоровья концентраций озона невелика в месте расположения СФЭМ и существенно меньше, чем на средиземноморском побережье Европы [16].

Следует отметить, что повышенные концентрации озона в приземном слое атмосферы характерны для южных регионов Европы [5]. Станция фоновое экологического мониторинга находится в горной местности (44°55′ с.ш., 35°14′ в.д., 180 м над уровнем моря), а уровень и временной

ход КПО в Карадагском природном заповеднике характерен для сельской местности Европы в соответствующем широтном поясе. Явного влияния антропогенных источников загрязнений на формирование озона не обнаружено, а его содержание в приземном слое непромышленных районов, к которым относится территория Карадагского природного заповедника, обусловлено в основном процессами вертикального переноса из верхних, обогащенных озоном слоев атмосферы и его расходом на подстилающей поверхности. В большинстве случаев такая схема динамики КПО является упрощенной, поскольку существенную роль играют процессы адвекции воздушных масс, а вариации концентраций озона зависят в том числе от температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации, инверсии, концентрации аэрозолей, окислов азота NO_x , радикала OH и пр. [4]. Тем не менее при оценке риска следует иметь в виду, что изменчивость концентрации озона в значительной степени, особенно в теплый сезон, определяется изменчивостью метеорологических параметров, среди которых температура воздуха наиболее значимо влияет на КПО, изменяя интенсивность вертикального перемешивания, эмиссию предшественников озона, скорость химических реакций. На концентрацию озона также оказывает существенное влияние влажность, с увеличением которой на влажных аэрозолях озон разрушается особенно быстро. Слабее, но тем не менее ощутимо, особенно при определенных условиях, влияет и давление.

Ранее по данным за 2013–2014 гг. было сделано предположение, что ощутимое влияние на концентрацию озона могут оказывать скорость и направление ветра [9]. Для подтверждения этого предположения было проведено сопоставление максимумов КПО в 2017 г. с направлением ветра, представленное на рис. 4, из которого следует, что в летний период максимальная КПО наблюдалась при южном и юго-восточном направлениях переноса воздушных масс, что относительно расположения СФЭМ означает преимущественное движение со стороны моря. Кроме того, необходимо отметить, что резкое увеличение среднесуточной КПО (более чем на 10 мкг/м^3 по сравнению с предыдущим днем) в 62% случаев обнаруживалось в 2017 г. при южном ветре (в оценках участвовали данные по превышению, обнаруживаемые при силе ветра более 3 м/с , т.е. в данном расчете не участвовали данные по КПО, которые были получены при тихом и легком ветре по шкале Бофорта).

В табл. 1 приведены результаты статистического анализа факторов, оказывающих влияние на КПО, за 2017 г. и лето 2013 и 2014 гг. Выборочный коэффициент линейной корреляции для таких характеристик, как давление, температура и влажность, превосходит критическое значение,

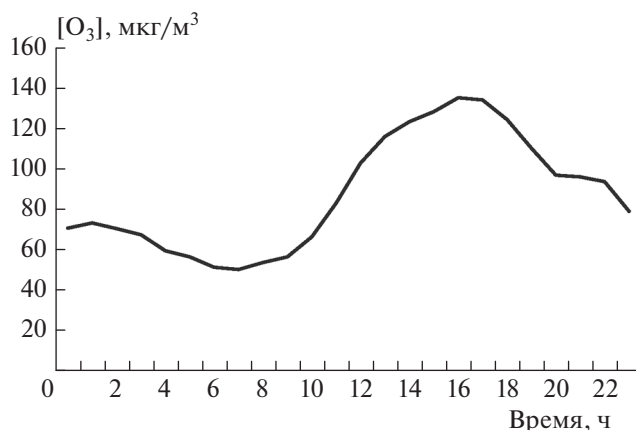


Рис. 3. Динамика изменения КПО в течение суток 13 августа 2017 г. на СФЭМ ФГБУН "КНС – ПЗ РАН".

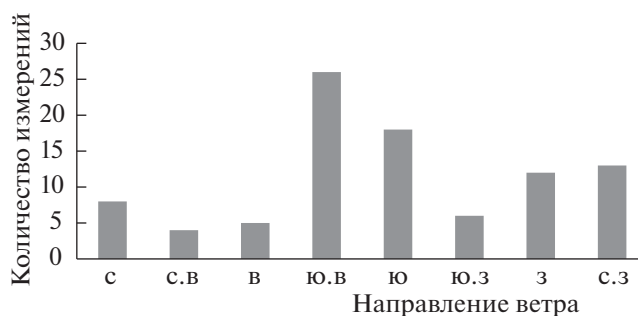


Рис. 4. Количество ежесуточных среднечасовых максимумов КПО с июня по август 2017 г. при следующих направлениях ветра: с – северном, с.в – северо-восточном, в – восточном, ю.в – юго-восточном, ю – южном, ю.з – юго-западном, з – западном, с.з – северо-западном.

что свидетельствует о наличии статистически значимой линейной корреляции между ними и уровнем КПО. Причем наибольшая зависимость выявлена между концентрацией озона и температурой. Так, коэффициент корреляции r_s озона с температурой воздуха в августе составил 0.76. Корреляционный анализ среднесуточной концентрации озона с влажностью воздуха не выявил значимой зависимости между ними только в самый сухой сезон года: в январе r_s составил -0.45 , и -0.53 – в апреле; в июле и в октябре статистически значимых корреляций не выявлено ($r_s = -0.24$ и -0.36 соответственно).

Однако при поиске зависимостей между среднесуточной концентрацией озона и усредненной за сутки скоростью ветра, а также усредненным направлением ветра не удалось обнаружить статистически значимой неслучайной связи между уровнем КПО и направлением и силой ветра. Результаты, приведенные в табл. 1, свидетельствуют

Таблица 1. Статистические оценки зависимости КПО от характеристик атмосферы, направления и силы ветра

Год	Период	Объем выборки	Коэффициент линейной корреляции (r) между концентрацией озона и характеристиками атмосферы			H -критерий Крускала–Уоллиса		$ r_{кр} $ ($p = 0.95$)	$H_{кр}$ ($p = 0.95$)
			P_{min}	T_{min}	U	направление ветра	сила ветра		
2017	Весь год	365	–0.30	0.56	–0.55			0.1	
2017	01.06–31.08	92				0.07	1.4		15.5
2014	01.06–31.08	92		0.54	–0.38			0.21	
2013	01.06–31.08	92		0.58	–0.19	12.1	2.4	0.21	15.5
Значимость корреляции ($ r > r_{кр} $ или $H > H_{кр}$)			+	+	+	–	–		

Таблица 2. Результаты попарного сравнения выборок

Сравниваемые выборки	Объем сравниваемых выборок	Наблюдаемая величина критерия Манна–Уитни ($U_{набл}$)	Критическая величина критерия Манна–Уитни ($U_{кр}$)	Значимое различие в концентрации озона ($U_{набл} < U_{кр}$)
I–II	20–23	252	161	–
II–III	9–32	113	91	–
III–IV	30–24	413	265	–
IV–I	33–13	150	146	–
III–I	27–53	655	533	–
II–IV	30–47	533	547	+

о том, что различия в уровне КПО в подобного типа выборках, соответствующих различным направлениям ветра и силе ветра, случайны.

Известно, что при множественном сопоставлении выборок достоверные различия между какой-либо конкретной парой могут стираться. Для углубленного изучения различий между выборками по уровню КПО были сформированы четыре выборки. В выборку I были включены показатели КПО, которые наблюдались при северном, северо-западном и западном направлениях ветра; в выборку II – показатели КПО, которые наблюдались при западном, юго-западном и южном направлениях ветра; в выборку III – показатели КПО, которые наблюдались при южном, юго-восточном и восточном направлениях ветра; в выборку IV – показатели КПО, которые наблюдались при восточном, северо-восточном и северном направлениях ветра. Выборки сравнивались попарно.

Для оценки различий между двумя выборками по уровню КПО применяли U -критерий Манна–Уитни. Сравниваемые выборки объединяли, объединенную выборку ранжировали, затем подсчитывали сумму рангов каждой из срав-

ниваемых выборок. Наблюдаемое значение критерия рассчитывали по формуле

$$U_{набл} = n_1 n_2 + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x, \quad (2)$$

где n_1 и n_2 – объемы сравниваемых выборок, n_x – объем выборки с большей суммой рангов, T_x – большая из двух ранговых сумм.

Значение $U_{набл}$ сравнивали с критическим значением $U_{кр}$, найденным при доверительной вероятности $p = 0.95$. Если $U_{набл} > U_{кр}$, то гипотеза “различие КПО в выборках случайно” принимается. Если $U_{набл} \leq U_{кр}$, то эта гипотеза отвергается и принимается альтернативная: “существует неслучайное различие между выборками по уровню КПО”. Чем меньше значения U , тем достоверность различий выше. Данные расчетов приведены в табл. 2. Из этой таблицы видно, что только при сравнении выборок II и IV обнаружено неслучайное различие КПО. Последнее обстоятельство говорит о том, что при северо-восточном направлении ветра уровень КПО значимо выше, чем при юго-западном.

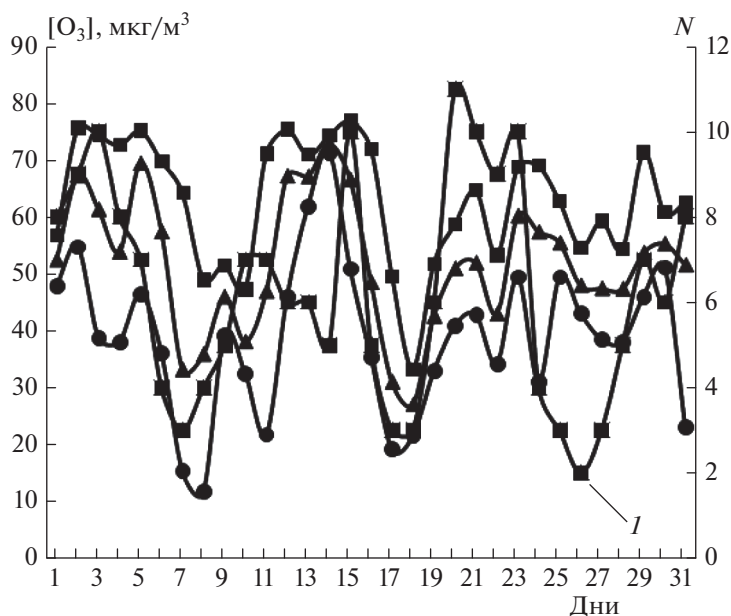


Рис. 5. Сопоставление среднесуточных ($\blacktriangle$), максимальных ($\blacksquare$) и минимальных ($\bullet$) КПО на СФЭМ ФГБУН “КНС – ПЗ РАН” с числом N вызовов скорой помощи по поводу бронхиальной астмы (I) в январе 2017 г.

Необходимо отметить, что статистический анализ связи между направлением и силой ветра и концентрацией озона сильно осложняется наличием того факта, что в различных условиях ветер может как увеличивать содержание озона, так и уменьшать его, влияя, например, на интенсивность вертикального перемешивания и концентрации предшественников озона. Так, например, в январе коэффициент корреляции со скоростью ветра составил $r_s = -0.45$; в апреле связь не была значимой, но тенденция сохранялась при $r_s = -0.30$; в июле и октябре значимой связи не обнаружено ($r_s = 0.12$ и $r_s = -0.16$ соответственно).

Характер суточной динамики КПО, а также значимая зависимость концентрации озона от метеопараметров, описанные нами выше, расцениваются как свидетельство того, что регистрация данных мониторинговой станцией фиксирует изменения, которые отражают ситуацию в регионе [1]. Это делает в определенной степени правомерным сопоставление данных по КПО со статистическими данными вызовов скорой помощи в г. Симферополе, имевших место на расстоянии 120 км от СФЭМ.

Наиболее очевидной с точки зрения понимания механизма прямого влияния озона на состояние дыхательной системы такая связь представляется для случаев обострения бронхиальной астмы, о чем свидетельствуют и сходный ход кривых (рис. 5), и литературные данные [6, 8]. Для ее количественной оценки взяты ежесуточные статистические данные за 1 месяц каждого сезона года, которые показали достаточную вариабельность показате-

лей (рис. 6), что создает хорошие условия для выявления корреляционных зависимостей при связи между изучаемыми показателями. Действительно, выявлены значимые корреляционные связи концентраций озона с числом приступов бронхиальной астмы практически во все сезоны года (рис. 6).

При этом во все сезоны года наблюдали устойчивые положительные корреляционные связи между среднесуточными, максимальными и в некоторых случаях минимальными концентрациями озона и обострениями бронхиальной астмы (рис. 7): в летне-осенний период главным образом с максимальными и среднесуточными показателями, а в зимне-весенний — со всеми регистрируемыми концентрациями озона. Все расчетные значения (рис. 7) превосходят критическое (0.36) при доверительной вероятности $p = 0.95$.

Факт влияния озона на частоту респираторных заболеваний является хорошо установлен за рубежом [4, 6, 7, 17–23]. Прямое раздражающее дыхательные пути действие озона как сильного окислителя может являться главным механизмом провоцирования приступов бронхиальной астмы, а его высокие концентрации в течение всего года обеспечивают постоянство этого влияния во все наблюдаемые месяцы.

В отношении сердечно-сосудистой системы можно отметить разную зависимость неотложных состояний от уровня КПО. В целом, чаще всего на уровень озона “реагировала” частота острых коронарных синдромов, в наименьшей степени — сердечная аритмия. При этом наиболее “опасными” в плане обострений были июль и ян-

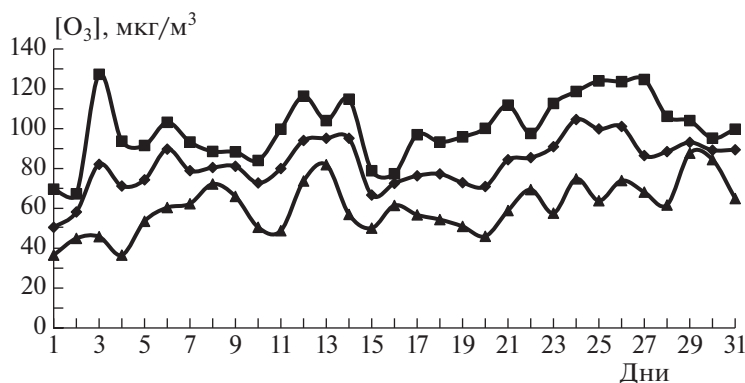


Рис. 6. Динамика среднесуточных (◆), максимальных (■) и минимальных (▲) КПО в июле 2017 г. на СФЭМ ФГБУН “КНС – ПЗ РАН”.

варь, в весенне-осенний период сколько-нибудь существенной корреляции не было обнаружено.

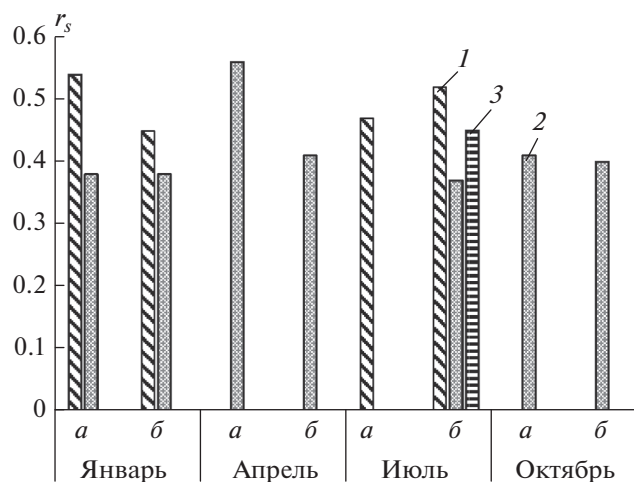


Рис. 7. Коэффициенты корреляций r_s ($p < 0.05$) между количеством неотложных состояний и среднесуточными (а) и максимальными (б) показателями КПО и амплитудой его суточных колебаний: 1 – ОКС, 2 – БА, 3 – СА.

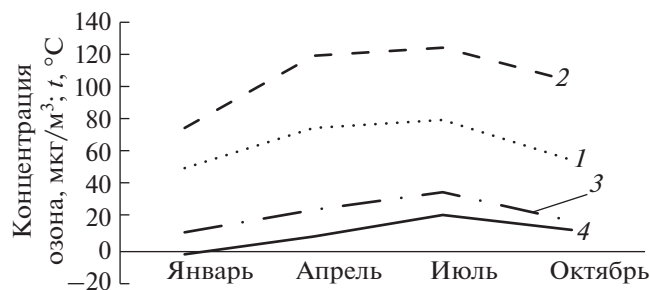


Рис. 8. Динамика среднесуточных (1), максимальных (2) и минимальных (3) значений КПО и температуры (4) в разные сезоны года.

Неотложные состояния в основном и обуславливают смертность от заболеваний сердечно-сосудистой системы. Ее взаимосвязь с содержанием озона и волнами жары хорошо изучена за рубежом [19, 24, 25] и отмечается уже при среднечасовых концентрациях озона величиной 50–60 мкг/м³, что может приводить к увеличению общей смертности примерно на 2%, причем в таких концентрациях его действие не зависит от действия других загрязнителей [5].

Обобщая результаты корреляционного анализа и сезонный характер установленных связей с КПО, следует отметить, что минимальная зависимость обострений бронхиальной астмы от концентрации озона отмечена для летнего месяца июля, когда тем не менее его уровень был максимальным. Обратная ситуация имела место в январе в отношении неотложных состояний сердечно-сосудистой системы, когда их высокое относительно других месяцев количество было связано с озоном, в то время как его уровень был едва ли не минимальным в сравнении с другими месяцами года. По всей видимости, этот факт указывает на возможное влияние других факторов, которые существенно различаются в разные сезоны года и могут модифицировать эффект влияния озона. К числу таких факторов, как было отмечено выше, относятся температура, влажность, направление и, возможно, скорость ветра, годовая динамика которых определенным образом соотносилась с динамикой КПО (рис. 8).

Был выполнен корреляционный анализ числа неотложных состояний с этими метеофакторами. Коэффициенты корреляций между количеством вызовов скорой помощи и влажностью, а также скоростью ветра в разные сезоны 2017 года представлены в табл. 3.

Корреляционный анализ показал значимую зависимость приступов БА от температуры воздуха во все регистрируемые месяцы, за исключением

Таблица 3. Коэффициенты корреляций между количеством вызовов скорой помощи, влажностью (U) и скоростью ветра (F_f) в разные сезоны 2017 г.

Месяц	Метеофакты	r_s		
		ОКС	СА	БА
Январь	U	–0.46	–	–0.91
	F_f	–	0.82	–
Июль	U	–0.44	–	–0.86
	F_f	–	0.38	–
Октябрь	U	–	–	–0.82
	F_f	–	0.83	–

октября, и сильную — от влажности во все месяцы, за исключением апреля. Для ОКС достаточно сильная корреляционная связь установлена в июле месяце и слабая — в январе (рис. 9).

Для состояния СА выявлено реагирование на такой фактор, как температура атмосферного воздуха и влажность, но в то же время обнаружено достаточно сильное его “реагирование” на скорость ветра, за исключением апреля месяца (табл. 3). Можно полагать, что такие метеофакторы, как влажность и температура, в определенной степени опосредуют влияние озона и являются факторами риска для возникновения данных состояний, в особенности БА. Факт влияния скорости ветра на СА, как, впрочем, и детальный анализ возможных механизмов влияния всех рассматриваемых факторов на обострения данных видов патологий, приводящих к неотложным состояниям, заслуживает отдельного рассмотрения, выходящего за рамки данной статьи, однако сам по себе он является заслуживающим серьезного внимания и дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение всего 2017 г. среднесуточная КПО в воздухе существенно превышала ПДК. Сезонный ход КПО в 2017 г. характеризовался на протяжении года двумя максимумами различной природы. Первый максимум был хорошо заметен весной и связан, по-видимому, с усилением в этот период стратосферно-тропосферного обмена, а также с интенсивным вертикальным перемешиванием между приземным слоем и свободной тропосферой. Второй максимум наблюдался летом, и был обусловлен, по-видимому, фотохимическим образованием озона, происходящим с возможным участием антропогенных источников загрязнения атмосферы (увеличение транспортного потока в курортный сезон) и высокими температурными показателями.

В результате проведенного математического анализа было подтверждено существование статистически значимой линейной корреляции между уровнем КПО и такими характеристиками атмосферы, как давление, температура и влажность, что указывает на их значительную роль в процессах, обуславливающих вариации КПО. Статистически значимой неслучайной связи между уровнем КПО и направлением и силой ветра выявлено не было, однако было показано статистически значимое превышение КПО при северо-восточном направлении ветра по сравнению с юго-западным направлением, что может объясняться возможным наличием на северо-востоке антропогенных источников загрязнения атмосферы.

Корреляционный анализ частоты приступов БА и ОКС показал их значимую связь с КПО, температурой и влажностью атмосферного воздуха, причем с последними — главным образом в июле и январе, в то время как с озоном — на протяжении всех исследуемых сезонов. Скорость ветра оказывала значимое влияние только на сердечную аритмию.

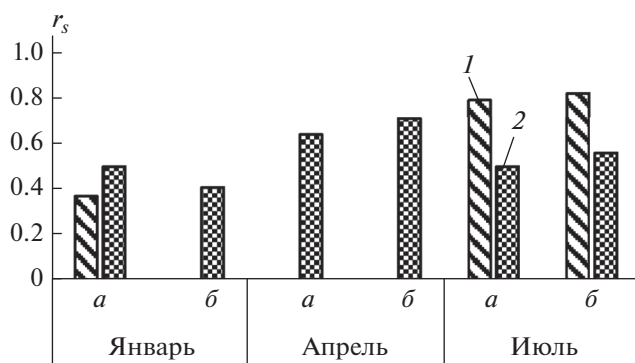


Рис. 9. Коэффициенты корреляций r_s ($p < 0.05$) среднесуточной (а) и максимальной (б) температуры с количеством неотложных состояний (по числу вызовов скорой помощи) в разные сезоны года: 1 — ОКС, 2 — БА.

Отсутствие регистрации КПО непосредственно в г. Симферополе не позволяет со всей определенностью утверждать, что именно этот фактор может оказывать установленное корреляционным анализом влияние на возникновение данных неотложных состояний, но характер суточной динамики КПО, динамика других метеофакторов и их взаимосвязь с частотой неотложных состояний и КПО могут быть расценены как косвенное свидетельство того, что данный факт имеет под собой достаточные основания.

Настоящая работа выполнена при поддержке Программой фундаментальных исследований Президиума РАН в рамках проекта “Разработка рекомендаций по адаптации населения различных возрастных групп к воздействию температурных волн жары” на 2018–2020 гг. Научный сотрудник В.А. Лапченко принял участие в написании статьи в рамках выполнения темы государственного задания (№АААА-А19-119012490044-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан Б.Д. Озон в тропосфере / Под ред. Погодаева В.А. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2010. С. 487.
2. The European environment. State and outlook 2010. Synthesis. Copenhagen: European Environment Agency, 2010.
3. Евстафьева Е.В. // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11. № 5. С. 30.
4. Лапченко В.А., Звягинцев А.М. // Пространство и время. 2014. Т. 2. № 16. С. 254.
5. Amann M., Derwent D., Forsberg B., Hänninen O. et al. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. WHO 2008 Regional Office for Europe; http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf
6. Harucha M.J., Legohn A.S. // Atmos. Environ. 2007. V. 41. № 22. P. 4559.
7. Chun Chen, Bin Zhao, Weschler C.J. // Environmen. Health Perspect. 2012. V. 120. № 2. P. 235.
8. Котельников С.Н., Степанов Е.В. // Тр. ИОФАН. 2015. Т. 71. С. 72.
9. Куркудилова А.В., Макарова А.С., Тарасова Н.П. и др. // Безопасность в техносфере. 2018. № 1. С. 13.
10. Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A., Fadina S.V. // Theor. Found. Chem. Eng. 2012. V. 46. № 5. P. 486.
11. Fadina S.V., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A. // Ibid. 2013. V. 47. № 5. P. 593.
12. Vinokurov E.G., Meshalkin V.P., Vasilenko E.A. et al. // Ibid. 2016. V. 50. № 5. P. 730.
13. Урбах В.Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. М.: Медицина, 1975.
14. Холлендер М., Вулф Д.А. Непараметрические методы статистики. Пер. с англ. / Под ред. Адлера Ю.П., Тюрина Ю.Н. М.: Финансы и статистика, 1983.
15. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М.: Моргнига, 2018.
16. Europe's Environment: The Second Assessment. European Environment Agency, 1998. P. 23.
17. Al-Hegelan M., Tighe R.M., Castillo C., Hollingsworth J.W. // Immunol Res. 2011. V. 49. P. 173.
18. Bates D.V. // Epidemiology. 2005. V. 16. № 4. P. 427.
19. Bell M., Dominici F. // Epidemiology. 2006. V. 17. № 6. P. 223.
20. Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K. et al. // Amer. J. Respir. Crit. Care Med. 2004. № 170. P. 1080.
21. Hollingsworth J.W., Kleeberger S.R., Foster W.M. // Proc. Amer. Thorac. Soc. 2007. № 4. P. 240.
22. Longphre M., Zhang L.-Y., Harkema J.R., Kleeberger S.R. // J. Appl. Physiol. 1999. V. 86. № 1. P. 341.
23. Martuzzi M., Mitis F., Lavarone I., Serinelli M. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. WHO, 2006; www.euro.who.int/pubrequest
24. Ren C., Williams G., Morawska L., Mengersen K., Tong S. // Epidemiology. 2007. V. 18. № 5. P. 69.
25. Srebot V., AlGianicolo E., Rainaldi G. et al. // Cardiovascular Ultrasound. 2009. V. 7. № 30. P. 1; <https://doi.org/10.1186/1476-7120-7-30>