

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.510.42

Приземный озон как фактор роста количества случаев внебольничной пневмонии у населения г. Москвы в теплое время года

Б.Д. Белан¹, Н.В. Дудорова^{✉1}, С.Н. Котельников^{2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
111933, г. Москва, ул. Вавилова, 38

Поступила в редакцию 03.10.2024;
после доработки 28.10.2024;
принята к печати 29.10.2024

Внебольничная пневмония относится к числу наиболее распространенных острых инфекционных заболеваний. Согласно данным официальной статистики в структуре смертности населения от болезней органов дыхания в РФ за период 2005–2017 гг. на долю пневмоний приходилось до 50%. Одним из малоизученных факторов риска развития внебольничной пневмонии является приземный озон как ключевой компонент городского смога. Исследуется влияние приземного озона на заболеваемость внебольничной пневмонией жителей Москвы в теплое время года за пятилетний промежуток (2006–2009, 2011 гг.). Показано, что летом приземный озон способствует увеличению числа случаев заболеваний жителей Москвы внебольничной пневмонией. Среднесуточная приземная концентрация озона, равная 60–80 мкг/м³, способна увеличить число случаев заболевания внебольничной пневмонией жителей Москвы на 30% по сравнению с периодами малой концентрации озона, особенно в совокупности с неблагоприятными метеоусловиями: высокой температурой и низкой влажностью воздуха. Уникальные результаты нашего исследования, полученные на основе длинного ряда данных, помогут специалистам в областях экологии и медицины сделать более безопасной воздушную среду для городских жителей.

Ключевые слова: Оз, приземный озон, загрязнение воздуха, здоровье, заболеваемость населения, внебольничная пневмония; O₃, ground-level ozone, air pollution, health, morbidity, community-acquired pneumonia.

Введение

Загрязнение воздуха является одним из ведущих глобальных факторов риска преждевременной смертности [1]. Тропосферный озон — ключевой компонент городского смога — вторичный фотохимический загрязнитель и активный оксидант. Озон как газообразный загрязнитель в основном поражает легкие человека. По рекомендациям ВОЗ [2] норматив приземной концентрации озона (ПКО) за 8 ч — 100 мкг/м³. В Российской Федерации до марта 2021 г. действовали нормативы среднесуточной (ПДК_{сс}) и максимально-разовой предельно допустимых концентраций озона: 30 и 160 мкг/м³ соответственно [3]. С марта 2021 г. к существующим добавлен новый норматив ПКО, соответствующий рекомендациям ВОЗ [4].

Соблюдение ПДК вредных веществ в атмосфере обеспечивает необходимую охрану здоровья. В ряде

исследований показано, что даже слегка повышенные концентрации озона могут приводить к различным нарушениям работы и повреждениям органов дыхательной системы, как, например, снижение функции легких [5], повреждение эпителия [6], повышенная гиперреактивность дыхательных путей [6, 7], воспалительные реакции [8]. Более того, у людей с такими заболеваниями, как астма [9, 10] и хроническая обструктивная болезнь легких [11], как правило, наблюдается обострение симптомов. Так, Е.В. Евстафьева с коллегами [12] на примере населения г. Симферополя во все сезоны года наблюдали устойчивые положительные корреляционные связи между ПКО и обострениями бронхиальной астмы. Установлено, что озон может повреждать ткани и подвергать белки окислительной модификации, что, в свою очередь, может приводить к снижению защитной функции легких и повышению восприимчивости к респираторным инфекциям [13]. Е.В. Степанов и др. [14] показали заметную корреляцию между ПКО и частотой заражения SARS-CoV-2, а также смертностью от COVID-19. В.В. Кривошеев с соавт. [15] доказали, что до момента

* Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Нина Викторовна Дудорова (nincha@iao.ru); Сергей Николаевич Котельников (skotelnikov@mail.ru).

инфицирования человека SARS-CoV-2 озон благоприятно влияет на динамику пандемии COVID-19, являясь дезинфицирующим средством в отношении вирусов, переносимых воздушно-капельным путем, и повышение его концентрации сопровождается уменьшением вирусной насыщенности приземного слоя атмосферного воздуха. На инфицированное население рост концентрации озона действует отрицательно, увеличивая в конечном итоге уровень заболеваемости и смертности. В совокупности эти наблюдения свидетельствуют о том, что некоторые люди особенно восприимчивы к этому окисляющему газу.

Пневмонии — группа различных по этиологии, патогенезу, морфологической характеристике острых инфекционных (преимущественно бактериальных) заболеваний, характеризующихся очаговым поражением респираторных отделов легких с обязательным наличием внутриальвеолярной экссудации [16]. Внебольничная пневмония (ВП) диагностируется в случае развития заболевания вне стационара либо в первые 48 ч с момента госпитализации. Она относится к числу наиболее распространенных острых инфекционных заболеваний. Согласно данным официальной статистики средняя общая заболеваемость ВП в России в 2005–2017 гг. составила 433,8 случаев на 100 тыс. населения [17]. В структуре заболеваемости пневмония занимает небольшую долю от всех болезней органов дыхания, но в структуре смертности населения от болезней органов дыхания в РФ за этот же период на долю пневмоний приходилось до 50% [18]. Возбудителями ВП являются различные микроорганизмы: бактерии, вирусы, грибы, простейшие.

В литературе описано множество факторов риска развития внебольничной пневмонии, такие как ВИЧ, курение, злоупотребление алкоголем, недостаточный вес, регулярное общение с детьми, плохая гигиена полости рта, употребление наркотиков, малоподвижный образ жизни и т.д. [19–22]. При этом крайне мало сообщений о влиянии загрязнения воздуха, в частности озон, на частоту случаев ВП. Так, Н.Т. Wang et al. [23] оценили краткосрочное влияние загрязнения воздуха на госпитализацию жителей г. Циндао (Китай) с пневмонией и выявили уязвимые группы. Результаты исследования показали, что краткосрочные повышения ПКО были связаны с увеличением числа госпитализаций по поводу ВП городских жителей по сравнению с сельским населением. R. Li et al. [24] доказали влияние загрязнителей воздуха на острые респираторные исходы у амбулаторных пациентов. Воздействие O_3 было положительно связано с амбулаторными визитами при обострении астмы, но отрицательно — при ОРВИ, ВП и обострениями бронхоэктазии. А.Н. Микеров с соавт. [25] в ходе эксперимента, проведенного на мышах, показали, что ингаляция озоном повышала степень окисления сурфактантного белка А в бронхоальвеолярной жидкости легких, что приводило к снижению иммунной защиты и увеличило чувствительность мышей к экспериментальной пневмонии.

Цель настоящей работы — оценка влияния приземного озона на частоту случаев заболевания внебольничной пневмонией жителей мегаполиса на продолжительном промежутке времени.

1. Материалы и методы

Исследование проводилось в г. Москве и ближнем Подмосковье за пятилетний промежуток времени (2006–2009 гг., 2011 г.); 2010 г. был исключен ввиду беспрецедентного загрязнения воздуха Москвы дымом от лесных и торфяных пожаров, возникших из-за очень высоких температур воздуха; подробное исследование связи загрязнения воздуха озон с числом ВП летом 2010 г. изложено в работе [26]. Измерения ПКО проводились каждые 20 мин на четырех станциях Мосэкомониторинга [27]: Марьино, Зеленоград 16, Спиридоновка, Звенигород. По данным каждой станции рассчитывались среднесуточные ($O_{3, \text{cp. сут}}$) и максимальные за сутки ($O_{3, 20 \text{ мин/ макс}}$) значения приземной концентрации озона. Расчетные значения усреднялись по четырем станциям; в результате получались осредненные по территории Москвы среднесуточные и максимальные ПКО.

Для анализа числа случаев заболевания ВП использовались данные, предоставленные станцией скорой и неотложной медицинской помощи им. А.С. Пучкова Департамента здравоохранения г. Москвы [28]. Сеть станции представляет собой 60 подстанций и 42 поста, равномерно развернутых на территории города (в том числе 20 постов на крупных автомагистралях и МКАД). В настоящей работе исследовались все случаи ВП у взрослого населения (старше 15 лет) без деления на пол и возраст пациентов.

Метеорологические данные были взяты с метеостанции № 27612, ВДНХ, г. Москва [29]. Анализировались суточные значения следующих метеовеличин: минимальная (t_{min}), средняя (t_{mean}) и максимальная (t_{max}) температуры воздуха, разница между максимальной и минимальной температурами воздуха (dt), относительная влажность воздуха (Rh), точка росы (Td), атмосферное давление (P), скорость ветра (V), общий балл облачности (N).

2. Результаты и обсуждение

2.1. Общая характеристика исследуемого периода

На рис. 1 показан осредненный за период исследования годовой ход приземной концентрации озона и общего числа случаев ВП у жителей Москвы. Видно, что на большем промежутке времени, таком как год или даже отдельные сезоны, нельзя проводить исследование связи ПКО и ВП ввиду почти противоположного годового хода исследуемых величин и, как следствие, получения ложноположительной или ложноотрицательной корреляции.

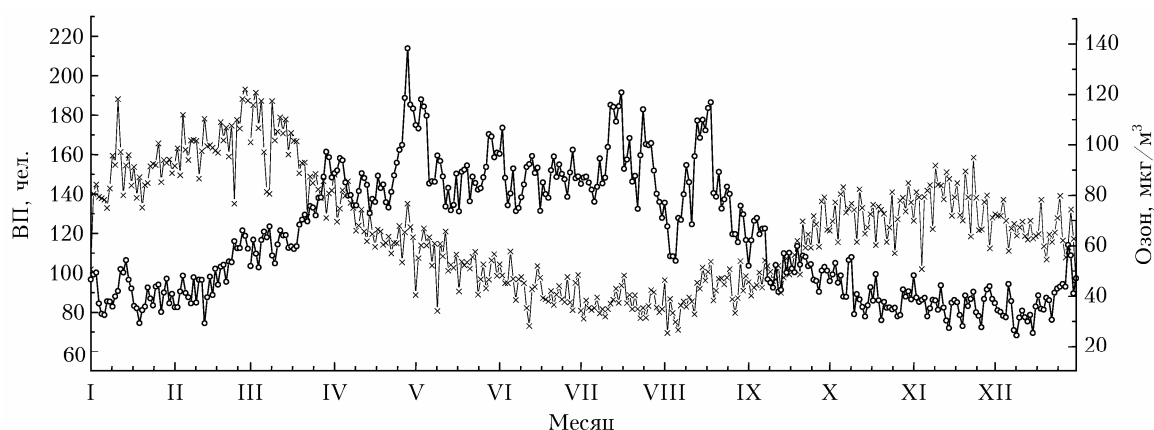


Рис. 1. Годовой ход максимальной суточной приземной концентрации озона (черная кривая) и числа случаев ВП (серая кривая) у жителей Москвы, осредненных за период исследования

Единственный сезон, когда целесообразно провести подобное исследование, — лето, когда наблюдается минимальное в году количество ВП, тенденция по сезону не имеет явного роста или падения и ПКО максимальна. В другие сезоны влияние загрязнения воздуха на возникновение ВП не столь значимо, хотя даже на осредненном ряду данных можно заметить кратковременный рост числа случаев ВП с увеличением концентрации озона. В настоящей работе акцент сделан на исследование влияния озона на возникновение ВП в летние месяцы.

В таблице представлены средние значения метеорологических переменных и концентрации приземного озона за июнь — август каждого года. Видно, что в среднем за исследуемый период $O_{3, \text{cp.сут}}$ была чуть выше ПДК_{сс}. Высокая температура и наибольшее по периоду загрязнение воздуха наблюдались в 2011 г. Летом в 2006, 2008 и 2009 гг. температура воздуха и концентрация приземного озона были ниже, чем в среднем по выбранному периоду. Значения переменных летом 2007 г. были близки к средним по выбранному периоду.

Средние значения переменных за летний период

Переменная	Год					
	Все	2006	2007	2008	2009	2011
$O_{3, \text{cp.сут}}$, мкг/м ³	44,04	33,11	45,58	39,87	35,10	53,93
$O_{3, 20 \text{ мин/макс}}$, мкг/м ³	92,05	73,74	97,69	81,92	69,48	112,02
t_{min} , °C	13,96	13,15	13,62	12,97	12,70	14,92
t_{mean} , °C	19,01	17,90	18,86	17,43	17,26	20,40
t_{max} , °C	24,18	22,90	24,05	22,26	22,05	25,94
dt , °	10,21	9,75	10,44	9,28	9,35	11,02
Td , °C	13,64	13,19	13,05	13,22	12,99	14,13
Rh , %	73,66	75,92	71,34	78,18	77,76	70,57
P , гПа	994,80	996,08	993,25	992,65	995,97	994,94
V , м/с	1,03	0,98	1,09	1,10	1,02	1,11
N , балл	6,07	6,61	5,39	6,75	6,76	5,39
ВП, чел.	102,38	78,08	81,09	90,39	92,23	103,65

2.2. Влияние озона на возникновение внебольничной пневмонии у жителей Москвы

Ввиду того, что между пиками загрязнения воздуха и возникновением ВП у населения имеется некоторая задержка, мы усреднили ход переменных методом скользящего среднего за 11 сут. Так как лето 2007 г. по всем исследуемым переменным было типичным для Москвы, приведем ход ВП и максимальных значений приземной концентрации озона за этот сезон (рис. 2). Видно, что с 1 июня по 9 августа значения обеих переменных были стабильны, без резких перепадов. С 10 августа начался их резкий рост, при этом задержка между пиками $O_{3, 20 \text{ мин/макс}}$ и количеством случаев ВП составила 5 сут и в пиковом значении количество ВП увеличилось на 30% от среднего за первую половину лета. Уменьшение значений переменных тоже происходило синхронно.

На рис. 3 показана зависимость количества случаев ВП от среднесуточных и максимальных суточных значений ПКО за весь период исследования. На рис. 3, а видна нелинейная зависимость между исследуемыми переменными, здесь можно условно выделить три области: 1) $O_{3, \text{cp.сут}} < 30$ –40 мкг/м³, что соответствует ПДК_{сс} (норматив до 2021 г.), коэффициент корреляции Пирсона для этой области составляет 0,15; 2) 40–60 мкг/м³ (до 2ПДК_{сс}), где зависимость приобретает линейный характер, но наблюдается большой разброс точек и умеренное увеличение числа случаев ВП, в среднем на 10% по сравнению с первой областью; 3) $O_{3, \text{cp.сут}} > 60$ мкг/м³: здесь наблюдаются группировка точек к линии тренда и значительное увеличение количества случаев ВП, в среднем на 30% по сравнению с первой областью. Коэффициент корреляции Пирсона между числом ВП и среднесуточной ПКО для областей 2 и 3 составил 0,44 при уровне значимости 0,001.

На рис. 3, б зависимость между исследуемыми переменными близка к линейной, здесь можно

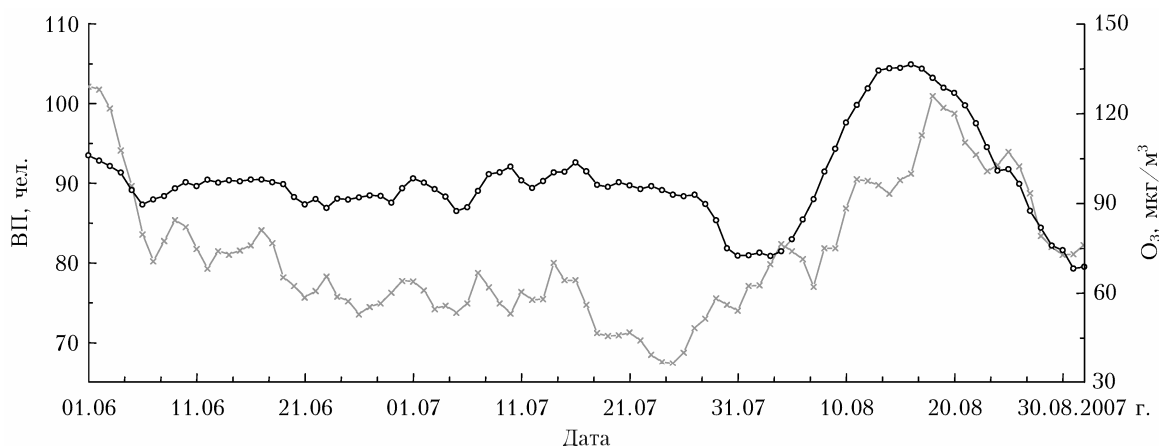


Рис. 2. Максимальные суточные значения ПКО (черная кривая) и количество случаев заболевания ВП (серая кривая) летом 2007 г.

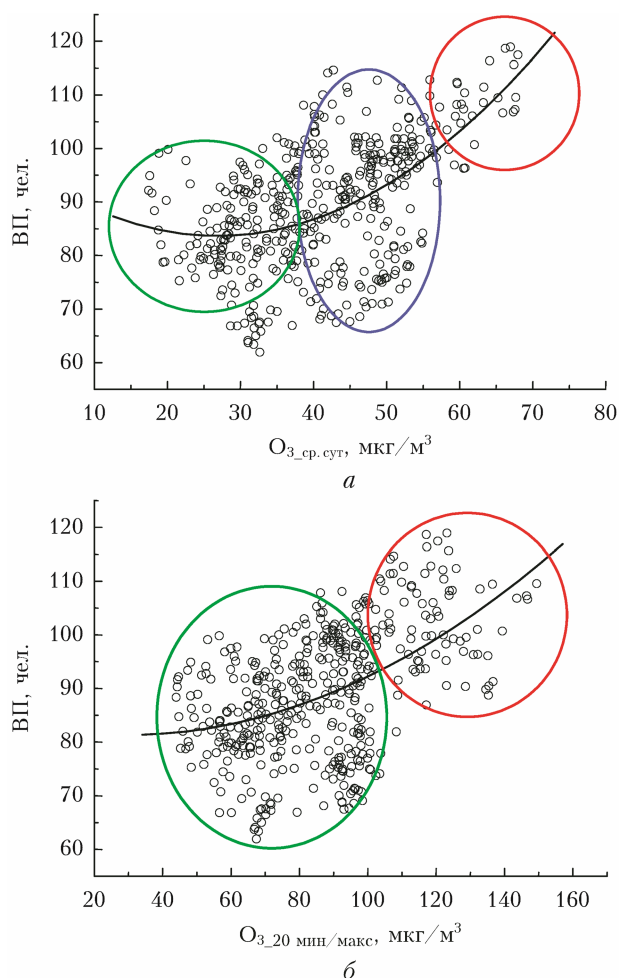


Рис. 3. Зависимость количества случаев ВП от приземной концентрации озона: а – среднесуточной, б – максимальной суточной

условно выделить две области: 1) $O_{3\ 20\ \text{мин/макс}} < 105\ \text{мкг/м}^3$ (здесь мы наблюдали незначительный прирост количества ВП при увеличении концентрации озона); 2) $> 105\ \text{мкг/м}^3$, здесь число случаев ВП

увеличилось на 20% по сравнению с первой областью. Коэффициент корреляции Пирсона между числом ВП и $O_{3\ 20\ \text{мин/макс}}$ составил 0,48 при уровне значимости 0,001. Полученные результаты говорят о недопустимости увеличения ПДК приземного озона в нормативных документах.

Наши результаты хорошо согласуются с данными других исследований. Y. Zhang et al. [30] показали, что обнаружение одного из возбудителей ВП *K. pneumoniae* в контрольной группе пациентов было в основном связано с воздействием на них озона с 8-часовой средней концентрацией $> 80\ \text{мкг/м}^3$, особенно когда воздействие озона происходило в течение последних шести дней. А.В. Трубицын и С.Н. Котельников [31] на примере г. Вятские Поляны Кировской области показали, что при среднесуточных ПКО $> 60\ \text{мкг/м}^3$ наблюдается высокая корреляция озона с количеством вызовов скорой помощи. А.В. Чередниченко с соавт. [32] на примере гг. Алматы и Нур-Султан обнаружили, что при достижении ПКО $80\ \text{мкг/м}^3$ наблюдалось увеличение количества случаев респираторных заболеваний в среднем на 0,5% на каждые $20\ \text{мкг/м}^3$.

2.3. Зависимость концентрации приземного озона от метеорологических переменных

Общеизвестно, что приземный озон положительно или отрицательно коррелирует с рядом метеорологических переменных [33–35]. Наиболее тесная положительная связь наблюдается между озоном и температурой воздуха. Высокая температура воздуха приводит к резкому увеличению в воздухе летучих органических соединений, необходимых для интенсивной фотохимической генерации озона [36]. В настоящей работе представлены результаты исследования зависимости концентрации приземного озона от имеющегося в нашем распоряжении ряда метеовеличин (рис. 4). Нам удалось

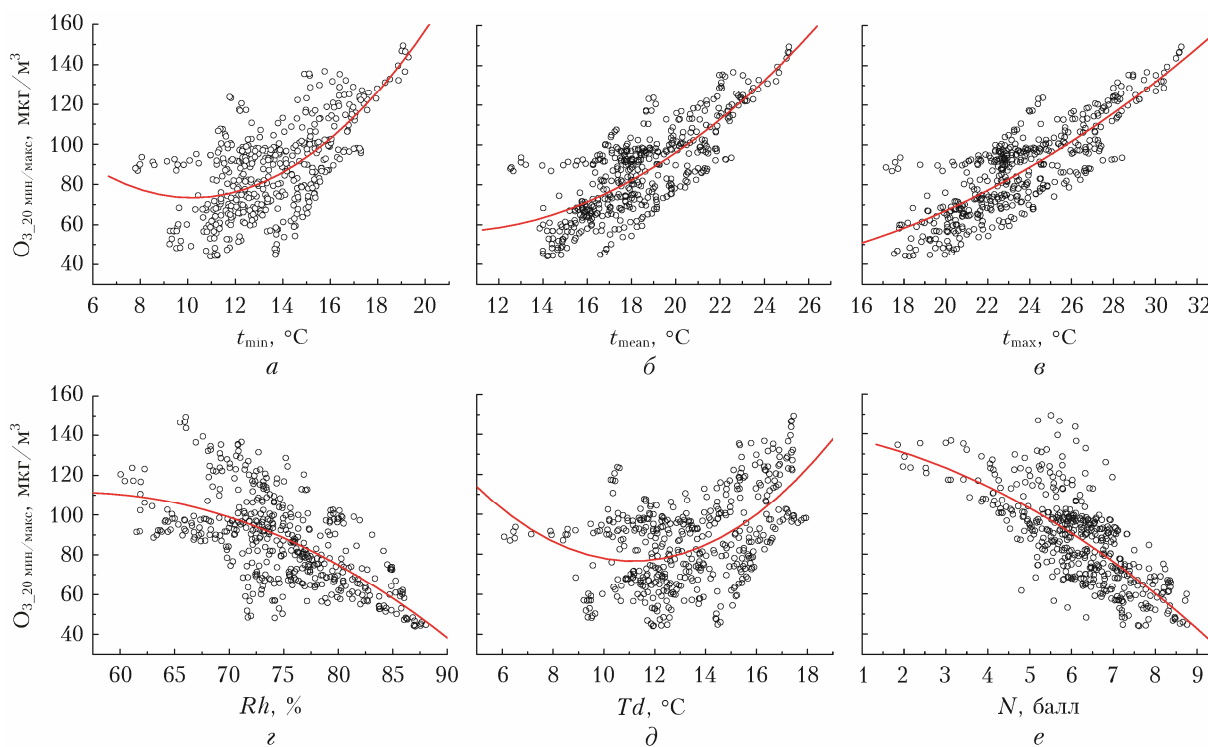


Рис. 4. Зависимость приземной концентрации озона от минимальной (а), средней (б) и максимальной (в) суточной температуры воздуха, относительной влажности воздуха (з), температуры точки росы (д) и общего балла облачности (е)

обнаружить зависимость ПКО от температуры (рис. 4, а–в), относительной влажности воздуха (рис. 4, з), температуры точки росы (рис. 4, д) и общего балла облачности (рис. 4, е). Остальные метеорологические параметры летом не влияют на приземную концентрацию озона в Москве.

Очевидно, что общий балл облачности опосредованно влияет на концентрацию озона. При низком балле облачности возрастает приход суммарной солнечной радиации. Как известно, фотохимический фактор является основным в образовании тропосферного озона [36].

2.4. Влияние метеорологических переменных на возникновение ВП у жителей Москвы

Известно, что все процессы в атмосфере сообщая воздействуют на организм человека, а некоторые из них усиливают действие друг друга. Перед исследователями встает вопрос, как оценить степень воздействия каждой составляющей отдельно. Для дифференциации влияния различных метеорологических факторов и загрязнения воздуха на возникновение ВП у жителей города было проведено дополнительное исследование.

На рис. 5 показана зависимость количества случаев ВП от метеорологических факторов. Видно, что все точки на графиках имеют достаточно большой разброс и, несмотря на наличие тренда, сложно го-

ворить о достоверной зависимости. Хотя на крайних значениях температуры (рис. 5, а–в), относительной влажности (рис. 5, д) и точки росы (рис. 5, е) наблюдается сближение точек к линии тренда.

Ввиду того, что указанные метеорологические переменные тесно связаны с приземной концентрацией озона, можно сделать вывод о наличии неблагоприятных погодных условий, в совокупности с высоким загрязнением воздуха способных увеличить число заболеваний ВП. На рис. 5, а, б, е можно заметить группу точек, соответствующих низким температурам воздуха и точке росы, но высокому числу заболевших граждан. На рис. 4, а, б, д можно видеть, что низким значениям указанных метеопараметров соответствуют высокие значения загрязнения воздуха озонам. Можно сделать вывод, что основная причина возникновения ВП у жителей Москвы летом – загрязнение воздуха.

Сравнить наши данные с результатами подобных исследований, представленных в литературе, оказалось непростой задачей ввиду того, что, как правило, анализ проводился на годовом периоде без учета сезонных тенденций. Д.С. Рыбаков и Б.З. Белашев [37] исследовали влияние погодных факторов на количество вызовов скорой помощи по поводу болезней органов дыхания в г. Петрозаводске. Им удалось обнаружить значимую отрицательную корреляцию в теплые месяцы между ВП и количеством облаков нижнего яруса. Корреляционной зависимости между другими метеорологическими факторами

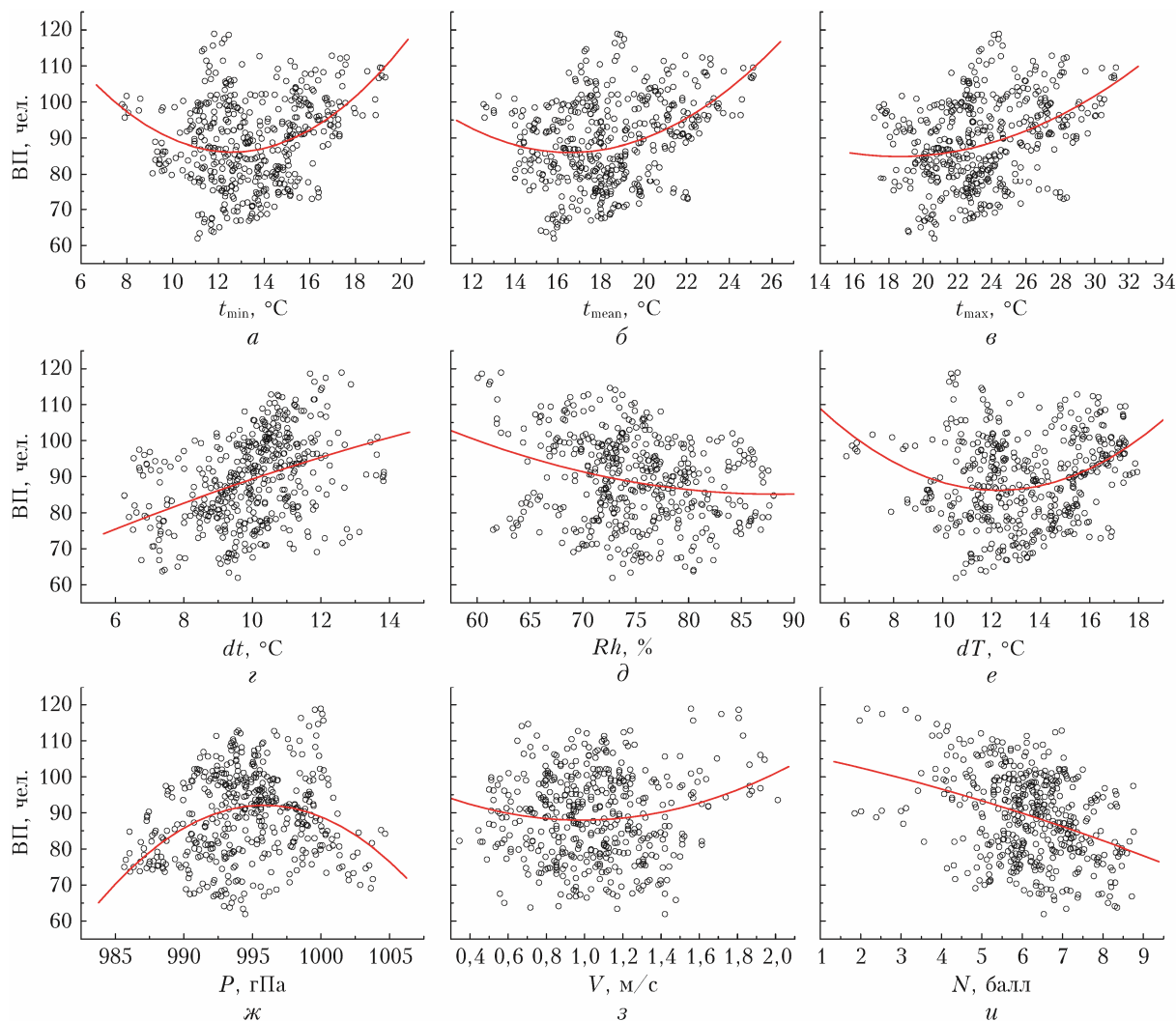


Рис. 5. Зависимость числа случаев ВП от минимальной (а), средней (б), максимальной (в) температуры воздуха, суточной разницы между максимальной и минимальными температурами воздуха (г), относительной влажности воздуха (д), точки росы (е), атмосферного давления (ж), скорости ветра (з), общего балла облачности (и)

и вызовами скорой помощи найдено не было. Возможно, это связано с тем, что в данной работе исследовались только среднемесячные значения переменных.

Заключение

На основе результатов нашего исследования можно заключить, что летом рост концентрации приземного озона (особенно в совокупности с неблагоприятными метеоусловиями, такими как высокая температура и низкая влажность воздуха) способствует увеличению числа случаев заболеваний жителей Москвы внебольничной пневмонией. Среднесуточные значения ПКО, равные 60–80 мкг/м³, способны увеличить это количество на 30%, по сравнению с периодами с малыми значениями ПКО. Можно сделать вывод о недопустимости увеличения ПДК приземного озона в нормативных документах. В очередной раз подчеркнем необходимость создания сети мониторинга и контроля приземной концентрации озона по всей территории России.

Список литературы

1. State of Global Air Report 2024. URL: <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024> (last access: 03.09.2024).
2. Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха: касающиеся твердых частиц (ТЧ_{2,5} и ТЧ₁₀), озона, двуокиси азота, двуокиси серы и окиси углерода. Резюме. ВОЗ, 2021. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345334/9789240035409-rus.pdf>.
3. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 года № 165 Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений». URL: <https://docs.cntd.ru/document/556185926>.
4. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115#6540IN>.

5. Niu Y., Yang T., Gu X., Chen R., Meng X., Xu J., Yang L., Zhao J., Zhang X., Bai C., Kang J., Ran P., Shen H., Wen F., Huang K., Chen Y., Sun T., Shan G., Lin Y., Wu S., Zhu J., Wang R., Shi Z., Xu Y., Ye X., Song Y., Wang Q., Zhou Y., Ding L., Yang T., Yao W., Guo Y., Xiao F., Lu Y., Peng X., Zhang B., Xiao D., Wang Z., Zhang H., Bu X., Zhang X., An L., Zhang S., Cao Z., Zhan Q., Yang Y., Liang L., Cao B., Dai H., Wu T., He J., Li H., Kan H., Wang C. Long-term ozone exposure and small airway dysfunction: The China pulmonary health (CPH) study // *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 2022. V. 205, N 4. P. 450–458. DOI: 10.1164/rccm.202107-1599OC.
6. Albright M., Guttenberg M.A., Tighe R.M. Ozone-induced models of airway hyperreactivity and epithelial injury // *Methods Mol. Biol.* 2022. V. 2506. P. 67–81. DOI: 10.1007/978-1-0716-2364-0_5.
7. Hargreave F.E., Dolovich J., O'Byrne P.M., Ramsdale E.H., Daniel E.E. The origin of airway hyperresponsiveness // *J. Allergy. Clin. Immunol.* 1986. V. 78, N 5. P. 825–32. DOI: 10.1016/0091-6749(86)90226-5.
8. Aris R.M., Christian D., Hearne P.Q., Kerr K., Finkbeiner W.E., Balmes J.R. Ozone-induced airway inflammation in human subjects as determined by airway lavage and biopsy // *Am. Rev. Respir. Dis.* 1993. V. 148, N 5. P. 1363–1372. DOI: 10.1164/ajrccm/148.5.1363.
9. Atkinson C.E., Kesic M.J., Hernandez M.L. Ozone in the development of pediatric asthma and atopic disease // *Immunol. Allergy. Clin. North. Am.* 2022. V. 42, N 4. P. 701–713. DOI: 10.1016/j.iac.2022.06.001.
10. Fang X., Huang S., Zhu Y., Lei J., Xu Y., Niu Y., Chen R. Short-term exposure to ozone and asthma exacerbation in adults: A longitudinal study in China // *Front. Public. Health.* 2023. V. 10. P. 1070231. DOI: 10.3389/fpubh.2022.1070231.
11. Mallia P., Johnston S.L. Mechanisms and experimental models of chronic obstructive pulmonary disease exacerbations // *Proc. Am. Thorac. Soc.* 2005. V. 2, N 4. P. 361–372. DOI: 10.1513/pats.200504-025SR. PMID: 16267363.
12. Евстафьева Е.В., Лапченко В.А., Макарова А.С., Бурухина Т.Ф., Абибулаева Н.К., Евстафьева И.А. Оценка динамики концентрации приземного озона и метеорологических параметров как факторов риска возникновения неотложных состояний здоровья населения // *Химическая физика.* 2019. Т. 38, № 11. С. 42–51.
13. Микеров А.Н. Факторы, участвующие в модулировании механизмов иммунной защиты легких при пневмонии // *Иммунология, патогенез.* 2012. Вып. 111. С. 81–83.
14. Степанов Е.В., Андреев В.В., Чупров Д.В., Ивашкин В.Т. Корреляция частоты заражений и смертности от COVID-19 с аномально высоким содержанием озона в приземной атмосфере Москвы летом 2021 года // *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* 2022. Т. 32, № 3. С. 18–22.
15. Кривошеев В.В., Столяров А.И., Семенов А.А. Влияние озона на заболеваемость и смертность населения Европы в период третьей волны пандемии COVID-19 // *Общественное здоровье и здравоохранение.* 2021. № 472. С. 5–11.
16. Авдеев С.Н., Дехнич А.В., Зайцев А.А., Козлов Р.С., Рачина С.А., Руднов В.А., Синопальников А.И., Тюрин И.Е., Фесенко О.В., Чучалин А.Г. Внебольничная пневмония: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению // *Пульмонология.* 2022. Т. 32, № 3. С. 295–355. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-295-355.
17. Адаптировано из официальных данных Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ). URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 03.09.2024).
18. Биличенко Т.Н., Быстрицкая Е.В., Чучалин А.Г., Белевский А.С., Батын С.З. Смертность от болезней органов дыхания в 2014–2015 гг. и пути ее снижения // *Пульмонология.* 2016. Т. 26, № 4. С. 389–397. DOI: 10.18093/0869-0189-2016-26-4-389-397.
19. Torres A., Peetermans W.E., Viegi G., Blasi F. Risk factors for community-acquired pneumonia in adults in Europe: A literature review // *Thorax.* 2013. V. 68, N 11. P. 1057–1065. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2013-204282. PMID: 24130229; PMCID: PMC3812874.
20. Muthumbi E., Lowe B.S., Muyodi C., Getambu E., Gleason F., Scott J.A.G. Risk factors for community-acquired pneumonia among adults in Kenya: A case-control study // *Pneumonia (Nathan).* 2017. V. 9, N 17. DOI: 10.1186/s41479-017-0041-2.
21. Almirall J., Blanquer J., Bello S. Community-acquired pneumonia among smokers // *Arch. Bronconeumol.* 2014. V. 50, N 6. P. 250–254. DOI: 10.1016/j.arbres.2013.11.016.
22. Guo C., Yu T., Lin C., Chang L.Y., Bo Y., Wong M.C.S., Tam T., Lau A.K.H., Lao X.Q. Habitual exercise, air pollution, and pneumonia mortality: A longitudinal cohort study of approximately 0.4 million adults // *Am. J. Epidemiol.* 2022. V. 191, N 10. P. 1732–1741. DOI: 10.1093/aje/kwac113. PMID: 35773998.
23. Wang H.T., Zhang H., Xue F.Z., Zhao L., Cao W.C. Associations of air pollutants with pneumonia hospital admissions in Qingdao, China: A prospective cohort study // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022. V. 29, N 19. P. 27779–27787. DOI: 10.1007/s11356-021-17892-7.
24. Li R., Jiang N., Liu Q., Huang J., Guo X., Liu F., Gao Z. Impact of air pollutants on outpatient visits for acute respiratory outcomes // *Int. J. Environ. Res. Public. Health.* 2017. V. 14, N 1. P. 47. DOI: 10.3390/ijerph14010047.
25. Микеров А.Н., Алексеева Н.И., Абрамкина С.С., Елисеев Ю.Ю. Роль сурфактантного белка А и его окисления в чувствительности к экспериментальной пневмонии // *Изв. Самарского научного центра Российской академии наук.* 2010. Т. 12, № 1–7. С. 1769–1773.
26. Котельников С.Н., Степанов Е.В. Влияние приземного озона на здоровье населения // *РАН. Труды института общей физики им. А.М. Прохорова.* 2015. Т. 71. С. 72–94.
27. Государственное природоохранное бюджетное учреждение «Мосэкомониторинг». URL: <https://mosecom.mos.ru/> (дата обращения: 03.09.2024).
28. Станция скорой и неотложной медицинской помощи им. А.С. Пучкова Департамента здравоохранения г. Москвы. URL: <https://mos03.ru/> (дата обращения: 03.09.2024).
29. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml> (дата обращения: 03.09.2024).
30. Zhang Y., Li J., Wu C., Xiao Y., Wang X., Wang Y., Chen L., Ren L., Wang J. Impacts of environmental factors on the aetiological diagnosis and disease severity of community-acquired pneumonia in China: A multi-centre, hospital-based, observational study // *Epidemiol. Infect.* 2024. V. 152, N 80. DOI: 10.1017/S0950268824000700.
31. Трубицын А.В., Котельников С.Н. Исследование корреляционных временных связей концентрации приземного озона и здоровья населения в центральных регионах России // *Вестн. МГТУ МИРЭА.* 2015. № 1. С. 235–242.

32. Чередниченко А.В., Чередниченко Алекс.В., Чередниченко В.С., Нысанбаева А.С. Временная динамика приземного озона и ее влияние на заболеваемость в крупных городах Казахстана // Гидрометеорология и образование. 2021. № 1. С. 29–49.
33. Антохин П.Н., Антохина О.Ю., Антонович В.В., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Дудорова Н.В., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Рассказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В., Складнева Т.К., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В. Взаимосвязь динамики газового состава и метеорологических величин в районе Томска // Оптика атмосф. и океана. 2020. Т. 33, № 7. С. 529–537. DOI: 10.15372/AOO20200705; Antokhin P.N., Antokhina O.Yu., Antonovich V.V., Arshinova V.G., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Belan S.B., Davydov D.K., Dudorova N.V., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Pestunov D.A., Rasskazchikova T.M., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Sklyadneva T.K., Tolmachev G.N., Fofonov A.V. Interrelation between dynamics of gas composition and meteorological parameters in the region of Tomsk // Atmos. Ocean. Opt. 2020. V. 33, N 6. P. 629–637.
34. Степанов Е.В., Андреев В.В., Коновальцева Л.В., Касоев С.Г. Приземный озон в атмосфере Москвы во время пандемии COVID-19 // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35, № 8. С. 655–663. DOI: 10.15372/AOO20220809; Stepanov E.V., Andreev V.V., Konovaltseva L.V., Kasoev S.G. Surface ozone in the atmosphere of Moscow during the COVID-19 pandemic // Atmos. Ocean. Opt. 2022. V. 35, N 6. P. 732–740.
35. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Лапченко В.А., Брусова Н.Е., Архангельская А.А., Тереб Н.В., Лезина Е.А. Причины и факторы положительных аномалий приземной концентрации озона в Московском регионе и на юго-восточном побережье Крыма // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 493–502. DOI: 10.15372/AOO20160608; Zvyagintsev A.M., Kuznetsova I.N., Shalygina I.Yu., Lapchenko V.A., Brusova N.E., Arkhangelskaya A.A., Tereb N.V., Lezina E.A. Causes and factors of positive surface ozone anomalies in the Moscow Region and on the southeastern coast of the Crimea // Atmos. Ocean. Opt. 2016. V. 29, N 5. P. 551–560.
36. Белан Б.Д., Складнева Т.К. Тропосферный озон. 4. Фотохимическое образование тропосферного озона: роль солнечной радиации // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 10. С. 858–868.
37. Рыбаков Д.С., Белашев Б.З. Погодные факторы и вызовы скорой медицинской помощи по поводу болезней органов дыхания в городе Петрозаводске // Экология человека. 2021. № 6. С. 36–48.

B.D. Belan, N.V. Dudorova, S.N. Kotelnikov. **Ground-level ozone as a factor of increase in community-acquired pneumonia rate in Moscow in warm seasons.**

Community-acquired pneumonia is among the most common acute infectious diseases. According to official statistics, pneumonia accounted for up to 50% of respiratory-disease mortality in the Russian Federation in 2005–2017. Ground-level ozone, being a key component of urban smog, is one of little-studied risks of community-acquired pneumonia. This work studies the effect of ground-level ozone on the rate of community-acquired pneumonia among Moscow residents in the warm season over a five-year period (2006–2009 and 2011). The study results have enabled us to conclude that ground-level ozone contributes to an increase in the community-acquired pneumonia rate among Moscow residents in summer. Daily average concentrations of ground-level ozone of 60–80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ can increase the community-acquired pneumonia rate by 30% compared to low-ozone periods, especially in combination with unfavorable weather conditions, such as high air temperature and low humidity. The results will help human ecologists and health care professionals to make the urban air safer.