

Введение. Изучению влияния метеорологических факторов на динамику заболеваемости и смертности населения в связи с COVID-19 посвящено много опубликованных работ, принадлежащих зарубежным авторам. Эта проблема серьезно интересует ученых многих стран: Бразилии, Кипра, Индонезии, ЮАР, Австрии, Испании, Японии, Саудовской Аравии, Индии, Мексики, Индонезии, Зимбабве, Бангладеш и ряда других. Значительное число работ опубликовано авторами из Китая, США и Италии.

К сожалению, в отечественной литературе информация по этому вопросу изложена крайне скупо и сводится, в лучшем случае, к обсуждению проблемы сезонности распространения коронавируса, поэтому не вызывает удивления то, что зарубежные ученые ни разу не сослались в своих трудах на исследования российских коллег.

К числу метеорологических факторов, которые в большей или меньшей степени влияют на здоровье человека, относятся температура атмосферного воздуха, его абсолютная и относительная влажность, атмосферное давление, количество осадков, уровень ультрафиолетового излучения, скорость ветра и некоторые другие [1, 2].

Превалирующими метеорологическими факторами, исходя из количества публикаций по каждому фактору и их тональности, зарубежные ученые считают температуру атмосферного воздуха, его относительную влажность и уровень ультрафиолетового излучения. Этим факторам, совершенно естественно, уделяется наибольшее внимание.

В некоторых трудах высказывается мнение о превалирующем влиянии метеорологических факторов на заболеваемость COVID-19 [3], в некоторых — совершенно отрицается их влияние или оно считается крайне слабыми [4, 5]. Существует и более сдержанное отношение к проблеме приоритетов, которое сводится к тому, что влияние климата не отрицается, но во главу угла ставится действенность мер правительства государства по сдерживанию пандемии [6] или самодисциплина его граждан [7].

В зарубежной литературе проблеме влияния климата на заболеваемость и смертность, связанные с COVID-19, на территории Российской Федерации уделяется мало внимания. Всего две статьи посвящены исследованию влияния климата на заболеваемость COVID-19 в нашей стране: это работа тайландского ученого Malay Pramank (Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand) [8] и совместная работа Taiwo Temitope Lasisi, Kayode Kolawole Eluwole (кафедра менеджмента Южно-Уральского государственного университета, Россия, и School of Tourism and Hotel Management, Bahçeşehir Cyprus University, Turkey) [9]. В этих работах исследована связь температуры и скорости ветра с интенсивностью передачи COVID-19 в разных климатических регионах Российской Федерации.

Учитывая положение дел и желая вызвать интерес общественности к проблеме влияния

климата на динамику пандемии COVID-19 в России, авторы решили на примере г. Москвы исследовать влияние метеорологических факторов на уровень заболеваемости и смертности населения, определить, в какие моменты времени эти факторы оказывают наибольшее влияние на конечные результаты пандемии, то есть решить те вопросы, которые могут считаться задачами исследований.

В качестве объекта исследований г. Москва выбран не случайно. Этот выбор объясняется масштабностью заболеваемости и смертности населения, что существенно снижает возможность получения случайных, незакономерных результатов и позволяет считать итоговые выводы наиболее корректными.

Цель исследования — изучение влияния климатических факторов на динамику развития пандемии COVID-19 в г. Москве.

Материалы и методы. Фактические данные о динамике заболеваемости населения получены с сайта «Статистика развития пандемии коронавируса Covid-19 в России»¹, на котором ежедневно обновляется информация по России в целом и по каждому субъекту Российской Федерации. Данные об атмосферных характеристиках в определенный период времени рассчитывались с помощью электронного онлайн-калькулятора «Погода в 243 странах мира»². Расчет абсолютной влажности воздуха производился с использованием электронного онлайн-калькулятора «Абсолютная влажность воздуха и относительная влажность воздуха»³.

Основная идея данного исследования заключается в том, чтобы определить, в какие периоды времени уровень отдельного метеорологического параметра оказывал влияние на заболевания или смерть человека, какие отрезки времени разделяли эти периоды с моментом обнаружения заболевания, а также рассчитать, насколько сильно влиял этот параметр на процесс инфицирования и течение заболевания. В зарубежной литературе для этого интервала используется понятие «lagged correlations» — отстающая корреляция или просто «lag» — отставание, запаздывание, задержка. Величина лага или запаздывания весьма разнообразна. В работе [7] величина лага равна 3 суткам, в работе [10] лаг равен 7 суткам и в [11] принят лаг от 6 до 14 суток.

На наш взгляд, в данном контексте логичнее использовать термин «опережение», а не «отставание», поскольку момент замера климатического параметра, момент действия климатического фактора предшествует моменту регистрации факта заболеваемости или смерти. В нашей статье мы будем использовать именно термин «опережение».

Наши исследования отличаются тем, что мы производили расчеты коэффициентов корреляции с шагом опережения в одни сутки, начиная с опережения, равного нулю (то есть дата замера параметра климатического фактора соответствовала дате регистрации факта заболевания или смерти), и заканчивая

¹ Статистика развития пандемии коронавируса COVID-19 в России [Электронный ресурс]. URL: <https://coronavirus-monitor.info/country/russia/> (дата обращения 18.05.2020).

² «Погода в 243 странах мира» [Электронный ресурс] URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения 18.05.2020).

³ «Абсолютная влажность воздуха и относительная влажность воздуха» [Электронный ресурс]. URL: <https://planetcalc.ru/2167/> (дата обращения 18.05.2020).

таким промежутком времени, когда корреляция устойчиво приближалась к нулю. Фактически максимальное опережение достигало величины 90 суток.

Определение формы и степени зависимости заболеваемости и смертности населения от метеорологических параметров осуществлялось с помощью корреляционного анализа. Оценка значимости коэффициента корреляции производилась с использованием *t*-распределения Стьюдента.

Статистические исследования были проведены для первой волны пандемии в период с 1 апреля до 25 июня 2020 года, таким образом выборка включала 86 замеров заболеваемости и 77 замеров смертности, что сделало расчеты достаточно представительными. Ежедневные замеры метеорологических параметров включали период с 1 января по 25 июня 2020 года.

Корреляционный анализ был проведен для определения уравнений связи и коэффициентов корреляции между уровнями заболеваемости/ смертности и следующими метеорологическими параметрами: температура атмосферного воздуха, его относительная и абсолютная влажность, атмосферное давление, скорость ветра и количество осадков. Все параметры были среднесуточными.

По каждой выборке были рассчитаны коэффициенты корреляции для каждого суток (R_1), а затем получены корреляционные зависимости со временем (T , суток), предшествовавшим моменту обнаружения факта заболевания, определены ближний (X_1) и дальний (X_2) экстремумы функций. Рассчитана корреляционная характеристика R^2_2 степени связи между R_1 и временем, разделяющим момент замера метеорологического параметра с датой фиксации факта заболеваемости/смерти.

Результаты и обсуждение. Приведем примеры характерных графиков зависимостей между уровнем заболеваемости и атмосферным давлением с опережением в 24 и 41 сутки.

На рис. 1, 2 видно, сколь значительно может быть разница в условиях формирования процесса заболеваемости от одного и того же климатического фактора, имеющего те же самые параметры, но в другой комбинации в разные

отрезки времени. Посмотрите, как хаотически расположенные точки графика на рис. 1 упорядочились вдоль аппроксимирующей прямой на рис. 2. Подобные рисунки напрочь опровергают мысль о случайных совпадениях, приводящих к появлению коэффициента парной корреляции, равного 0,661, как в данном случае.

Результаты расчетов, представленные на рис. 3, – совершенно неожиданные, в первую очередь для авторов данной работы. Однако вспомним нашу заслуженную соотечественницу Елену Сергеевну Вентцель, на учебниках которой выросли многие большие ученые, и ее мудрую фразу: «Математические законы теории вероятностей – отражение реальных статистических законов, объективно существующих в массовых случайных явлениях природы. К изучению этих явлений теория вероятностей применяет математический метод и по своему методу является одним из разделов математики, равно же логически точным и строгим, как и другие математические науки».

Наибольшие коэффициенты корреляции (рис. 3) соответствуют зависимостям заболеваемости от скорости ветра и атмосферного давления. Значения коэффициентов корреляции зависимости заболеваемости от скорости ветра имеют максимум $R_{1\max} = 0,634$ (опережение 4 суток), $R_{1\min} = -0,455$ (опережение 30 суток). Аналогичные значения зависимости заболеваемости от атмосферного давления: $R_{1\max} = 0,661$ (опережение 41 сутки), $R_{1\min} = -0,529$ (опережение 8 суток). Обращает на себя внимание чрезвычайно четкая, плавная изменчивость формы зависимостей по времени опережения. Обе стохастические зависимости аппроксимируются уравнениями полинома третьей степени, при этом имея чрезвычайно высокую степень связи: для скорости ветра $R^2_2 = 0,9698$, для атмосферного давления $R^2_2 = 0,9933$ (!). Остальные климатические параметры влияют на уровень заболеваемости в меньшей степени. При оценке степени влияния какого-либо фактора мы считаем важным не только, а может быть, и не столько определяющим значение коэффициента корреляции R_1 , сколько значение R^2_2 , которое характеризует плавность, закономерность, устойчивость изменения какого-либо признака по времени. Исходя из этих соображений,

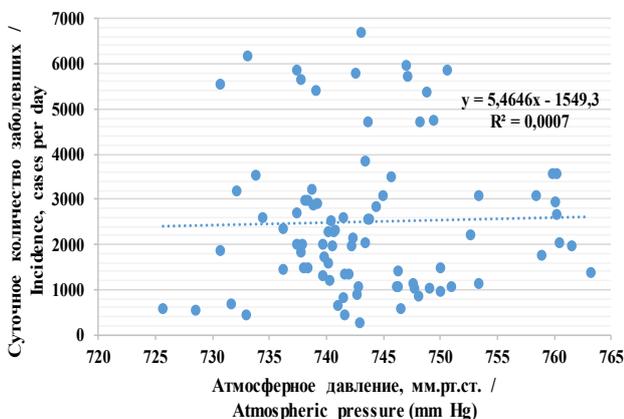


Рис. 1. Зависимость заболеваемости от атмосферного давления в Москве, опережение 24 сут.

Fig. 1. Correlation between atmospheric pressure and COVID-19 incidence in Moscow, a 24-day lag

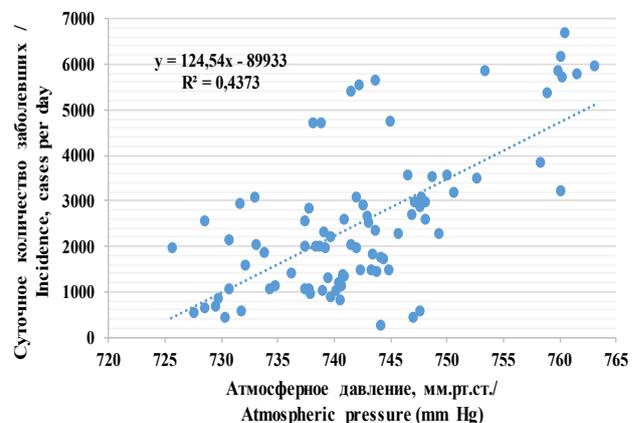


Рис. 2. Зависимость заболеваемости от атмосферного давления в Москве, опережение 41 сут.

Fig. 2. Correlation between atmospheric pressure and COVID-19 incidence in Moscow, a 41-day lag

степень влияния климатических факторов по мере уменьшения выглядит следующим образом:

1. атмосферное давление $R_2^2 = 0,9933$;
2. скорость ветра $R_2^2 = 0,9698$;
3. абсолютная влажность атмосферного воздуха $R_2^2 = 0,9343$;
4. относительная влажность атмосферного воздуха $R_2^2 = 0,9116$;
5. температура атмосферного воздуха $R_2^2 = 0,7457$;
6. количество осадков $R_2^2 = 0,7424$.

Закономерности влияния атмосферных условий на смертность (рис. 4) в значительной степени соответствуют закономерностям заболеваемости (рис. 3) по целому ряду позиций. Наибольшие коэффициенты корреляции соответствуют зависимостям смертности от скорости ветра и атмосферного давления. Значения коэффициента корреляции смертности от скорости ветра имеют максимум $R_{1max} = 0,548$ (опережение 16 суток), минимум $R_{1min} = -0,4556$ (опережение 38 суток). Аналогичные значения зависимости смертности от атмосферного давления: $R_{1max} = 0,538$ (опережение 52 суток), $R_{1min} = -0,557$ (опережение 16 суток). Таким образом, уровень смертности зависит от метеоусловий приблизительно столь же тесно, как и уровень заболеваемости.

Исходя из величины R_2^2 , укажем ранг степени влияния климатических факторов на уровень смертности по мере уменьшения:

1. атмосферное давление $R_2^2 = 0,9685$;
2. скорость ветра $R_2^2 = 0,9338$;
3. относительная влажность атмосферного воздуха $R_2^2 = 0,9313$;

- ◆ Атмосферное давление, мм.рт.ст./ Atmospheric pressure (mm Hg)
- Относительная влажность, %/ Relative humidity, %
- ▲ Температура воздуха, °C/ Air temperature, °C
- × Абсолютная влажность, г/м³/ Absolute humidity, g/m³
- ✱ Скорость ветра, м/с/ Wind speed, m/s
- Количество осадков, мм/ Precipitation quantity, mm

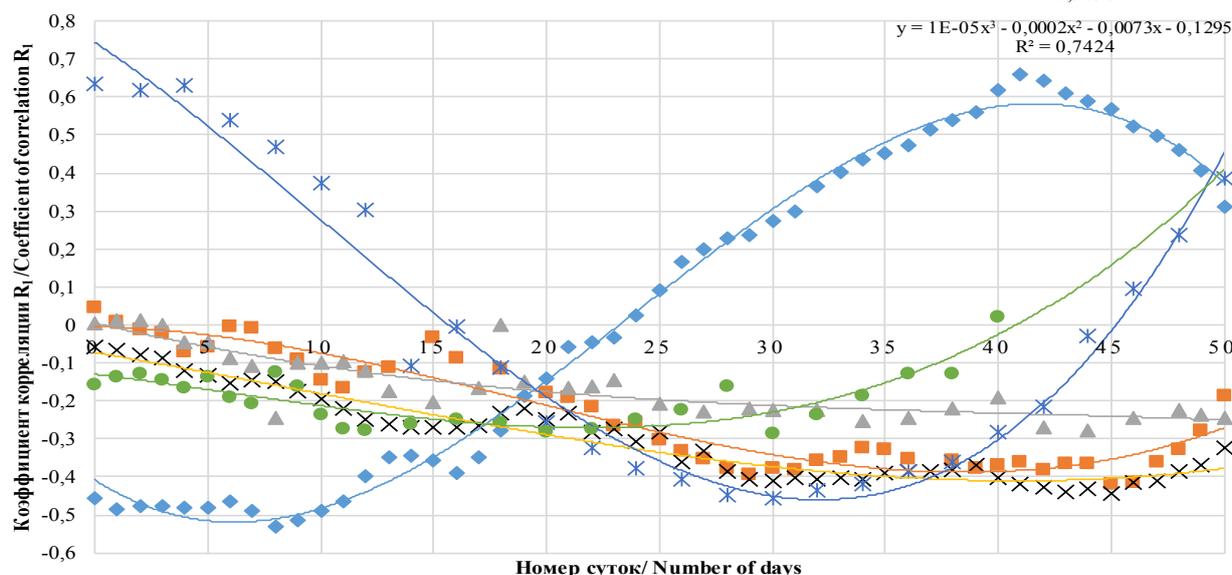


Рис. 3. Зависимость R_1 (заболеваемость) от времени в Москве для климатических факторов: атмосферное давление (АД), относительная влажность (ОВ), температура воздуха (Т), абсолютная влажность воздуха (АВ), скорость ветра (СВ), количество осадков (КО)

Fig. 3. Time dependence of R_1 (incidence) in Moscow for weather factors: atmospheric pressure (AP), relative humidity (RH), air temperature (AT), absolute humidity (AH), wind speed (WS), precipitation quantity (PQ)

4. абсолютная влажность атмосферного воздуха $R_2^2 = 0,8885$;
5. количество осадков $R_2^2 = 0,7178$;
6. температура атмосферного воздуха $R_2^2 = 0,6382$.

Мы видим, что поменялись приоритетами относительная и абсолютная влажность воздуха, а также температура атмосферного воздуха и количество осадков.

Появление атмосферного давления и скорости ветра на первых ролях влияния климатических факторов находит свое подтверждение в целом ряде исследований зарубежных ученых.

Слабая отрицательная корреляция между заболеваемостью COVID-19 и атмосферным давлением наблюдалась по континентальному Китаю [12] и Сингапuru [13]. По территории Японии коэффициент корреляции между атмосферным давлением и заболеваемостью был равен $-0,35$ [14]. Весьма высокая отрицательная корреляция была отмечена в провинции Ухань на март 2020 года $R = -0,503$ [15]. В работе [16] по Индии коэффициенты корреляции между атмосферным давлением и уровнем заболеваемости находились в пределах от $-0,58$ до $-0,84$, между атмосферным давлением и уровнем смертности были незначительно меньше, в пределах от $-0,56$ до $-0,80$. Важно отметить, что атмосферное давление в данном случае было единственным стабильным показателем, поскольку соответствующие коэффициенты корреляции температуры воздуха колебались в разных штатах от $-0,54$ до $+0,80$, а коэффициенты корреляции относительной влажности находились в пределах от $-0,44$ до $+0,62$.

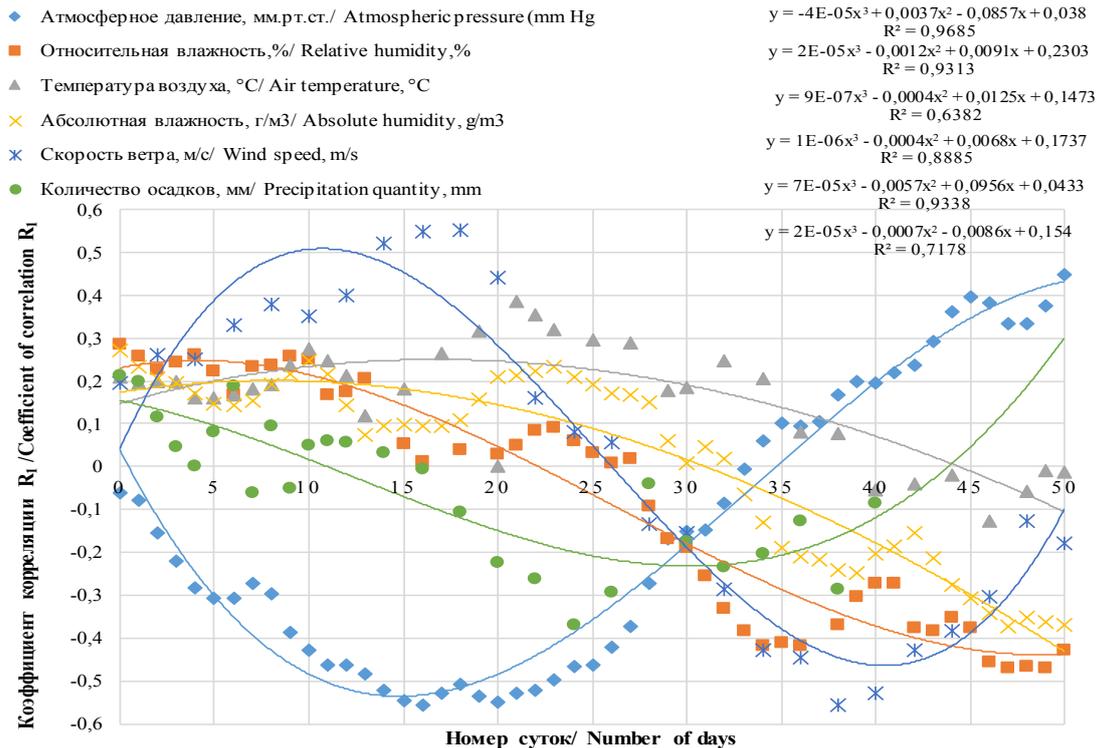


Рис. 4. Зависимость R_1 (смертность) от времени в Москве для климатических факторов: атмосферное давление (АД), относительная влажность (ОВ), температура воздуха (Т), абсолютная влажность воздуха (АВ), скорость ветра (СВ), количество осадков (КО)

Fig. 4. Time dependence of R_1 (mortality) in Moscow for climatic factors: atmospheric pressure, relative humidity, air temperature, absolute humidity, wind speed, precipitation quantity

Таким образом, с определенной осторожностью можно говорить о том, что атмосферное давление в подавляющем большинстве случаев находится в обратной зависимости с уровнем заболеваемости/смертности COVID-19.

Роль скорости ветра в формировании картины заболеваемости и смертности также находят свое отражение в работах зарубежных коллег. В целом ряде работ этот метеорологический фактор признается превалирующим или одним из превалирующих [15, 17–20]

Отметим соотношение коэффициентов корреляции климатических параметров с уровнями заболеваемости и смертности в работе Namrata Deval и др. [16]. В Индии корреляция показала диапазон значений между уровнем заболеваемости и скоростью ветра в пределах от +0,20 до +0,73, между уровнем смертности и скоростью ветра – от +0,04 до +0,72. Коэффициенты корреляции между атмосферным давлением и уровнем заболеваемости находились в пределах от –0,58 до –0,84, а между атмосферным давлением и уровнем смертности были незначительно меньше, в пределах от –0,56 до –0,80 [16]. Эти результаты весьма схожи с полученными нами по г. Москве (рис. 3, 4).

Продолжая тему аналогии наших результатов и зарубежного опыта, обращаем внимание на статью Tomás R. Bolaño-Ortiz et al. (National Technological University, Mendoza, Argentina), в которой отмечается, что в Буэнос-Айресе скорость ветра имела более высокую отрицательную корреляцию с лагом в 2 дня [21]. Эти результаты перекликаются с нашими результатами по Москве (рис. 3), где отмечена

очень высокая корреляция заболеваемости в первые дни опережения, абсолютные значения по скорости ветра $R^2 > 0,6$, по атмосферному давлению $R^2 < -0,45$.

Для иллюстрации наших дальнейших рассуждений приведем по некоторым метеорологическим факторам совместные графики временной динамики заболеваемости и смертности.

На рис. 5 видно, что экстремумы кривой смертности опережают по времени экстремумы заболеваемости. Рассчитаем положение экстремумов на оси времени и определим разницу между ними.

$X_{3min} = 1,96$ суток, $X_{Cmin} = 14,79$ суток,
 $\Delta X_{min} = 12,83$ суток;

$X_{3max} = 42,48$ суток, $X_{Cmax} = 52,78$ суток,
 $\Delta X_{max} = 10,30$ суток,

где X_{3min} – минимум заболеваемости; X_{Cmin} – минимум смертности; ΔX_{min} – разность минимумов заболеваемости и смертности; X_{3max} – максимум заболеваемости; X_{Cmax} – максимум смертности; ΔX_{max} – разность максимумов.

Как видно из рис. 6, кривая заболеваемости в области графика имеет только минимум, поэтому определим разность минимумов для зависимости уровней заболеваемости и смертности от относительной влажности, $\Delta X_{min} = 22,13$ суток.

Приведем похожие графики для зависимости заболеваемости и смертности от скорости ветра (рис. 7) и количества осадков (рис. 8).

На основании результатов расчетов экстремумов функций (рис. 7, 8) приведем величины разницы минимумов. Для скорости ветра $\Delta X_{min} = 9,24$ суток; для количества осадков $\Delta X_{min} = 8,63$ суток.

Таким образом, во всех случаях наблюдения экстремумы функции смертности наступают раньше экстремумов функции заболеваемости, что вполне логично: время между фактом заболевания и смертью человека больше времени до обнаружения факта заболевания. Эмпирически эта разница во времени по нашим расчетам находится в пределах от 8,63 до 22,13 суток, в среднем она равна 12,63 суток.

Сравним наши расчеты с фактическими данными о величине промежутка времени между обнаружением факта заболевания (факт госпитализации) и смертью пациента в разных странах мира. Приведем только три примера. В китайской провинции Ухань срок от госпитализации до смерти составил 2–3 недели [22]. В Ломбардии – на севере Италии, где проживает одна шестая часть населения страны, средняя продолжительность пребывания пациентов в реанимации составила 12 дней (от 6 до 21) [23]. В больнице Университета Рамона и Каджала (Мадрид) в общей сложности 124 пациента умерли в период до 19 апреля 2020 года, при этом смерть наступила в среднем через 16 (от 9 до 23) дней после появления симптомов и 13 (от 8 до 19) дней после госпитализации [24]. Таким образом, наши расчеты вполне подтверждаются данными зарубежных медиков.

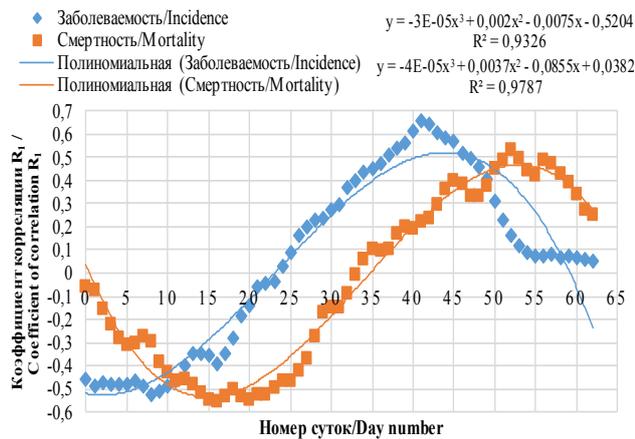


Рис. 5. Зависимость R_1 от времени в Москве (атмосферное давление)

Fig. 5. Time dependence of R_1 in Moscow (atmospheric pressure)

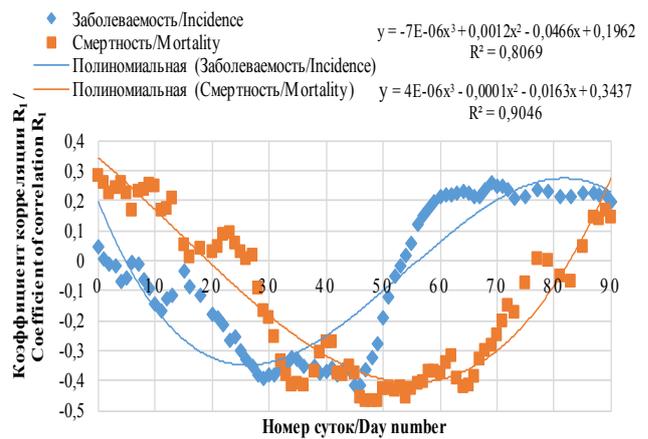


Рис. 6. Зависимость R_1 от времени в Москве (относительная влажность)

Fig. 6. Time dependence of R_1 in Moscow (relative humidity)

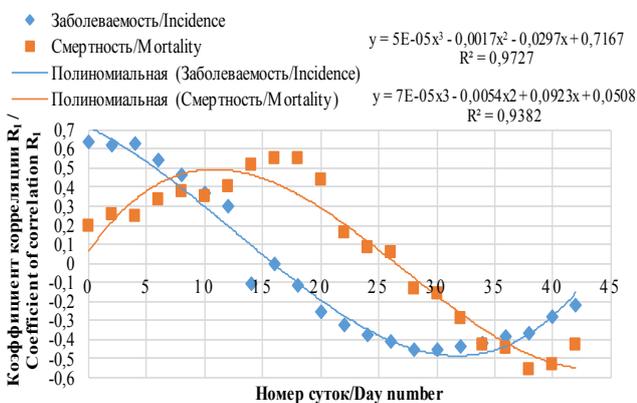


Рис. 7. Зависимость R_1 от времени в Москве (скорость ветра)

Fig. 7. Time dependence of R_1 in Moscow (wind speed)

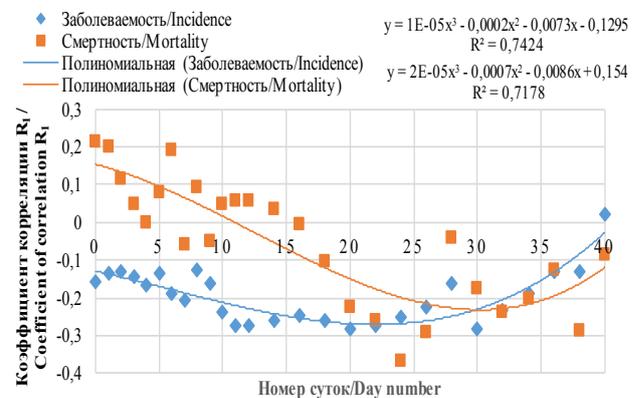


Рис. 8. Зависимость R_1 от времени в Москве (количество осадков)

Fig. 8. Time dependence of R_1 in Moscow (precipitation quantity)

Для подтверждения корректности наших выкладок проведем еще один расчет. Определим сроки максимальной заболеваемости и максимальной смертности во время первой волны пандемии в Москве (рис. 9, 10), считая ее началом 1 апреля 2020 года.

Разница между максимумами заболеваемости и смертности $\Delta X_{\max} = 19,99$ суток, что вполне укладывается в пределы, обозначенные зарубежным опытом, и нашими результатами.

На наш взгляд, наиболее интересным и неожиданным результатом является то, что наши эмпирические зависимости заболеваемости и смертности от климатических факторов и зоны наибольшего влияния на конечные результаты процессов на расстоянии до 50 и более суток от начала координат. Это непривычно и трудно-объяснимо. Обычно исследования проводятся в период времени, незначительно превышающий величину инкубационного периода, как правило, это не более 10 суток. Тем не менее, если эти результаты повторяются от выборки к выборке, а коэффициенты корреляции выходят на уровень 0,5–0,7, то от подобных результатов отмахнуться невозможно. Они требуют профессионального толкования иммунологов, инфекционистов и других специалистов соответствующего профиля.

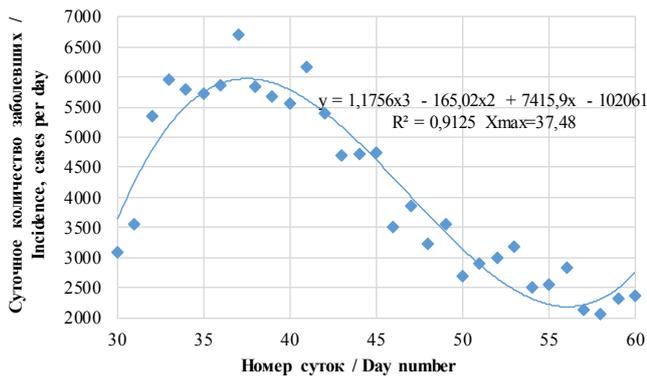


Рис. 9. Зависимость заболеваемости от времени в Москве
Fig. 9. Time dependence of incidence in Moscow

Необходимо указать, что подобные результаты авторами были получены и по некоторым другим странам и регионам.

Не вдаваясь в профессиональную трактовку полученных результатов, приведем несколько фрагментов информации, которая говорит о длительности периода воздействия на конечные результаты инфекционных заболеваний, значительно превышающего сроки инкубационного периода.

Nicole Y. Leung и др. (Stanford University School of Medicine, University of Washington International Clinical Research Center, USA) изучили случаи заболеваемости и смерти от COVID-19, зарегистрированные до 2 мая 2020 года в 205 странах и территориях, и доказали, что «температура за 5–7 недель до первого зарегистрированного случая лучше всего предсказала эпидемический рост, что свидетельствует о том, что значительная передача инфекции происходила в среднем за 1–2 месяца до обнаружения» [25]. На конгрессе Всемирной организации здравоохранения (WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 COVID-19), который состоялся 16–24 февраля 2020 года, было отмечено, что среди пациентов, которые умерли, время от появления симптомов до исхода колеблется в пределах 2–8 недель [26].

Наконец, сошлемся на работу, посвященную сезонности заболевания гриппом, поскольку очень много работ посвящено изучению аналогий проявления COVID-19 и других вирусных инфекций. Jeffrey Shaman и др., Virginia E Pitzer, Cécile Viboud et al. (Oregon State University, Oregon, USA) утверждают, что наступление повышенной смертности от гриппа в зимний период в Соединенных Штатах связано с аномально низкими абсолютными уровнями влажности в течение предыдущих недель [27].

Заключение

Проведенные расчеты позволили получить новые научные знания о влиянии климата на динамику пандемии COVID-19 и сделать следующие выводы.

Климатические факторы на территории г. Москвы оказывают влияние на уровень заболеваемости и смертности в связи с COVID-19.

Степень влияния климатических факторов на заболеваемость незначительно выше степени влияния этих факторов на уровень смертности.

Наибольшее влияние на уровень заболеваемости оказывают атмосферное давление и скорость ветра.

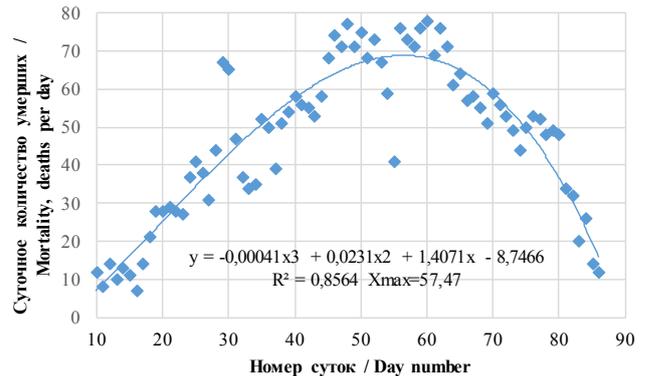


Рис. 10. Зависимость смертности от времени в Москве
Fig. 10. Time dependence of mortality in Moscow

На третьем месте по степени влияния на заболеваемость и смертность находятся относительная и абсолютная влажность атмосферного воздуха.

Наименьшее влияние на заболеваемость и смертность жителей г. Москвы в связи с пандемией COVID-19 оказывают температура атмосферного воздуха и количество осадков.

Климатические факторы начинают оказывать влияние на уровень заболеваемости и смертности населения города Москвы за 6–8 недель до появления первых симптомов.

Наиболее вероятный период времени между регистрацией момента заболеваемости и смерти пациентов, заболевших COVID-19, по нашим расчетам, находится в пределах от 8,63 до 22,13 суток, в среднем 12,63 суток.

Полученные новые данные подтверждают высокую степень влияния климатических факторов на динамику заболеваемости и смертности населения на территории г. Москвы, позволяя определить степень влияния метеорологических условий на конечные результаты пандемии COVID-19 в разные периоды времени, позволяют делать прогнозы относительно времени наступления периодов наиболее опасной эпидемиологической обстановки, что дает возможность оперативно принять соответствующие меры профилактического характера.

Информация о вкладе авторов: Кривошеев В.В. — разработка дизайна исследования, написание текста рукописи; Столяров А.И. — получение данных для анализа, написание текста рукописи, обзор публикаций по теме статьи.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Gupta A, Banerjee S, Das S. Significance of geographical factors to the COVID-19 outbreak in India. *Model Earth Syst Environ*. 2020; 6:2645–2653. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00838-2>
- Adhikari A, Yin J. Short-term effects of ambient ozone, PM_{2.5}, and meteorological factors on COVID-19 confirmed cases and deaths in Queens, New York. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(11):4047. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17114047>
- Malki Z, Atlam E-S, Hassanien AE, et al. Association between weather data and COVID-19 pandemic predicting mortality rate: Machine learning approaches. *Chaos Solitons Fractals*. 2020; 138:110137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110137>

4. Jamil T, Alam I, Gojobori T, *et al.* No evidence for temperature-dependence of the COVID-19 epidemic. *Front Public Health.* 2020; 8:436. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00436>
5. Yao Y, Pan J, Liu Z, *et al.* No association of COVID-19 transmission with temperature or UV radiation in Chinese cities. *Eur Respir J.* 2020; 55(5):2000517. DOI: <https://doi.org/10.1183/13993003.00517-2020>
6. Livadiotis G. Statistical analysis of the impact of environmental temperature on the exponential growth rate of cases infected by COVID-19. *PLoS One.* 2020; 15(5):e0233875. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233875>
7. Chien L-C, Chen L-W. Meteorological impacts on the incidence of COVID-19 in the U.S. *Stoch Environ Res Risk Assess.* 2020; 34:1675–1680. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01835-8>
8. Pramanik M, Udmale P, Bisht P, *et al.* Climatic factors influence the spread of COVID-19 in Russia. *Int J Environ Health Res.* 2020; 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1793921>
9. Lasisi TT, Eluwole KK. Is the weather-induced COVID-19 spread hypothesis a myth or reality? Evidence from the Russian Federation. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021; 28(4):4840–4844. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10808-x>
10. Runkle JD, Sugg MM, Leeper RD, *et al.* Short-term effects of specific humidity and temperature on COVID-19 morbidity in select US cities. *Sci Total Environ.* 2020; 740:140093. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140093>
11. Merow C, Urban MC. Seasonality and uncertainty in global COVID-19 growth rates. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2020; 117(44):27456–27464. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2008590117>
12. Cai QC, Lu J, Xu QF, *et al.* Influence of meteorological factors and air pollution on the outbreak of severe acute respiratory syndrome. *Public Health.* 2007; 121(4):258–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.09.023>
13. Pani SK, Lin NH, RavindraBabu S, *et al.* Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. *Sci Total Environ.* 2020; 740:140112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140112>
14. Takagi H, Kuno T, Yokoyama Y, *et al.* Higher temperature, pressure, and ultraviolet are associated with less COVID-19 prevalence: Meta-regression of Japanese Prefectural data. *Asia Pac J Public Health.* 2020; 32(8):520–522. DOI: <https://doi.org/10.1177/1010539520947875>
15. Ma Z, Meng X, Li X, *et al.* Atmospheric factors and the incidence of novel coronavirus pneumonia. [Preprint] 2020. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-27190/v1> Accessed: 2 March 2021.
16. Deyal N, Tiwari V, Bisht NS. Impact of climatic parameters on COVID-19 pandemic in India: analysis and prediction. [Preprint] medRxiv 2020.07.25.20161919. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.07.25.20161919> Accessed: 2 March 2021.
17. Rasul A, Heiko B. Relationship between monthly climatic variables and worldwide confirmed COVID-19 cases (June 13, 2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3626108>
18. Chen B, Liang H, Yuan X, *et al.* Roles of meteorological conditions in COVID-19 transmission on a worldwide scale. [Preprint] medRxiv 2020.03.16.20037168. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.03.16.20037168>
19. Hasan NA, Siddik MS. Possible role of meteorological variables in COVID-19 spread: A case study from a subtropical monsoon country, Bangladesh. *Preprints* 2020, 2020060347. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202006.0347.v1>
20. Hossain S, Ahmed S, Uddin J. Impact of weather on COVID-19 transmission in south Asian countries: An application of the ARIMAX model. *Sci Total Environ.* 2020; 761:143315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143315>
21. Bolaño-Ortiz TR, Pascual-Flores RM, Puliafito SE, *et al.* Spread of COVID-19, meteorological conditions and air quality in the city of Buenos Aires, Argentina: Two facets observed during its pandemic lockdown. *Atmosphere.* 2020; 11(10), 1045. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11101045>
22. Wang D, Yin Y, Hu C, *et al.* Clinical course and outcome of 107 patients infected with the novel coronavirus, SARS-CoV-2, discharged from two hospitals in Wuhan, China. *Crit Care.* 2020; 24(1):188. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13054-020-02895-6>
23. Grasselli G, Greco M, Zanella A, *et al.* Risk factors associated with mortality among patients with COVID-19 in intensive care units in Lombardy, Italy. *JAMA Intern Med.* 2020; 180(10):1345–1355. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.3539>
24. Monreal E, Sainz de la Maza S, Fernández-Velasco JI, *et al.* The impact of immunosuppression and autoimmune disease on severe outcomes in patients hospitalized with COVID-19. *J Clin Immunol.* 2020; 41(2):315–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10875-020-00927-y>
25. Leung NY, Bulterys MA, Bulterys PL. Predictors of COVID-19 incidence, mortality, and epidemic growth rate at the country level. [Preprint] medRxiv 2020.05.15.20101097. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.05.15.20101097>
26. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 16–24 February 2020. Available at: <https://who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>. Accessed: 17 March 2021.
27. Shaman J, Pitzer VE, Viboud C, *et al.* Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States. *PLoS Biol.* 2010; 8(2):e1000316. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000316>