DOI 10.33920/med-08-2110-01
УДК 614.78

АБСОЛЮТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И COVID-19

В.В. Кривошеев, А.И. Столяров, А.А. Семенов
Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Технопарк высоких технологий», г. Ханты-Мансийск, Россия

Резюме. На сегодняшний день COVID-19 — это предмет внимания всего человечества номер один. Поэтому проблема изучения влияния условий, в которых существуют субъекты пандемии — люди и вирусы, на ее динамику и результаты чрезвычайно актуальна. Авторами произведен корреляционный анализ зависимостей между заболеваемостью/смертностью населения и абсолютной и относительной влажностью по 73 странам и регионам, находящимся на разных континентах земного шара. Разработанная авторами методика позволяет определять, как и в какие периоды времени природные факторы оказывают влияние на заболеваемость и смертность человека, насколько сильно влияет тот или иной параметр атмосферы на процесс инфицирования и течения заболевания. Проведенные расчеты позволили доказать, что абсолютная влажность воздуха является одним из доминирующих природных факторов, оказывающих существенное влияние на динамику пандемии COVID-19 и других инфекционных заболеваний. Рост абсолютной влажности воздуха может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на заболеваемость и смертность населения, при этом характер влияния зависит от собственной величины абсолютной влажности и других параметров атмосферы. Корреляция абсолютной и относительной влажности с заболеваемостью/смертностью в один и тот же момент времени может быть совершенно различной как по величине, так и по знаку. Существующие в РФ нормативные документы федерального уровня созданы без учета минимально допустимой и физиологически оптимальной величины абсолютной влажности и требуют корректировки. Вопрос влияния абсолютной влажности имеет особое значение для северных территорий, на которых большую часть года величина абсолютной влажности значительно меньше минимально допустимой. Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени влияния абсолютной влажности на заболеваемость и смертность населения в связи с COVID-19, способствуют пониманию цикличности пиков пандемии и осознанному прогнозированию времени наступления периодов наиболее опасной эпидемиологической обстановки.

Ключевые слова: *коронавирус, абсолютная и относительная влажность атмосферного воздуха, заболеваемость и смертность, статистические исследования.*

ABSOLUTE HUMIDITY OF ATMOSPHERIC AIRAND COVID-19

V.V. Krivosheev, A.I. Stolyarov, A.A. Semenov
Autonomous Institution of The Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra «High Technology Park», Khanty-Mansiysk, Russia

Abstract. Today COVID-19 is number one global point of focus. Therefore, study of the effects of environmental conditions, in which exist pandemic subjects — people and viruses, on pandemic dynamics and results is extremely important. The authors made a correlation analysis of dependence between incidence/mortality of population and absolute and relative humidity in 73 countries and regions on dif-

ferent continents of the Earth. The methodology developed defines how and in what periods of time the environmental factors effect on human incidence and mortality, how strongly particular atmospheric parameter affects the process of infection and disease flow. The undertaken calculations allowed to prove that the absolute humidity is one of the dominant natural factor which influences on pandemic COVID-19 and other infectious diseases dynamics. The growth of absolute air humidity can have both positive and negative effect on incidence and mortality of population while the effect's character depends on absolute humidity's own level and other atmospheric parameters. Correlation of absolute and relative humidity with incidence/mortality at the same time can be different in value or sign. Existing regulations at the federal level in Russian Federation are established without taking into account the minimum allowable and physiologically optimal value of absolute humidity, and need corrections. The question of the impact of absolute humidity is of great importance for northern territories, where most of the year the value of absolute humidity is less than the minimum allowed. The achieved results show high degree of the impact of absolute humidity on incidence and mortality of population due to COVID-19 and contribute to better understanding of pandemic peaks cyclicality and conscious forecasting of start of periods of the most dangerous epidemiological reality.

Keywords: *COVID-19, absolute and relative humidity of atmospheric air, incidence and mortality, statistical studies.*

Conflict of interest. *The author declares that there is no conflict of interest.*

Funding. *The study had no sponsorship.*

For correspondence: *Krivosheev Vladimir V., e-mail:vvk_usu@mail.ru*

Information about authors:
Krivosheev V.V., https://orcid.org/0000-0002-8125-0890
Stolyarov A.I., https://orcid.org/0000-0003-2517-9775
Semenov A.A., https://orcid.org/0000-0001-9968-9466

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Пандемия COVID-19 развивается. В мае 2021 г. ситуация в России стабилизировалась на уровне 8 тыс. новых случаев заболеваемости в сутки, США на уровне 33 тыс., однако Бразилия только недавно преодолела пик заболеваемости в 97 тыс. ежедневных новых случаев, а Индия находится на пике заболеваемости и смертности (около 350 тыс. и 4 тыс. случаев ежедневно соответственно). Поэтому проблема изучения влияния условий, в которых существуют субъекты пандемии — люди и вирусы, на ее динамику и результаты чрезвычайно актуальна сегодня и, к сожалению, будет актуальной еще долгое время. На сегодняшний день COVID-19 — это проблема человечества номер один. Болезнь поражает людей независимо от национальности, социального статуса, уровня материального благосостояния, политических взглядов, места обитания и прочих факторов. Однако, как и любой другой материальный процесс, пандемия существует не сама по себе, она зависит от непрерывно изменяющихся условий внешней среды, с которой ее связывают физические, химические, биологические, социальные и другие процессы, оказывающие непосредственное влияние на динамику ее развития.

Специалисты находят до сотни условий или факторов, влияющих на COVID-19, в том числе плотность населения, уровень правительственных мер по предупреждению распространения инфекции, обеспеченность населения больничными койками, компьютерными томографами, медицинскими работниками, возраст населения, распространенность курения, эффект скученности в помещениях, инвалидность, язык, раса, профессия, статус города, степень близости проживания к наиболее посещаемым местам населенного пункта и многих других, в том числе весьма экзотических. Например, Hunt

Allcott et al. (NewYorkUniversity) отмечают связь скорости распространения пандемии с партийной принадлежностью населения Нью-Йорка, аргументируя это с тем, что в районах с большим количеством республиканцев уделяется меньшее внимание соблюдению социальной дистанции [1].

Большинство ученых соглашаются с тем, что на характер развития пандемии COVID-19 существенное влияние оказывает состояние атмосферы: температура воздуха, его относительная и абсолютная влажность, атмосферное давление, уровень ультрафиолетового излучения, уровень загрязнения воздуха и целый ряд других факторов, перечень которых подробно изложен в специальной литературе.

Как мы уже отмечали в своих статьях [2, 3], в отечественной литературе вопрос влияния атмосферных условий на динамику пандемии COVID-19 практически не обсуждается в отличие от зарубежных научных журналов, опубликовавших на эту тему сотни статей ученых со всех континентов.

Мы проанализировали около 400 работ иностранных авторов по данной проблеме и пришли к выводу, что в международном научном сообществе существует серьезный пробел в понимании места и роли абсолютной влажности атмосферного воздуха во влиянии на заболеваемость и смертность в связи пандемией COVID-19.

Среди изученных печатных работ по данной проблеме 111 статей посвящено исследованию влияния относительной влажности на динамику COVID-19 и только 25 проблеме абсолютной влажности.

Мы обратили внимание еще на один принципиальный, на наш взгляд, момент, а именно: в аннотациях к 42 статьям говорится о влиянии влажности воздуха на COVID-19 без уточнения, о какой именно влажности идет речь: относительной или абсолютной. При изучении полного текста статей становится понятно, что речь всегда идет об относительной влажности. Приведем только один характерный пример. Цитируем аннотацию статьи ученой из США Katherine Li (Garnet Valley High School, Glen Mills): «*Смертность COVID-19 во всех пятидесяти штатах США напрямую и положительно коррелирует с влажностью окружающей среды, которую испытывает вирус COVID-19*» [4]. В статье, разумеется, приводятся результаты изучения влияния относительной влажности. Отсюда следует вывод, что даже для ученого, профессионала, изучающего проблему влияния атмосферных условий на результаты смертности в связи с COVID-19, понятия «влажность» и «относительная влажность» — это слова-синонимы, хотя на самом деле это далеко не так.

Наши исследования показали, что абсолютная влажность является очень серьезным, самодостаточным фактором, закономерности влияния которого на заболеваемость и смертность в большинстве случаев радикально отличаются от соответствующих закономерностей, свойственных относительной влажности. И роль этого фактора зачастую гораздо выше, чем роль относительной влажности.

Обзор литературы показывает, что о характере и степени влияния абсолютной влажности на уровень заболеваемости и смертности населения существует много представлений, зачастую сходных, а зачастую полярных.

В Индии Sarvan Kumar (Purvanchal University, India) обнаружил отрицательную связь между ежедневными случаями COVID-19 и абсолютной влажностью воздуха (коэффициент корреляции R = –0,37) в период с 1 марта по 15 апреля 2020 г. [5]. Velu Vinoj et al. (Indian Institute of Technology Bhubaneswar), напротив, установили, что абсолютная влажность в Индии приводит к росту заболевания и сокращению времени ее удвоения [6]. В своей более поздней работе Sarvan Kumar отметил, что положительное влияние роста абсолютной влажности на заболеваемость, которое наблюдалось до середины апреля, позднее сменилось на противоположное. Во второй половине апреля и в мае рост абсолютной влажности сопровождался ростом заболеваемости Covid-19 [7].

Значительно более согласованными выглядят представления о характере влияния абсолютной влажности на за-

болеваемость в Китае, где уровень абсолютной влажности в период наблюдений (январь — март 2020 г.) не превышал 10 г/м³. Yueling Ma et al. (Lanzhou University, China) с вероятностью 95 % констатировали, что с ростом абсолютной влажности было связано снижение смертности в связи с COVID-19 [8]. Jianfeng Li et al. (Beijing Academy of Science and Technology, China) также показали обратную корреляцию заболеваемости и абсолютной влажности в провинции Хубэй (R= –0,326) [9]. Jiangtao Liu et al. (Lanzhou University, China) определили, что пик заболеваемости имел место при абсолютной влажности 7,9 г/м³ [10], а их коллеги Peng Shi et al. (China Medical University, Shenyang, China) определили пик заболеваемости при очень близкой величине абсолютной влажности 7 г/м³ [11]. Xiaohang Wen et al. (Chengdu University of information Technology, China) считают, что во всех провинциях Китая наиболее подходящим диапазоном для потенциальной передачи вируса является абсолютная влажность от 2 до 6 г/м³ [12].

В США информация о влиянии абсолютной влажности на динамику COVID-19 весьма противоречива. Sonal Gupta et al. (Department of Electrical Engineering, Delhi, India) изучили ежедневные данные о новых случаях заболевания в 50 штатах США в период с 1 января по 9 апреля 2020 г. и определили самый уязвимый диапазон абсолютной влажности 6 г/м³, что весьма близко к приведенной выше информации по КНР [13]. Lan-Lan Fang et al. (Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Anhui, China) изучали связь абсолютной влажности с передачей COVID-19 в нескольких городах США и установили, что в городах с высокой удельной влажностью воздуха[1] Олбани и Новом Орлеане (средняя удельная влажность 9,88 г/кг и 12,99 г/кг соответственно) имела место значительная взаимосвязь, которая привела к увеличению риска передачи инфекции до двух раз. В Нью-Йорке, где удельная влажность ниже (в среднем 3,98 г/кг), никакой связи между влажностью и coVID-19 не наблюдалось [14]. Atin Adhikari et al. (Georgia Southern University, Statesboro, USA) утверждают, что *«каждые 10 г/см³ (так у авторов) увеличения абсолютной влажности значительно связаны с увеличением числа новых случаев заболевания COVID-19 на 2,13 %. Это открытие интересно и согласуется с недавним препринтом Гарвардской медицинской школы о роли абсолютной влажности воздуха в скорости передачи инфекции во время вспышки COVID-19»* [15]. Однако ссылка этих авторов на препринт Wei Luo et al. (Harvard Medical School, Boston, USA) не вполне корректна, поскольку по результатам своих исследований Wei Luo et al. дают весьма деликатное заключение, цитируем: *«наблюдаемые модели COVID-19 не полностью согласуются с гипотезой о том, что высокая абсолютная влажность может ограничить выживание и передачу этого нового вируса»* [16], что не предусматривает столь категоричных заявлений Atin Adhikari et al.

Две статьи по Японии свидетельствуют о слабой отрицательной корреляции между абсолютной влажностью и уровнем заболеваемости, это работы Sachiko Kodera et al. (Nagoya Institute of Technology, Nagoya Japan; Suez Canal University, Ismailia, Egypt) [17] и Essam A Rashed et al., представляющих те же вузы [18].

AC Auler et al. (Federal University of Paraná, Brazil) показали наличие слабой положительной корреляции заболеваемости с абсолютной влажностью в Бразилии, при этом абсолютная влажность находилась в пределах 6–9 г/м³ [19].

Однако большинство исследований, некоторые из которых охватывают большую часть земного шара, свидетельствуют о том, что в зонах низкой абсолютной влажности заболеваемость COVID-19 выше, чем на территориях с более высокой влажностью. Gentile Francesco Ficetola et al. (University of Milan, Italy) показали, что темпы роста Covid-19 достигли пика в умеренных регионах Северного полушария со средней температурой 5 °C и абсолютной влажностью 4–6 г/м³ в период

[1] Удельная влажность — это отношение массы водяного пара в единице массы среды к единице массы среды. Например, для воздуха это отношение количества водяного пара в граммах к одному килограмму влажного воздуха (г/кг).

вспышки [20]. Mohammad M. Sajadi et al. (Shiraz University of Medical Sciences, Iran) исследовали проблему для территорий, находящихся в полосе 30–50 ° с.ш. и определили *«коридор наибольшей инфекции по температуре 5–11 град. Цельсия, влажность 3–6 г/кг и 4–7 г/м³»* [21]. Peter Jüni et al. (University of Toronto, Canada) на базе информации по 144 геополитическим областям всего мира отметили слабую отрицательную корреляцию эпидемического роста COVID-19 с абсолютной влажностью [22].

Наконец, две идентичных, масштабных работы по всей территории земного шара. Qasim Bukhari et al. (Massachusetts Institute of Technology, Boston University School of Public Health, Harvard Medical School, USA) приводят информацию о том, что *«примерно 85 % зарегистрированных случаев COVID-19 до 1 мая 2020 г. имели место в регионах с температурой от 3 до 17 °C и абсолютной влажностью от 1 до 9 г/м³. Жаркие и влажные регионы сообщили лишь о 15 %»* [23]. Zhongwei Huang et al. (Lanzhou University, China) излагают достаточно схожую информацию: *«около 73,8 % подтвержденных случаев заболевания были сконцентрированы в регионах с абсолютной влажностью от 3 г/м³ до 10 г/м³»* [24].

Изложенные сведения позволяют сделать вывод о том, что проблема влияния абсолютной влажности воздуха на заболеваемость и смертность в связи с COVID-19 проработана совершенно недостаточно, характеризуется многочисленными, зачастую противоречащими друг другу толкованиями, а сама суть проблемы остается не до конца понятной даже для прямых специалистов, занимающихся изучением связи COVID-19 с атмосферными условиями. В связи с этим авторы провели исследование влияния абсолютной влажности и относительной влажности на заболеваемость и смертность населения ряда территорий земного шара.

Цель исследования — изучение характера и степени влияния абсолютной влажности воздуха на заболеваемость и смертность населения в связи с COVID-19, определение места и роли абсолютной влажности как доминирующего фактора, выявление отличий от закономерностей влияния относительной влажности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авторы производили изучение характера и степени влияния атмосферных условий на результаты первой волны пандемии COVID-19, что для разных территорий охватывало период от февраля до сентября 2020 г.

Фактические данные о динамике заболеваемости населения получены с сайта «Статистика развития пандемии коронавируса COVID-19 в России»[2], а также со справочного сайта Американской библиотечной ассоциации (ALA) «Worldometer»[3].

Данные об атмосферных характеристиках рассчитывали с помощью электронного онлайн-калькулятора «Погода в 243 странах мира»[4].

В исследовании использованы следующие среднесуточные параметры погоды из архива метеорологических станций: температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли, °C; атмосферное давление на уровне метеорологической станции, мм рт. ст.; относительная влажность воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли, %.

Расчет абсолютной влажности воздуха производили с использованием электронного онлайн-калькулятора «Абсолютная влажность воздуха и относительная влажность воздуха»[5].

Упрощенный расчет абсолютной влажности воздуха производился с помощью уравнения, полученного Кривошеевым В. В.:

$$АВ = 4{,}9039\ (ОВ/100\ \%)\ e^{0{,}061T},$$

где АВ — абсолютная влажность, г/м³;

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

[3] Справочный сайт Американской библиотечной ассоциации (ALA) «Worldometer» [Электронный ресурс]. — URL: https://www.worldometers.info/coronavirus/usa/new-york/ (дата обращения: 28.03.2021).

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

[5] Абсолютная влажность воздуха и относительная влажность воздуха [Электронный ресурс]. — URL: https://planetcalc.ru/2167/ (дата обращения: 18.05.2020).

ОВ — относительная влажность воздуха, %;

Т — температура воздуха, °С.

Всего было изучено 73 территориальных объекта, отмеченных на рис. 1. Более подробно изучены административные образования России: Вологодская, Иркутская, Калининградская, Кировская, Липецкая, Омская, Орловская, Псковская, Ростовская, Рязанская, Самарская, Свердловская, Смоленская, Тульская, Тюменская, Челябинская и Ярославская области, Забайкальский и Пермский края, республики Башкортостан и Татарстан, города Москва и Санкт-Петербург. Кроме того, исследованы центральные штаты США, расположенные в поясе 34–41° с.ш. от Тихого до Атлантического океана: Вирджиния, Западная Вирджиния, Иллинойс, Индиана, Калифорния, Колорадо, Миссури, Небраска, Невада, Огайо, Оклахома, Пенсильвания и Юта.

Основа методики наших исследований сводится к определению формы и степени связи между параметрами атмосферы, с одной стороны, и количеством заболевших/умерших человек, с другой стороны. Форма связи определяется видом уравнения и величиной коэффициентов при переменных, степень связи характеризуется коэффициентом корреляции R для линейных зависимостей и R2 — для нелинейных уравнений. Степень значимости коэффициента корреляции оценивается с помощью t-статистики Стьюдента.

Формат подготовки исходных данных для исследований иллюстрирован рис. 2.

На рис. 2 первая группа из четырех строк — нулевой номер вычисления (нулевой номер суток) показывает, как абсолютная влажность влияла на заболеваемость, которая была зафиксирована в те же сутки, т. е. как абсолютная влажность 17.04 влияла на заболеваемость 17.04; как абсолютная влажность 18.04 влияла на заболеваемость 18.04; как абсолютная влажность 19.04 влияла на заболеваемость 19.04 и т. д. Вторая группа из четырех строк — первый номер вычисления (первый номер суток) показывал, как абсолютная влажность влияла на заболеваемость, которая была зафиксирована на следующие сутки после замера абсолютной влажности, т. е. как абсолютная влажность 16.04 влияла на заболеваемость 17.04; как абсолютная влажность 17.04 влияла на заболеваемость 18.04; как абсолютная влажность 18.04 влияла на заболеваемость 19.04 и т. д.

Разумеется, фактическая длина временного интервала заболеваемости (черная строка) была равна не четырем суткам, как это показано на рис. 2, а была значительно больше: от 40 до 90 суток. Величина интервала атмосферных параметров — абсолютной и относительной влажности (серая строка) превышала ве-

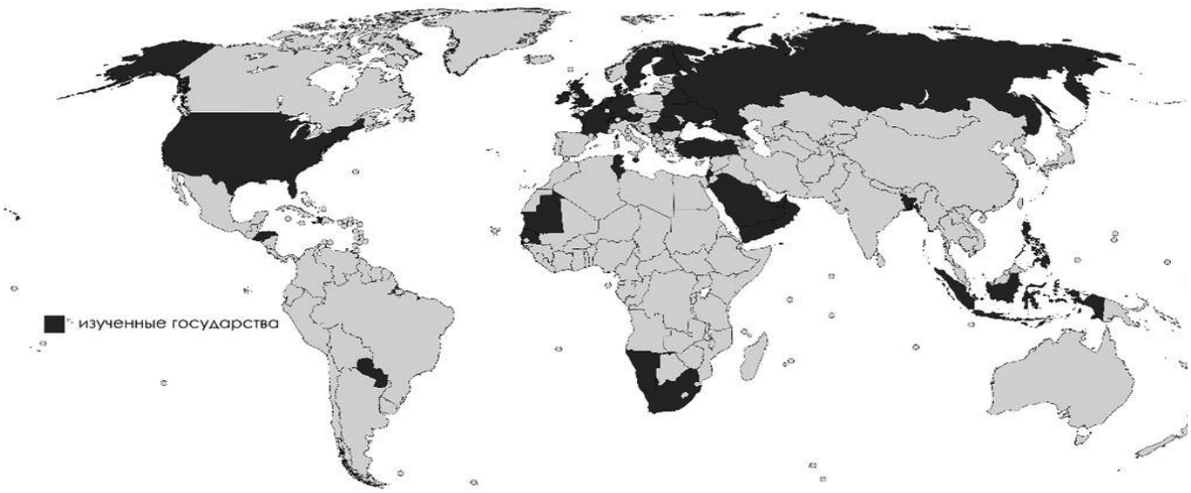

Рис. 1. **География исследований**
Fig. 1. **Geography of research**

Номер вычисления (суток) / Calculation number (day)									
	0	дата замера абсолютной влажности / date of measurement of absolute humidity	**14.04**	**15.04**	**16.04**	**17.04**	**18.04**	**19.04**	**20.04**
		абсолютная влажность, г/м^3 / absolute humidity, g/m^3	**8,5**	**8,9**	**7,9**	**10,1**	**9,6**	**9,9**	**9,3**
		дата обнаружения заболевания / date of detection of the disease				**17. 04**	**18 .04**	**19 .04**	**2 0.04**
		количество заболевших / number of cases				**33**	**14**	**13**	**9**
	1	дата замера абсолютной влажности / date of measurement of absolute humidity		**14.04**	**15.04**	**16.04**	**17.04**	**18.04**	**19.04**
		абсолютная влажность, г/м^3 / absolute humidity, g/m^3		**8,5**	**8,9**	**7,9**	**10,1**	**9,6**	**9,9**
		дата обнаружения заболевания / date of detection of the disease				**17.04**	**18.04**	**19.04**	**20.04**
		количество заболевших / number of cases				**33**	**14**	**13**	**9**
	2	дата замера абсолютной влажности / date of measurement of absolute humidity			**14.04**	**15.04**	**16.04**	**17.04**	**18.04**
		абсолютная влажность, г/м^3 / absolute humidity, g/m^3			**8,5**	**8,9**	**7,9**	**10,1**	**9,6**
		дата обнаружения заболевания / date of detection of the disease				**17.04**	**18.04**	**19.04**	**20.04**
		количество заболевших / number of cases				**33**	**14**	**13**	**9**

Рис. 2. **Схема, иллюстрирующая посуточные материалы для корреляционного анализа зависимостей между абсолютной влажностью и уровнем заболеваемости COVID-19**
Fig. 2. **A diagram illustrating daily materials for the correlation analysis of the dependencies between absolute humidity and the incidence of COVID-19**

личину замера заболеваемости на 28 суток.

По каждой статистической совокупности (стране, области или штату) были рассчитаны коэффициенты корреляции между уровнем заболеваемости/смертности и абсолютной/относительной влажностью для каждых суток (R1), а затем построены графики изменения этих коэффициентов корреляции по времени (T, суток), предшествующему моменту обнаружения факта заболевания/смерти.

Подробно, с иллюстрацией таблиц входных параметров и поясняющих графиков, методика исследований изложена в наших работах [2, 3].

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3–6 показано, как изменялся коэффициент корреляции R1 между абсолютной и относительной влажностью и заболеваемостью и смертностью населения в течение периода в 28 суток до момента регистрации факта заболеваемости или смертности населения трех государств: Бангладеш, Ирландии и Мальты, т. е. на результаты COVID-19 влияли атмосферные условия в течение предыдущих четырех недель.

В связи с ограниченным объемом статьи мы приводим только один график зависимости смертности населения от атмосферных параметров, хотя графики смертности характеризуются столь же широким разнообразием вариантов и представляют не меньший интерес, чем графики заболеваемости.

Рисунки 3 и 4 показывают, что, поскольку коэффициент корреляции R1 > 0 на протяжении всего графика, на территории Бангладеш рост абсолютной влажности сопровождается ростом заболеваемости и смертности населения на протяжении 28 суток. При этом влияние очень устойчивое, поскольку R1 всегда имеет значение, близкое к 0,7, что говорит о вероятности события на уровне 99,99 %.

Рост относительной влажности в Бангладеш также в большинстве случаев приводит к негативным последствиям,

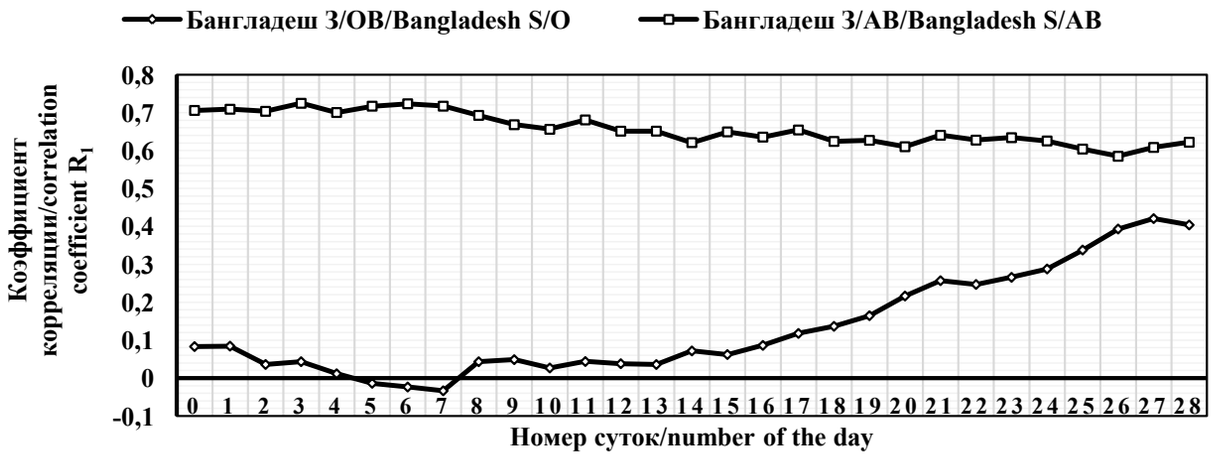

Рис. 3. **Графики зависимости коэффициентов корреляции R1 заболеваемости от относительной (З/ОВ) и абсолютной (З/АВ) влажности воздуха в Бангладеш: средняя относительная влажность в период наблюдений 68,1 %, средняя абсолютная влажность 18,3 г/м³**

Fig. 3. **Graphs of the dependence of the correlation coefficients R1 of morbidity on the relative (S/O) and absolute (S/AB) humidity of the air in Bangladesh: the average relative humidity during the observation period is 68.1 %, the average absolute humidity is 18.3 g/m³**

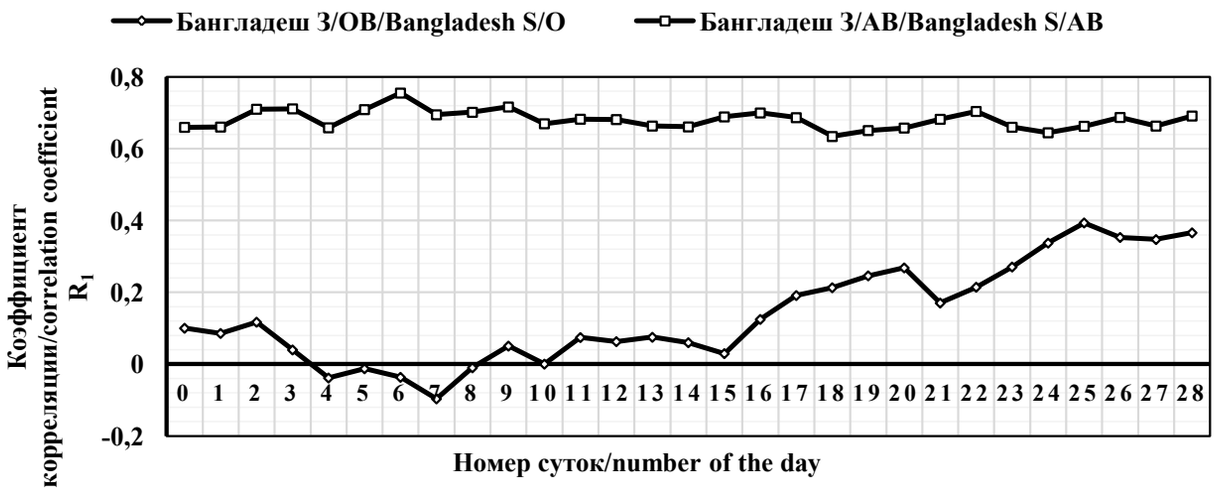

Рис. 4. **Эмпирические графики зависимости коэффициентов корреляции R1 смертности от относительной (С/ОВ) и абсолютной (С/АВ) влажности воздуха в Бангладеш: средняя относительная влажность в период наблюдений 68,1 %, средняя абсолютная влажность 18,3 г/м³**

Fig. 4. **Empirical graphs of the dependence of the correlation coefficients R1 of mortality on the relative (S/O) and absolute (S/AB) humidity of the air in Bangladesh: the average relative humidity during the observation period is 68.1 %, the average absolute humidity is 18.3 g/m³**

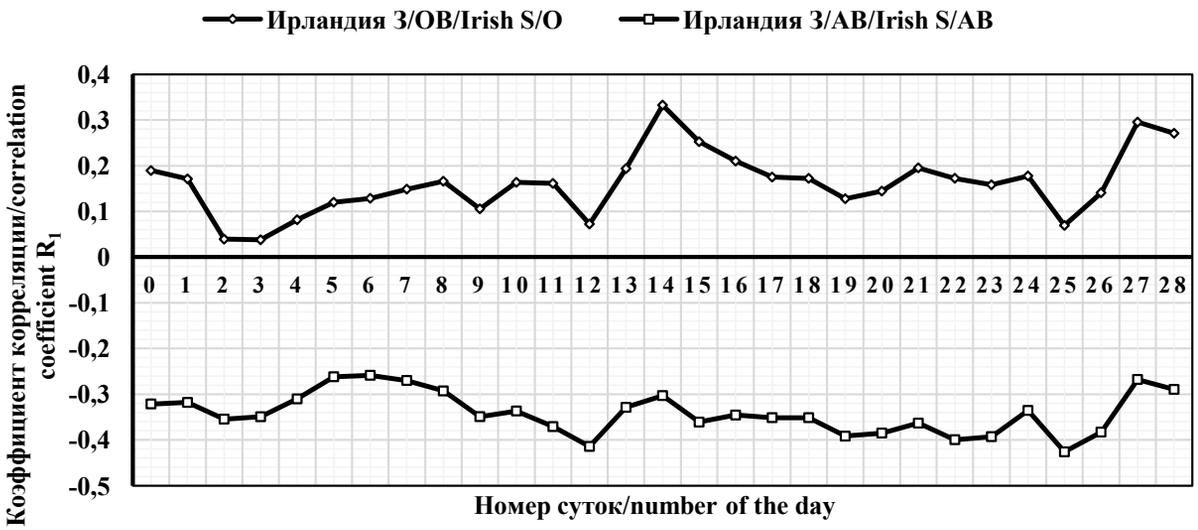

Рис. 5. **Эмпирические графики зависимости коэффициентов корреляции R1 заболеваемости от относительной (З/ОВ) и абсолютной (З/АВ) влажности воздуха в Ирландии: средняя относительная влажность в период наблюдений 79 %, средняя абсолютная влажность 6,07 г/м³**

Fig. 5. **Empirical graphs of the dependence of the correlation coefficients R1 of morbidity on the relative (S/O) and absolute (S/AB) humidity of the air in Ireland: the average relative humidity during the observation period is 79 %, the average absolute humidity is 6.07 g/m³**

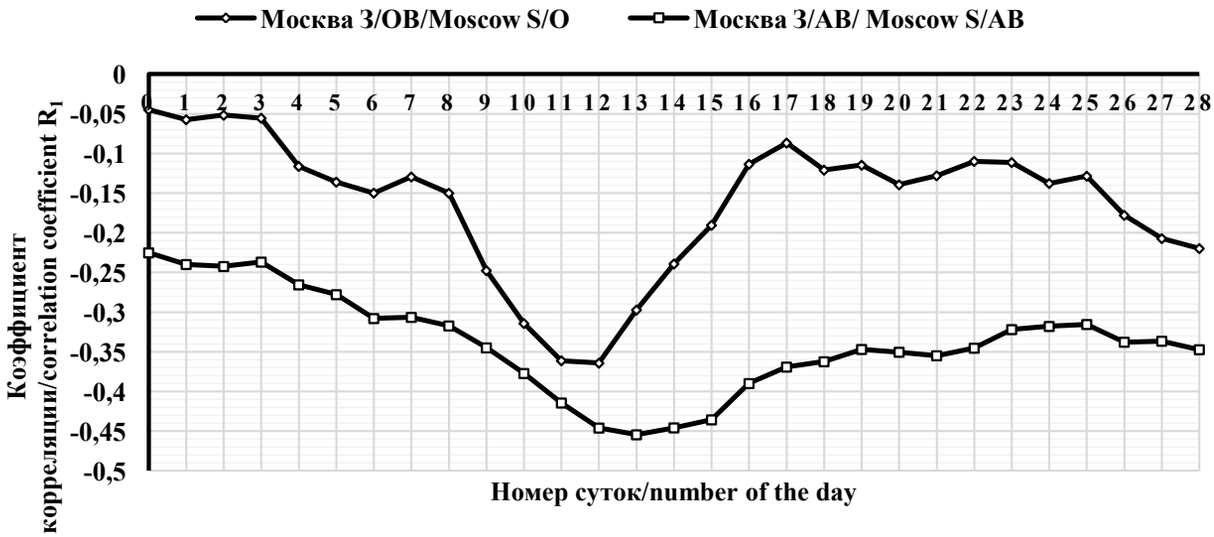

Рис. 6. **Эмпирические графики зависимости коэффициентов корреляции R1 заболеваемости от относительной (З/ОВ) и абсолютной (З/АВ) влажности воздуха в Москве: средняя относительная влажность в период наблюдений 65,5 %, средняя абсолютная влажность 4,55 г/м³**

Fig. 6. **Empirical graphs of the dependence of the correlation coefficients R1 of morbidity on the relative (S/O) and absolute (S/AB) humidity of the air in Moscow: the average relative humidity during the observation period is 65.5 %, the average absolute humidity is 4.55 g/m³**

т. е. к росту смертности населения, однако влияние относительной влажности не столь заметное, поскольку коэффициент корреляции смертности с относительной влажностью существенно меньше.

Рисунок 5 показывает, что в Ирландии ситуация радикально иная. Коэффициент корреляции, связывающий абсолютную влажность и заболеваемость населения, на протяжении всех 28 суток имеет отрицательную величину, т. е. с ростом абсолютной влажности происходит устойчивое снижение количества ежедневных новых случаев заболевания COVID-19. При этом связь заболеваемости и абсолютной влажности весьма статистически устойчивая, поскольку расчетное значение t-статистики Стьюдента для минимального (по абсолютной величине) коэффициента корреляции R1min = 0,259, расчетная статистика t = 2,530, что больше табличного значения t = 2,368 при вероятности 99 % и количестве степеней свободы 91 (количество парных замеров АВ/З — 2).

Относительная влажность в Ирландии на протяжении всех 28 суток характеризуется положительным коэффициентом корреляции, т. е. рост относительной влажности приводит к увеличению ежедневных новых случаев заболеваемости.

На рис. 6 показан еще один вариант влияния абсолютной и относительной влажности на заболеваемость, в данном случае — в Москве. И относительная и абсолютная влажность в течение всего периода демонстрируют обратную связь с количеством новых дневных случаев заболеваемости COVID-19. При этом пик положительного влияния влажности (ОВ и АВ) приходится на 14-е сутки до регистрации факта заболевания.

Интересные материалы, которые дают ключ к пониманию закономерностей влияния абсолютной влажности на заболеваемость, были получены при исследовании этой проблемы для центрального широтного пояса территории США (рис. 7).

На рис. 7 приведен теоретический график зависимости коэффициента корреляции R1, связывающий уровень заболеваемости и абсолютную влажность воздуха с температурой воздуха.

График показывает, что при температуре атмосферного воздуха ниже 18,8 °С (абсцисса точки пересечения аппроксимирующей прямой нулевой ординаты) рост абсолютной влажности воздуха приводит к снижению

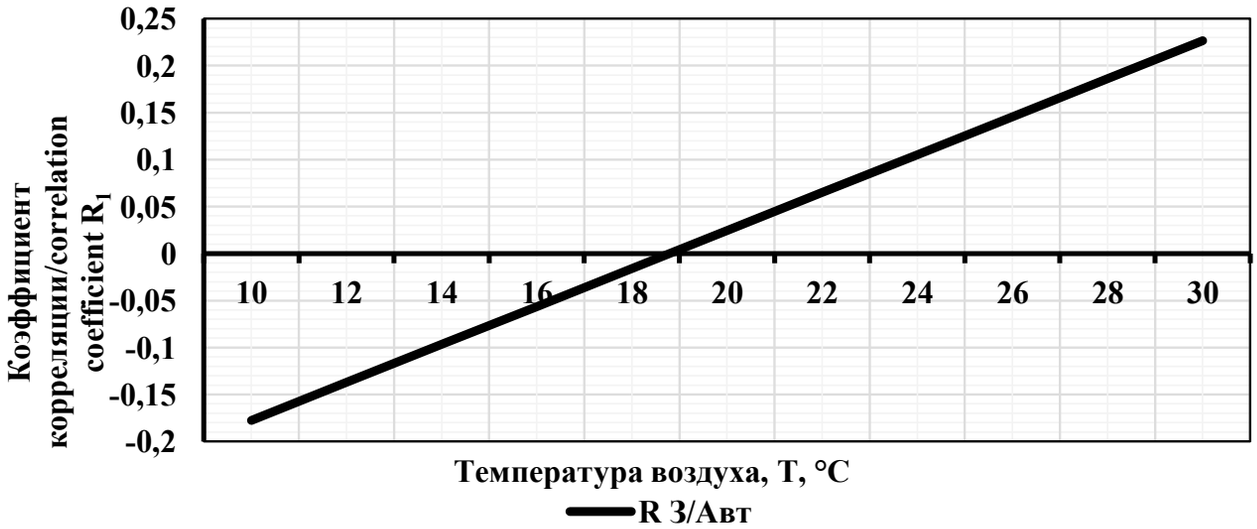

Рис. 7. **Зависимость R1 (З/АВ) от температуры атмосферного воздуха в штатах центрального широтного пояса США: Y = 0,0202, x – 0,3796; R_2 = 0,682, X_0 = 18,8 °С**
Fig. 7. **Dependence of R_1 (W/AB) on atmospheric air temperature in the states of the central latitudinal zone of the USA: Y = 0.02, x – 0.3796; R_2 = 0.682, X_0 = 18.8 °C**

уровня заболеваемости, причем чем ниже температура, тем интенсивнее темп снижения заболеваемости.

Рассчитаем, чему равна абсолютная влажность воздуха, соответствующая точке пересечения аппроксимирующей прямой оси абсцисс (T = 18,8 °C) при средних значениях параметров атмосферы для реальных данных исследуемой совокупности — атмосферного давления (АД) 722 мм рт. ст. и относительной влажности воздуха (ОВ) 60,9 %. Расчеты показывают, что при данных параметрах абсолютная влажность воздуха равна 9,85 г/м^3, т. е. при температурах ниже 18,8 °C, когда абсолютная влажность воздуха меньше рассчитанной нами величины 9,85 г/м^3, рост температуры сопровождается снижением уровня заболеваемости (R3/AB < 0). Когда температура становится выше 18,8 °C, дальнейший ее рост приводит к превышению величины абсолютной влажности 9,85 г/м^{3}и к росту заболеваемости.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что абсолютная влажность является совершенно самостоятельным атмосферным фактором, оказывающим существенное влияние на заболеваемость/смертность населения в связи с COVID-19. Однако характер влияния абсолютной влажности не однозначен: в ряде случаев ее рост сопровождается ростом заболеваемости, в ряде случаев — снижением.

В качестве одного из вариантов объяснения этого феномена обратимся к работам академика РАН профессора Б.Т. Величковского, отмечавшего, что при длительном пребывании на севере у человека развивается комплекс характерных изменений органов дыхания, что, в свою очередь, обуславливает частое возникновение и тяжелое течение острых и хронических заболеваний органов дыхания. Основной причиной этого *«является сочетание воздействия низкой температуры атмосферного воздуха и низкого содержания в нем водяных паров (2 г/м^3)»* [25].

Результаты исследований, проведенных Диденко И.И., Устюшиным Б.В. и др. в ФНЦ института гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, позволили определить *«физиологически оптимальную и допустимую величину абсолютной влажности вдыхаемого воздуха: 9,6 г/м^3 и 5,7 г/м^3 соответственно»* [26, 27].

Полученные нами результаты, приведенные на рис. 7, согласуются с выводами Диденко И.И. др. По данным рис. 7, оптимальной является абсолютная влажность, равная, по полученным нами данным, 9,85 г/м^3 (по данным Диденко И.И. и др., 9,6 г/м^3), что соответствует температуре 18,8 °C. Левее этой точки температура воздуха меньше 18,8 °C, следовательно, и абсолютная влажность меньше оптимальной, поэтому ее рост желателен и приводит к снижению заболеваемости (R < 0). Правее точки 18,8 °C абсолютная влажность превышает оптимальную величину, поэтому дальнейший ее рост не желателен и приводит к росту уровня заболеваемости (R > 0).

В целом с большой осторожностью можно говорить о том, что при малых значениях абсолютной влажности ее рост чаще приводит к снижению заболеваемости (см., например, рис. 5 — Ирландия). В тех случаях, когда абсолютная влажность существенно превышает физиологически оптимальную величину 9,6 г/м^3, ее дальнейший рост становится нежелательным и приводит к росту заболеваемости/смертности населения (см., например, рис. 3, 4 — Бангладеш). Впрочем, физиологически оптимальная величина, определенная Диденко И.И. и др., не является догмой для всех климатических условий, этот вопрос требует серьезного и масштабного изучения. На взгляд авторов, эта физиологически оптимальная величина 9,6 г/м^3 может быть справедлива для достаточно высокоширотных стран.

Если считать нашу гипотезу достойной внимания, можно объяснить ряд непонятных на первый взгляд моментов — например, описанных Сарваном Кумаром (Sarvan Kumar). В марте и апреле 2020 г., когда в Индии абсолютная влажность имела величину от 8 до 11 г/м^3, ее рост сопровождался снижением заболеваемости, а с середины апреля до конца мая 2020 г., когда абсолютная влажность была 15 г/м^3 и более, ее рост сопровождался ростом заболеваемости. При этом сам автор считает пограничной абсолютную влажность 9,5 г/м^3 [7].

Для северных территорий вопрос абсолютной влажности имеет особое значение. Академик АМН СССР Ткаченко Б.И. писал

о том, что в районах холодного климата низкая абсолютная влажность характерна не только для открытого пространства, но и для жилых, служебных и производственных помещений, т. е. сухость воздуха является постоянным фактором среды обитания. При этом *«среднегодовое абсолютное содержание влаги в атмосферном воздухе приполярных областей ниже, чем в воздухе пустынь»* [28].

Проиллюстрируем правомочность этого заявления, которое на первый взгляд выглядит парадоксальным, только одним примером, сравнив среднемесячную абсолютную влажность в г. Ханты-Мансийске, расположенном на 61 ° с.ш., и в г. Эль-Аюн, находящемся на 28 ° с.ш.

Эль-Аюн является крупнейшим городом в Западной Сахаре, в южной части плато Тассилин-Адджер. Климат города характеризуется как аридный жаркий, осадки в течение года практически отсутствуют (среднегодовое количество — 18 мм), средняя годовая температура составляет 23,4 °С[6].

Результаты расчетов иллюстрированы диаграммой на рис. 8.

Приведенная на рис. 8 информация говорит о том, что в Ханты-Мансийске абсолютная влажность в течение 7 месяцев не достигает минимально допустимой нормы в 5,7 г/м³ и только в течение двух месяцев находится на уровне физиологически оптимальной величины 9,6 г/м³. В Западной Сахаре ситуация с этих позиций гораздо более благоприятная.

Серьезность влияния абсолютной влажности воздуха на динамику COVID-19 не вызывает сомнения, во всяком случае — у авторов данной работы. Однако абсолютная влажность оказывает очень серьезное, а иногда — доминирующее влияние и на другие инфекционные заболевания. Jeffrey Shaman et al. (Oregon State University; Princeton University) говорят о том, что «наступление повышенной смертности от гриппа в зимний период в Соединенных Штатах связано с аномально низкими абсолютными уровнями влажности в течение предыдущих недель. Эти выводы подтверждают эпидемиологическую поддержку гипотезы о том, что абсолютная влажность приводит к сезонным колебаниям передачи гриппа в регионах с умеренным климатом» [29, 30]. Alan I. Barreca et al. (Tulane University, New Orleans, USA), проанализировав данные о погоде и смертности от гриппа в период с января 1973 г. по декабрь 2002. по каждому из 359 городских округов США, показали, что «абсолютная влажность является особенно важным фактором, определя-

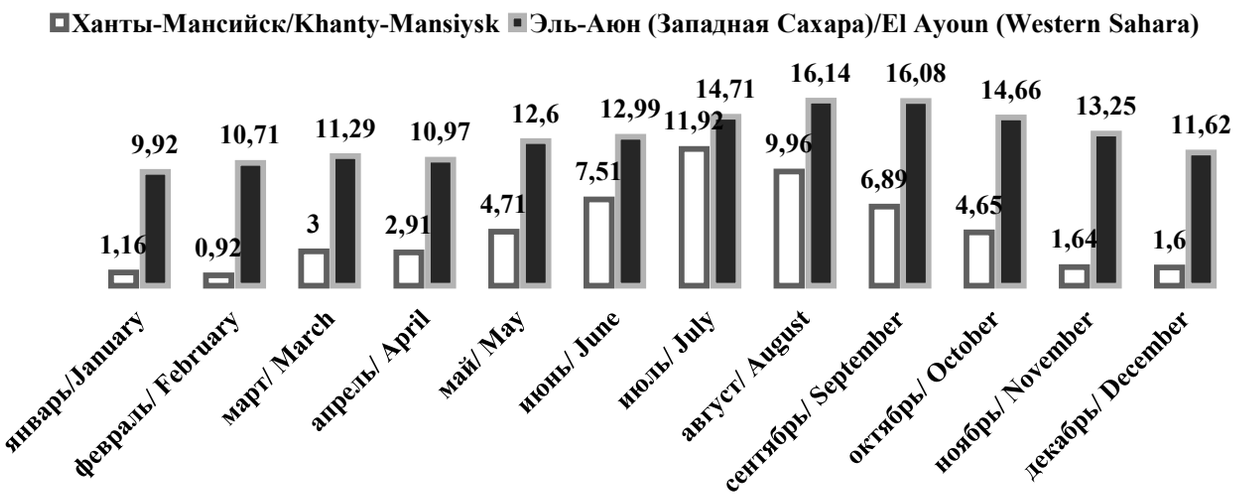

Рис. 8. **Среднемесячная абсолютная влажность атмосферного воздуха в Ханты-Мансийске и Эль-Аюне (Западная Сахара) в 2019 г., г/м³**
Fig. 8. **Average monthly absolute humidity of atmospheric air in Khanty-Mansiysk and El-Ayun (Western Sahara) in 2019, g/m³**

[6] Эль-Аюн. Материал из Википедии — свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эль-Аюн (дата обращения: 11.05.2021).

ющим наблюдаемую смертность от гриппа человека даже после контроля температуры, <…> уровень влажности ниже примерно 6 г водяного пара на килограмм воздуха был связан с увеличением смертности от гриппа. Модельные прогнозы показали, что примерно половина средних сезонных различий в смертности от гриппа в США может быть объяснена сезонными различиями только в абсолютной влажности. Температура также незначительно повлияла на смертность от гриппа, хотя результаты были менее устойчивыми» [31]. И подобных работ масса.

В России среднегодовой уровень абсолютной влажности, так же как и в США, существенно ниже физиологически оптимальной величины 9,6 г/м^3. Однако нам не удалось найти ни одного нормативного документа федерального уровня (ГОСТ или СНиП), регламентирующего этот показатель даже для помещений, предназначенных для размещения детских дошкольных и медицинских учреждений.

Рассмотрим только один нормативный документ — ГОСТ 30494–2011 межгосударственный стандарт «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», принятый Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС)[7] и действующий на территориях Азербайджана, Армении, Киргизии, Молдовы, России, Узбекистана и Украины. Приведем некоторые данные из этого стандарта (таблица).

Проведенные нами расчеты крайних значений показывают, что минимальная абсолютная влажность, соответствующая требованиям этого ГОСТа, меньше минимально допустимой величины 5,7 г/м^3, что не может не вызывать совершенно законных возражений.

Таблица

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне детских дошкольных учреждений*

Table

Optimal and permissible norms of temperature, relative humidity and air velocity in the serviced area of preschool institutions*

Период года / Period of the year	Наименование помещения / Name of the room	Температура воздуха/ T, °C		Относительная влажность / Relative humidity, %		Абсолютная влажность / Absolute humidity, г/м^3**	
		оптимальная / optimal	допустимая / acceptable	оптимальная / optimal	допустимая / acceptable	максимальная / max	минимальная / min
Холодный / Cold	Спальня/Bedroom:						
	для ясельных и младших групп / for nursery and junior groups	20–22	19–23	45–30	60	9,2	4,9
	для средних и дошкольных групп / for middle and preschool groups	19–21	18–23	45–30	60	9,2	4,62
Теплый / Warm	Групповые спальни / Group bedrooms	23–25	18–28	60–30	65	13,84	4,62

*Примечание: *в таблице приведены только те данные, которые необходимы для расчета абсолютной влажности воздуха;*
***расчеты произведены авторами данной статьи, в ГОСТ они отсутствуют.*
*Note: *the table contains only those data that are necessary for calculating the absolute humidity of the air;*
*** the calculations were made by the authors of this article, they are not included in GOST.*

[7] ГОСТ 30494–2011 Межгосударственный стандарт «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС) (протокол от 08.12.2011 № 39) [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095053 (дата обращения: 15.05.2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили выявить характерные черты влияния абсолютной влажности воздуха на уровень заболеваемости и смертности населения в связи с пандемией COVID-19 и сделать следующие выводы.

1. Абсолютная влажность воздуха является одним из доминирующих природных факторов, оказывающих существенное влияние на динамику пандемии COVID-19 и других инфекционных заболеваний.
2. Рост абсолютной влажности воздуха может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на заболеваемость и смертность населения, при этом характер влияния зависит от величины абсолютной влажности и других параметров атмосферы.
3. Корреляция абсолютной и относительной влажности с заболеваемостью/смертностью в один и тот же момент времени может быть совершенно различной как по величине, так и по знаку.
4. Существующие в РФ нормативные документы федерального уровня созданы без учета минимально допустимой и физиологически оптимальной величины абсолютной влажности и требуют корректировки.
5. Вопрос влияния абсолютной влажности имеет особое значение для северных территорий, на которых большую часть года величина абсолютной влажности значительно меньше минимально допустимой.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени влияния абсолютной влажности на заболеваемость и смертность населения в связи с COVID-19, способствуют пониманию цикличности пиков пандемии и осознанному прогнозированию времени наступления периодов наиболее опасной эпидемиологической обстановки.

Конфликт интересов. *Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Финансирование. *Исследование не имело спонсорской поддержки.*

Вклад авторов: *Кривошеев В.В. — разработка дизайна исследования, проведение статистических исследований, написание текста рукописи; Столяров А.И. — получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи; Семенов А.А. — сбор и обработка статистических данных.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hunt Allcott, Levi Boxell, Jacob Conway et al. Polarization and Public Health: Partisan Differences in Social Distancing During the Coronavirus Pandemic (April 2020). NBER Working Paper No. w26946, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3574415.
2. Кривошеев В.В., Столяров А.И. Влияние относительной влажности воздуха на заболеваемость коронавирусом COVID-19. Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 2 (335). С. 61–69. DOI: https://doi.org/10.35627/2219–5238/2021-335-2-61-69.
3. Кривошеев В.В., Столяров А.И. Влияние метеорологических факторов на заболеваемость и смертность COVID-19 в Москве в апреле — июне 2020 года. Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 3 (336). С. 70–77. DOI: https://doi.org/10.35627/2219–5238/2021-336-3-70-77.
4. Katherine Li. The Link between Humidity and COVID-19 Caused Death. Journal of Biosciences and Medicines. 2020; 8 (6): 50–55. DOI: 10.4236/jbm.2020.86005.
5. Sarvan Kumar. Will COVID-19 pandemic diminish by summer-monsoon in India? Lesson from the first lockdown. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.04.22.20075499.
6. Velu Vinoj, Nandini Gopinath, Kiranmayi Landu et al. The COVID-19 Spread in India and Its Dependence on Temperature and Relative Humidity. 2020, 2020070082. DOI: 10.20944/preprints202007.0082.v1.
7. Sarvan Kumar. Effect of meteorological parameters on spread of COVID-19 in India and air quality during lockdown. Science of The Total Environment. 25 November 2020; 745: 141021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141021.
8. Yueling Ma, Yadong Zhao, Jingtao Liua et al. Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China. Science of The Total Environment. 1 July 2020; 724: 138226. DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32408453/.
9. Jianfeng Li, Linyuan Zhang, Zhihua Ren et al. Meteorological factors correlate with transmission of 2019-nCoV: Proof of incidence of novel coronavirus pneumonia in Hubei Province, China. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20050526.

10. Jiangtao Liu, Ji Zhou, Jinxi Yao et al. Impact of meteorological factors on the COVID-19 transmission: A multi-city study in China. Science of The Total Environment. 2020 Jul 15; 726: 138513. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138513. Epub 2020 Apr 9.
11. Peng Shi, Yinqiao Dong, Huanchang Yan et al. The impact of temperature and absolute humidity on the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak — evidence from China. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.03.22.20038919.
12. Xiaohang Wen, Chenghan Liu, Bangjun Cao et al. Relationship between the COVID-19 Outbreak and Temperature, Humidity, and Solar Radiation Across China (May 6, 2020). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3594115.
13. Sonal Gupta, Gourav Singh Raghuwanshi, Arnab Chanda. Effect of weather on COVID-19 spread in the US: A prediction model for India in 2020. Science of the Total Environment. 2020 Aug 1; 728: 138860. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138860. Epub 2020 Apr 21.
14. Lan-Lan Fang, Ding-Jian Wang, Gui-Xia Pan et al. Risk effects of low temperature and high humidity on the spread of 2 COVID-19 in California: Time series study. DOI: https://assets.researchsquare.com/files/rs-126531/v1_stamped.pdf.
15. Atin Adhikari, Jingjing Yin. Short-Term Effects of Ambient Ozone, PM2.5, 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.
16. Wei Luo, Maimuna S. Majumder, Diambo Liu et al. The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467 (Harvard Medical School, Boston, USA).
17. Sachiko Kodera, Essam A. Rashed, Akimasa Hirata. Correlation between COVID-19 Morbidity and Mortality Rates in Japan and Local Population Density, Temperature, and Absolute Humidity. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17 (15): 5477. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph17155477.
18. Essam A Rashed, Sachiko Kodera, Jose Gomez-Tame et al. Influence of Absolute Humidity, Temperature and Population Density on COVID-19 Spread and Decay Durations: Multi-Prefecture Study in Japan. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17 (15): 5354. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph17155354.
19. AC Auler, FAM Cássaro, VO da Silva. Evidence that high temperatures and intermediate relative humidity might favor the spread of COVID-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities. Science of The Total Environment. 2020 Aug 10; 729: 139090. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139090. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32388137/.
20. Gentile Francesco Ficetola, Diego Rubolini. Climate affects global patterns of COVID-19 early outbreak dynamics. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501.
21. Mohammad M. Sajadi, Parham Habibzadeh et al. Temperature and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. March 2020; SSRN Electronic Journal. DOI: 10.2139/ssrn.3550308.
22. Peter Jüni, Martina Rothenbühler, Pavlos Bobos et al. Impact of climate and public health interventions on the COVID-19 pandemic: a prospective cohort study. Canadian Medical Association Journal. 2020 May 25; 192 (21): 566–573: DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32385067/.
23. Qasim Bukhari, Joseph M Massaro, Ralph B D'Agostino Sr. Effects of Weather on Coronavirus Pandemic. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17 (15): 5399. DOI: 10.3390/ijerph17155399. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32727067/.
24. Zhongwei Huang, Jianping Huang, Qianqing Gu et al. Optimal temperature zone for the dispersal of COVID-19. Science of the Total Environment. 2020 Sep 20; 736: 139487. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139487. Epub 2020 May 16.
25. Величковский Б.Т. Причины и механизмы снижения использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере. Биосфера, Фонд биосферных исследований. — Санкт-Петербург, 2009; 1 (2): 213–217.
26. Диденко И.И., Устюшин Б.В., Лыткин Б.Г. и др. Гигиена микроклимата и физиология теплообмена в процессе труда на Крайнем Севере. — М.: ВНИИМИ, 1983. — 64 с.
27. Устюшин Б.В. Физиолого-гигиенические аспекты труда человека на открытых территориях Крайнего Севера. Автореф. … д-ра мед. наук. — М., 1991. — 45 с.
28. Ткаченко Б.И. (ред.). Основы физиологии человека. Т.3. Клинико-физиологические аспекты. — М.: Литера, 1998. — 474 с.
29. Jeffrey Shaman, Virginia Pitzer, Cecile Viboud et al. Absolute Humidity and the Seasonal Onset of Influenza in the Continental US. Version 2. PLoS Curr. 2009 December 18 [revised 2010 April 19]; 2: RRN1138. Published online 2010 April 19. DOI: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2803311/.
30. Jeffrey Shaman, Virginia E Pitzer, Cécile Viboud et al. Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States.// PLOS Biology. 2010 Feb 23; 8 (2): e1000316. DOI: 10.1371/journal.pbio.1000316.
31. Alan I. Barreca, Jay P. Shimshack Author Notes. Absolute Humidity, Temperature, and Influenza Mortality: 30 Years of County — Level Evidence from the United States. American Journal of Epidemiology, Volume 176, Issue suppl_7, 1 October 2012, Pages S114 — S122, https://doi.org/10.1093/aje/kws259.

REFERENCES

1. Hunt Allcott, Levi Boxell, Jacob Conway et al. Polarization and Public Health: Partisan Differences in Social Distancing During the Coronavirus Pandemic (April 2020). NBER Working Paper No. w26946, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3574415.
2. Krivosheev V.V., Stolyarov A.I. Influence of relative air humidity on the incidence of coronavirus COVID-19. Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya (Population health and habitat). 2021. № 2 (335). Page 61–69. DOI: https://doi.org/10.35627/2219–5238/2021-335-2-61-69. (in Russian)
3. Krivosheev V.V., Stolyarov A.I. Influence of meteorological factors on morbidity and mortality of COVID-19 in Moscow in April — June 2020. Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya (Population health and habitat). 2021. № 3 (336). Page 70–77. DOI: https://doi.org/10.35627/2219–5238/2021-336-3-70-77. (in Russian)
4. Katherine Li. The Link between Humidity and COVID-19 Caused Death. Journal of Biosciences and Medicines. 2020; 8 (6): 50–55. DOI: 10.4236/jbm.2020.86005.
5. Sarvan Kumar. Will COVID-19 pandemic diminish by summer-monsoon in India? Lesson from the first lockdown. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.04.22.20075499.
6. Velu Vinoj, Nandini Gopinath, Kiranmayi Landu et al. The COVID-19 Spread in India and Its Dependence on Temperature and Relative Humidity. 2020, 2020070082 DOI: 10.20944/preprints202007.0082.v1.
7. Sarvan Kumar. Effect of meteorological parameters on spread of COVID-19 in India and air quality during lockdown. Science of The Total Environment. 25 November 2020; 745: 141021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141021.
8. Yueling Ma, Yadong Zhao, JingtaoLiua et al. Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China. Science of The Total Environment. 1 July 2020; 724: 138226. DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32408453/.
9. Jianfeng Li, Linyuan Zhang, Zhihua Ren et al. Meteorological factors correlate with transmission of 2019-nCoV: Proof of incidence of novel coronavirus pneumonia in Hubei Province, China. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20050526.
10. Jiangtao Liu, Ji Zhou, Jinxi Yao et al. Impact of meteorological factors on the COVID-19 transmission: A multi-city study in China. Science of The Total Environment. 2020 Jul 15; 726: 138513. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138513. Epub 2020 Apr 9.
11. Peng Shi, Yinqiao Dong, Huanchang Yan et al. The impact of temperature and absolute humidity on the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak — evidence from China. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.03.22.20038919.
12. Xiaohang Wen, Chenghan Liu, Bangjun Cao et al. Relationship between the COVID-19 Outbreak and Temperature, Humidity, and Solar Radiation Across China (May 6, 2020). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3594115.
13. Sonal Gupta, Gourav Singh Raghuwanshi, Arnab Chanda. Effect of weather on COVID-19 spread in the US: A prediction model for India in 2020. Science of the Total Environment. 2020 Aug 1; 728: 138860. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138860. Epub 2020 Apr 21.
14. Lan-Lan Fang, Ding-Jian Wang, Gui-Xia Pan et al. Risk effects of low temperature and high humidity on the spread of 2 COVID-19 in California: Time series study. DOI: https://assets.researchsquare.com/files/rs-126531/v1_stamped.pdf.
15. Atin Adhikari, Jingjing Yin. Short-Term Effects of Ambient Ozone, PM2.5, 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.
16. Wei Luo, Maimuna S. Majumder, Diambo Liu et al. The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467 (Harvard Medical School, Boston, USA).
17. Sachiko Kodera, Essam A. Rashed, Akimasa Hirata. Correlation between COVID-19 Morbidity and Mortality Rates in Japan and Local Population Density, Temperature, and Absolute Humidity. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17 (15): 5477. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph17155477.
18. Essam A Rashed, Sachiko Kodera, Jose Gomez-Tame et al. Influence of Absolute Humidity, Temperature and Population Density on COVID-19 Spread and Decay Durations: Multi-Prefecture Study in Japan. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17 (15): 5354. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph17155354.
19. AC Auler, FAM Cássaro, VO da Silva. Evidence that high temperatures and intermediate relative humidity might favor the spread of COVID-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities. Science of The Total Environment. 2020 Aug 10; 729: 139090. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139090. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32388137/.

20. Gentile Francesco Ficetola, Diego Rubolini. Climate affects global patterns of COVID-19 early outbreak dynamics. DOI: https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501.
21. Mohammad M. Sajadi, Parham Habibzadeh et al. Temperature and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. March 2020; SSRN Electronic Journal. DOI: 10.2139/ssrn.3550308.
22. Peter Jüni, Martina Rothenbühler, Pavlos Bobos et al. Impact of climate and public health interventions on the COVID-19 pandemic: a prospective cohort study. Canadian Medical Association Journal. 2020 May 25; 192 (21): 566–573: DOI: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32385067/.
23. Qasim Bukhari, Joseph M Massaro, Ralph B D'Agostino Sr. Effects of Weather on Coronavirus Pandemic. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17 (15): 5399. DOI: 10.3390/ijerph17155399. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32727067/.
24. Zhongwei Huang, Jianping Huang, Qianqing Gu et al. Optimal temperature zone for the dispersal of COVID-19. Science of the Total Environment. 2020 Sep 20; 736: 139487. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139487. Epub 2020 May 16.
25. Velichkovsky B.T. Causes and Mechanisms of Oxygen Reduction in Human Lungs in the Far North. Biosfera, Fond biosfernyh issledovanij. (Biosphere Research Foundation). — St. Petersburg, 2009; 1 (2): 213–217. (in Russian)
26. Didenko I.I., Ustyushin B.V., Lytkin B.G. et al. Microclimate hygiene and heat exchange physiology during labor in the Far North. — M.: VNIIMI (Moscow, VNIIMI), 1983. — 64 pages. (in Russian)
27. Ustyushin B.V. Physiological and hygienic aspects of human labor in the open territories of the Far North. Avtoreferat doctor medicinskih nauk (Autorecording Doctor of Medical Sciences). — M., 1991. — 45 pages. (in Russian)
28. Tkachenko B.I. (ed.). Basics of human physiology. T.Z. Clinical and physiological aspects. — M.: Litera (Litera), 1998. — 474 pages. (in Russian)
29. Jeffrey Shaman, Virginia Pitzer, Cecile Viboud et al. Absolute Humidity and the Seasonal Onset of Influenza in the Continental US. Version 2. PLoSCurr. 2009 December 18 [revised 2010 April 19]; 2: RRN1138. Published online 2010 April 19. DOI: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2803311/.
30. Jeffrey Shaman, Virginia E Pitzer, Cécile Viboud et al. Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States. PLOS Biology. 2010 Feb 23; 8 (2): e1000316. DOI: 10.1371/journal.pbio.1000316.
31. Alan I. Barreca, Jay P. Shimshack Author Notes. Absolute Humidity, Temperature, and Influenza Mortality: 30 Years of County-Level Evidence from the United States. American Journal of Epidemiology, Volume 176, Issue suppl_7, 1 October 2012, Pages S114 — S122, https://doi.org/10.1093/aje/kws259.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кривошеев Владимир Васильевич *— д-р техн. наук, профессор, ведущий аналитик АУ Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Технопарк высоких технологий»; 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Промышленная, д. 19; e-mail: vvk_usu@mail.ru*

Столяров Артем Игоревич *— канд. экон. наук, директор АУ Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Технопарк высоких технологий»; 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Промышленная, д. 19; e-mail:a.stolyarov@tp86.ru*

Семенов Александр Александрович *— начальник центра автоматизации и контроля АУ Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Технопарк высоких технологий»; 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Промышленная, д. 19; e-mail:semenoff2007@gmail.com*

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Krivosheev Vladimir Vasilievich*, PhD in Engineering, professor, leading analyst of the Autonomous Institution of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra "Technopark of High Technologies", 19 Promyshlennaya str., Khanty-Mansiysk, 628011, e-mail: vvk_usu@mail.ru*

Stolyarov Artem Igorevich*, PhD Candidate in Economics, director of the Autonomous Institution of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra "Technopark of High Technologies", 19 Promyshlennaya str., Khanty-Mansiysk, 628011, e-mail: a.stolyarov@tp86.ru*

Semenov Aleksandr Aleksandrovich*, head of the Center for Automation and Control, Autonomous Institution of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra "Technopark of High Technologies", 19 Promyshlennaya str., Khanty-Mansiysk, 628011, e-mail: semenoff2007@gmail.com*