

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-4-112-133>

УДК 502.3/7(614.7)

Влияние первой волны пандемии COVID-19 на экосистему Европы

В.В. Кривошеев, А.И. Столяров

*Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
«Технопарк высоких технологий», г. Ханты-Мансийск, Россия
tp@tp86.ru*

Приведены результаты аналитических исследований, свидетельствующих о том, что ограничительные мероприятия, проведенные с целью снижения скорости распространения SARS-CoV-2 и масштабов пандемии COVID-19 на территории Западной Европы и Российской Федерации, привели к существенному снижению антропогенной нагрузки на окружающую природную среду и значительному улучшению экологической обстановки по основным типам загрязнителей. Одновременно с этим установлен существенный рост содержания озона в тропосфере в период блокировки практически по всем изученным территориям. Показано, что после прекращения ограничительных мероприятий, уже к сентябрю – в Западной Европе и к октябрю – на Европейской территории России, уровень загрязнения атмосферного воздуха стал соответствовать первоначальному. Полученные результаты свидетельствуют о том, что плохое качество воздуха отягчает последствия COVID-19, причем значительную роль в этом играет концентрация мелкодисперсных твердых частиц PM_{2,5}, которые могут глубже проникать в легкие человека и обострять течение респираторных заболеваний.

Ключевые слова: COVID-19, экология, состояние тропосферы, спутниковая информация, уровень смертности населения и качество воздуха

The influence of the Covid-19 first wave on the European ecosystem

V.V. Krivosheev, A.I. Stoliarov

*Autonomous Institution of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra
«High Technology Parc», Khanty-Mansiysk, Russia
tp@tp86.ru*

The results of analytical studies are presented, which show that restrictive measures for reduction of SARS-CoV-2 propagation speed and the incidence of the COVID-19 pandemic on the territory of Western Europe and the Russian Federation have led to a significant reduction of anthropogenic load on the natural environment and a considerable improvement of environmental conditions for the main types of contaminants. At the same time there is a dramatic growth of total ozone in the troposphere during the period of restrictions almost for all studied territories. It is revealed that after finishing the restrictive measures the level of air contamination reached its initial point: by September in Western Europe and by October in the European part of Russia. The calculations demonstrated that poor air quality aggravates the consequences of COVID-19, and a significant

contribution is made by the PM2.5 concentration of fine solid particles, which can penetrate deeper into the human lungs and exacerbate the course of respiratory diseases.

Keywords: COVID-19, ecology, tropospheric conditions, satellite information, morbidity level and air quality

Введение. Человек и природа

Во второй половине XX столетия в сфере проблем современного естествознания активно обсуждалась вызвавшая много споров теория Геи, названная по имени богини древнегреческой мифологии, олицетворяющей Землю, сформулированная британским климатологом Джеймсом Лавлоком. Согласно этой теории, Земля является динамической многокомпонентной системой, включающей в себя биосферу, неким единым глобальным организмом, который, путём взаимного влияния его живых и неживых составляющих, сам себя регулирует и поддерживает необходимые условия для существования человека и внешней среды. Эта теория (или гипотеза), на наш взгляд, является поздним отголоском философских взглядов Владимира Ивановича Вернадского на роль человека как новой геологической силы в преобразовании биосферы в ноосферу – сферу разума.

В своих работах по проблеме взаимопроникновения и взаимовлияния человека и внешней среды (живого и косного), большая часть которых была опубликована через несколько десятилетий после его смерти, Владимир Иванович писал *«Реально это единство человека, его отличие от всего живого, новая форма власти живого организма над биосферой, большая его независимость, чем всех других организмов, от ее условий являются основным фактором, который в конце концов выявился в геологическом эволюционном процессе создания ноосферы. <...> В течение долгих поколений единство человеческих обществ, их общение и их власть – стремление к проявлению власти над окружающей природой – проявлялись случайно, прежде чем они выявились и были осознаны идеологически. В эру человека, или психозойскую, мы в действительности имеем картину более резкую, чем те, которые связаны с критическими периодами земной коры. Мы видим сейчас резкое изменение всей фауны и всей флоры, уничтожение огромного числа видов и создание новых культурных рас. Наряду с этим, связанным с земледелием, созданием нового облика планеты, несомненно вне воли и понимания человека, совершается изменение диких видов организмов, приспособляющихся к новым условиям жизни в измененной культурой биосфере. Но, сверх того, один вид организмов – *Homo sapiens faber* – охватил всю планету и занял в ней господствующее среди живого положение. Этого никогда не бывало»* [2].

На Всемирном экономическом форуме в Давосе 25 января 2021 года Генеральный секретарь Организации объединенных наций Антониу Гутерриш, говоря о причинах возникновения пандемии коронавируса,

заявил, что человечество ведет войну с природой и разрушает собственную систему жизнеобеспечения, а природа наносит человечеству ответный удар [30].

Alessio Facciola et al. (University of Messina, Italy), рассуждая о последствиях глобального изменения окружающей среды, обсуждает весьма популярную нынче гипотезу о том, что участвовавшие в последнее время эпидемии, в том числе пандемия COVID-19, являются естественной реакцией природы на антропогенную деятельность, неким ответным «сигналом, посланным Геей людям, чтобы они переосмыслили наши отношения с окружающей средой и наше злонамеренное управление живыми ресурсами» [10]. Roberto Cazzolla Gatti (Konrad Lorenz Institute for Evolution and Cognition Research, Austria; **Tomsk State University, Russia**) пишет «*Наши массивные выбросы углерода, хранящегося в земле в течение миллионов лет, наша глубокая деградация лесных и морских экосистем, которая угрожает их целостности и устойчивости, наша растущая урбанизация и загрязнение, которое засоряет даже самые отдаленные районы планеты, и наше давление на другие виды, которое ведет биоразнообразие мира к шестому массовому вымиранию, не может сделать ничего другого, кроме как нанести вред глобальной экосистеме и вызвать опасные обратные реакции природы*» [26].

Последствия пандемии COVID-19

На момент подготовки статьи пандемия COVID-19 унесла более 4,5 миллионов человеческих жизней. Цивилизация и современное общество не видели такой разрушительной глобальной чрезвычайной ситуации и экономического спада со времен Второй мировой войны.

Наряду с невосполнимыми моральными потерями, общество несет совершенно прагматические, измеряемые в числах экономические потери, которые уже сегодня достигают триллионов долларов. К концу 2021 года, по прогнозам Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), суммарный ущерб для мировой экономики от пандемии коронавируса достигнет семи триллионов долларов, что сопоставимо с совокупным годовым бюджетом США и Китая [31].

Однако ущерб, который наносит пандемия COVID-19, этим не исчерпывается. Saeida Saadat et al. (Gujarat Forensic Sciences University, India), Diana Brahams (UK) обращают внимание на то, что распространение SARS-CoV-2 в качестве меры предосторожности заставило людей носить маски, ежедневно пользоваться перчатками и дезинфицирующими средствами, что привело к образованию огромного количества медицинских отходов. Миллионы людей были изолированы, чтобы уменьшить передачу вируса. Пандемия изменила образ жизни и поставила под угрозу жизнеобеспечение сотен миллионов людей, поскольку многие предприятия закрываются, чтобы приостановить распространение вируса, что приводит к огромному сокращению рабочих мест [15, 28].

Тем не менее, как бы это ни выглядело неуместным, нельзя закрывать глаза и на положительные последствия пандемии, которые имеют место быть. Положительные последствия пандемии COVID-19 совершенно отчетливо просматриваются и в экономической, и в экологической сферах.

Известный российский экономист С.Ю. Глазьев (РАН) утверждает, что пандемический кризис помог укрепиться новому технологическому укладу, ядром которого являются информационно-коммуникационные технологии, также он оказал огромное стимулирующее действие на биоинженерные компании. А биоинженерия – это еще один ключевой элемент ядра нового технологического уклада. Комплекс производств ядра нового технологического уклада по-прежнему растет с темпом 25–30 % в год, и кризис только усилил эти структурные изменения, на фоне свертывания устаревших производств в обрабатывающей промышленности и в сырьевом комплексе [3]. Это подтверждается в работе В.В. Печаткина и Т.А. Малышева (Институт социально-экономических исследований – ОСП ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН) [6]. В статье приводится информация о том, что, в частности, в 5,3 раза (до \$123,3 млрд) выросли акции компании Moderna, разработавшей вакцину против коронавируса; акции Zoom Video Communications выросли в 2020 г. в 4,5 раза, поскольку самоизоляция и карантин вызвали рост спроса на программное обеспечение компании; вследствие развития дистанционной работы и учебы акции компании Etsy – электронной торговой площадки выросли почти в 3,3 раза и т. д.

Ashwani Kumar et al. (Dr. Harisingh Gour University, India), анализируя проблемы, обостренные пандемией COVID-19 в условиях глобальных кризисов – дестабилизации климата, демографического взрыва, растущего уровня неравенства между людьми, экономической неопределенности, растущей угрозы общественному здоровью, – говорят о том, что *«Природа, похоже, нажала кнопку сброса, восстанавливая пространство, чтобы исцелить себя за счет замедления антропогенной деятельности. Но, среди мрака и обреченности COVID-19, кажется, есть пресловутая «серебряная подкладка» и некоторые положительные последствия»* [11].

«Серебряная подкладка», в данном случае, выражается в том, что ограничение антропогенной деятельности, осуществляемое властными органами различного уровня с целью снижения скорости и масштабов распространения пандемии COVID-19, сопровождается улучшением экологического состояния окружающей среды.

К сожалению, в литературе весьма скупо изложена информация об изменении состояния атмосферного воздуха, связанном со снижением антропогенной нагрузки во время пандемии COVID-19, на территории Западной Европы, а имеющаяся информация не систематизирована и зачастую противоречива. Исследования по этой проблеме для территории Восточной Европы, а тем более для территории Российской Федерации, практически отсутствуют вообще. Кроме всего прочего следует обратить

внимание на то, что о влиянии ограничительных мероприятий во время пандемии на состояние окружающей среды, а также о влиянии качества атмосферного воздуха на уровень заболеваемости и смертности населения в связи с COVID-19 нам не удалось найти ни одной печатной работы отечественных авторов, опубликованной в российских рецензируемых журналах или в серьезных зарубежных журналах с устойчивой международной репутацией.

В связи с этим нами были проведены аналитические и статистические исследования с целью систематизации информации по проблеме снижения нагрузки на окружающую среду на территории Европы, включая европейскую часть Российской Федерации.

Методы

При подготовке обзора проблемы снижения нагрузки на экосистему во время ограничительных мероприятий, направленных на снижение негативных последствий пандемии COVID-19, было изучено более 500 статей, опубликованных в ведущих зарубежных журналах, таких как *Science of The Total Environment*, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *Environmental Research* и др., включенных в международную базу данных «Scopus». Космические снимки состояния атмосферного воздуха получены из открытых источников, находящихся на сайтах National Aeronautics and Space Administration (NASA) и European Space Agency (ESA).

Фактические данные о динамике заболеваемости и смертности населения получены с сайта «Статистика развития пандемии коронавируса Covid-19 в России» (<https://coronavirus-monitor.info/country/russia/>).

Информация о загрязненности атмосферы получена с сайта «Индекс качества воздуха» (<https://www.iqair.com/russia/moscow>). AQI, или индекс качества воздуха, — это интегрированный показатель, имеющий довольно сложную методику вычисления, которая учитывает до шести основных загрязнителей (содержание тонкодисперсных частиц размером менее 2,5 мкм $PM_{2,5}$, менее 10 мкм PM_{10} , окись углерода CO, диоксид серы SO_2 , диоксид азота NO_2 и озон O_3) на уровне земли. Американская компания AirVisual, на данных которой базируются наши исследования, использует Национальные стандарты качества атмосферного воздуха EPA США для расчета AQI.

Влияние блокировки на экосистему Западной Европы

Рассмотрим некоторые работы, посвященные влиянию блокировки на состояние окружающей природной среды на территории Западной Европы. Большая часть этих публикаций связана с экологической ситуацией в Италии и Испании, что не вызывает удивления, поскольку население этих стран первыми в Европе столкнулись с пандемией COVID-19, причем на севере Италии, в Ломбардии, во время первой волны пандемии

наблюдался самый высокий из зарегистрированных процент смертности населения, зараженного SARS-CoV-2.

Maria Cristina Collivignarelli et al. (University of Pavia, Italy) изучили закономерности влияния блокировки на качество воздуха в Милане. 8 марта 2020 года, когда в Ломбардии количество заражений составило 5963 случаев, правительство приняло жесткие меры сдерживания в значительной части Северной Италии, объявив частичную блокировку (PL) и запретив все передвижения, если они не необходимы для достижения рабочего места или не связаны с основными потребностями. 23 марта 2020 года была введена полная блокировка (TL), и только заводы, относящиеся к основным цепочкам поставок (продуктов питания, фармацевтических препаратов и т. д.), имели право продолжать работать. В результате жестких мер после PL и последующего TL было зарегистрировано значительное снижение концентрации загрязняющих веществ (PM_{10} , $PM_{2.5}$, BC, benzene, CO, NO_x). Блокировка привела к заметному падению SO_2 только в городе Милан, в то время как в прилегающих районах он остался неизменным [23].

Hervé Petetin et al. (Barcelona Supercomputing Center, Spain) установили, что введение ограничительных мероприятий в Испании с 14 марта до 23 апреля 2020 года привело к снижению уровня NO_2 в среднем на 50 % по всем провинциям. Блокировка в Испании проходила так же, как и в других странах, в несколько этапов с различным уровнем ограничений. Совершенно естественно, что положительная динамика NO_2 была более заметна в периоды более строгих фаз – №2 (наиболее строгой) и №3, чем во время фазы №1 [19]. Aurelio Tobías et al. (Institute of Environmental Assessment and Water Research, Spain) приводят информацию о том, что после двух недель изоляции загрязнение воздуха в Барселоне заметно снизилось. Наиболее значительное снижение было отмечено по NO_2 (от 45 до 51 %), главным образом связанного с выбросами транспортных средств. Более низкое снижение наблюдалось для мелкодисперсных твердых частиц PM_{10} (от 28 до 31 %) [12]. Akash Biswal et al. (Panjab University, India), José M. Baldasano (Technical University of Catalonia (UPC), Spain) сообщили о снижении за период блокировки поверхностных концентраций NO_2 в Мадриде и Барселоне на 62 и 50 % соответственно [8, 20]. В Сарагосе средняя концентрация $PM_{2.5}$ в период с декабря 2019 до марта 2020 года составляла около $29,38 \text{ мкг/м}^3$, а в марте произошел значительный спад (58 %). В Риме средняя концентрация $PM_{2.5}$ с декабря 2019 до марта 2020 года составляла $35,0 \text{ мкг/м}^3$, а в марте 2020 года она стала на 24 % ниже по сравнению с февралем и на 159 % по сравнению с январем 2020 года [9].

Ученые Королевского института метеорологии Нидерландов (Royal Netherlands Meteorological Institute, KNMI) опубликовали результаты мониторинга загрязнения воздуха над Европой весной 2020 г., используя данные прибора TROPOMI со спутника Copernicus Sentinel-5P, полученные в рамках программы Европейского союза Copernicus (рис. 1).

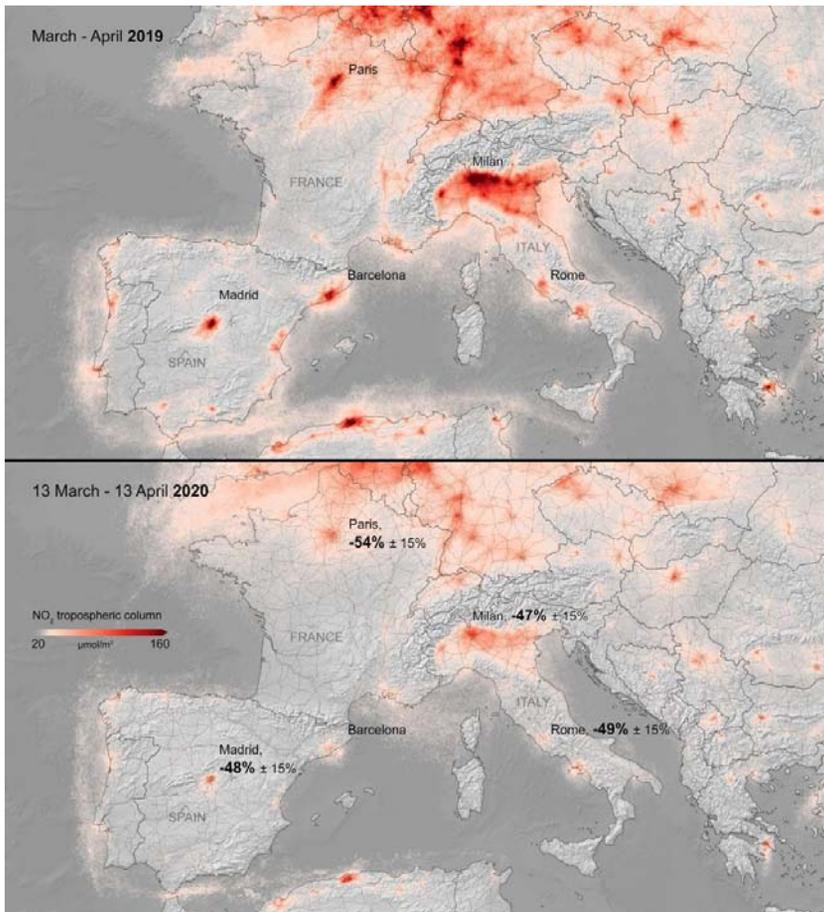


Рис. 1. Концентрация диоксида азота в Европе в марте-апреле 2019 г. (вверху) и 13 марта – 13 апреля 2020 г. (внизу). Фото с сайта: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_remains_low_as_Europeans_stay_at_home.

Fig. 1. Concentration of nitrogen dioxide in Europe in March-April of 2019 (above), and March, 13 – April, 13 of 2020 (below). Photo from website: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_remains_low_as_Europeans_stay_at_home.

Концентрация диоксида азота связана не только с количеством выбросов, но в значительной мере регламентируется погодными условиями и находится в состоянии непрерывного трансформирования. Поэтому делать выводы на основе наблюдений за одни сутки невозможно, но объединение данных за более протяженный период времени (не менее 10 суток) позволяет в значительной мере исключить метеорологическую изменчивость и увидеть реальную динамику показателей, связанных с антропогенной деятельностью.

Приведенные на рис. 1 изображения показывают существенные снижения концентрации диоксида азота в период строгих карантинных мер, применяемых в Западной Европе с 13 марта по 13 апреля 2020 года по сравнению с усредненными концентрациями в марте–апреле 2019 года. В Мадриде, Милане и Риме наблюдалось снижение на 47–49 %, а в Париже чуть более заметное снижение (на 54 %), что говорит о значительном влиянии ограничительных мероприятий на состояние экосистемы.

Для справки: Copernicus Sentinels (Стражи Коперника) – это флот специализированных спутников, принадлежащих ЕС, предназначенных для регистрации данных и изображений и снабжения информацией экологической программы Европейского союза Copernicus [32]. TROPOMI (аббревиатура от Tropospheric Monitoring Instrument) – это прибор на борту Sentinel-5P – спектрометр в ультрафиолетовом, видимом для человека и инфракрасном свете (<https://deru.abcdef.wiki/wiki/Sentinel-5P>).

Диоксид азота NO₂

Одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха является диоксид азота NO₂. Естественными источниками NO₂ являются лесные пожары и грозы, микробиологические реакции в почве, но главным поставщиком этого поллютанта является антропогенная деятельность – сжигание топлива автомобилями и промышленными установками.

Ионов Д.В. и др. (Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока) пишут о том, что до 60 % выбросов NO₂ в тропосферу обусловлено сжиганием топлива автомобилями и промышленными установками [4], при этом доля автотранспорта составляет около 70 % суммарной антропогенной эмиссии NO_x [5]. Ситнов А.И. (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН) склоняется к мысли, что не менее 50 % содержания NO₂ в тропосфере определяется сжиганием топлива, т. е. имеет антропогенное происхождение [7].

NO₂ оказывает существенное отрицательное влияние на здоровье человека и состояние природной экосистемы. Так, у людей, подвергшихся воздействию высоких концентраций NO₂, понижается иммунитет и устойчивость к инфекциям дыхательных путей (высокий риск катара верхних дыхательных путей, бронхита, воспаления легких). Эпидемиологические исследования позволили получить доказательства того, что длительное воздействие NO₂ может вызывать снижение легочной функции и повышение риска возникновения симптомов респираторных заболеваний [1]. Наличие окислов азота в тропосфере является одной из причин кислотных дождей, приводящих к деградации экосистем водоемов и лесов. В урбанизированных регионах высокие содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы способствуют дополнительному радиационному нагреву тропосферного воздуха [7].

Бручковский И.И., Красовский А.Н. (Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Беларусь)

приводят информацию о том, что химические преобразования NO_2 в верхней атмосфере являются важным фактором динамики атмосферы и процессов переноса энергии. NO_2 имеет хорошо выраженные полосы поглощения с сечением порядка $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ в области 390–470 нм, что при наличии даже незначительных содержаний позволяет уверенно восстанавливать NO_2 методом DOAS (универсальный метод измерения концентраций атмосферных следовых газов, использующий характерные особенности поглощения молекул газа вдоль пути известной длины в открытой атмосфере) [1]. В свою очередь, Ионов Д.В. и Тимофеев Ю.М. отмечают настолько высокий антропогенный вклад NO_2 в суммарное загрязнение атмосферы, что он становится заметен в данных наблюдений спутниковых систем глобального мониторинга. **Это обстоятельство позволяет использовать результаты спутниковых измерений содержания NO_2 в качестве индикатора антропогенного загрязнения** [4].

Влияние блокировки на экосистему Европейской территории России

Ограничительные меры для снижения скорости распространения и масштабов заражения SARS-CoV-2 в России фактически стартовали с начала марта 2020 года, и эпицентром развития событий стала Москва. 05.03.2020 г. мэром Москвы был издан указ №12-УМ «О введении мер повышенной готовности», которым было временно приостановлено (читай – запрещено) с 21 марта по 31 мая 2020 г. посещение обучающимися образовательных организаций, предоставляющих общее, дополнительное образование, осуществляющих спортивную подготовку, а также профессиональных образовательных организаций среднего профессионального образования. С 28 марта по 31 мая 2020 г. временно приостановлена работа ресторанов, кафе, столовых, буфетов, баров, закусочных и иных предприятий общественного питания, запрещено до 31 мая 2020 г. проведение на территории города Москвы спортивных, зрелищных, публичных и иных массовых мероприятий (<https://base.garant.ru/73711482/>).

На рис. 2 приведена динамика тропосферного содержания NO_2 над Европейской территорией России.

В феврале 2020 г. (рис. 2а) наибольший уровень тропосферного содержания двуокиси азота наблюдался над Московской областью и Санкт-Петербургом – на уровне $8\text{--}9 \cdot 10^{15} \text{ м/см}^2$. Над остальной территорией содержание NO_2 колебалось в пределах от 0 до $3 \cdot 10^{15} \text{ м/см}^2$.

В марте 2020 г. (рис. 2б) в столичном регионе в эпицентре загрязнения содержание NO_2 на уровне $10 \cdot 10^{15} \text{ м/см}^2$, снижаясь к Калуге и Туле до $4\text{--}5 \cdot 10^{15} \text{ м/см}^2$. В Санкт-Петербурге тропосферное содержание диоксида натрия было существенно ниже, чем в столице, на уровне $4\text{--}5 \cdot 10^{15} \text{ м/см}^2$, такая же степень загрязнения тропосферы наблюдалась в районе Нижнего Новгорода и на юго-западе Российской Федерации, в районе Ростова-на-Дону.

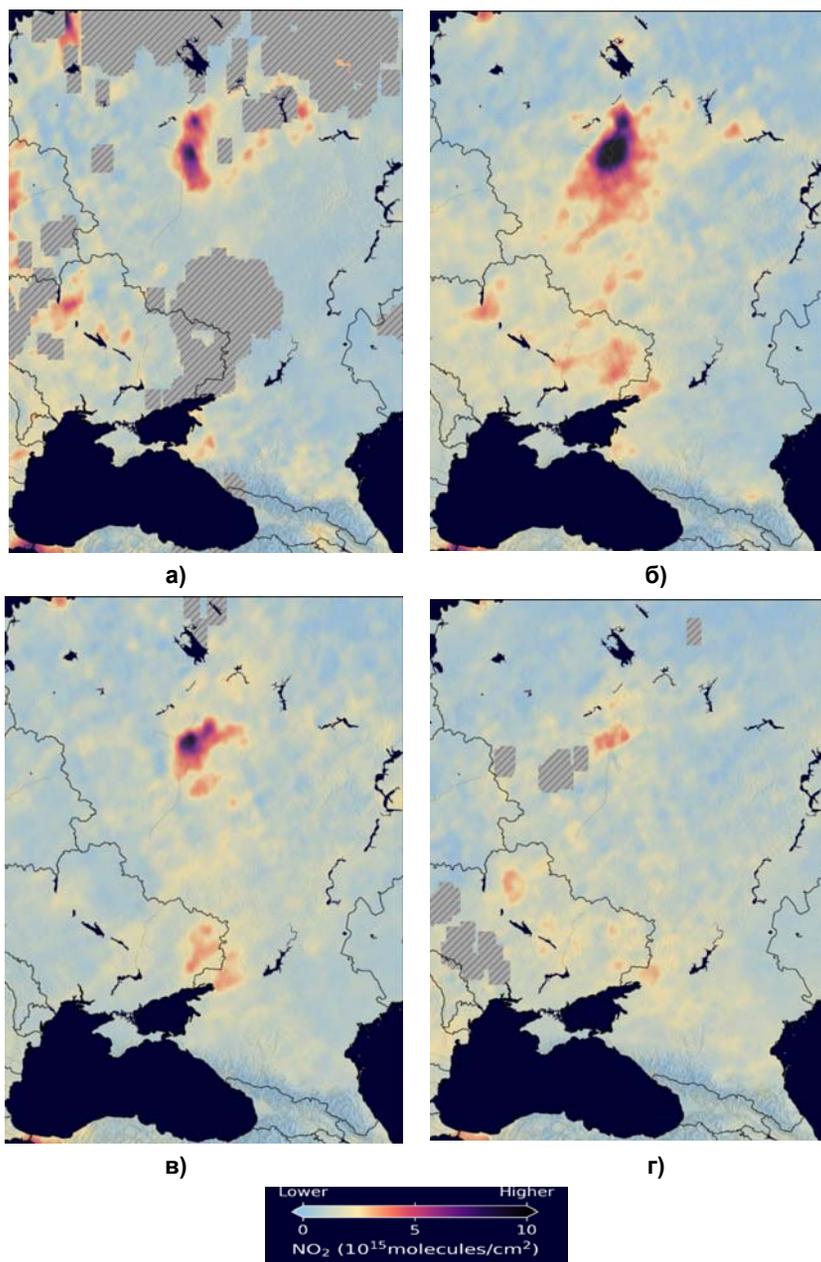


Рис. 2. Среднее тропосферное содержание диоксида азота в 2020 году над Европейской территорией России: февраль (а); март (б); апрель (в); май (г). Фото с сайта NASA: https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/pix/htmls/Moscow_data.html.
Fig. 2. Average tropospheric content of nitrogen dioxide in 2020 over the European territory of Russia: February (a); March (б); April (в); May (г). Photo from website NASA: https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/pix/htmls/Moscow_data.html.

Фактические значительные ограничения, введенные в действие правительством Российской Федерации и региональными властями, начали действовать в конце марта 2020 г., что привело к значительному снижению нагрузки на окружающую природную среду. В апреле (рис. 2в) тропосферное содержание NO_2 над большей частью Европейской территории России снизилось в среднем на 25 %. Наибольшее снижение на 50 % произошло в районе Нижнего Новгорода, а наименьшее – на 10–15 % в эпицентре загрязнения.

В мае 2020 г. (рис. 2г) была зафиксировано самое низкое тропосферное содержание NO_2 над Европейской территорией России за период наблюдений 2020–2021 гг. Над Москвой содержание NO_2 не превышало $3\text{--}4 \cdot 10^{15}$ м/см², в районе Санкт-Петербурга и Ростова-на-Дону – $2\text{--}3 \cdot 10^{15}$ м/см², на остальной территории содержание NO_2 колебалось в пределах от 0 до $2 \cdot 10^{15}$ м/см².

Возврат к традиционному уровню загрязнения

То, что очищение атмосферного воздуха от продуктов антропогенной деятельности, связанное с ограничительными мероприятиями, явление временное и скоропроходящее, прогнозировалось многими специалистами: Kai Chen et al. (Yale School of Public Health, USA) [21], Qiang Wang et al. (China University of Petroleum) [25], Surender Kumar et al. (University of Delhi, India) [29] и др.

Продемонстрируем динамику очищения атмосферы от NO_2 в период блокировки и ее последующую деградацию на примере Западной Европы по материалам, приведенным на сайте NASA (рис. 3).

Информация, приведенная на рис. 3, весьма красноречива. Все достижения по очистке атмосферного воздуха от диоксида азота, достигнутые в период блокировок в марте–июне 2020 года, были утрачены уже в сентябре.

Такое положение вещей очень образно и точно обрисовали французский ученый Frédéric Dutheil et al. (University Hospital of Clermont-Ferrand, France): *«Первая глобальная блокировка весной 2020 года вызвала снижение загрязнения воздуха до уровня, предшествующего промышленной революции. Человечество жило в здоровой атмосфере в течение 8 месяцев, примерно с февраля по сентябрь 2020 года. Однако после окончания первой волны SARS-CoV-2 большинство стран быстро увеличило свои выбросы парниковых газов, чтобы оживить мировой рынок и избежать его краха. С октября 2020 года уровни NO_2 и CO увеличились во всем мире с тревожной концентрацией по сравнению с уровнями до пандемии COVID-19. Чтобы быстро перезапустить экономическую машину большинство стран сжигают ископаемое топливо и продолжают эксплуатировать угольные шахты, погружая мир в экологическую катастрофу. В то время как кризис COVID-19, вероятно, завершится в 2022–2023 годах с беспрецедентным уровнем смертности, мы могли бы спросить*

будущие молодые поколения: «Мир после COVID-19 создан для вас?». Даже если потребности устойчивости глобальной экономики жизненно важны человечеству, представляется приоритетным рассмотрение нашей планеты в качестве главного жизненно важного ресурса, а не средства для решения сиюминутных проблем» [18].

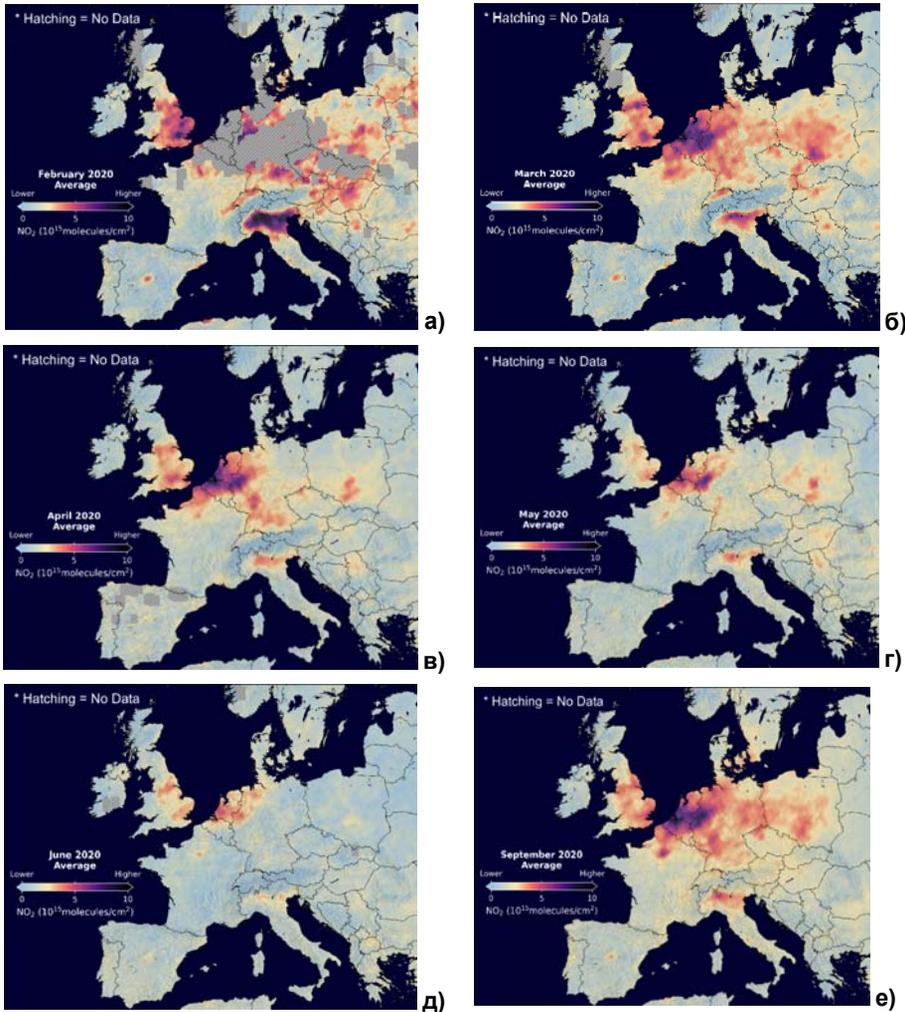


Рис. 3. Среднее тропосферное содержание диоксида азота NO₂ в 2020 г. над территорией Западной Европы: февраль (а); март (б); апрель (в); май (г); июнь (д); сентябрь (е). Фото с сайта NASA:

https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/pix/htmls/Moscow_data.html.

Fig. 3. Average tropospheric content of nitrogen dioxide NO₂ in 2020 over European territory of Western Europe: February (a); March (б); April (в); May (г); June (д); September (е). Photo from website NASA:

https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/pix/htmls/Moscow_data.html.

Аналогичная ситуация сложилась и на Европейской территории России (рис. 4).

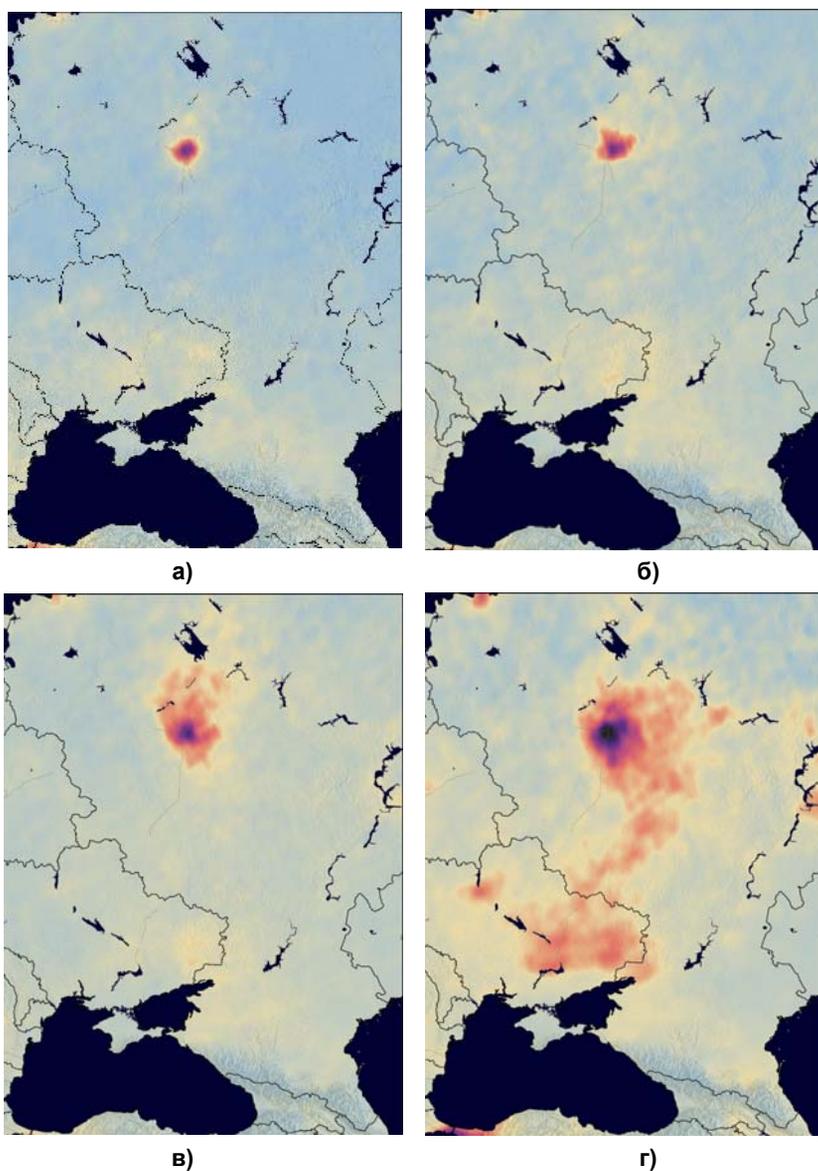


Рис. 4. Среднее тропосферное содержание диоксида азота NO₂ в 2020 г. над Европейской территорией России: июнь (а); июль (б); сентябрь (в); октябрь (г). Фото с сайта NASA:

https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/pix/htmls/Moscow_data.html.

Fig. 4. Average tropospheric content of nitrogen dioxide NO₂ in 2020 over European territory of Russia: June (a); July (б); September (в); October (г). Photo from website NASA: https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/pix/htmls/Moscow_data.html.

На рис. 4 видно, что в июне 2020 г. (рис. 4а) экологическая ситуация на территории Европейской территории России была весьма благоприятной. Напряженная ситуация сохранялась только в пределах Москвы и ближайшего Подмосковья. На остальной территории тропосферное содержание NO_2 не превышало $3 \cdot 10^{15}$ мол/см². В июле (рис. 4б), когда ограничительные правила стали отменяться в большинстве субъектов федерации, началось незначительное ухудшение экологической ситуации, которое заметно развилось в сентябре (рис. 4в), а в октябре (рис. 4г) уровень загрязнения атмосферы диоксидом азота в столичном регионе приблизился к исходному уровню марта 2020 года.

Озон

Озон (O_3) играет огромную роль в экосистеме планеты, поскольку озоновый слой защищает Землю от жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. Озон обладает очень высокой окислительной способностью, благодаря чему он широко используется в промышленности и медицине для стерилизации изделий, отбеливания бумаги, очистки масел, очистки воды и воздуха от микроорганизмов. Однако окислительные способности озона имеют и другую, негативную сторону. Воздействие озона на организм человека является общетоксическим, раздражающим и канцерогенным. Наиболее опасно воздействие высоких концентраций озона на органы дыхания, для которых он служит прямым раздражителем, и которые являются основным объектом атаки со стороны SARS-CoV-2, что особенно опасно в период пандемии COVID-19.

Таким образом, стратосферный озон является для Земли и ее обитателей благом, а тропосферный озон – ядом и загрязнителем воздуха.

Во многих статьях, посвященных комплексному изучению изменений компонентного состава атмосферного воздуха до и после ограничительных мероприятий, отмечается, существенный рост содержания озона O_3 в приземном слое атмосферы.

Pierre Sicard et al. (ARGANS, France) установили, что изоляция из-за пандемии COVID-19 в четырех южно-европейских городах (Ницца, Рим, Валенсия и Турин), по сравнению с аналогичным периодом 2017–2019 гг., привело к росту среднесуточной концентрации O_3 на 24 % в Ницце, 14 % в Риме, 27 % в Турине и на 2,4 % в Валенсии. [24]. Maria Cristina Collivignarelli et al. (University of Pavia, Italy) приводит информацию о том, что в Милане первоначальная концентрация озона составляла $20,1 \pm 2,1$ мкг/м³, в период первой фазы блокировки (PL) она поднялась до $43,7 \pm 2,4$ мкг/м³, а после второй фазы блокировки (TL) до $59,0 \pm 2,1$ мкг/м³ [23]. Khaled Elsaid et al. (Chemical Engineering Program, Texas A&M University at Qatar, Qatar) свидетельствуют об увеличении концентрации O_3 во время блокировки в Испании на 56,3 % [22]. Feng Liu et al. (Southeast University, China), исследовав ситуацию в 597 крупных городах мира в период с 1 января по 5 июля 2020 г., установили, что

во время блокировки концентрация O_3 в приземном слое атмосферы увеличивается на 10–27 % [17].

Влияние загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость и смертность населения

О том, что загрязнение атмосферного воздуха усиливает заболеваемость COVID-19, свидетельствуют многие специалисты: Roberto Dragone et al. (Institute for the study of nanostructured materials, Italy) [27], Edoardo Conticini et al. (University of Siena, Ital) [16], Daniele Fattorini et al. (Marche Polytechnic University, Italy) [14], при этом превалирует мнение о том, что мелкодисперсные твердые частицы $PM_{2,5}$ являются наиболее опасным катализатором динамики COVID-19 [13].

Для изучения этого вопроса мы провели корреляционный анализ зависимостей между уровнем смертности населения 22 субъектов Российской Федерации, заболевших COVID-19 во время второй волны пандемии коронавируса, с одной стороны, и индексом качества воздуха AQI (рис. 5) и содержанием в воздухе мелкодисперсных твердых частиц $PM_{2,5}$ (рис. 6), с другой стороны. Исследованы следующие субъекты Российской Федерации: Амурская, Архангельская, Волгоградская, Вологодская, Воронежская, Иркутская, Московская, Мурманская, Нижегородская, Ростовская, Самарская, Саратовская, Свердловская, Томская, Ульяновская, Челябинская области, Забайкальский и Пермский края, г. Москва, Республика Бурятия, Республика Карелия и Ямало-Ненецкий автономный округ.

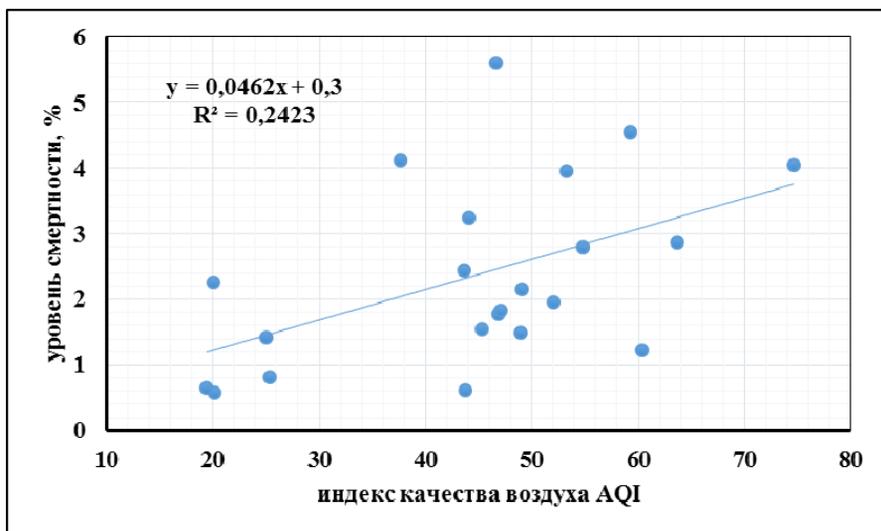


Рис. 5. Зависимость уровня смертности населения Российской Федерации от индекса качества воздуха AQI.

Fig. 5. Dependence of mortality level of Russian population on air quality index AQI.

Период изучения зависимости уровня смертности населения от качества воздуха соответствовал второй волне пандемии. В разных субъектах начало и окончание этого периода несколько отличаются, но не выходят за пределы с 18.09.2020 г. по 10.03.2021 года.

Расчетное значение статистики Стьюдента $t_p = 2,399$ больше табличного значения $t_T = 1,725$ при количестве парных замеров $N=22$ и вероятности 0,95, что говорит о наличии устойчивой прямо пропорциональной зависимости между уровнем смертности, который рассчитан как процент летальных исходов от количества заболевших COVID-19, и индексом качества атмосферного воздуха на территории субъекта федерации.

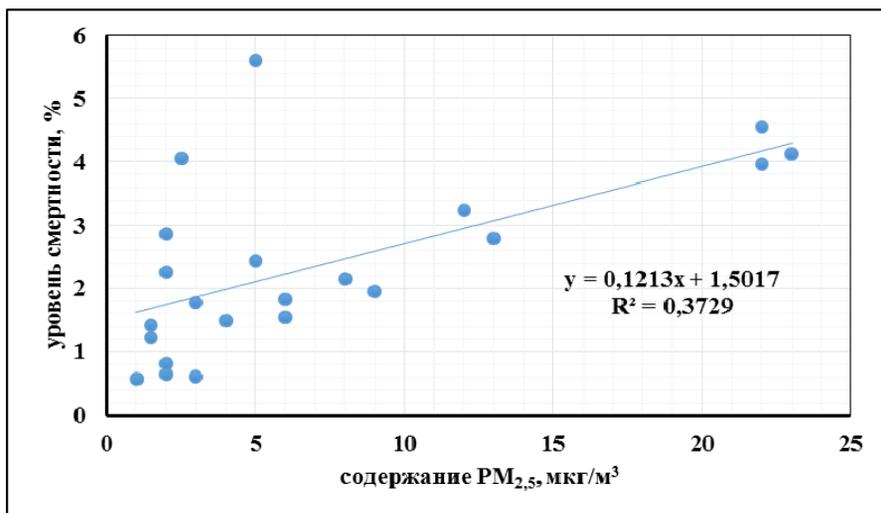


Рис. 6. Зависимость уровня смертности населения Российской Федерации от содержания мелкодисперсных твердых частиц PM_{2.5} в воздухе.
Fig. 6. Dependence of mortality level of Russian population on concentration of low-level solids PM_{2.5} in the air.

Расчетное значение статистики Стьюдента $t_p = 3,272$ больше табличного значения $t_T = 2,528$ при количестве парных замеров $N=22$ и вероятности 0,99, что говорит о наличии еще более устойчивой прямо пропорциональной зависимости между уровнем смертности и содержанием мелкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что плохое качество воздуха отягчает последствия COVID-19, увеличивая процент смертности. Причем, значительную роль в этом играет концентрация мелкодисперсных твердых частиц PM_{2.5}, которые могут глубже проникать в легкие человека и обострять течение респираторных заболеваний.

Заключение

Ограничительные мероприятия, проведенные органами власти различного уровня для снижения скорости распространения SARS-CoV-2 и масштабов пандемии COVID-19 на территории Западной Европы и Российской Федерации, привели к существенному снижению антропогенной нагрузки на окружающую природную среду и значительному улучшению экологической обстановки.

Практически повсеместно и наиболее выразительно наблюдалось снижение тропосферного содержания NO_2 (23–37 %), другие основные загрязнители воздуха PM_{10} , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ снижались несколько меньше (на 10–20 %), причем это снижение наблюдалось не на всех территориях. Меньшее снижение было продемонстрировано CO (5–10 %) относительно концентраций, наблюдаемых до начала ограничительных мероприятий.

За редким исключением, ограничение техногенной нагрузки на окружающую среду привело к весьма существенному росту концентрации озона O_3 , причем в ряде случаев рост концентрации озона достигал 150–200 % и более.

После прекращения ограничительных мероприятий, уже к сентябрю в Западной Европе и к октябрю на Европейской территории России уровень загрязнения атмосферного воздуха стал соответствовать первоначальному.

Наши расчеты позволяют предположить, что уровень смертности населения Российской Федерации от COVID-19 тесно связан с качеством атмосферного воздуха, особенно с уровнем концентрации в нем мелкозернистых твердых частиц $\text{PM}_{2.5}$.

Список литературы

1. Бручковский И.И., Красовский А.Н. Особенности распределения NO_2 в атмосфере. Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата // Материалы Международной научной конференции, 5–8 мая 2015 г. Минск: Белорус. гос. ун-т, 2015. 337 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2012. 576 с. (Библиотека истории и культуры).
3. Глазьев С.Ю. Пандемический кризис помог укрепиться новому технологическому укладу // Научные труды ВЭО России. 2020. Т. 225, № 5. С. 26–35. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-225-5-26-35.
4. Ионов Д.В., Поберовский А.В. Двоокись азота в воздушном бассейне Санкт-Петербурга: Дистанционные измерения и численное моделирование // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Том 48, № 4. С. 422–433.
5. Ионов Д.В., Тимофеев Ю.М. Региональный космический мониторинг содержания двоокси азота в тропосфере // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Том 45, № 4. С. 467–476.
6. Печаткин В.В., Мальшев Т.А. Конкурентоспособность реального сектора экономики США, Китая и России в условиях пандемии // Экономические отношения. 2021. Том 11, № 2. С. 319–334. DOI: 10.18334/ео.11.2.111995.

7. *Ситнов А.И.* Анализ спутниковых наблюдений тропосферного содержания NO₂ над московским регионом // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Том. 47, № 2. С. 184-203.

8. *Akash Biswal, Tanbir Singh, Vikas Singh, Tanbir Singh, Suman Mor.* COVID-19 lockdown and its impact on tropospheric NO₂ concentrations over India using satellite-based data // *Heliyon*. 2020. Vol. 6, no. 9. P. e04764. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04764.

9. *Akshansha Chauhan, Ramesh P Singh.* Decline in PM 2.5 concentrations over major cities around the world associated with COVID-19 // *Environmental Research*. 2020. Vol. 187. P. 109634. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109634.

10. *Alessio Facciola, Pasqualina Laganà, Gabriella Caruso.* The COVID-19 pandemic and its implications on the environment // *Environmental Research*. 2021. Vol. 201. P. 111648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111648>

11. *Ashwani Kumar, Muneer Ahmad Malla, Anamika Dubey.* With Corona Outbreak: Nature Started Hitting the Reset Button Globally // *Front Public Health*. 2020. Vol. 24, no. 8. P. 569353. DOI: 10.3389/fpubh.2020.569353.

12. *Aurelio Tobias, Cristina Carnerero, Cristina Reche, Jordi Massagué, Marta Via, Maria Cruz Minguillón, Andrés Alastuey, Xavier Querol.* Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 15, no. 726. P. 138540. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138540.

13. *Bo Pieter, Johannes Andrée.* Incidence of COVID-19 and Connections with Air Pollution Exposure: Evidence from the Netherlands // *Policy Research Working Papers*. 2020. Vol. 9. DOI: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-9221>

14. *Daniele Fattorini, Francesco Regoli.* Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Ital // *Environment Pollution*. Sep. 2020. Vol. 264. P. 114732. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114732

15. *Diana Brahams.* Spring in London with Covid-19: a personal view // *International Journal of Legal Medicine*. 2020. Vol. 88, no. 2. P. 57-64. DOI: 10.1177/0025817220923692.

16. *Edoardo Conticini, Bruno Frediani, Dario Caro.* Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? // *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 261. DOI: 114465 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>

17. *Feng Liu, Meichang Wang, Meina Zheng.* Effects of COVID-19 lockdown on global air quality and health // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 10, no. 755. P. 142533. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142533.

18. *Frédéric Dutheil, Julien S. Baker, Valentin Navel.* Air pollution in post-COVID-19 world: the final countdown of modern civilization? Letter to the Editor // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 17. Comment on: «COVID-19 and air pollution: the worst is yet to come». DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-14433-0>

19. *Hervé Petetin, Dene Bowdalo, Albert Soret et al. Oriol Jorba, Kim Serradell, Carlos Pérez García-Pando, Dene Bowdalo.* Meteorology-normalized impact of COVID-19 lockdown upon NO₂ pollution in Spain // *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 20. P. 11119-11141. DOI: 10.5194/acp-20-11119-2020

20. *José M. Baldasano.* COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain) // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 1, no. 741. P. 140353. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140353.

21. *Kai Chen, Meng Wang, Patrick L. Kinney, Paul T. Anastasa*. Reduction in air pollution and attributable mortality due to COVID-19 lockdown – Authors' reply // *Lancet Planet Health*. 2020. Vol. 4, no. 7. P. e269. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30149-2

22. *Khaled Elsaid, Valentina Olabi, Enas Taha Sayed, Tabbi Wilberforce, Mohammad Ali Abdelkareem*. Effects of COVID-19 on the environment: An overview on air, water, wastewater, and solid waste // *Environmental Resources Management*. 2021. Vol. 15, no. 292. P. 112694. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112694.

23. *Maria Cristina Collivignarelli, Alessandro Abbà, Giorgio Bertanza, Roberta Pedrazzani, Paola Ricciardi, Marco Carnevale Miino*. Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality? // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 25, no. 732. P. 139280. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139280

24. *Pierre Sicard, Alessandra De Marco, Evgenios Agathokleous, Zhaozhong Feng, Xiaobin Xu, Elena Paoletti, José Jaime Diéguez Rodriguez, Vicent Calatayud*. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 15, no. 735. P. 139542. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139542

25. *Qiang Wang, Min Su*. A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – A case study of China // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 1, no. 728. P. 138915. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138915

26. *Roberto Cazzolla Gattiab*. Coronavirus outbreak is a symptom of Gaia's sickness // *Ecological Modelling*. 2020. Vol. 15, no. 426. P. 109075. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109075>

27. *Roberto Dragone, Giorgio Licciardi, Gerardo Grasso, Costantino Del Gaudio, Jocelyn Chanussot*. Analysis of the Chemical and Physical Environmental Aspects that Promoted the Spread of SARS-CoV-2 in the Lombard Area // *Public Health*. 2021. Vol. 18, no. 3. P. 1226. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18031226>

28. *Saeida Saadat, Deepak Rawtani, Chaudhery Mustansar Hussain*. Environmental perspective of COVID-19 // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 1, no. 728. P. 138870. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138870

29. *Surender Kumar, Shunsuke Managi*. Does Stringency of Lockdown Affect Air Quality? Evidence from Indian Cities // *Economics of Disasters and Climate Change*. 2020. Vol. 15. P. 1-22. DOI: 10.1007/s41885-020-00072-1

30. Специальное выступление Генерального секретаря в Давосе. 25 января 2021 года. Организация Объединенных Наций. Генеральный секретарь. Электронный ресурс. URL: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2021-01-25/secretary-generals-special-address-davos-agenda-delivered> (Дата обращения 15.07.2021).

31. Минус семь триллионов: коронавирус опустошил мировую экономику. Электронный ресурс. URL: <https://ria.ru/20200921/tsena-pandemii-1577459576.html> (Дата обращения 25.05.2021).

32. Загрязнение воздуха остается низким поскольку европейцы остаются дома. 16/04/2020. ESA/Приложения/Наблюдение Земли/Copernicus/Sentinel-5P. Электронный ресурс. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_remains_low_as_Europeans_stay_at_home (Дата обращения 04.08.2021)

References

1. *Bruchkovskij I.I., Krasovskij A.N.* Osobennosti raspredeleniya NO₂ v atmosfere. Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya hozyaystvennoy deyatel'nosti v usloviyah izmenyayushchegosya klimata [Features of the distribution of NO₂ in the atmosphere]. *Problems of hydrometeorological support of economic activity in a changing climate: materials of the International Scientific Conference*, May 5–8, 2015, *Belarusian State University*. Minsk, 2015, 337 p. [in Russ.].
2. *Vernadskij V.I.* Biosfera i noosfera [Biosphere and noosphere]. Moscow: Irispress Publ., 2012, 576 p. [in Russ.].
3. *Glaz'ev S.Yu.* Pandemic crisis helped to strengthen the new technological order. *Nauchnye trudy VEO Rossii* [Scientific Works of the Free Economic Society of Russia], vol. 225, no. 5, 2020, pp. 26-35. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-225-5-26-35 [in Russ.].
4. *Ionov D.V., Poberovskij A.V.* Nitrogen dioxide in the air basin of St. Petersburg: Remote measurements and numerical modeling. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.*, 2012, vol. 48, no. 4, pp. 373-383. DOI: 10.1134/S0001433812040093.
5. *Ionov D.V., Timofeev Yu.M.* Regional space monitoring of nitrogen dioxide content in the troposphere. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.*, 2009, vol. 45, no. 4, pp. 434-443. DOI: 10.1134/S0001433809040045.
6. *Pechatkin V.V., Malyshev T.A.* Competitiveness of the real sector of the economy of the United States, China and Russia in the context of the pandemic. *Ekonomicheskie otnosheniya* [Economic relations], 2021, vol. 11, no. 2, pp. 319-334. DOI: 10.18334/eo.11.2.111995 [in Russ.].
7. *Sitnov A.I.* Analysis of satellite observations of tropospheric content NO₂ over the Moscow region. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.*, 2011, vol. 47, no. 2, pp. 166-185. DOI: 10.1134/S0001433811010129.
8. *Akash Biswal, Tanbir Singh, Vikas Singh, Tanbir Singh, Suman Mor.* COVID-19 lockdown and its impact on tropospheric NO₂ concentrations over India using satellite-based data. *Heliyon*. 2020, vol. 6, no. 9, p. e04764. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04764
9. *Akshansha Chauhan, Ramesh P. Singh.* Decline in PM 2,5 concentrations over major cities around the world associated with COVID-19. *Environmental Research*, 2020, vol. 187, p. 109634. DOI:10.1016/j.envres.2020.109634
10. *Alessio Facciola, Pasqualina Laganà, Gabriella Caruso.* The COVID-19 pandemic and its implications on the environment. *Environmental Research*, 2021, vol. 201, p. 111648. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111648
11. *Ashwani Kumar, Muneer Ahmad Malla, Anamika Dubey.* With Corona Outbreak: Nature Started Hitting the Reset Button Globally. Review. *Front Public Health*, 2020, vol. 24, no. 8, p. 569353. DOI: 10.3389/fpubh.2020.569353. eCollection 2020.
12. *Aurelio Tobias, Cristina Carnerero, Cristina Reche, Jordi Massagué, Marta Via, Maria Cruz Minguillón, Andrés Alastuey, Xavier Querol.* Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 15, no. 726, p. 138540. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138540.
13. *Bo Pieter, Johannes Andrée.* Incidence of COVID-19 and Connections with Air Pollution Exposure: Evidence from the Netherlands. *Policy Research Working Papers*, 2020, vol. 9. DOI: 10.1596/1813-9450-9221

14. Daniele Fattorini, Francesco Regoli. Role of the chronic air pollution levels in the Covid-19 outbreak risk in Ital. *Environment Pollution.*, 2020, vol. 264, p. 114732. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114732

15. Diana Brahams. Spring in London with Covid-19: a personal view. *International Journal of Legal Medicine.* 2020, vol. 88, no. 2, pp. 57-64. DOI: 10.1177/0025817220923692.

16. Edoardo Conticini, Bruno Frediani, Dario Caro. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environmental Pollution*, 2020, vol. 261. DOI: 114465https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465

17. Feng Liu, Meichang Wang, Meina Zheng. Effects of COVID-19 lockdown on global air quality and health. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 10, no. 755, p. 142533. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142533.

18. Frédéric Duthel, Julien S. Baker & Valentin Navel. Air pollution in post-COVID-19 world: the final countdown of modern civilization? Letter to the Editor. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021. Comment on: «COVID-19 and air pollution: the worst is yet to come». DOI: 10.1007/s11356-021-14433-0

19. Hervé Petetin, Dene Bowdalo, Albert Soret et al. Oriol Jorba, Kim Serradell, Carlos Pérez García-Pando, Dene Bowdalo Meteorology-normalized impact of COVID-19 lockdown upon NO₂ pollution in Spain. Discussion started: 2020 May 25. DOI: 10.5194/acp-2020-446

20. José M. Baldasano. COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 1, no. 741, p. 140353. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140353

21. Kai Chen, Meng Wang, Patrick L. Kinney and Paul T. Anastasa. Reduction in air pollution and attributable mortality due to COVID-19 lockdown – Authors' reply. *Lancet Planet Health.*, 2020, vol. 4, no. 7, p. e269. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30149-2

22. Khaled Elsaid, Valentina Olabi, Enas Taha Sayed, Tabbi Wilberforce, Mohammad Ali Abdelkareem. Effects of COVID-19 on the environment: An overview on air, water, wastewater, and solid waste. Review. *Environmental Resources Management*, 2021, vol. 15, no. 292, p. 112694. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112694

23. Maria Cristina Collivignarelli, Alessandro Abbà, Giorgio Bertanza, Roberta Pedrazzani, Paola Ricciardi, Marco Carnevale Miino. Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality? *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 25, no. 732, p. 139280. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139280.

24. Pierre Sicard, Alessandra De Marco, Evgenios Agathokleous, Zhaozhong Feng, Xiaobin Xu, Elena Paoletti, José Jaime Diéguez Rodríguez, Vicent Calatayud. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 15, no. 735, p. 139542. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139542

25. Qiang Wang, Min Su. A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment - A case study of China. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 1, no. 728, p. 138915. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138915.

26. Roberto Cazzolla Gattiab. Coronavirus outbreak is a symptom of Gaia's sickness. *Ecological Modelling*, 2020, vol. 15, no. 426, p. 109075. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109075

27. Roberto Dragone, Giorgio Licciardi, Gerardo Grasso, Costantino Del Gaudio, Jocelyn Chanussot. Analysis of the Chemical and Physical Environmental Aspects that Promoted the Spread of SARS-CoV-2 in the Lombard Area. *Public Health*, 2021, vol. 18, no. 3, p. 1226. DOI: 10.3390/ijerph18031226

28. Saeida Saadat, Deepak Rawtani, Chaudhery Mustansar Hussain. Environmental perspective of COVID-19. Review. *Science of the Total Environment.*, 2020, vol. 1, no. 728, p. 138870. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138870.

29. Surender Kumar, Shunsuke Managi. Does Stringency of Lockdown Affect Air Quality? Evidence from Indian Cities. *Economics of Disasters and Climate Change*, 2020, vol. 15, pp. 1-22. DOI: 10.1007/s41885-020-00072-1

30. Secretary-General's special address at Davos Agenda. 25 January 2021. United Nations. Available at: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2021-01-25/secretary-generals-special-address-davos-agenda-delivered>.

31. Minus sem' trillionov: koronavirus opustoshil mirovuyu ekonomiku. Elektronnyy resurs. Available at: <https://ria.ru/20200921/tsena-pandemii-1577459576.html> [in Russ.].

32. Air pollution remains low as Europeans stay at home. 16/04/2020. The European Space Agency (ESA). Available at: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_remains_low_as_Europeans_stay_at_home.

*Поступила 27.09.2021; одобрена после рецензирования 30.11.2021;
принята в печать 13.12.2021.*

*Submitted 27.09.2021; approved after reviewing 30.11.2021;
accepted for publication 13.12.2021.*