


Б.А. МОРГУНОВ, И.Н. ТЕЛЬНОВА, Б.А. ЩИГОЛЕВ



**Анализ
влияния пандемии
новой коронавирусной
инфекции на загрязнение
атмосферного воздуха
и снижение выбросов
загрязняющих
веществ**

АНАЛИТИЧЕСКИЙ
ДОКЛАД



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ
ИНСТИТУТ ГОСУДАРСТВЕННОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Б.А. МОРГУНОВ, И.Н. ТЕЛЬНОВА, Б.А. ЩИГОЛЕВ

**Анализ влияния пандемии
новой коронавирусной
инфекции на загрязнение
атмосферного воздуха
и снижение выбросов
загрязняющих
веществ**

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ЭКОНОМИКИ

МОСКВА · 2020

УДК 614.71:616-036.21

ББК 20.1:51.9

А64

А в т о р ы:

директор Института экологии Национального исследовательского
университета «Высшая школа экономики»

Б.А. Моргунов;

эксперт Института экологии Национального исследовательского
университета «Высшая школа экономики»

И.Н. Тельнова;

ведущий эксперт Института государственного
и муниципального управления Национального исследовательского
университета «Высшая школа экономики»

Б.А. ЩигOLEв

О т в е т с т в е н н ы й р е д а к т о р:

проректор Национального исследовательского университета

«Высшая школа экономики», директор Института государственного
и муниципального управления, директор Дирекции по экспертно-аналитической работе

А.Б. Жулин

А64 **Анализ** влияния пандемии новой коронавирусной инфекции на загрязнение атмосферного воздуха и снижение выбросов загрязняющих веществ [Текст] : анализ. докл. / Б. А. Моргунов, И. Н. Тельнова, Б. А. ЩигOLEв ; отв. ред. А. Б. Жулин ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», Ин-т экологии, Ин-т гос. и муниципальн. управления. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. — 78, [2] с. — 30 экз. — ISBN 978-5-7598-2307-0 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2205-9 (e-book).

Цель представленного в докладе исследования — сбор и систематизация данных научных работ и экспертно-аналитических материалов о влиянии пандемии новой коронавирусной инфекции на сокращение выбросов загрязняющих веществ и улучшение качества атмосферного воздуха. Авторами проведен анализ эффектов введения ограничительных мер на существенное снижение концентраций загрязняющих веществ по всему миру. Новизна исследования заключается в систематизации данных о концентрациях загрязняющих веществ и разработке модели оценки снижения концентраций загрязняющих веществ в городах России. В работе подтверждена гипотеза о снижении загрязняющих веществ в атмосфере городов России и улучшении качества воздуха в результате введения ограничительных мер в период пандемии COVID-19.

УДК 614.71:616-036.21

ББК 20.1:51.9

Опубликовано Издательским домом Высшей школы экономики
<http://id.hse.ru>

doi:10.17323/978-5-7598-2307-0

ISBN 978-5-7598-2307-0 (в обл.)
ISBN 978-5-7598-2205-9 (e-book)

© Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Влияние COVID-19 на выбросы.....	5
1.1. Углекислый газ (CO ₂)	5
1.1.1. Сопоставление индекса LSI и объемов выбросов CO ₂	6
1.1.2. Оценки снижения выбросов CO ₂	10
1.2. Концентрация иных веществ.....	15
1.2.1. Диоксид азота	16
1.2.2. Ультрадисперсные частицы	22
2. Оценка влияния COVID-19 на выбросы в атмосферу в России	54
2.1. Текущее состояние мониторинга атмосферного воздуха	54
2.2. Данные о загрязнении атмосферы в России в период пандемии.....	55
2.3. Проект World Air Quality Index.....	57
3. Модель оценки снижения концентраций загрязняющих веществ в городах Российской Федерации	66
3.1. Методика оценки	66
3.2. Результаты.....	68
3.3. Выводы	74
Заключение	76

Введение

Глобальная пандемия новой коронавирусной инфекции повлияла не только на трудовую деятельность и социальную активность населения, но и на экономики всех стран без исключения, серьезно замедлив темпы их роста, сократив объемы производства и потребление электроэнергии, обвалив спрос на сырьевые ресурсы и товары, в разы уменьшив транспортные потоки. Все это оказало прямое влияние на сокращение объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и привело к краткосрочному улучшению качества атмосферного воздуха.

По оценкам аналитиков британского портала Carbonbrief, освещающего проблемы изменения климата, вызванный пандемией экономический кризис может привести к наибольшему сокращению объемов выбросов за всю историю наблюдений. Уже сейчас этот показатель (в количественном выражении) в 6 раз больше, чем во время мирового финансового кризиса 2008 года, и в 2 с лишним раза — чем во время Второй мировой войны¹.

В рамках мониторинговых наблюдений за состоянием и качеством окружающего воздуха в период пандемии и введения ограничительных мер фиксируется существенное снижение концентраций загрязняющих веществ по всему миру, особенно в крупных городах и промышленных центрах.

В настоящем исследовании Института экологии и Института государственного и муниципального управления НИУ ВШЭ собраны, систематизированы и проанализированы данные, содержащиеся в публикациях, статьях, отчетах международных научно-исследовательских организаций о влиянии последствий коронавирусной инфекции на сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, а также проведена оценка подобного сценария для России. При анализе воздействия на атмосферу Земли были рассмотрены:

- выбросы углекислого газа CO_2 как основного загрязняющего компонента;
- концентрация других веществ, таких как диоксид азота NO_2 , диоксид серы SO_2 , озон O_3 , оксид углерода CO_2 , дисперсных частиц $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , на основании которой оценивают качество воздуха и его воздействие на здоровье человека.

¹ Analysis: Coronavirus set to cause largest ever annual fall in CO2 emissions <<https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-set-to-cause-largest-ever-annual-fall-in-co2-emissions>>.

1. Влияние COVID-19 на выбросы

1.1. Углекислый газ (CO₂)

Концентрация углекислого газа в атмосфере увеличилась приблизительно с 277 ppm² в середине XVII века³ до 407,38 ± 0,1 ppm в 2018 году⁴. Примерно до 1950 года увеличение содержания углекислого газа в атмосфере было вызвано главным образом уменьшением площадей лесов и других изменений в землепользовании, например, увеличением площадей сельскохозяйственных угодий. Антропогенное загрязнение атмосферы углекислым газом началось в 50-х годах XX столетия. На рисунке 1.1 представлены ретроспективные данные о концентрации углекислого газа в атмосфере.

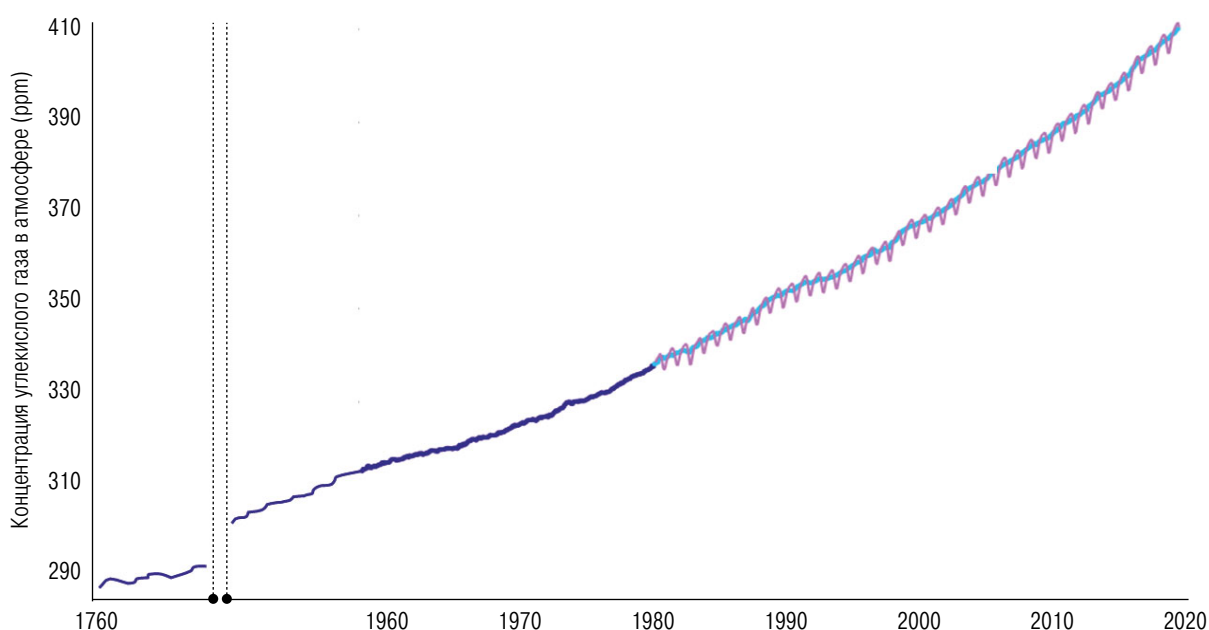


Рис. 1.1. Концентрация CO₂ в атмосфере

Источники: данные Global Carbon Budget, Global Monitoring Laboratory⁵.

В последнее десятилетие глобальные выбросы углекислого газа (CO₂) росли примерно на 1% ежегодно, а в 2017–2019 гг. темпы их роста составляли уже 1,5%, 2,1% и 0,6% соответственно^{6,7},

² Миллионная доля (млн⁻¹) — ppm, parts-per-million.

³ Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years <<https://www.pnas.org/content/105/5/1425>> (дата обращения 10.05.2020).

⁴ Global Carbon Budget 2019 <<https://www.earth-syst-sci-data.net/11/1783/2019/essd-11-1783-2019.pdf>> (дата обращения 10.05.2019).

⁵ Trends in Atmospheric Carbon Dioxide <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>> (дата обращения 10.05.2020).

⁶ Friedlingstein P. et al. (2019) Global Carbon Budget 2019 // Earth Syst. Sci. Data. 11, 1783–1838 <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab57b3>> (дата обращения 10.05.2020).

⁷ Jackson R.B. et al. (2019) Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health // Env. Res. Lett. 14, 121001 <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab57b3>> (дата обращения 10.05.2020).

в основном за счет увеличения выбросов от транспорта и потребления энергии в условиях падения цен на энергоносители⁸.

В конце декабря 2019 — начале 2020 года в китайском городе Ухань была зафиксирована вспышка пневмонии из-за новой коронавирусной инфекции, ставшей причиной заражения уже более 8,2 млн человек и свыше 436 тыс. смертей по всему миру⁹. 12 марта 2020 года Всемирная организация здравоохранения объявила о начале эпидемии COVID-19. Но еще до этого — с момента выявления первого случая коронавирусной инфекции (30 декабря 2019 года) — правительства разных стран начали принимать меры по противодействию новой болезни.

Меры противодействия пандемии в странах ОЭСР в 2020 году можно классифицировать следующим образом¹⁰:

- *сдерживающие меры*: закрытие образовательных учреждений, изменение режима работы предприятий и организаций, отмена публичных и массовых мероприятий, ограничения локальной/международной мобильности и грузоперевозок, введение режима самоизоляции;
- *экономические меры*: финансовая поддержка бизнеса и населения, смягчение налоговой нагрузки, международная поддержка;
- *меры в здравоохранении*: введение специальных санитарных требований, тестирование населения, информационно-просветительская работа, контроль за социальной активностью населения и контактов между группами риска, увеличение инвестиций в здравоохранение;
- *иные меры*.

Как видно из приведенной классификации, часть сдерживающих мер напрямую повлияла на работу промышленности и транспорта и привела к резкому сокращению спроса на сырье и энергию. В «Обзоре глобальной энергетики 2020» (Global Energy Review)¹¹ Международного энергетического агентства¹², опубликованном в апреле, приводятся следующие данные (в сравнении с 2019 годом):

- общий спрос на энергоносители в первом квартале 2020 года снизился на 3,8%;
- спрос на уголь и нефть сократился на 8% и 5% соответственно за счет увеличения спроса на природный газ, использования возобновляемых источников энергии, сокращения транспортной активности;
- потребность в электроэнергии уменьшилась на 20% в основном за счет падения потребления на объектах коммерческой недвижимости, промышленности, государственных учреждений из-за различных ограничительных мер, принимаемых странами.

В результате ежедневные глобальные выбросы углекислого газа снизились в среднем на 17% (от 11 до 26%) к началу апреля 2020 года по сравнению с аналогичными данными 2019 года¹³.

Влияние ограничительных мер на выбросы в 2020 году коррелирует с их продолжительностью. Если в большинстве стран они будут сняты в июне 2020 года, то предполагаемое итоговое снижение выбросов к концу года составит в среднем 4% (от 2 до 7%). При сохранении ограничительных мер до конца года снижение выбросов может составить 7% (от 3 до 13%).

1.1.1. Сопоставление индекса LSI и объемов выбросов CO₂

Представленная выше классификация мер противодействия предложена исследователями из Школы государственного управления им. Блаватника Оксфордского университета. Для лю-

⁸ Peters G.P. et al. (2020) Nat. Clim. Change. 10, 3–6 <<https://www.nature.com/articles/s41558-019-0659-6>> (дата обращения 10.05.2020).

⁹ По данным Worldometr COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC <<https://www.worldometers.info/coronavirus/>> (дата обращения 17.06.2020).

¹⁰ Variation in government responses to COVID-19 <<https://www.bsg.ox.ac.uk/research/publications/variation-government-responses-covid-19>> (дата обращения 10.05.2020).

¹¹ Global Energy Review — <<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>> (дата обращения 10.05.2020).

¹² Международное энергетическое агентство — автономный международный орган при ОЭСР (International Energy Agency).

¹³ Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement <<https://www.nature.com/articles/s41558-020-0797-x>> (дата обращения 19.05.2020).

бой меры, принятой в каждой стране, рассчитывается определенный субиндекс, на основании которого вычисляется индекс государственных мер противодействия коронавирусной инфекции¹⁴ (Government Response Stringency Index, Legacy Stringency Index, далее — GRSI, LSI). Благодаря GRSI можно оценивать степень влияния и эффективность действий властей.

Анализ динамики значений индекса GRSI и обобщенных данных о снижении выбросов углекислого газа, например, данных, представленных на сайте Integrated Carbon Observation System, Global Carbon Project¹⁵ (далее — ICOS), показывает, что их значения коррелируют между собой. Рисунок 1.2 демонстрирует зависимость динамики значений индекса GRSI и темпов снижения выбросов углекислого газа (по данным Global Carbon Project). На теплокартах отчетливо видно, что увеличение индекса и, соответственно, строгости мер в отдельно взятой стране прямо пропорционально сокращению ежедневных выбросов углекислого газа.

Отдельно стоит отметить Китай, который одним из первых начал реагировать жесткими мерами на новую коронавирусную инфекцию (как страна — источник распространения вируса), а также одним из первых снял все ограничения: сразу после отмены объемы выбросов вернулись к январским суточным значениям.

На диаграмме рассеивания (рисунок 1.3) представлена зависимость вышеназванных показателей для ряда стран в период с 1 января по 30 апреля 2020 года. По горизонтальной оси — значения LSI, по вертикальной оси — общие выбросы углекислого газа (млн т CO₂/день), кривой линией отмечен «дневной след» — траектория снижения суточных выбросов углекислого газа и увеличения индекса ответных мер.

На рисунке 1.3 показана прямая зависимость снижения суточных выбросов углекислого газа от времени принятия тех или иных мер и значения индекса. В странах, где основные меры были постепенно приняты в конце февраля — начале марта (США, Индия, Германия, Великобритания, Россия), наибольшие темпы снижения выбросов углекислого газа зафиксированы в конце марта — начале апреля 2020 года. Как отмечалось ранее, в Китае в это время уже пройден пик заболеваемости и отмечен спад эпидемии, поэтому государственные меры противодействия эпидемии смягчаются и суточные выбросы вернулись к своим средним значениям начала 2020 года. На примере США видно, что резкое усиление мер в начале марта не привело к существенному снижению выбросов углекислого газа. Скорее всего, это связано с тем, что решения о приостановке промышленности, ограничение выхода на рабочие места до середины марта принимались каждым штатом США отдельно, единые ограничительные меры для всей страны до 13 марта не вводились, кроме запрета на въезд иностранных граждан¹⁶.

В таблице 1.1 представлена информация о коэффициентах корреляции между индексом ответных государственных мер и динамикой суточных выбросов углекислого газа.

Наблюдается сильная обратная корреляция между снижением суточных выбросов углекислого газа (в энергетике, промышленности, коммерческом секторе, выбросов от транспорта и авиации) и усилением ответных мер в разных странах — чем больше ограничений и мер вводит правительство различных стран, тем сильнее сокращаются ежедневные выбросы углекислого газа (сокращение производства, транспорта и т.д.) В то же время ситуация с выбросами домохозяйств совершенно противоположная. За счет ужесточения требований самоизоляции и карантина и введения ограничительных режимов на некоторых территориях прямо пропорционально росли суточные объемы выбросов домохозяйств. Этот показатель в целом служит наглядным индикатором эффективности ограничительных мер и контроля за социальной активностью населения: суточные выбросы растут за счет увеличения потребления. Аналогичный результат можно получить, если проанализировать, например, взаимосвязь снижения суточ-

¹⁴ Coronavirus Government Response Tracker <<https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>> (дата обращения 22.05.2020).

¹⁵ Global Carbon Project — часть сообщества ICOS, Integrated Carbon Observation System, международного объединения исследователей, университетов, занимающихся исследованиями в области изменения климата и парникового эффекта (далее — ICOS).

¹⁶ Proclamation on Declaring a National Emergency Concerning the Novel Coronavirus Disease (COVID-19) Outbreak <<https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/proclamation-declaring-national-emergency-concerning-novel-coronavirus-disease-covid-19-outbreak>> (дата обращения 15.05.2020).

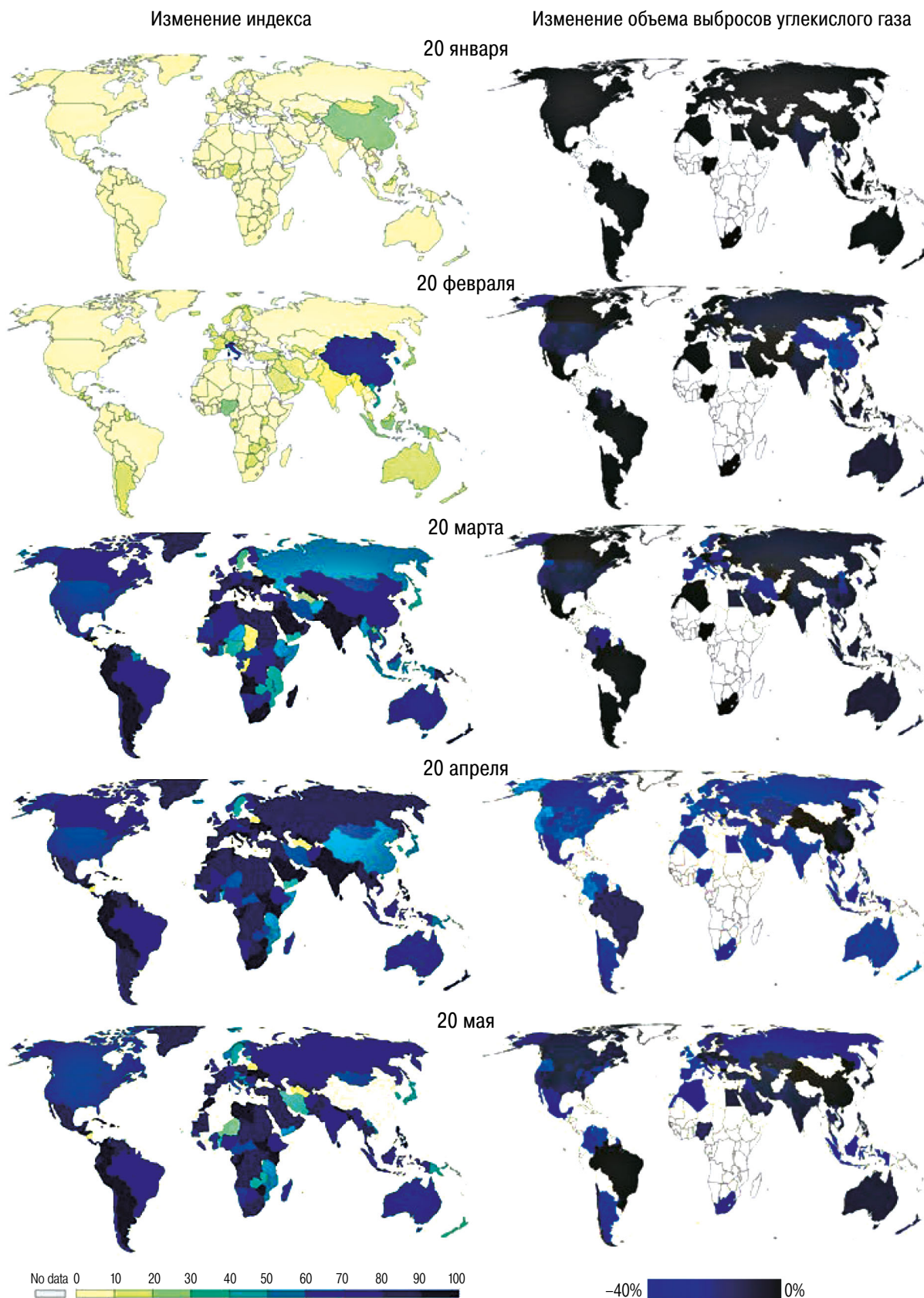


Рис. 1.2. Влияние принятия государственных мер (слева) на выбросы CO₂ (справа)
Источники: данные Coronavirus Government Response Tracker, Global Carbon Project, НИУ ВШЭ.

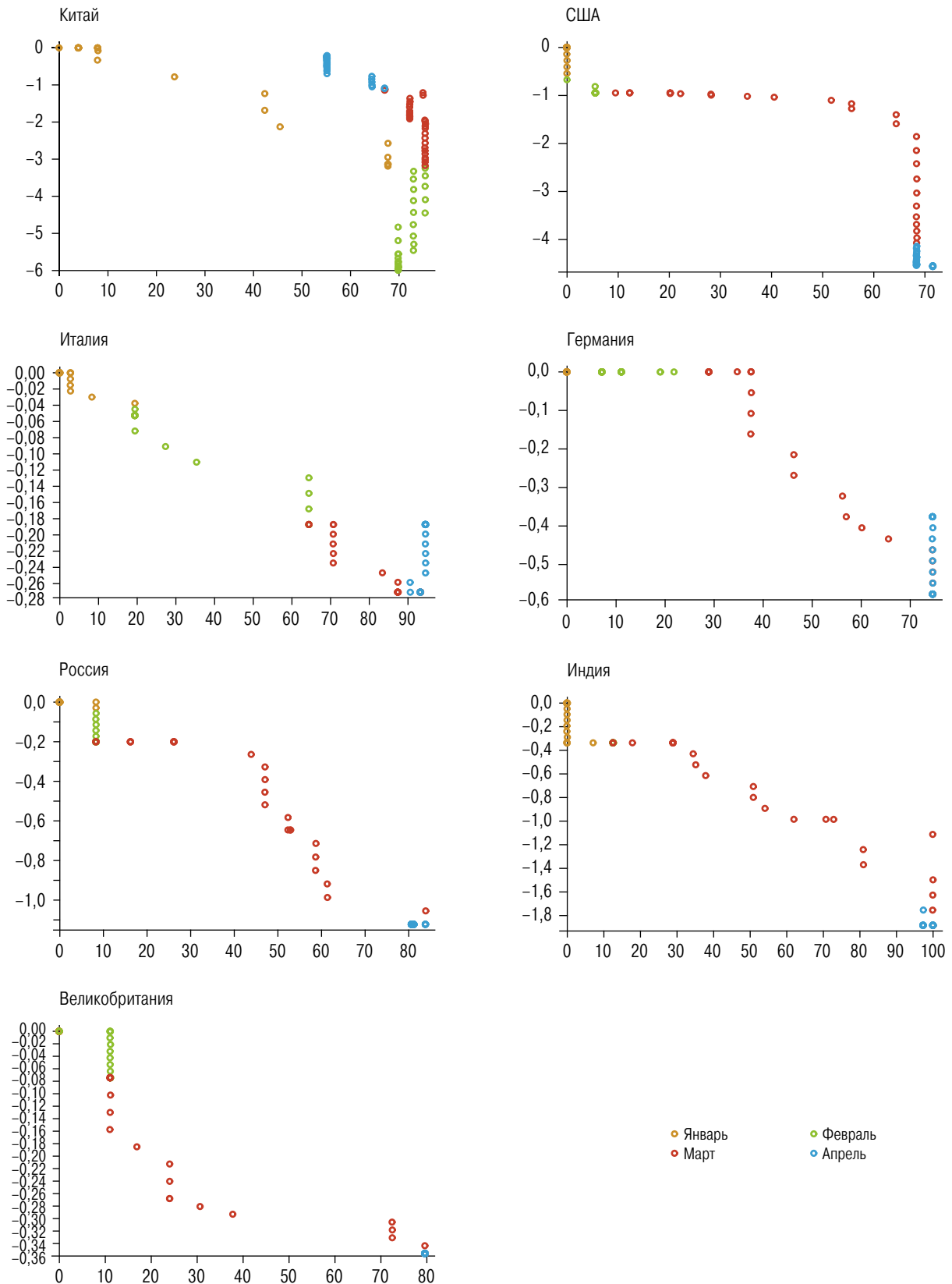


Рис. 1.3. Диаграмма рассеивания. По оси ординат общие суточные выбросы углекислого газа, по оси абсцисс – индекс ответных мер

Источники: данные Coronavirus Government Response Tracker, Global Carbon Project, расчеты НИУ ВШЭ.

Таблица 1.1

Коэффициенты корреляции

	Коэффициент корреляции между LSI и суточными выбросами углекислого газа:						
	Общие выбросы	Энергетика и добыча	Промышленность	Наземный транспорт	Публичный сектор	Домохозяйства	Авиатранспорт
Мир	-0,495	-0,484	-0,450	-0,406	-0,523	0,550	-0,414
Россия	-0,984	-0,961	-0,963	-0,980	-0,986	0,919	-0,971
США	-0,926	-0,875	-0,907	-0,932	-0,929	0,893	-0,939
Китай	-0,615	-0,453	-0,697	-0,624	-0,586	0,445	-0,639
Германия	-0,940	-0,873	-0,900	-0,953	-0,945	0,742	-0,956
Италия	-0,964	-0,845	-0,864	-0,979	-0,966	0,653	-0,982
Великобритания	-0,980	-0,989	-0,985	-0,975	-0,985	0,979	-0,952
Индия	-0,981	-0,966	-0,958	-0,988	-0,989	0,922	-0,977

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

ных выбросов углекислого газа и данных о мобильности или социальной активности Google¹⁷ или Facebook¹⁸.

Еще одним примером прямого влияния ограничительных мер на выбросы углекислого газа является снижение трафика различных видов транспорта. Очевидную взаимосвязь ограничительных мер и снижения выбросов от авиатранспорта демонстрирует показатель снижения количества перелетов. Так, по оценкам агентства Eurocontrol¹⁹, активность авиаперелетов снизилась более чем на 80% в большинстве стран ЕС, число ежедневных рейсов между Европой и США снизилось с 485 до 90. В ряде стран в период с марта по май 2020 года авиапоток упал на 90% по сравнению с аналогичным периодом 2019 года²⁰. С начала года общий авиапоток сократился примерно в 2 раза²¹ (рисунки 1.4, 1.5).

Несмотря на важность информации об объеме выбросов углекислого газа для понимания глобального изменения климата, системы мониторинга таких выбросов в реальном времени отсутствуют. Актуальных и достоверных оперативных данных об ограничительных мерах, касающихся закрытия промышленных объектов, объектов теплоэнергетической инфраструктуры, и, следовательно, актуальных данных о выбросах загрязняющих веществ на данный момент нет. Информация о выбросах углекислого газа предоставляется в виде итоговых годовых значений с запозданием, через некоторое время после окончания календарного года.

1.1.2. Оценки снижения выбросов CO₂

Эксперты Integrated Carbon Observation System²² (далее — ICOS), основываясь на собственных данных и данных Международного энергетического агентства (далее — IEA)²³, проводят оценку объемов выбросов углекислого газа начиная с 70-х годов XX века. Наблюдения показы-

¹⁷ Отчеты о передвижении жителей <<https://www.google.com/covid19/mobility/>>.

¹⁸ Social Connectedness Index <<https://dataforgood.fb.com/tools/social-connectedness-index/>>.

¹⁹ COVID-19 impact on the European air traffic network <<https://www.eurocontrol.int/covid19/>> (дата обращения 25.05.2020).

²⁰ Understand the Airline Schedule Changes and Manage the Impact <<https://www.oag.com/coronavirus-airline-schedules-data>> (дата обращения 30.05.2020).

²¹ Flight tracking statistics <<https://www.flightradar24.com/data/statistics>> (дата обращения 30.05.2020).

²² ICOS study shows clear reduction in urban CO2 emissions as a result of Covid-19 lockdown <<https://www.icos-cp.eu/event/933>> (дата обращения 14.05.2020).

²³ Supplementary data: Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement <<https://www.icos-cp.eu/gcp-covid19>> (дата обращения 22.05.2020).

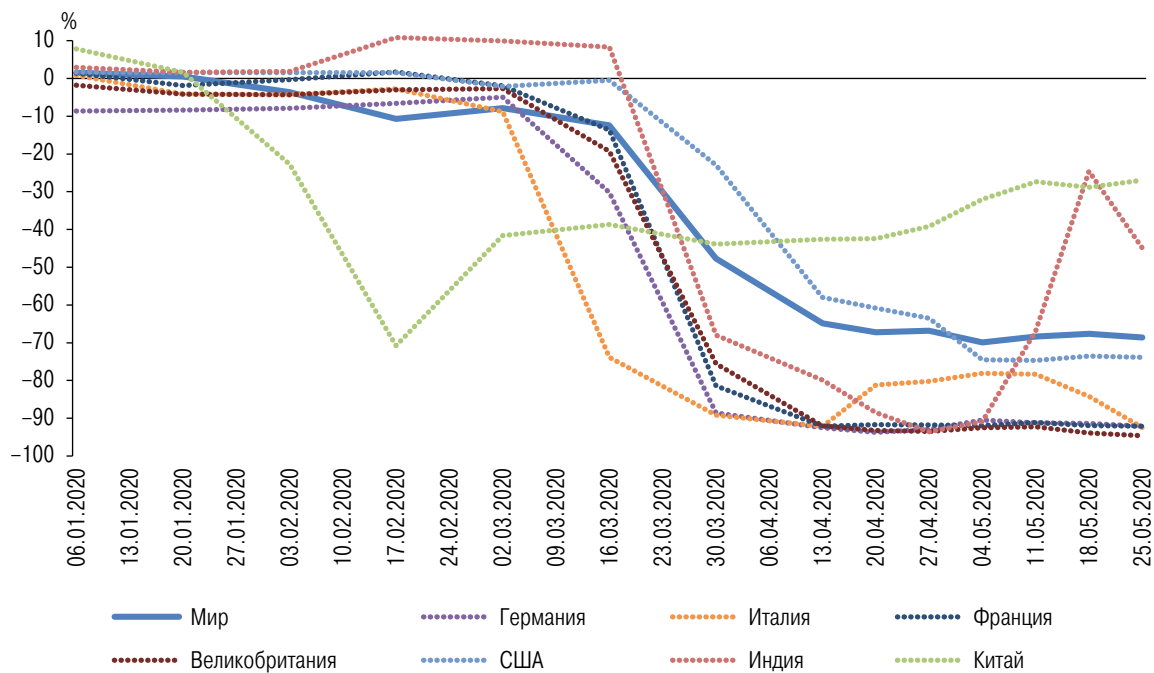


Рис. 1.4. Изменение количества авиаперелетов по сравнению с аналогичным периодом прошлого года
 Источник: данные Statista, расчеты НИУ ВШЭ.

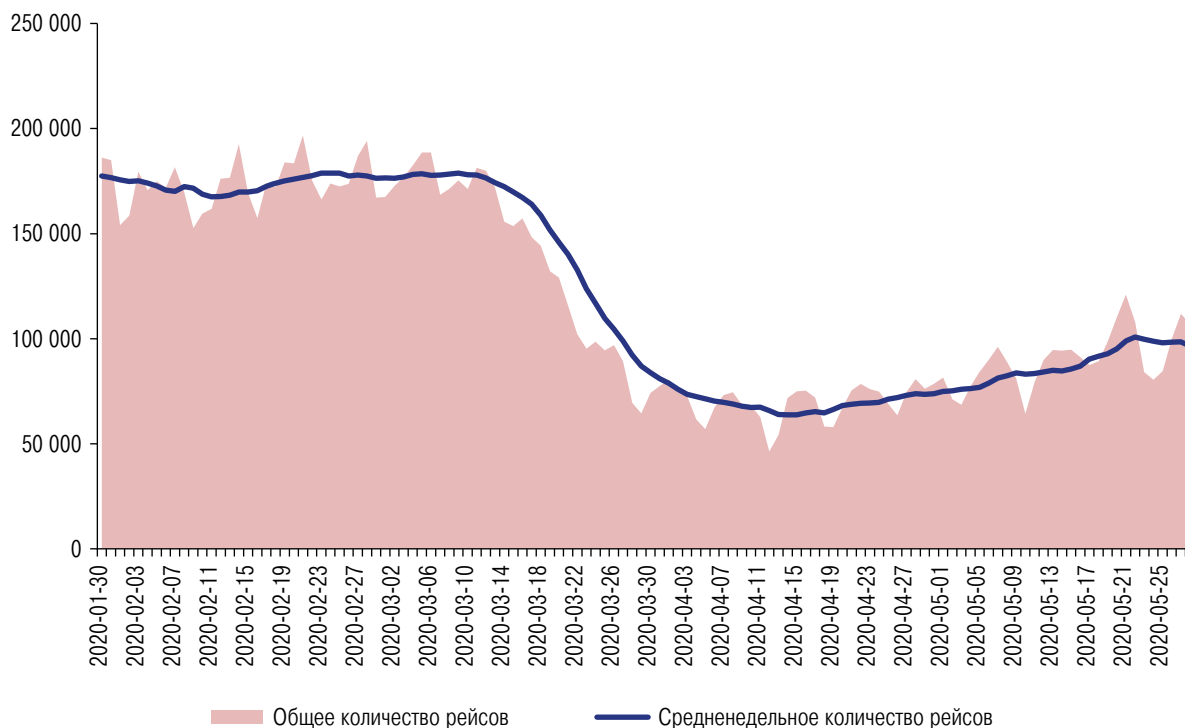


Рис. 1.5. Количество авиарейсов
 Источник: данные Flightradar, расчеты НИУ ВШЭ.

вают, что в 2020 году произошло наибольшее снижение выбросов за всю историю наблюдений. В период с 1 января по 30 апреля 2020 года, по данным ICOS, в ряде стран выбросы сократились на 20–30% по сравнению с аналогичным периодом 2019 года (глобально со 100 млн т CO₂/день в апреле 2019 года до 81,2 млн т CO₂/день в апреле 2020 года). По данным исследователей, по итогам 2020 года выбросы углекислого газа суммарно сократятся на 5–7% по сравнению с 2019 годом. Эксперты IEA в рамках собственных расчетов прогнозируют снижение суммарных выбросов на 8% (2 450 млн т CO₂/год, в том числе за счет снижения использования угля на 1 100 млн т CO₂, нефти на 1 000 млн т CO₂ и газа на 400 млн т CO₂, с текущих 30 600 млн т CO₂/год).

В то же время научное сообщество и международные организации, например, Всемирная метеорологическая организация (ВМО), констатируют, что сокращение выбросов углекислого газа и иных парниковых газов, связанное с глобальным экономическим кризисом, вызванным пандемией коронавируса, является лишь «кратковременной хорошей новостью», и, как только мировая экономика начнет восстанавливаться после пандемии, выбросы вернуться к норме, так как ряд отраслей экономики будет восстанавливаться после частичной или полной остановки²⁴.

За первые пять месяцев 2020 года выбросы углекислого газа снижаются, но в то же время его общая концентрация в атмосфере растет. По сравнению с апрелем 2019 года концентрация углекислого газа в апреле 2020 года выросла на 2,88 ppm (0,69%).

В таблице 1.2 представлены значения концентрации углекислого газа по месяцам по данным с датчиков Погодной обсерватории Мауна-Лоа (находится у вершины вулкана Мауна-Лоа, на острове Гавайи)²⁵.

Таблица 1.2

Концентрация углекислого газа (ppm)

	2016	2017	2018	2019	2020	Годовые темпы роста (%)
Январь	402,56	406,17	407,96	410,83	413,39	0,53
Февраль	404,12	406,46	408,32	411,75	414,11	0,49
Март	404,87	407,22	409,41	411,97	414,51	0,47
Апрель	407,45	409,04	410,24	413,33	416,21	0,43
Май	407,72	409,69	411,24	414,65	Н. д.	0,42

Источники: данные Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories, расчеты НИУ ВШЭ.

Стоит отметить, что во время других глобальных мировых кризисов ограничительные меры правительств разных стран имели локальный характер, не затрагивали целые отрасли экономики (носили, наоборот, стимулирующий характер) и особо не влияли на социальную активность населения. Они действовали непродолжительное время; строгие запретительные меры были приняты в небольшом количестве стран, что не влияло существенным образом на всю мировую экономику. Финансово-экономический кризис 2008 года, например, привел к сокращению выбросов углекислого газа в начале 2009 года на 1,4%, но к концу года общий объем выбросов увеличился на 5,4%²⁶.

На рисунках 1.6–1.8 представлена динамика изменения глобальных суточных выбросов углекислого газа по данным ICOS и IEA²⁷:

- с учетом исторических, ретроспективных данных (рисунок 1.6);
- по отраслям и сферам деятельности (рисунок 1.7);
- в некоторых странах мира (рисунок 1.8).

²⁴ Fall in COVID-linked carbon emissions won't halt climate change <<https://news.un.org/en/story/2020/04/1062332>> (дата обращения 10.05.2020).

²⁵ The complete Mauna Loa CO2 records <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html>> (дата обращения 30.05.2020).

²⁶ Peters G.P. et al. (2012) Correspondence: rapid growth in CO₂ emissions after the 2008–2009 global financial crisis // Nat. Clim. Change. 2, 2–4 <<https://doi.org/10.1038/nclimate1332>>.

²⁷ International Energy Agency <<https://www.iea.org/data-and-statistics>> (дата обращения 15.05.2020).

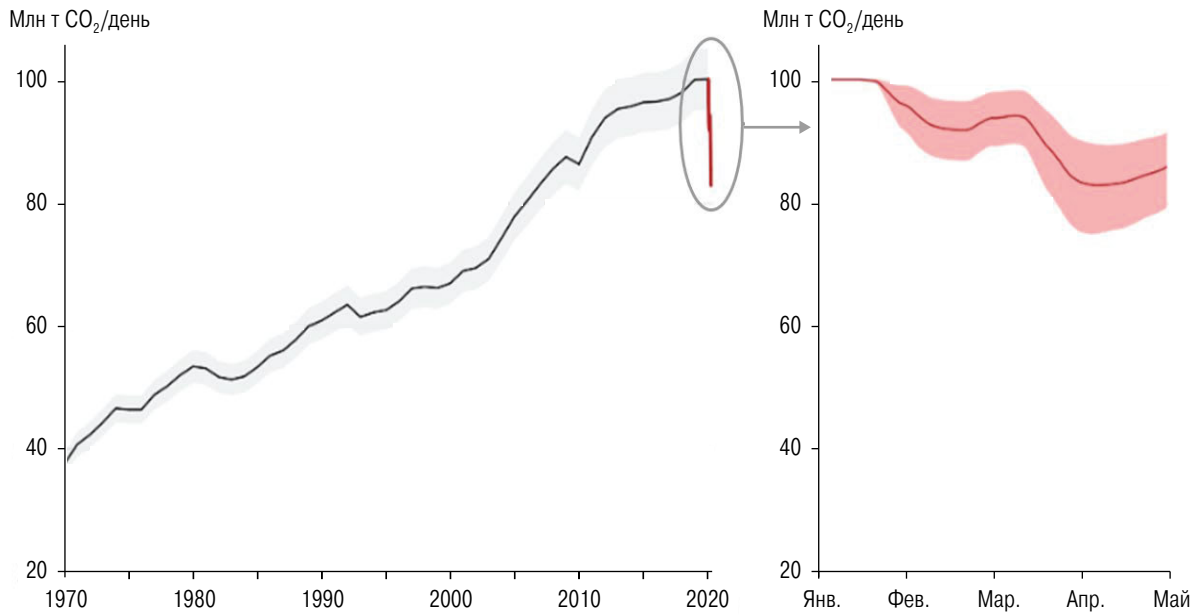


Рис. 1.6. Динамика суточных глобальных выбросов углекислого газа в 1970–2020 гг.

Источник: данные Global Carbon Project.

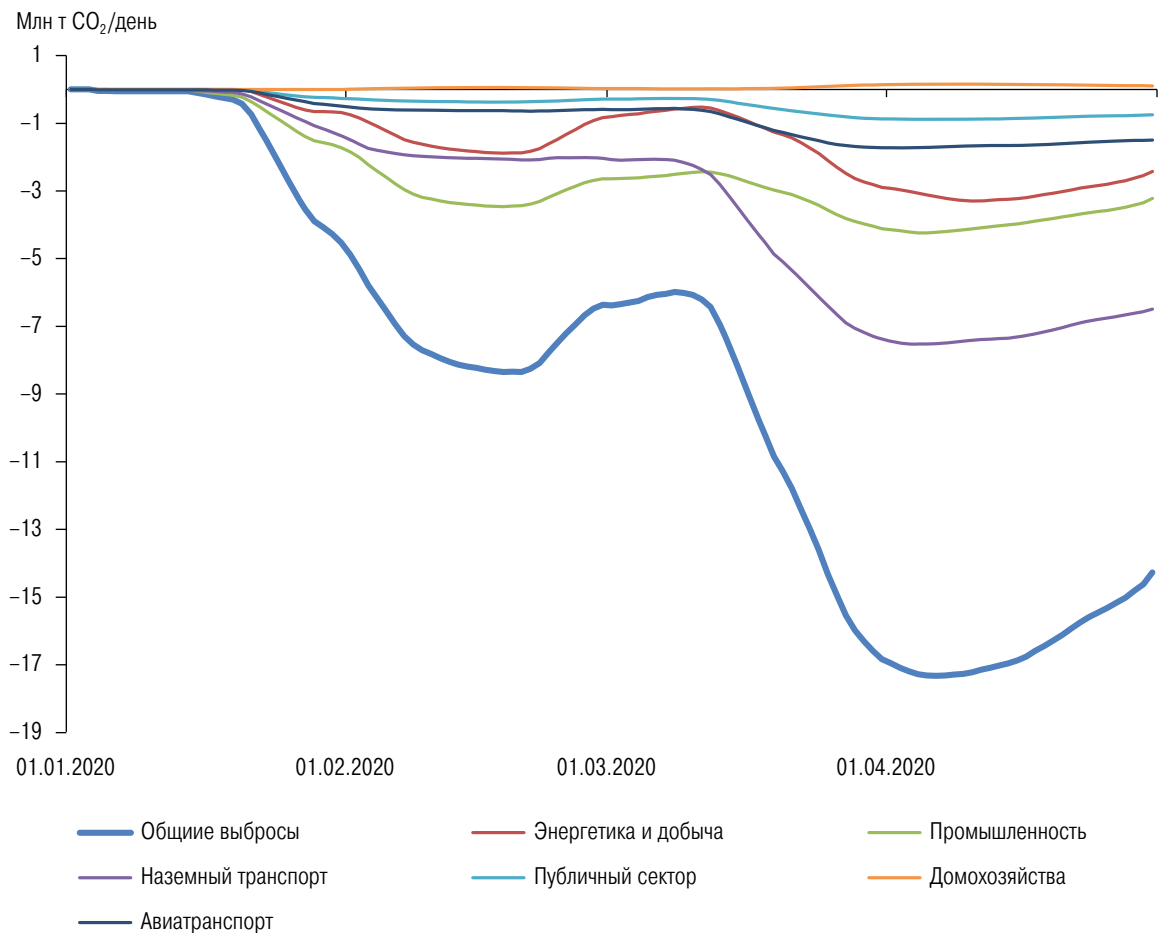


Рис. 1.7. Динамика изменения суточных глобальных выбросов углекислого газа в 2020 году

Источник: данные International Energy Agency, расчеты НИУ ВШЭ.

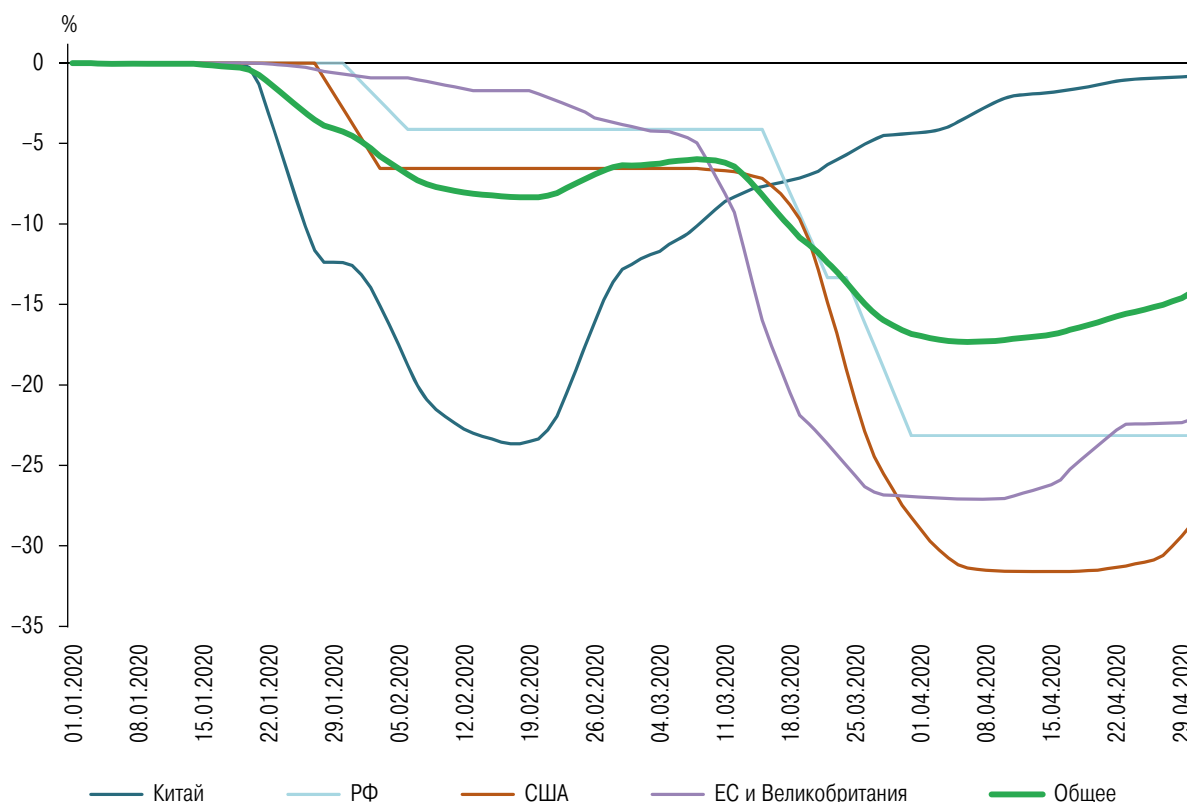


Рис. 1.8. Темпы снижения выбросов углекислого газа в некоторых странах мира

Источник: данные International Energy Agency, расчеты НИУ ВШЭ.

Данные Международного энергетического агентства и рисунок 1.8 подтверждают, что в Китае суточные объемы выбросов углекислого газа в условиях окончания эпидемии и снятия различных ограничительных мер уже вернулись к значениям начала 2020 года.

Существуют также другие оценки сокращения выбросов углекислого газа в результате ограничительных мер и снижения темпов экономики. В исследовании “COVID-19 causes record decline in global CO₂ emissions”²⁸, представленном Zhu Liu, Zhu Den и группой других ученых, проведен анализ данных о фактических выбросах (от выработки электроэнергии (для 29 стран), промышленности (для 73 стран), автомобильного транспорта (для 132 стран), авиации и морских перевозок, отопления коммерческого и жилого секторов (для 206 стран)), который демонстрирует снижение выбросов углекислого газа в 541,9 млн т CO₂ (в период с января по март 2020 года):

- наибольшая доля сокращений выбросов обусловлена снижением активности в промышленности на 157,9 млн т CO₂ (7,1%) по сравнению с 2019 годом;
- в автомобильном транспорте — на 145,7 млн т CO₂ (8,3%);
- в производстве электроэнергии — на 131,6 млн т CO₂ (3,8%);
- в жилом секторе — на 47,8 млн т CO₂ (3,6%);
- в рыболовстве и морском транспорте — на 35,5 млн т CO₂ (13,3%);
- в авиации — на 33,4 млн т CO₂ (8,0%).

По данным, приведенным в исследовании, в большинстве стран снижение выбросов стало наблюдаться в конце февраля — начале марта, с момента введения ограничительных мер. В таблице 1.3 представлены значения снижения объемов выбросов по странам и сферам деятельности.

Как видно из таблицы 1.3, оценка снижения выбросов углекислого газа в целом соответствует предложенной Международным энергетическим агентством и ICOS. При сохранении текущей динамики сокращения выбросов, при введении ограничительных мер, можно ожидать,

²⁸ Zhu Liu et al. COVID-19 causes record decline in global CO2 emissions <<https://arxiv.org/abs/2004.13614>>.

Таблица 1.3

Оценка сокращения выбросов углекислого газа в первом квартале 2020 года²⁹ (млн т CO₂)

	ТЭК	Транспорт	Промышленность	Домохозяйства	Итого	Изменения (%)
Мир	-131,6	-135,7	-157,9	-47,8	-473	-5,50
Китай	-76,2	-81,7	-90,2	-11,4	-259,5	-10,30
Индия	3,0	-4,8	-15,5	7,0	-10,4	-1,60
США	-21,7	-6,5	-4,9	-19,1	-52,3	-4,20
ЕС и Великобритания	-8,5	-13,8	-6,4	-9,2	-38	-4,3
Россия	-4,5	0,0	0,4	-8,5	-12,6	-3,0
Япония	-4,0	-0,4	-6,1	-2,8	-13,2	-4,3
Бразилия	-0,2	-2,8	-1,3	0,0	-4,4	-4,1
Остальные страны	-19,6	-25,6	-33,8	-3,7	-82,7	-3,3
Темпы изменений	-3,8%	-8,3%	-7,1%	-3,6%	-5,5%	
Авиация					-33,4	-8,0
Морской транспорт					-35,5	-13,3
Итого					-541,9	-5,8

Источник: данные [Zhu Liu et al].

что годовое сокращение выбросов составит 2 164 млн т CO₂ (по данным IEA и ICOS, годовое сокращение выбросов составит 2 450 млн т CO₂).

Последствия ограничительных мер и общее влияние пандемии коронавирусной инфекции, вероятно, будут оказывать влияние на сокращение выбросов загрязняющих веществ и снижение темпов роста объемов выбросов углекислого газа еще несколько лет.

1.2. Концентрация иных веществ

Под иными веществами в данном подразделе понимаются:

- Диоксид азота NO₂ — содержится в выбросах химической промышленности, транспорта; представляет серьезную опасность для экологии, так как при взаимодействии с водой образует азотную кислоту, содержащуюся в так называемых кислотных дождях. Диоксид азота — токсичное вещество, вызывает раздражение слизистых оболочек.
- Диоксид серы SO₂ — образуется при сжигании угольного топлива, нефти и природного газа, а также при выплавке металлов и производстве серной кислоты. Один из основных газов, загрязняющих атмосферу.
- Озон O₃ — образуется при многих химических реакциях с выделением свободного кислорода, токсичен при воздействии на организм человека.
- Оксид углерода CO (угарный газ) — продукт горения, содержится в выбросах в окружающую среду всех отраслей промышленности, транспорта и других отраслей. Очень токсичен.
- Дисперсные частицы PM_{2,5}, PM₁₀ — любые частицы, размеры которых менее 2,5 мкм и 10 мкм соответственно, образуются в результате различных процессов горения, в особенности — дизельного топлива³⁰.

Существует большое количество материалов, статей, публикаций, посвященных изучению качества воздуха, его влияния на здоровье человека и мониторингу концентраций веществ, за-

²⁹ Там же.

³⁰ Weichenthal et al. Within-city Spatial Variations in Ambient Ultrafine Particle Concentrations and Incident Brain Tumors in Adults <https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2020/03000/Within_city_Spatial_Variations_in_Ambient.4.aspx> (дата обращения 12.05.2020).

грязняющих атмосферу. Аналогично снижению выбросов углекислого газа (за счет снижения темпов роста экономики и введения ограничительных мер) наблюдается также уменьшение концентраций веществ как побочных продуктов, образующихся в процессе деятельности человека.

1.2.1. Диоксид азота

Основной источник диоксида азота — транспорт³¹. Как отмечалось ранее, одной из мер противодействия в большинстве стран являлось ограничение передвижений на авто-, авиа-, морском транспорте. Введение данной меры естественным образом повлияло на снижение концентрации диоксида азота в атмосфере. По отдельным оценкам³², концентрация NO₂ в атмосфере снизилась в среднем на 20–30%.

1) По данным Европейского космического агентства, занимающегося в том числе изучением качества воздуха и мониторингом концентраций загрязняющих веществ в рамках программы Copernicus с помощью спутника Sentinel-5P³³:

- в Европе концентрации NO₂ сократились в период с 13 марта по 13 апреля 2020 года (по сравнению со средними значениями концентрации за март — апрель 2019 года); в Мадриде, Милане и Риме — примерно на 45%, в Париже — на 54%. Снижение концентраций коррелирует с введением жестких карантинных мер по всему континенту^{34, 35} (рисунки 1.9, 1.10);
- в некоторых городах Индии наблюдается снижение уровня NO₂ примерно на 40–50% из-за общенационального карантина³⁶ (рисунок 1.11);
- в Китае зафиксировано сокращение концентрации NO₂ на большей части территории³⁷ примерно на 20–30% (рисунок 1.12);
- аналогичные снижения концентрации NO₂ (40–50%) наблюдались в марте 2020 года в Пакистане³⁸.

2) Данные Европейского агентства по окружающей среде (ЕАОС) подтверждают значительное снижение концентраций загрязняющих веществ в воздухе, в том числе концентраций диоксида азота, в основном из-за сокращения транспортного трафика, особенно в крупных городах, в результате мер противодействия COVID-19³⁹:

- в Милане средняя концентрация NO₂ в период с 1 по 25 марта 2020 года была на 24% ниже, чем в феврале 2020 года. Средняя концентрация NO₂ за неделю с 16 по 22 марта 2020 года была на 21% ниже, чем за аналогичный период 2019 года;
- средняя концентрация NO₂ за неделю с 16 по 22 марта 2020 года в Бергамо была на 47% ниже, чем за аналогичный период 2019 года;
- в Риме средняя концентрация NO₂ в период с 1 по 25 марта 2020 года была на 26–35% ниже, чем за аналогичный период 2019 года;

³¹ He M.Z. et al. Short- and intermediate-term exposure to NO₂ and mortality: a multi-county analysis in China // Environ. Pollut. <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114165>> (дата обращения 15.05.2020).

³² COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323378>> (дата обращения 15.05.2020).

³³ Sentinel Online <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>> (дата обращения 20.05.2020).

³⁴ Air pollution remains low as Europeans stay at home <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_remains_low_as_Europeans_stay_at_home> (дата обращения 15.05.2020).

³⁵ Coronavirus lockdown leading to drop in pollution across Europe <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Coronavirus_lockdown_leading_to_drop_in_pollution_across_Europe> (дата обращения 15.05.2020).

³⁶ Air pollution drops in India following lockdown <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Air_pollution_drops_in_India_following_lockdown> (дата обращения 15.05.2020).

³⁷ COVID-19: nitrogen dioxide over China <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/COVID-19_nitrogen_dioxide_over_China> (дата обращения 15.05.2020).

³⁸ Air Quality before and after national lockdown during Coronavirus disease (COVID-19) outbreak across Pakistan <<https://energyandcleanair.org/air-quality-before-and-after-national-lockdown-during-coronavirus-disease-covid-19-outbreak-across-pakistan/>> (дата обращения 15.05.2020).

³⁹ Air pollution goes down as Europe takes hard measures to combat coronavirus <<https://www.eea.europa.eu/highlights/air-pollution-goes-down-as>> (дата обращения 15.05.2020).

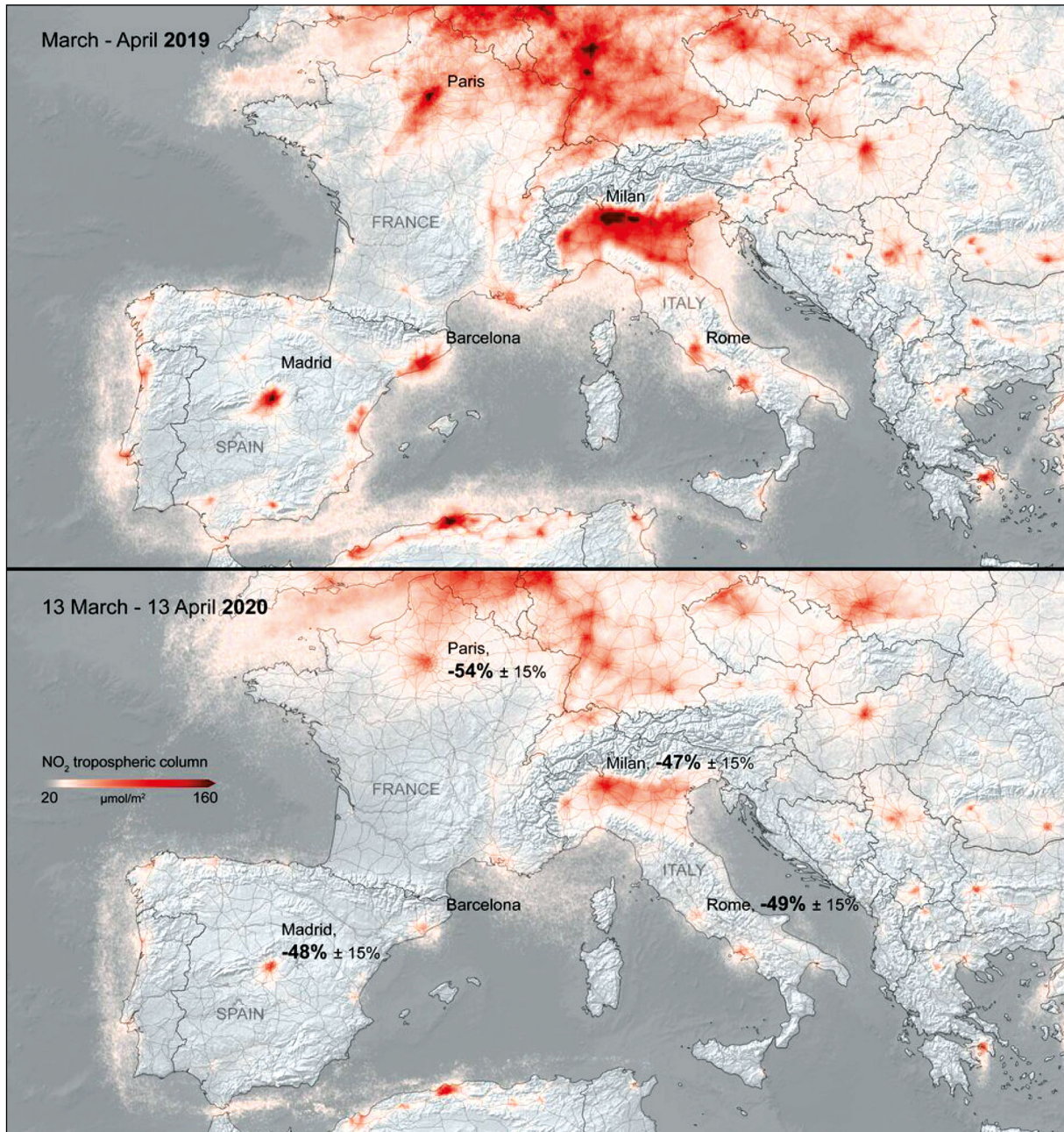


Рис. 1.9. Снижение концентрации NO₂ в Европе

Источник: данные Европейского космического агентства.

- в Барселоне средний уровень NO₂ в период с 1 по 25 марта 2020 года снизился на 40–55%;
- в Мадриде средний уровень NO₂ в период с 1 по 25 марта 2020 года снизился на 56%;
- в Лиссабоне средний уровень NO₂ в период с 1 по 25 марта 2020 года снизился на 40%. По сравнению с тем же периодом 2019 года снижение составило 51%.

3) Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства также зафиксировало существенное снижение концентрации NO₂⁴⁰ (рисунки 1.13, 1.14).

⁴⁰ Airborne Nitrogen Dioxide Plummets Over China <<https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>> (дата обращения 25.05.2020).

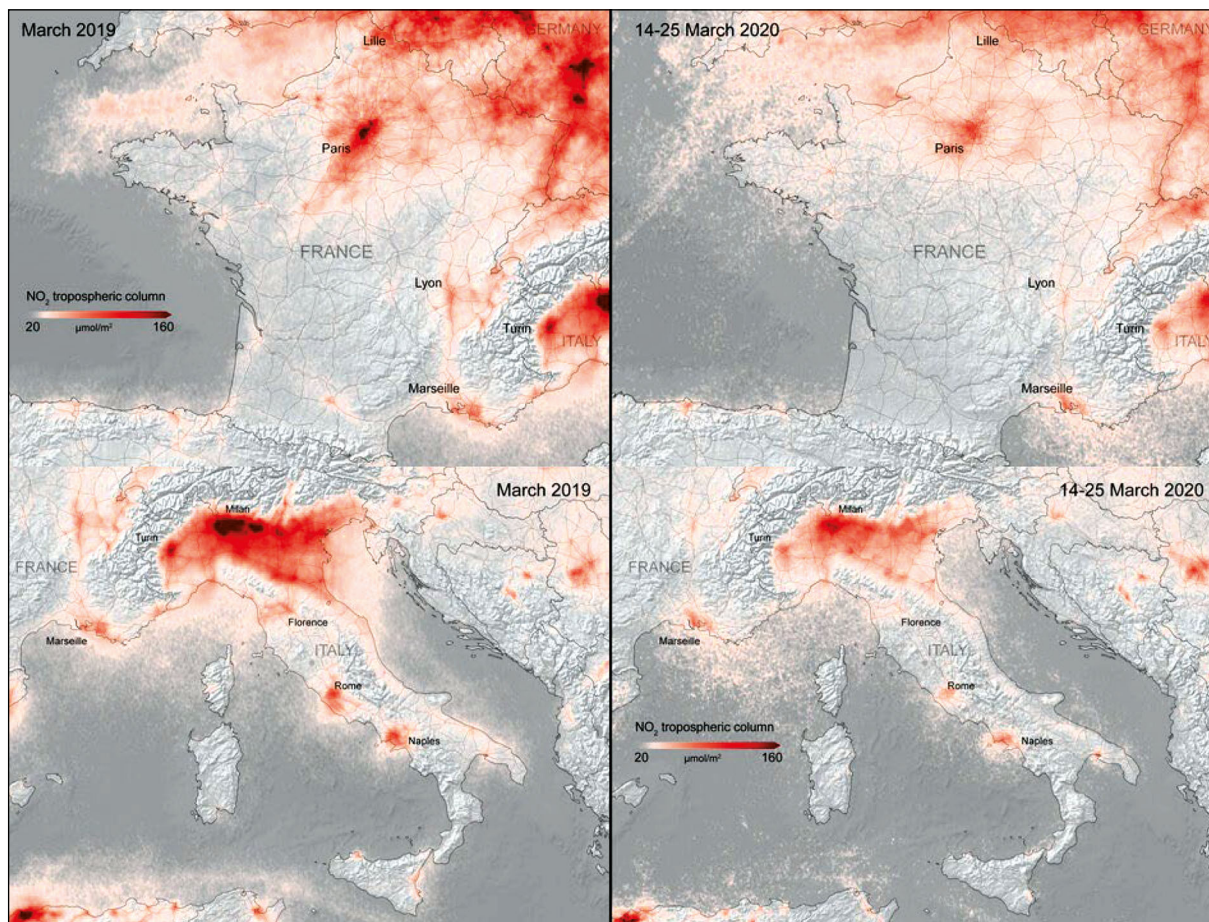


Рис. 1.10. Снижение концентрации NO_2 в Италии и Франции

Источник: данные Европейского космического агентства.

4) Основываясь на данных о средних значениях концентраций за неделю Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой^{41, 42} (Eionet), можно сделать вывод, что в ряде крупных городов ЕС концентрация NO_2 снизилась в среднем на 31% (от 6,8 до 56,2%).

В таблице 1.4 представлена информация⁴³ о снижении концентрации диоксида азота за период январь — май 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года. Снижение было рассчитано как отношение разницы медианных значений концентраций за период январь — май 2020 года и аналогичный период 2019 года. Расчет проводился на основе данных и значений концентрации для 965 населенных пунктов в пяти странах (всего в базе данных Eionet представлены значения концентрации диоксида азота и ультрадисперсных частиц для 31 страны Европы).

В таблице 1.5 представлена информация об изменении средней недельной концентрации NO_2 в некоторых городах и странах ЕС за период январь — май 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года. Положительные значения в ячейках таблицы означают, что за определенную неделю средняя концентрация увеличилась.

⁴¹ Monitoring Covid-19 impacts on air pollution <<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-and-covid19/monitoring-covid-19-impacts-on>> (дата обращения 25.05.2020).

⁴² Download service for E1a and E2a data <<https://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm>> (дата обращения 25.05.2020).

⁴³ Собственные расчеты НИУ ВШЭ.

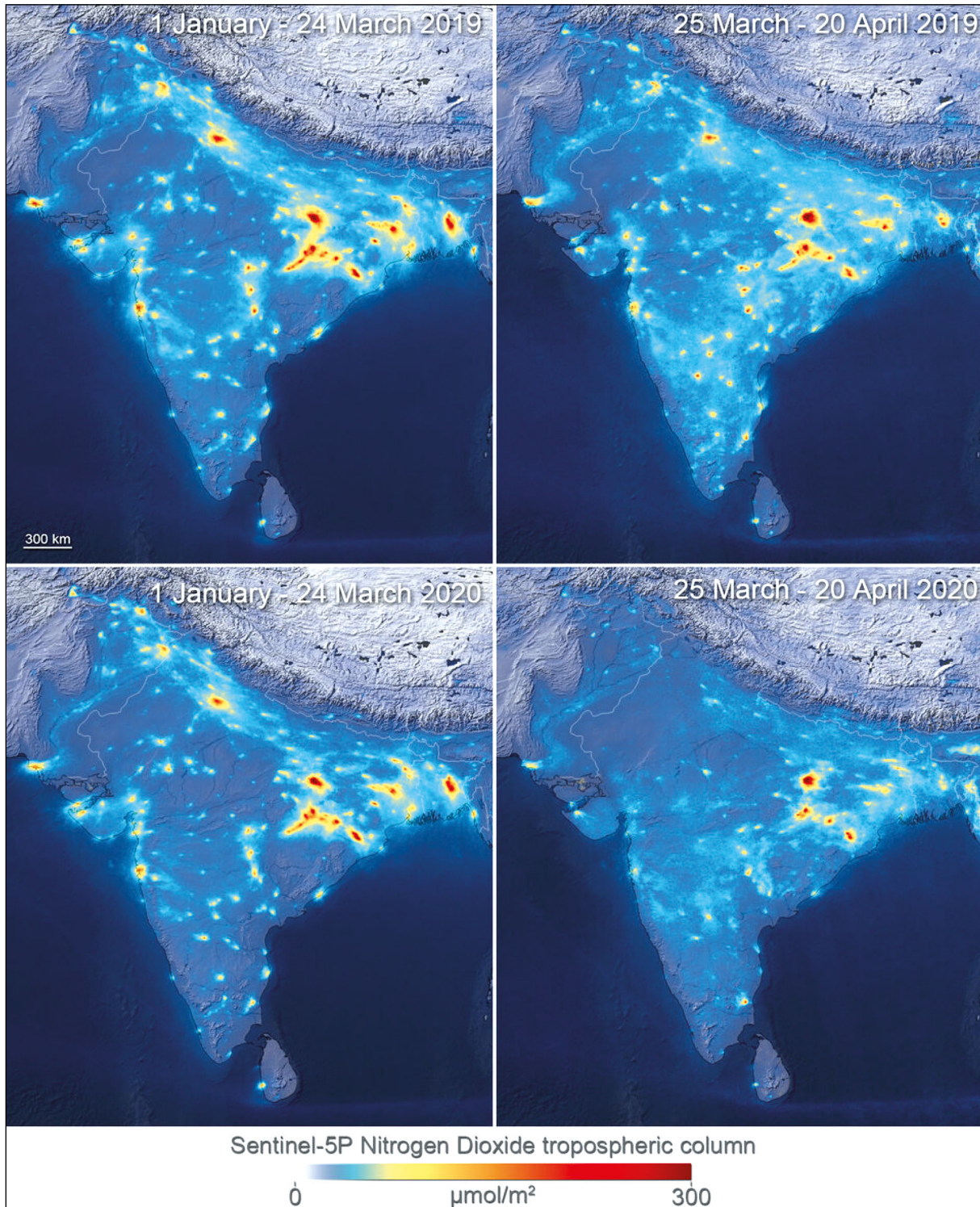


Рис. 1.11. Снижение концентрации NO₂ в Индии

Источник: данные Европейского космического агентства.

На рисунках 1.15–1.19 представлена динамика концентрации диоксида азота в некоторых крупных городах ЕС, основанная на расчетах Института экологии и Института государственного и муниципального управления НИУ ВШЭ по данным Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой. На графиках дополнительно нанесены даты начала введения

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

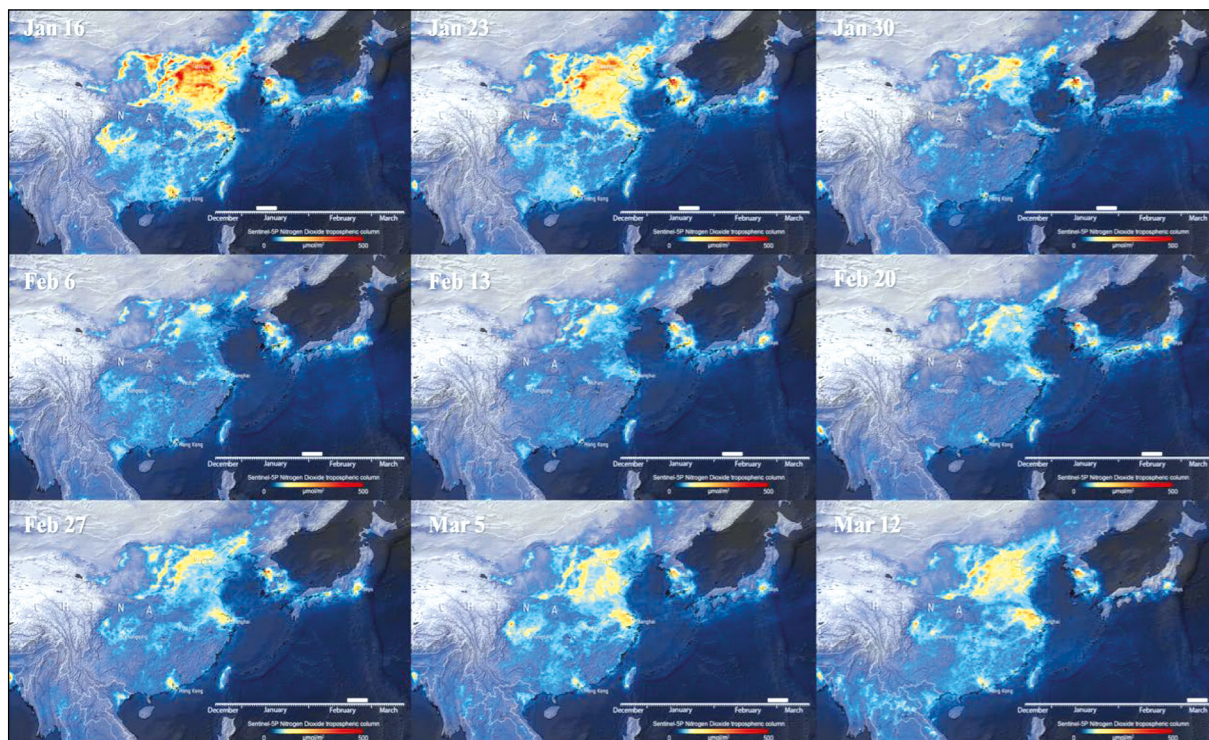


Рис. 1.12. Снижение концентрации NO_2 в Китае
Источник: данные Европейского космического агентства.

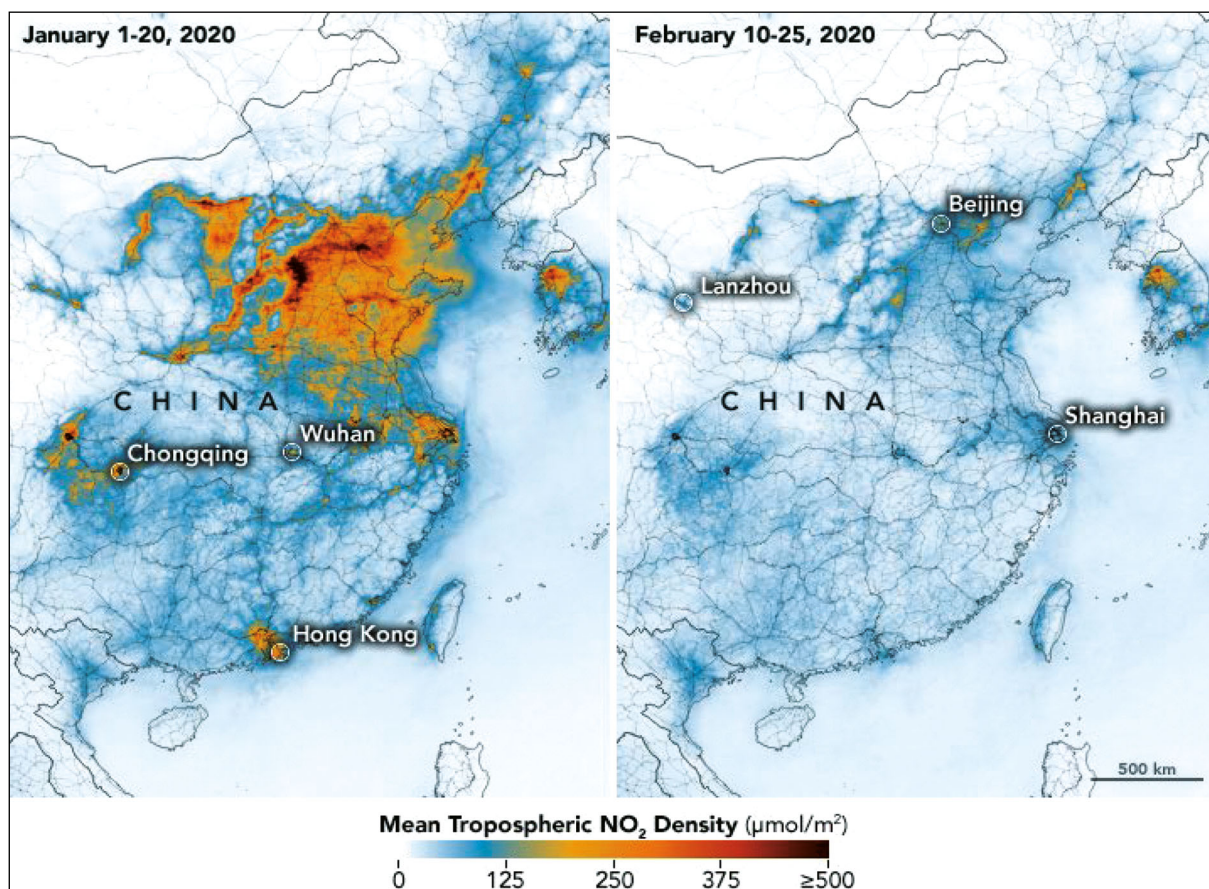


Рис. 1.13. Изменение концентрации NO_2 в северной части Китая до и после введения ограничительных мер
Источник: данные Национального управления по авиации и исследованию космического пространства.

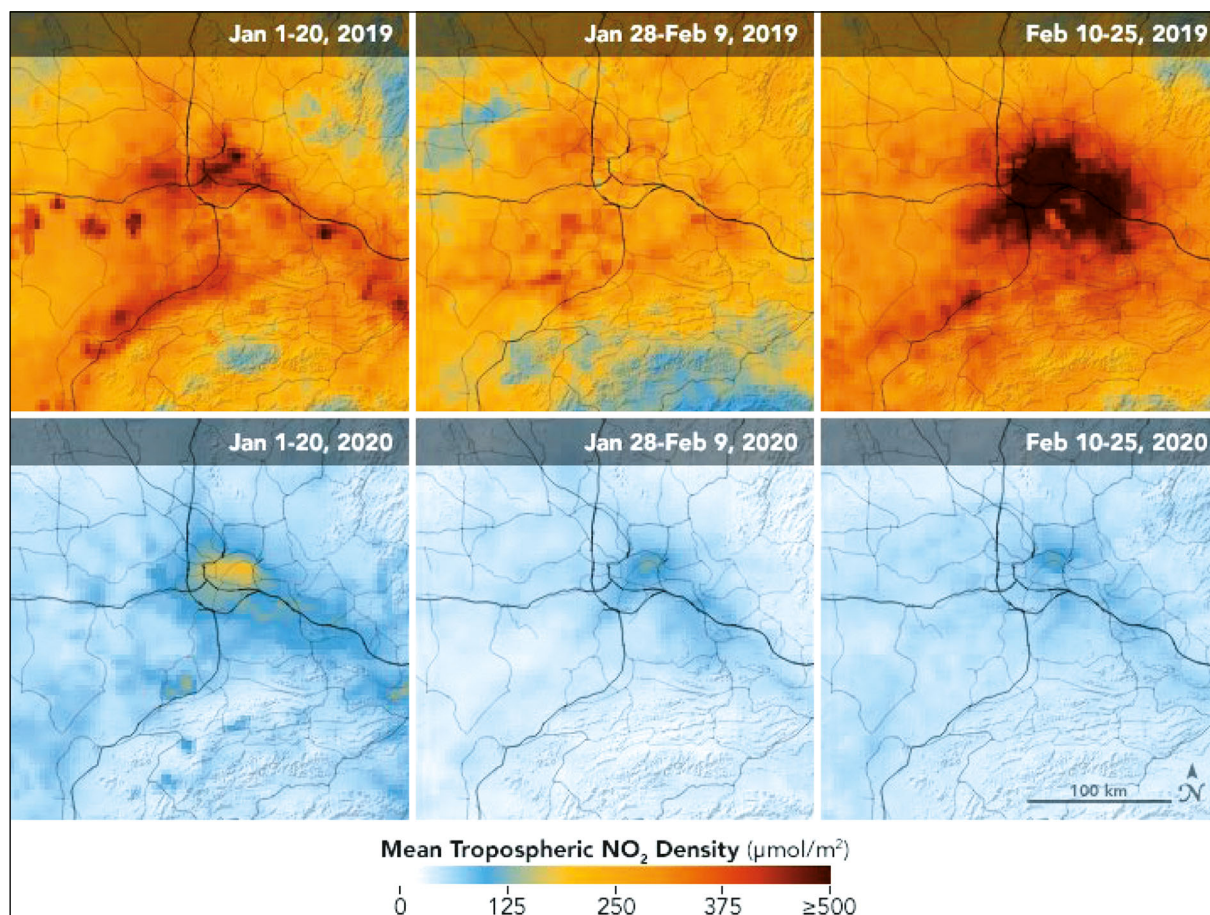


Рис. 1.14. Изменение концентрации NO₂ в 2019 и 2020 гг. в г. Ухань до китайского Нового года, во время праздника и через неделю после праздника

Источник: данные Национального управления по авиации и исследованию космического пространства.

ограничительных мер в отдельных странах. Информация о начале введения ограничительных мер взята из доклада НИУ ВШЭ «Рывок или фальстарт? Выход из карантина по коронавирусу весной 2020 года (опыт 30 стран)»⁴⁴, представленного в рамках XXI Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества.

Из таблицы 1.5 и рисунков 1.15–1.19 видно, что наибольшее уменьшение концентрации диоксида азота зафиксировано Европейским агентством окружающей среды начиная со второй половины февраля 2020 года.

5) Данные⁴⁵ Copernicus Atmosphere Monitoring Service⁴⁶ (Служба мониторинга атмосферы Коперника, Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, Европейского космического агентства) также подтверждают результаты других наблюдений о сокращении концентраций диоксида азота в атмосфере. На рисунках 1.20–1.24 представлена информация о динамике концентрации NO₂ в различных городах ЕС в первые пять месяцев 2019–2020 гг. на основании расчетов, проведенных Институтом экологии НИУ ВШЭ по данным Службы мониторинга атмосферы Коперника.

⁴⁴ Доклады конференции <<https://conf.hse.ru/2020/papers>> (дата обращения 25.05.2020).

⁴⁵ Repository for latest CAMS European air quality analyses <<https://github.com/CopernicusAtmosphere/air-quality-covid19-response>> (дата обращения 29.05.2020).

⁴⁶ European Air Quality information in support of the COVID-19 crisis <<https://atmosphere.copernicus.eu/european-air-quality-information-support-covid-19-crisis>> (дата обращения 29.05.2020).

Таблица 1.4

Снижение концентрации NO₂ в ряде стран и крупных городов ЕС (%)

Страна	Снижение концентрации январь – май (%)	Город	Снижение концентрации январь – май (%)
Германия	19,0	Берлин	6,8
		Гамбург	9,3
		Мюнхен	14,4
		Дортмунд	23,0
		Дюссельдорф	23,1
Великобритания	26,0	Лондон	28,1
		Манчестер	29,5
		Марсель	28,7
Франция	30,2	Париж	33,7
		Лион	33,9
Италия	23,7	Милан	30,2
		Турин	39,2
		Рим	47,4
Испания	28,1	Мадрид	45,3
		Барселона	49,0
		Валенсия	56,2

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

В целом в вышеуказанных городах суточная концентрация диоксида азота в 2020 году в среднем была ниже, чем в 2019 году (Лондон, Мюнхен, Барселона), или снизилась в середине марта 2020 года (Париж, Милан) после введения различных ограничительных мер противодействия коронавирусной инфекции.

б) Европейский альянс общественного здравоохранения (ЕРНА, European Public Health Alliance) проводит мониторинг влияния качества воздуха на заболеваемость, в том числе на заболеваемость коронавирусной инфекцией. На основе данных Европейского космического агентства специалисты ЕРНА подготовили ряд публикаций об улучшении качества воздуха и снижении выбросов вредных веществ в атмосферу^{47, 48}. На рисунках 1.25–1.34 представлена информация о снижении концентрации диоксида азота в атмосфере в разных странах.

Вся информация о снижении концентрации диоксида азота в атмосфере в разных странах мира выложена в свободном доступе по ссылке https://drive.google.com/drive/folders/1Dlj4kCGMX5NBdeO9AY3_wq-Ick5PCJdd.

1.2.2. Ультрадисперсные частицы

Ультрадисперсные частицы, образующиеся в результате различных процессов горения, в особенности дизельного топлива, — тоже одни из основных «загрязнителей» атмосферного воздуха, напрямую влияющие на его качество и на здоровье человека. Концентрация ультра-

⁴⁷ Air pollution clears in cities globally — new maps <<https://epha.org/air-pollution-clears-in-cities-globally-maps/>> (дата обращения 20.05.2020).

⁴⁸ COVID-19 lockdown measures and air quality <<https://epha.org/covid-19-lockdown-measures-and-air-quality/>> (дата обращения 20.05.2020).

Таблица 1.5

Изменения средней недельной концентрации NO₂ (неделя 2020 года к неделе 2019 года) (мкг/м³)

Город	4-я неделя января	1-я неделя февраля	2-я неделя февраля	3-я неделя февраля	4-я неделя февраля	1-я неделя марта	2-я неделя марта	3-я неделя марта	4-я неделя марта	1-я неделя апреля	2-я неделя апреля	3-я неделя апреля	4-я неделя апреля	1-я неделя мая	2-я неделя мая	3-я неделя мая	4-я неделя мая
Лион	4,1	-21,8	-37,5	-9,0	-38,5	-14,5	-16,4	-22,1	-22,8	-30,5	-4,3	-27,7	-7,6	-8,2	-10,2	-8,2	-8,2
Марсель	19,5	-19,2	-20,9	-22,9	-16,4	-8,2	-1,8	-24	-24,6	-15,4	-7,8	-14,4	8,7	-11,1	-7,9	-13,8	1,1
Париж	-21,7	2,3	-42,4	-37,6	-22,7	7,8	0,5	-23,9	-29,8	-20,5	-12,6	-30,9	-14,2	-18,7	-10,5	-17,8	-12,3
Берлин	-10,1	-6,1	-21,3	-21,6	-15,0	6,9	2,8	-5,1	-12,4	-7,6	7,1	-9,6	-0,6	1,0	-2,4	-2,0	-2,6
Дортмунд	-28,4	9,0	-35,6	-26,6	-28,1	5,6	-0,3	-16,5	-16,2	-4,1	-1,1	-10,0	-1,4	-10,8	1,5	-8,7	-5,9
Дюссельдорф	-26,5	1,0	-28,4	-23,6	-24,9	7,7	-0,5	-17,3	-24,6	-10,0	3,4	0,5	-4,1	-8,1	-3,9	-8,0	-1,1
Гамбург	-9,9	-3,8	-18,6	-16,8	-16,4	6,4	2,4	-6,9	-6,7	-6,0	5,2	-8,4	-3,7	1,1	-1,4	0,1	2,2
Мюнхен	-27,2	-6,4	-23,8	-18,2	-19,0	7,9	2,6	-15,1	-18,8	-3,6	7,1	-5,2	-6,5	-9,1	-1,7	-4,1	-1,0
Милан	Н. д.	Н. д.	30,7	-1,0	-30,9	-4,9	-0,7	-18,6	-14,8	-12,4	-3,5	-23	-3,9	-13,7	-12,7	-9,8	-0,8
Турин	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.	-41,6	-18,8	-11,1	-23,2	-28,5	-20,2	-12,5	-28	-12,2	-14,1	-7,7	-12,1	-4,7
Рим	Н. д.	Н. д.	-3,7	3,6	-16,7	-14,8	-9,7	-12,3	-24,1	-25,5	-18,1	-27,8	-14,9	-18,2	-10,2	-9,7	-12,6
Барселона	6,0	-4,9	-19,3	-7,0	-24,8	-14,0	-1,0	-26,2	-20,9	-18,8	-18,7	-6,8	-9,8	-16	-12,4	-15,9	-6,2
Мадрид	2,5	-10,7	-5,5	-7,7	-26,0	-10,6	0,2	-15,2	-17,5	-14,4	-20,1	-7,6	-15,3	-13,8	-7,9	-15,4	-4,4
Валенсия	11,9	-12,9	-11,5	-16,8	-26,8	-17,3	-10,8	-17,5	-18,8	-16,0	-13,6	-4,1	-10,5	-11	-5,6	-8,3	-1,0
Манчестер	-17,4	4,4	-11,7	-14,6	-22,9	13,0	2,1	-7,6	-7,7	-10,5	-2,0	-14,1	-7,7	-11,2	-6,8	-6,4	-2,5
Лондон	-12,9	3,3	-27,2	-18,8	-21,2	14,2	-0,3	-10,5	-18,6	-8,5	3,6	-23,2	-14,2	-13,2	-2,4	-14,5	-9,8

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
 НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

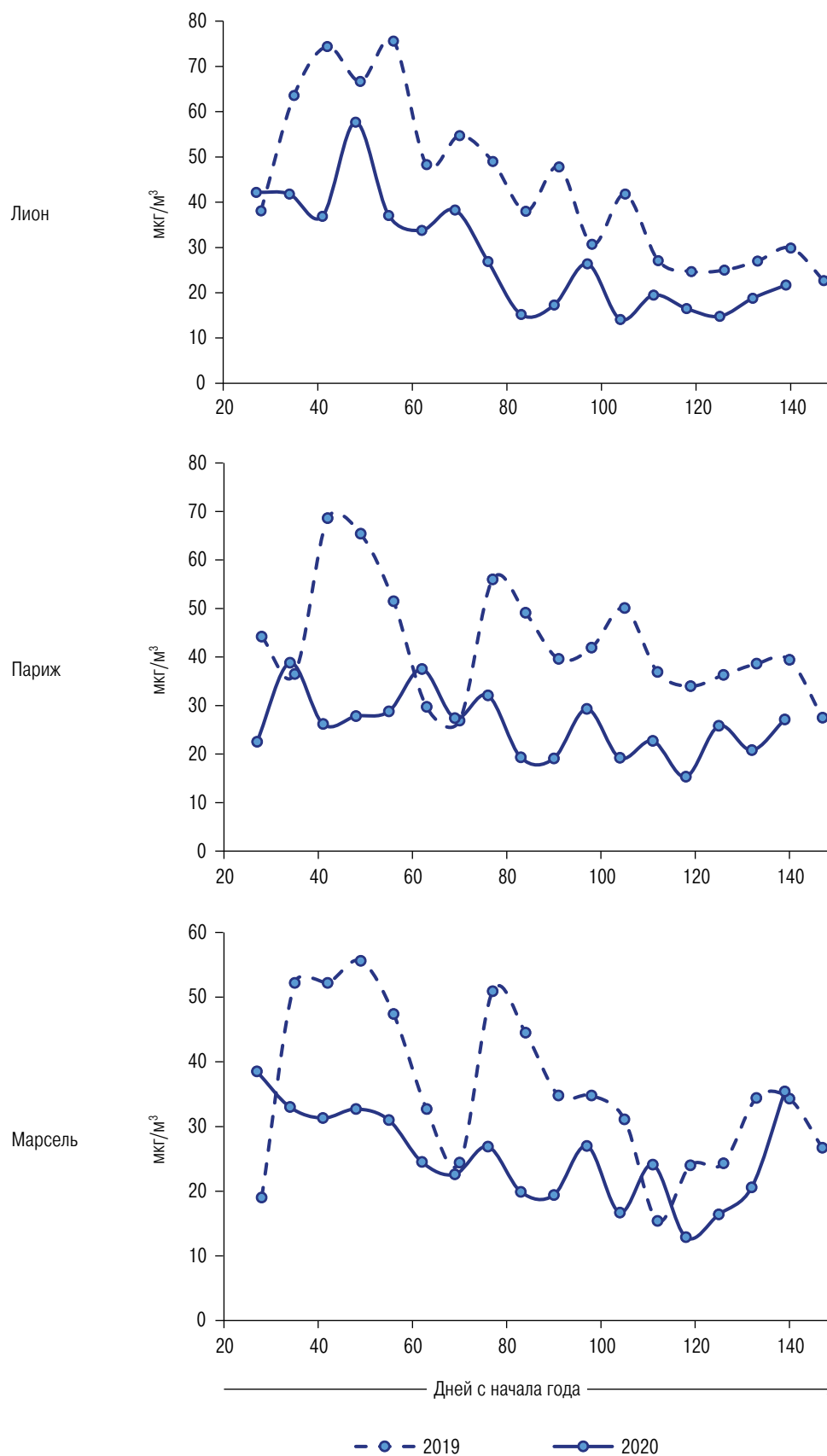


Рис. 1.15. Динамика концентрации NO₂ в городах Франции (17 марта 2020 года – начало введения ограничительных мер)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

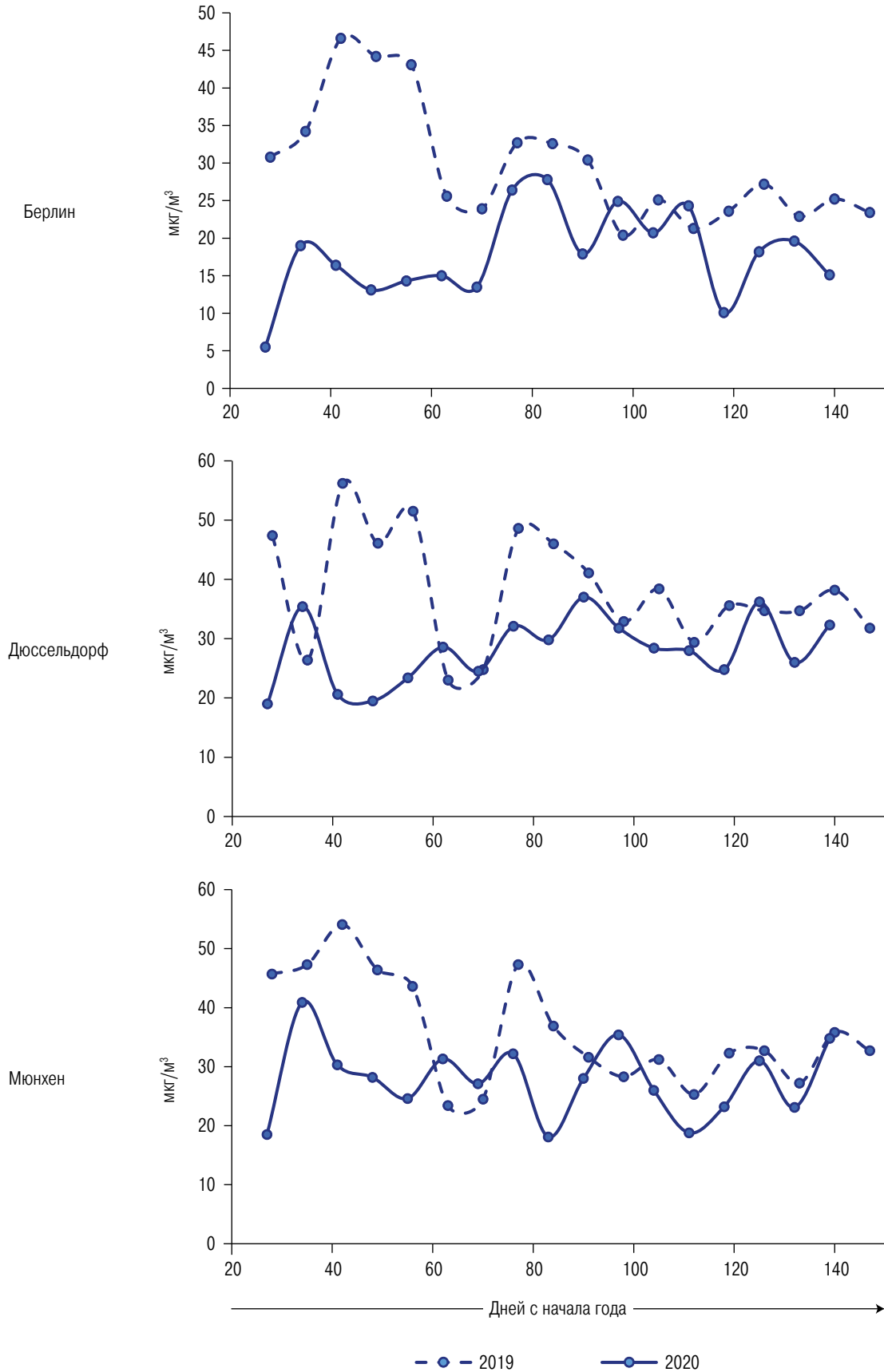


Рис. 1.16. Динамика концентрации NO₂ в городах Германии (13 марта 2020 года – начало введения ограничительных мер)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

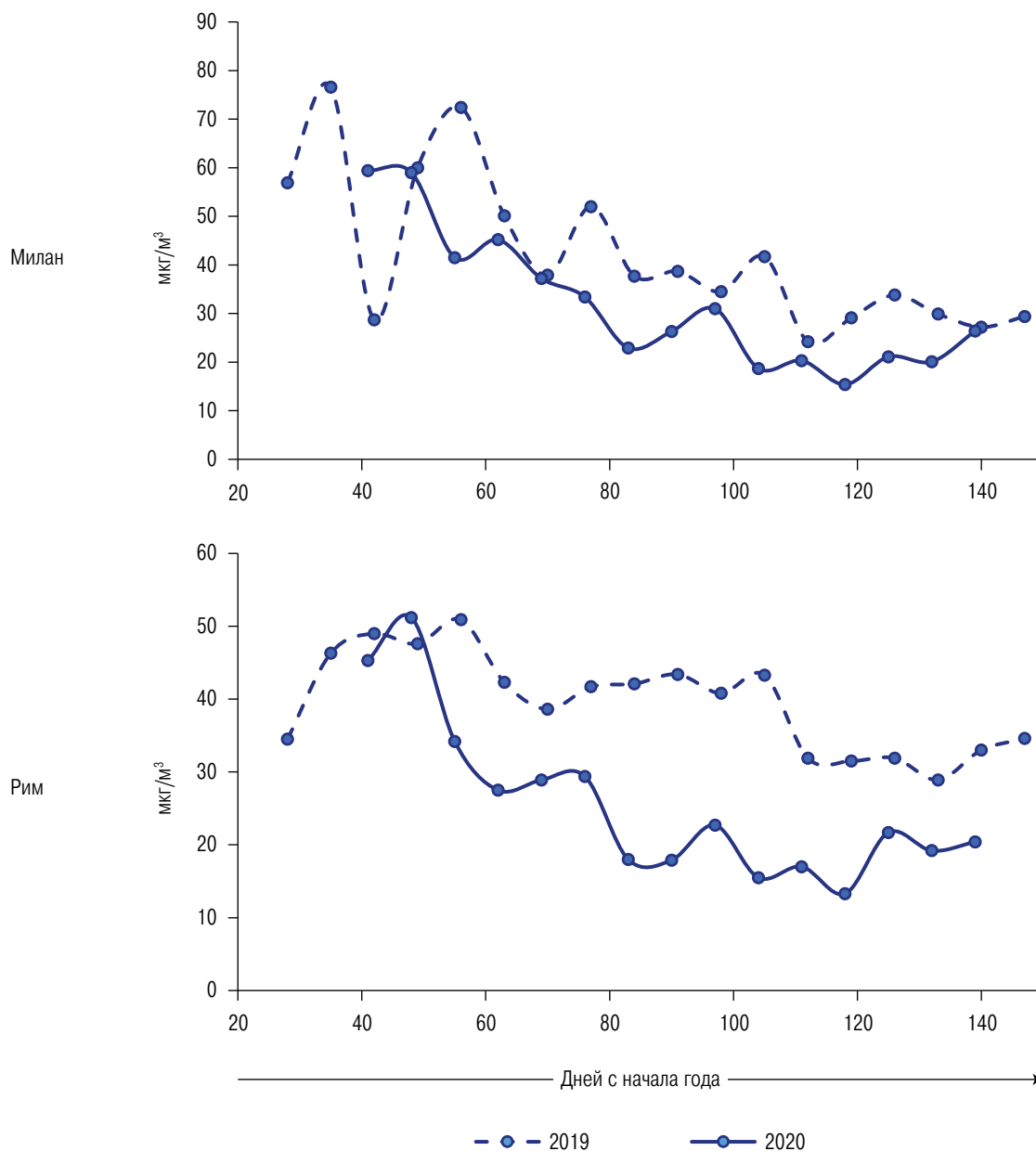


Рис. 1.17. Динамика концентрации NO₂ в городах Италии (9 марта 2020 года – начало введения ограничительных мер)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

дисперсных частиц варьируется в разных странах в зависимости от местных метеорологических условий. Уже выявлена зависимость вероятности передачи и роста заболеваемости коронавирусной инфекцией от уровня загрязнения атмосферного воздуха, в том числе из-за повышенной концентрации ультрадисперсных частиц⁴⁹.

При проведении различных исследований во время эпидемии коронавирусной инфекции было выявлено снижение концентраций ультрадисперсных частиц (а также NO₂, O₃, CO), а именно:

⁴⁹ Wang J., Du G. (2020) COVID-19 may transmit through aerosol // Ir J Med Sci <<https://doi.org/10.1007/s11845-020-02218-2>> (дата обращения 25.05.2020).

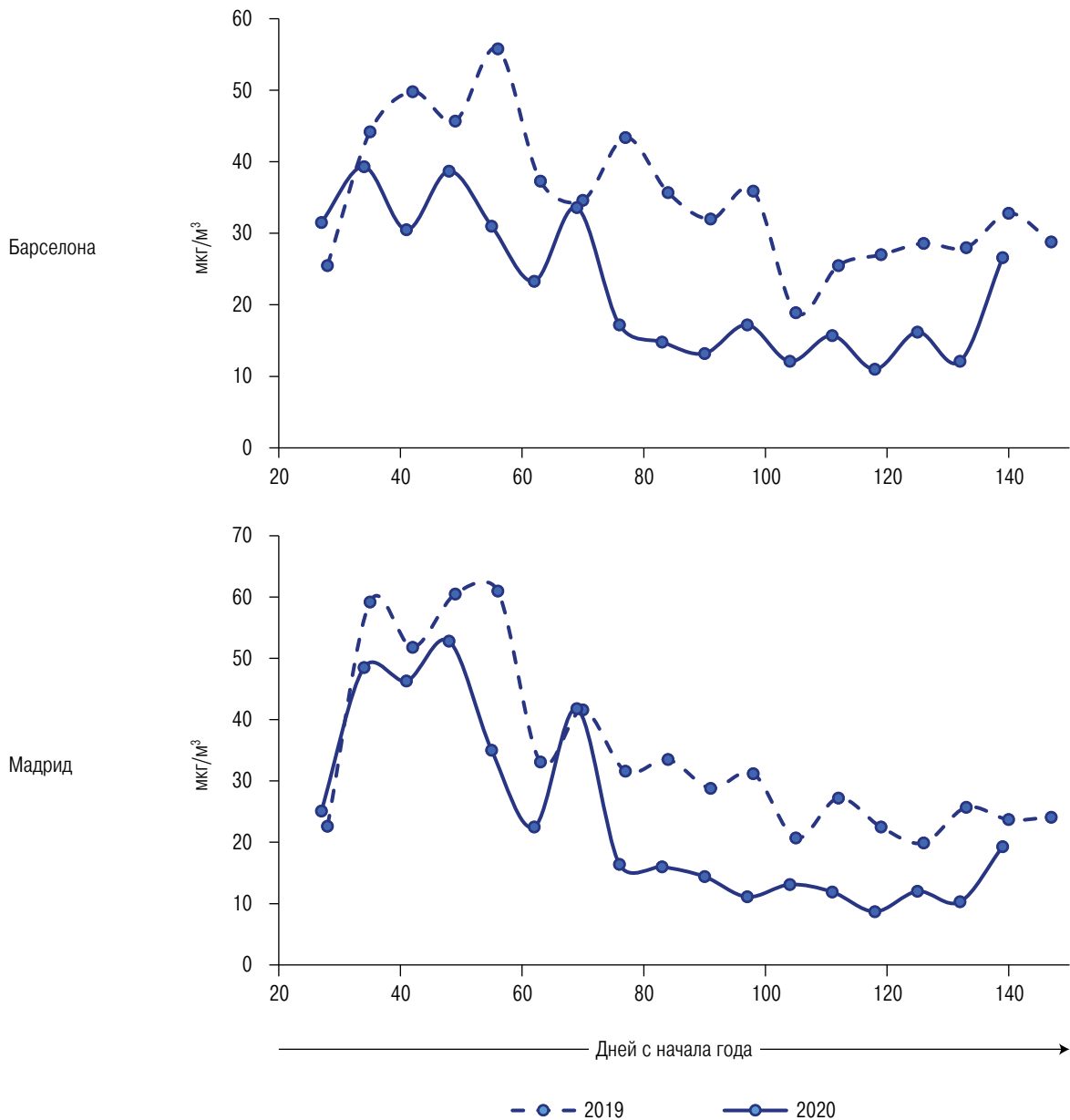


Рис. 1.18. Динамика концентрации NO₂ в городах Испании (7–13 марта 2020 года – начало введения ограничительных мер)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

- в Пекине, Шанхае, Гуанчжоу и Ухане обнаружено снижение атмосферного загрязнения, связанное с сокращением выбросов от транспорта и промышленности⁵⁰;
- в Нью-Йорке, Лос-Анджелесе, Сарагосе, Риме, Дубае, Дели, Мумбае, Пекине и Шанхае — из-за внедрения мер противодействия (закрытие производств, ограничения транспорта) и меньшей социальной активности⁵¹;

⁵⁰ Wang P. et al. (2020) Severe air pollution events not avoided by reduced anthropogenic activities during COVID-19 outbreak // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 158 <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104814>> (дата обращения 25.05.2020).

⁵¹ Chauhan A., Singh R.P. Decline in PM_{2.5} Concentrations over Major Cities Around the World Associated with COVID-19, Environmental Research <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109634>> (дата обращения 25.05.2020).

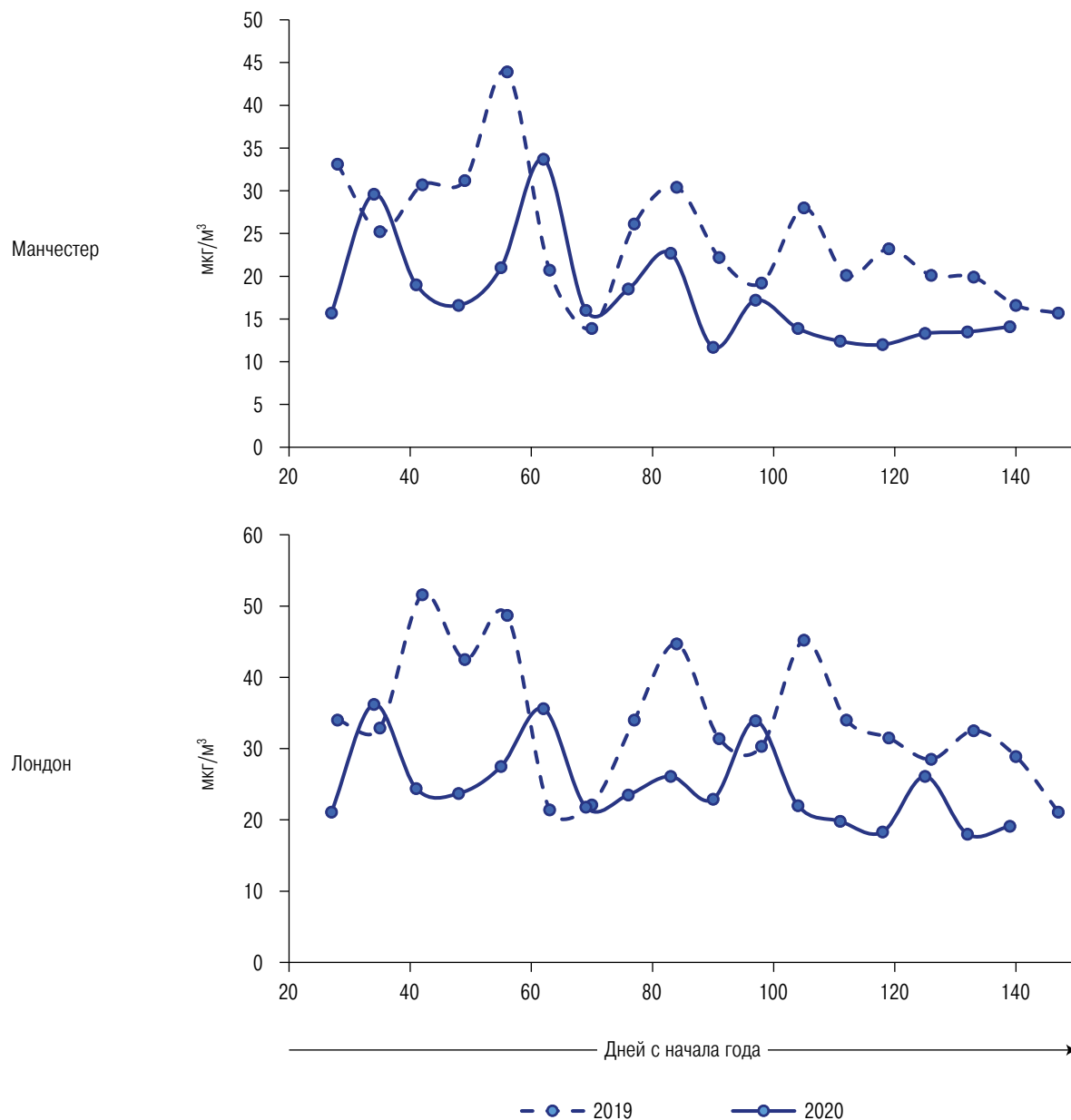


Рис. 1.19. Динамика концентрации NO_2 в городах Великобритании (23 марта 2020 года – начало введения ограничительных мер)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

- в Сан-Паулу⁵² и Рио-де-Жанейро⁵³;
- в других крупных городах и регионах^{54, 55, 56, 57, 58, 59}.

⁵² COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil <<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139087>> (дата обращения 25.05.2020).

⁵³ The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720326024?via%3Dihub>> (дата обращения 25.05.2020).

⁵⁴ Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India <<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138878>> (дата обращения 25.05.2020).

⁵⁵ A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment — A case study of China <<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138915>> (дата обращения 25.05.2020).

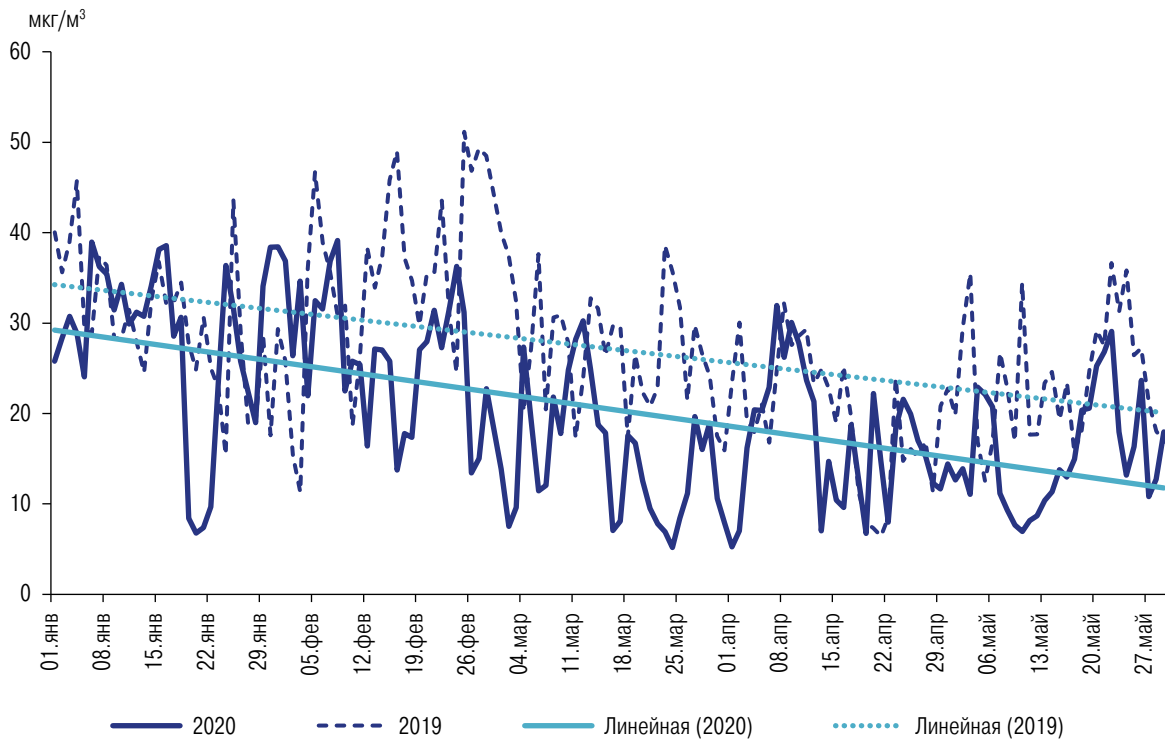


Рис. 1.20. Динамика концентрации NO₂ в Барселоне, Испания

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

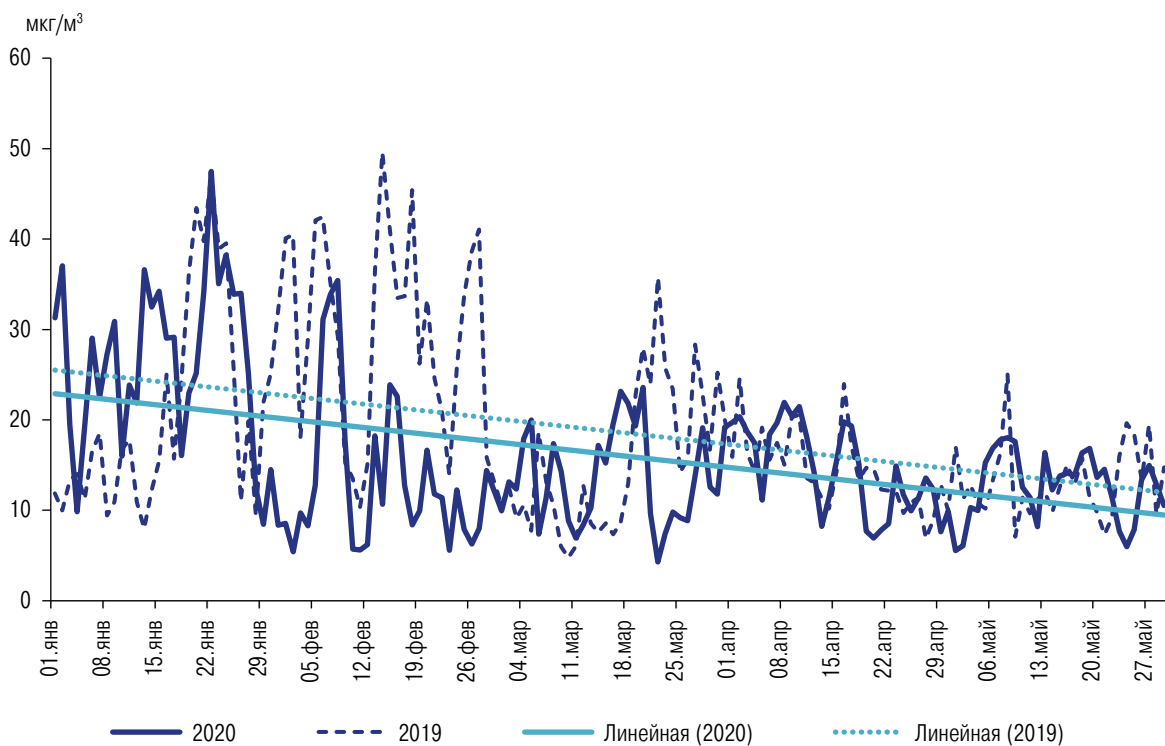


Рис. 1.21. Динамика концентрации NO₂ в Мюнхене, Германия

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

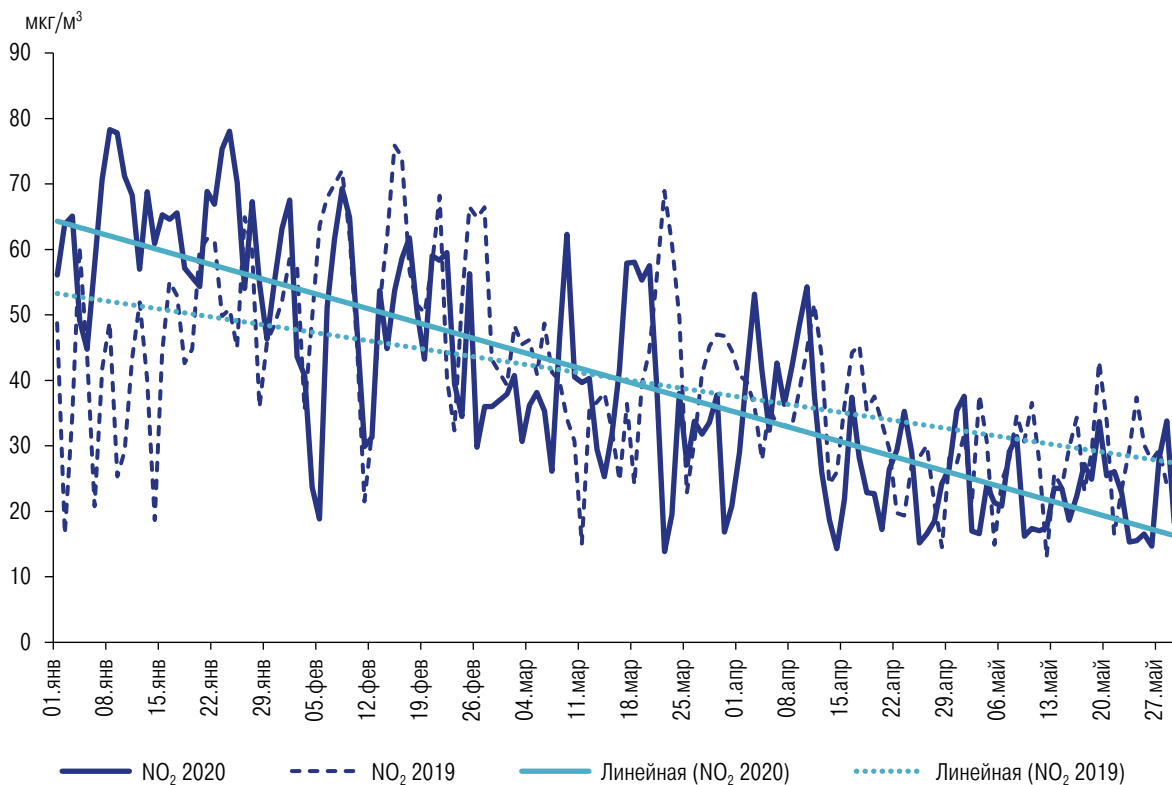


Рис. 1.22. Динамика концентрации NO₂ в Милане, Италия

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

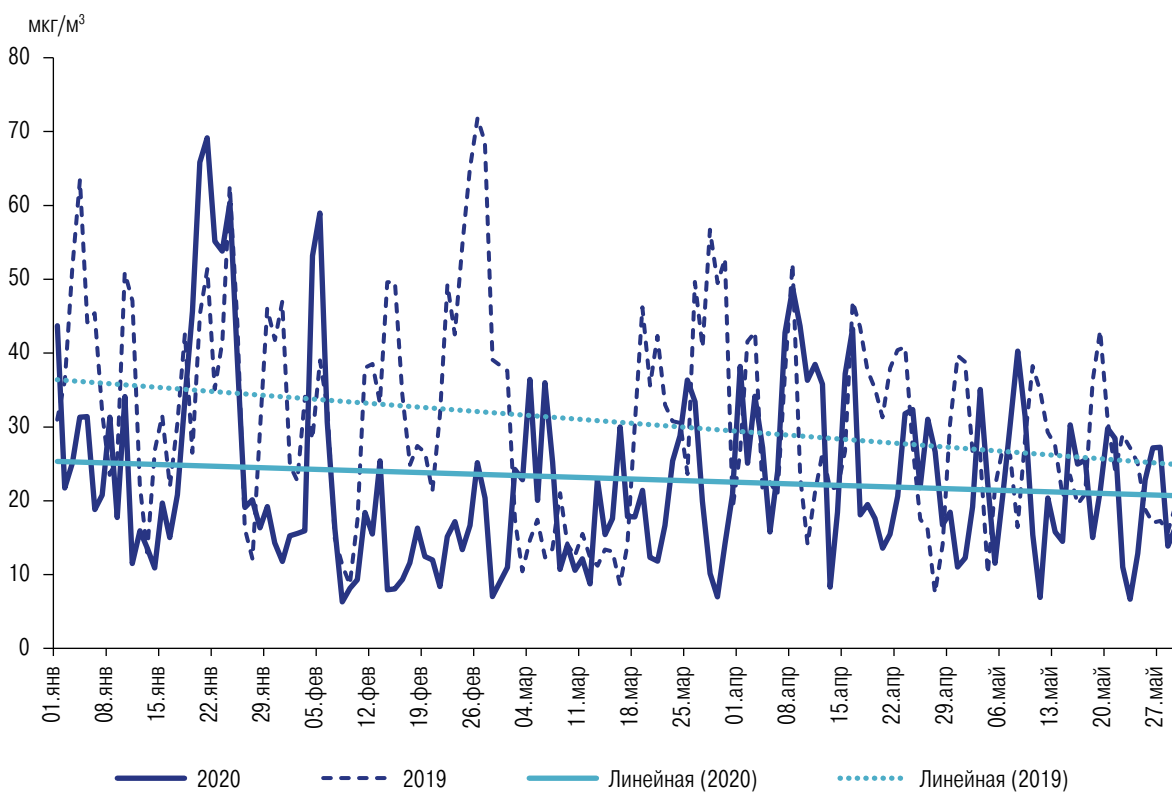


Рис. 1.23. Динамика концентрации NO₂ в Лондоне, Великобритания

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

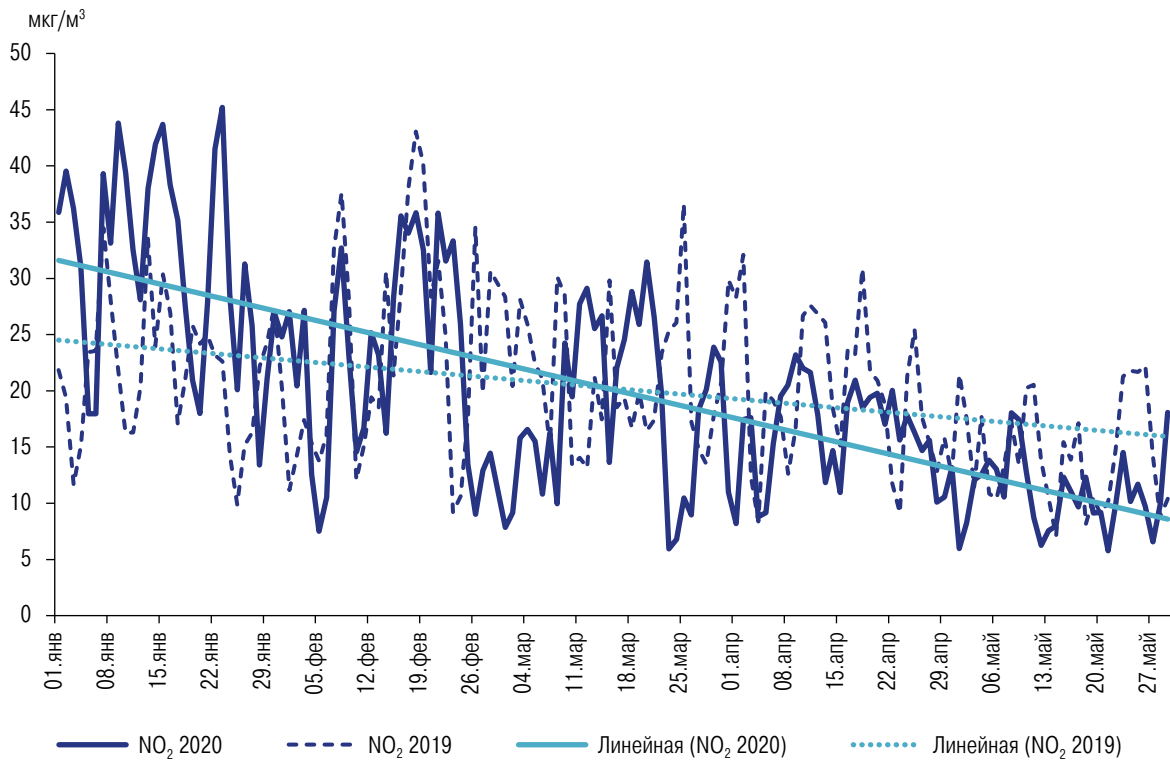


Рис. 1.24. Динамика концентрации NO₂ в Париже, Франция

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

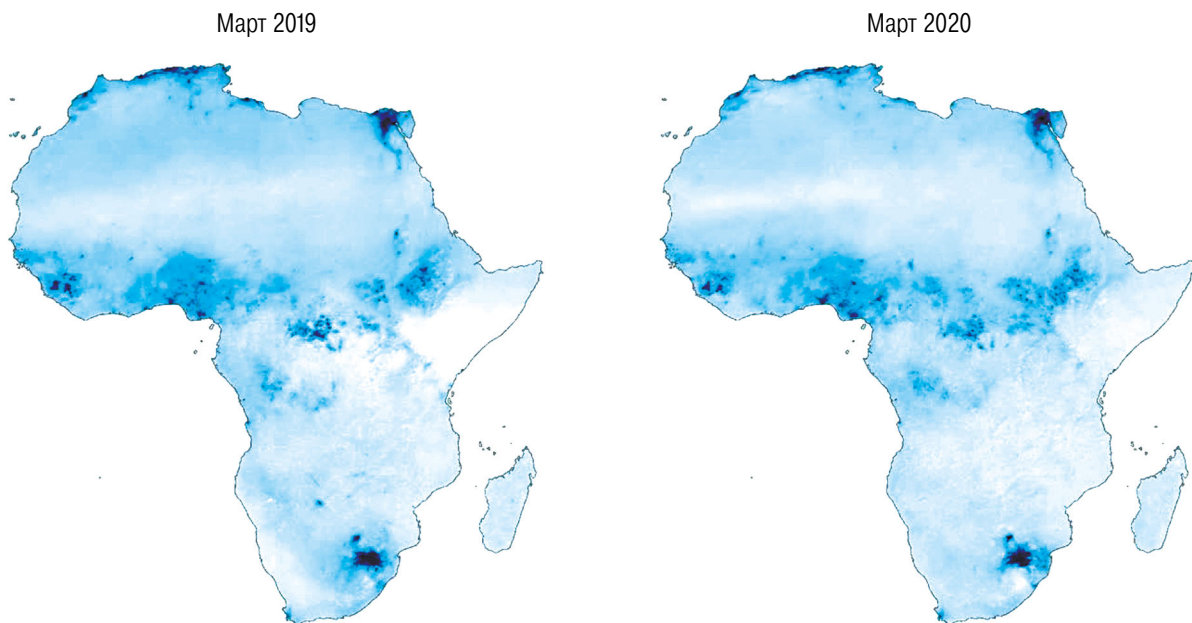


Рис. 1.25. Снижение концентрации NO₂ в Африке

Источник: данные Европейского космического агентства.

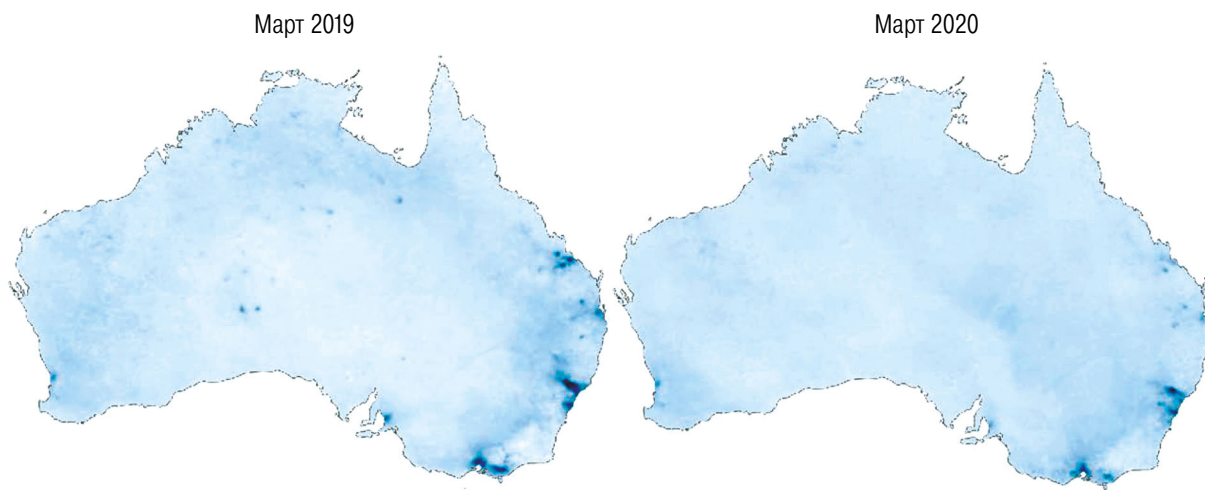


Рис. 1.26. Снижение концентрации NO_2 в Австралии
Источник: данные Европейского космического агентства.

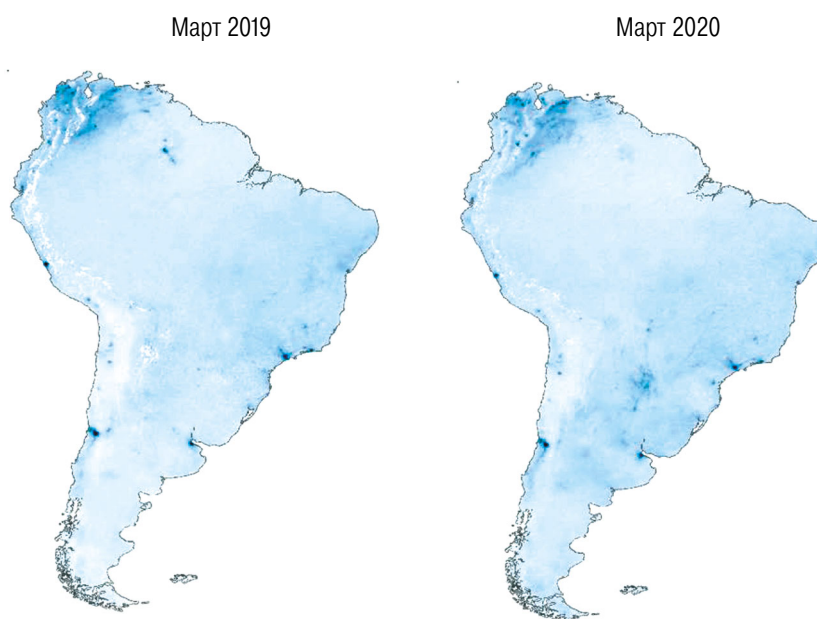


Рис. 1.27. Снижение концентрации NO_2 в Южной Америке
Источник: данные Европейского космического агентства.

⁵⁶ NO_x Emission Reduction and Recovery during COVID-19 in East China <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/4/433?type=check_update&version=3> (дата обращения 25.05.2020).

⁵⁷ Changes in air quality related to the control of coronavirus in China: Implications for traffic and industrial emissions <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139133>> (дата обращения 25.05.2020).

⁵⁸ Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic <<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139022>> (дата обращения 25.05.2020).

⁵⁹ Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality? <<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139280>> (дата обращения 25.05.2020).

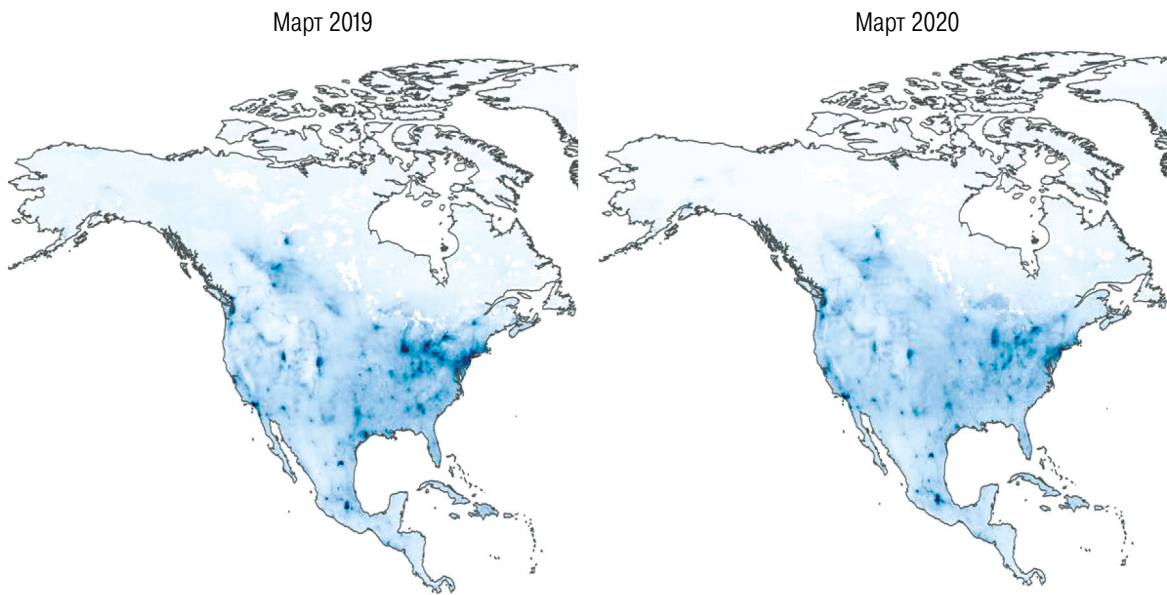


Рис. 1.28. Снижение концентрации NO_2 в Северной Америке

Источник: данные Европейского космического агентства.

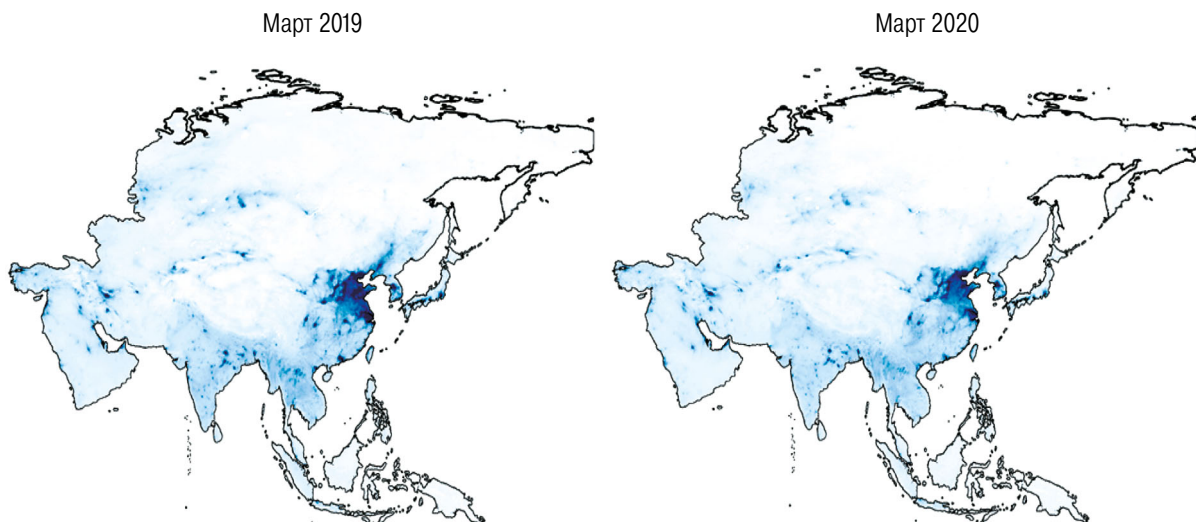


Рис. 1.29. Снижение концентрации NO_2 в Азии

Источник: данные Европейского космического агентства.

1) По данным Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, в ряде крупных городов ЕС в период с конца января по начало марта 2020 года концентрация ультрадисперсных частиц за неделю в среднем снижалась по сравнению с аналогичным периодом 2019 года (особенно в Германии). В остальные периоды наблюдений (январь — май 2020 года) концентрация ультрадисперсных частиц могла как падать, так и существенно возрастать; например, в Италии в начале мая 2020 года концентрация частиц снижалась, но в среднем за весь период наблюдений концентрация PM_{10} возросла в Милане и Риме. В Великобритании концентрация $\text{PM}_{2,5}$ практически не падала по сравнению с 2019 годом, при этом в Лондоне концентрация ультрадисперсных частиц существенно сократилась: PM_{10} — на 41% и $\text{PM}_{2,5}$ — на 44%

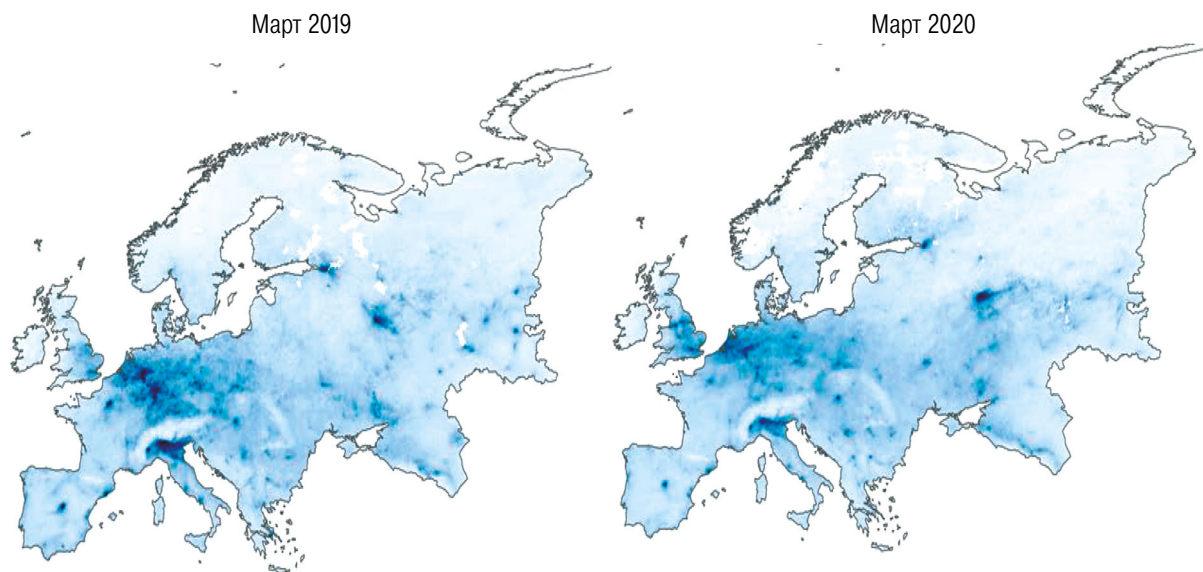


Рис. 1.30. Снижение концентрации NO_2 в Европе

Источник: данные Европейского космического агентства.

соответственно. Как было отмечено в пункте 1.2.1, расчет динамики произведен на данных⁶⁰ и значениях концентрации диоксида азота для 965 населенных пунктов в пяти странах (все в базе данных Eionet представлены значения концентраций диоксида азота и ультрадисперсных частиц для 31 страны Европы).

В таблицах 1.6, 1.7, на рисунках 1.35–1.46 представлена динамика недельных средних концентраций ультрадисперсных частиц PM_{10} и $\text{PM}_{2.5}$ в атмосфере в ряде стран и городов Европы в период с января по май 2020 года и аналогичный период 2019 года.

Как видно из приведенных таблиц и рисунков, в зависимости от периода и места мониторинга за ультрадисперсными частицами их концентрация могла как падать, так и возрастать в относительном выражении (январь — май 2020 года в сравнении с аналогичным периодом 2019 года) и в абсолютных значениях. На рисунках 1.38, 1.39 показана динамика средней концентрации ультрадисперсных частиц в 965 городах пяти стран, а также линейная тренд-линия, характеризующая общее снижение концентрации в 2020 году с января по май.

С другой стороны, на рисунке 1.40 представлена информация о динамике средней концентрации ультрадисперсных частиц в отдельных рассматриваемых странах за аналогичный период 2019 года, которая свидетельствует о том, что концентрация частиц также снижается. Такое ежегодное снижение в период январь — май может быть вызвано сезонными факторами, например, общим снижением потребления энергоносителей в конце отопительного сезона (март — апрель), естественными природными факторами (изменением погодных условий и др.) и глобальным трансграничным переносом⁶¹.

Таким образом, четкую зависимость снижения концентрации ультрадисперсных частиц от внедрения ограничительных мер на основе данных Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой установить не удалось. Можно констатировать следующее: концентрация ультрадисперсных частиц в целом упала в большинстве стран и городах наблюдения в период с конца февраля по начало марта 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года, но практически вернулась на уровень 2019 года в апреле — мае 2020 года.

⁶⁰ Download service for E1a and E2a data <<https://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm>> (дата обращения 25.05.2020).

⁶¹ Трансграничный перенос загрязняющих веществ — распространение загрязняющих веществ с воздушными потоками на большие расстояния — за пределы границ государств, на территории которых находятся источники загрязнения.

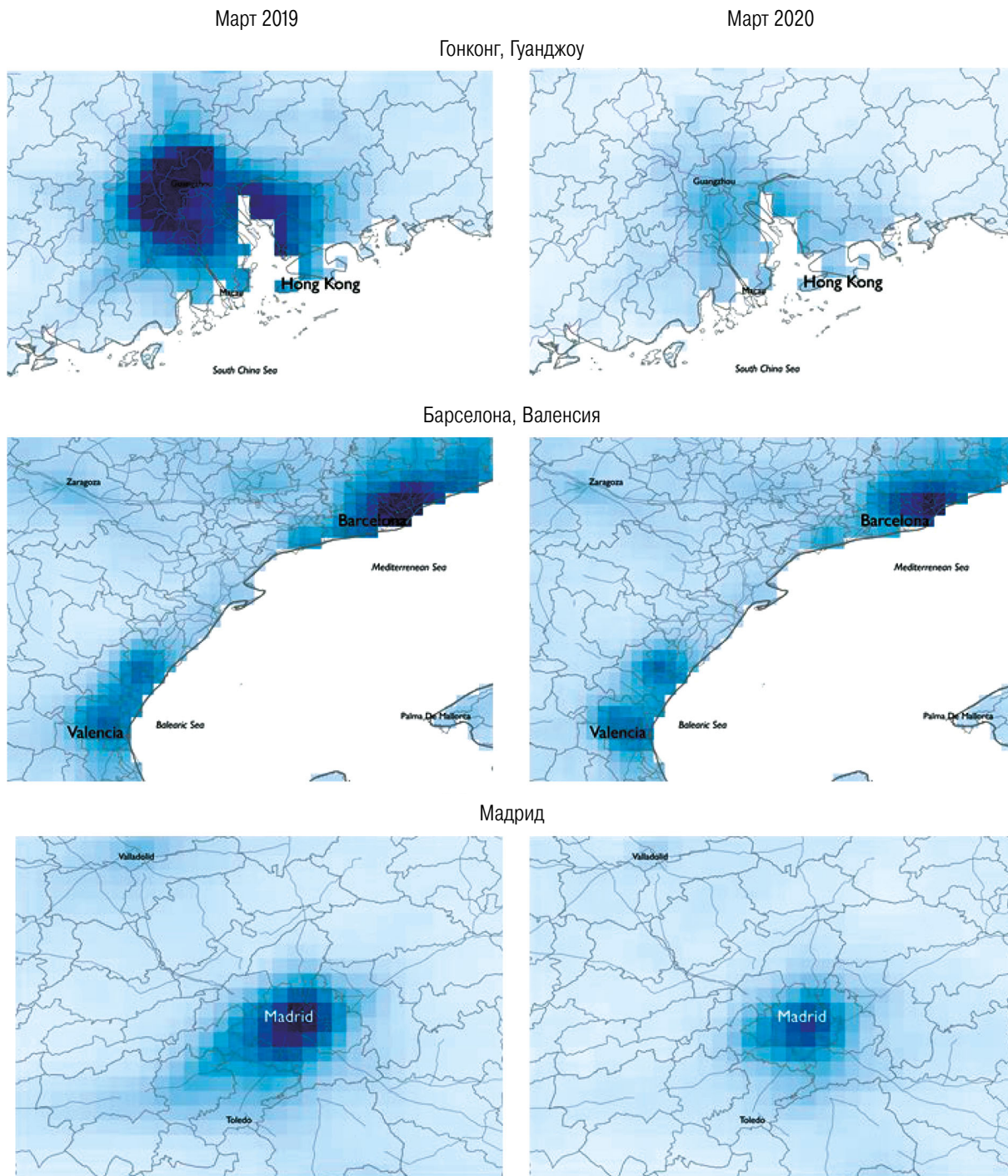


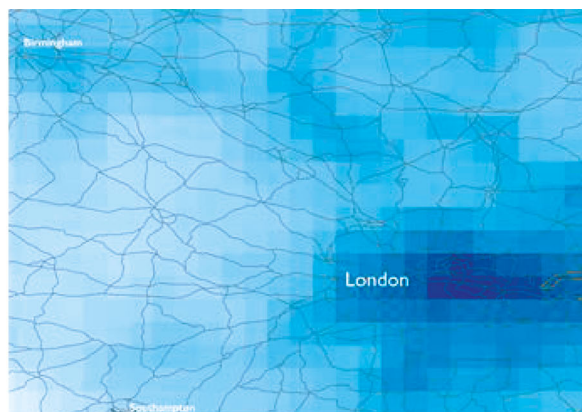
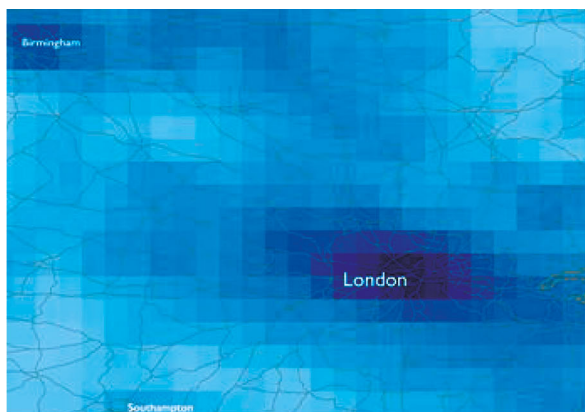
Рис. 1.31. Снижение концентрации NO₂ в различных городах
 Источник: данные Европейского космического агентства.

2) Данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service в период с января по май 2020 года частично могут подтвердить гипотезу, согласно которой меры противодействия коронавирусной инфекции повлияли на выбросы и концентрацию ультрадисперсных частиц в атмосфере: анализ данных о концентрациях частиц PM₁₀ и PM_{2.5} в Барселоне, Париже, Милане, Лондоне и Мюнхене (всего в базе данных представлена информация о концентрациях загрязняющих веществ в 50 городах ЕС) показывает, что в трех городах наблюдается тренд на уменьшение суточ-

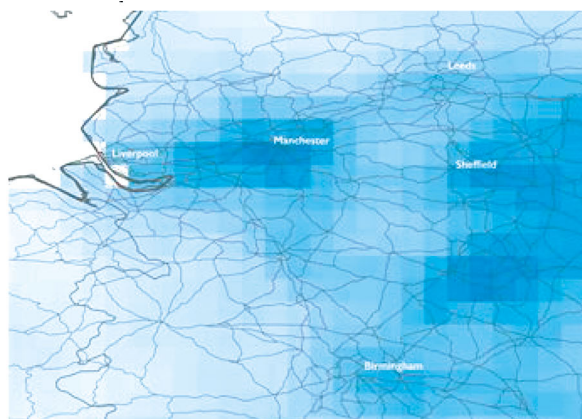
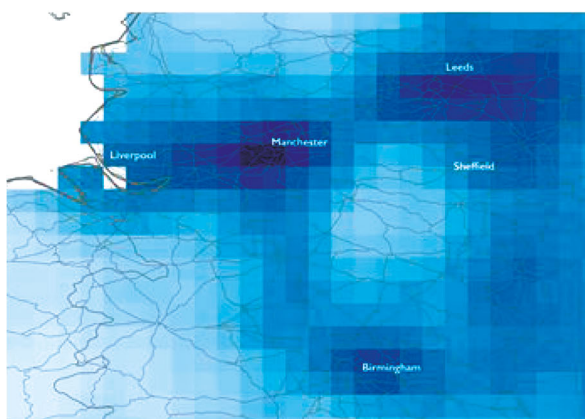
Март 2019

Март 2020

Лондон



Большой Манчестер



Марсель, Лион

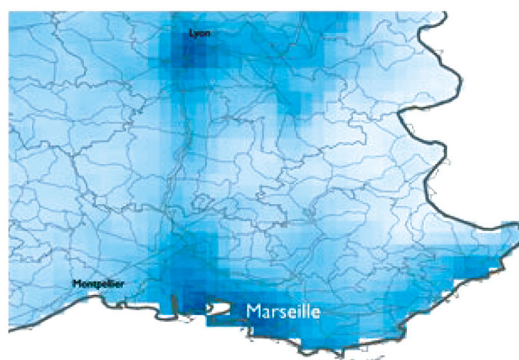
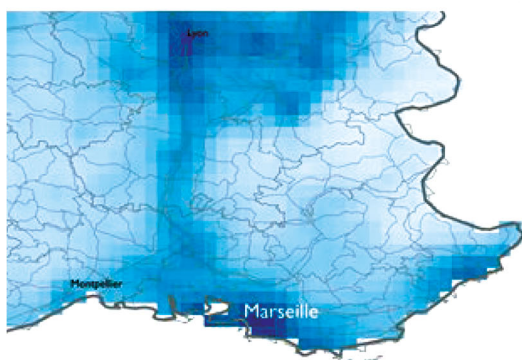


Рис. 1.32. Снижение концентрации NO_2 в различных городах

Источник: данные Европейского космического агентства.

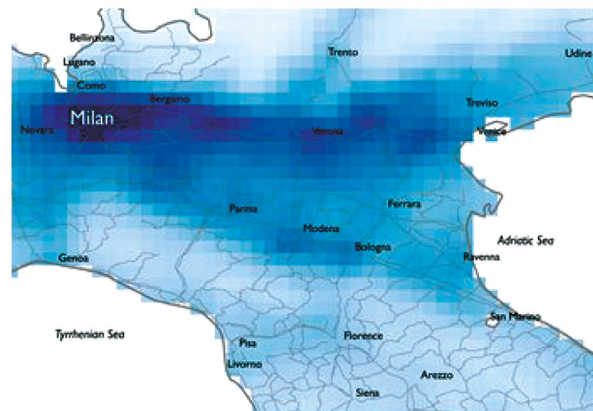
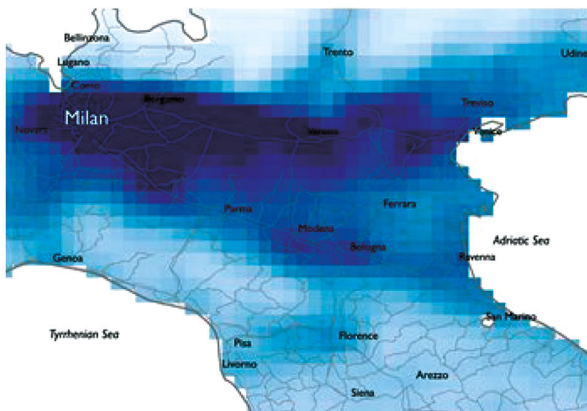
ных концентраций ультрадисперсных частиц, кроме Мюнхена, где концентрации таких частиц практически не изменились, и Лондона, где концентрации незначительно увеличились (рисунки 1.41–1.50). На рисунках 1.51–1.55 демонстрируется динамика изменений суточных концентраций ультрадисперсных частиц в период январь — май 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года (разница между суточными концентрациями).

Анализ усредненных значений концентрации ультрадисперсных частиц, рассчитанных по данным Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) со всех точек наблюдения, показывает,

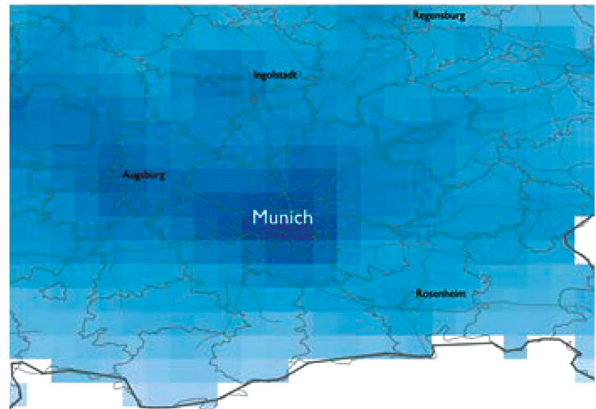
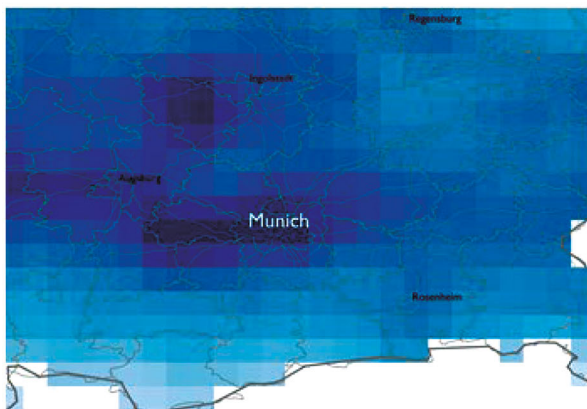
Март 2019

Март 2020

Милан



Мюнхен



Париж

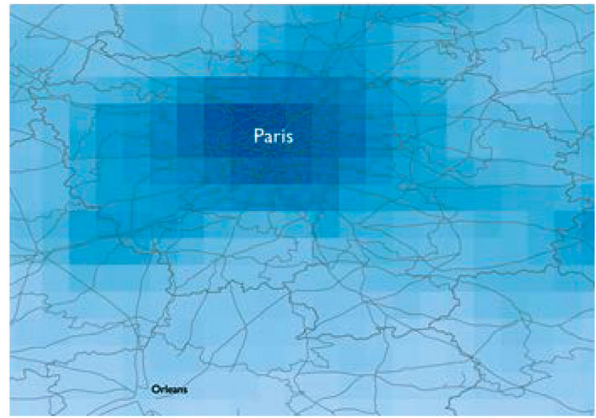
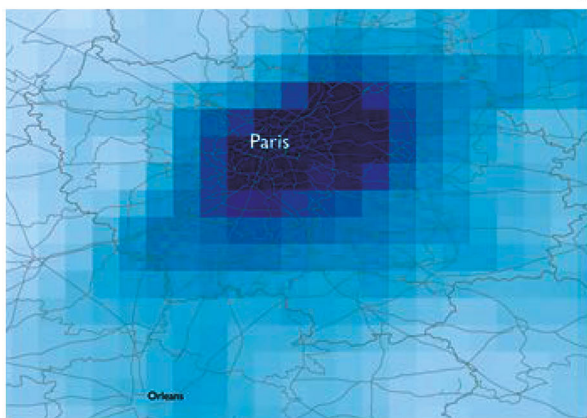


Рис. 1.33. Снижение концентрации NO₂ в различных городах
Источник: данные Европейского космического агентства.

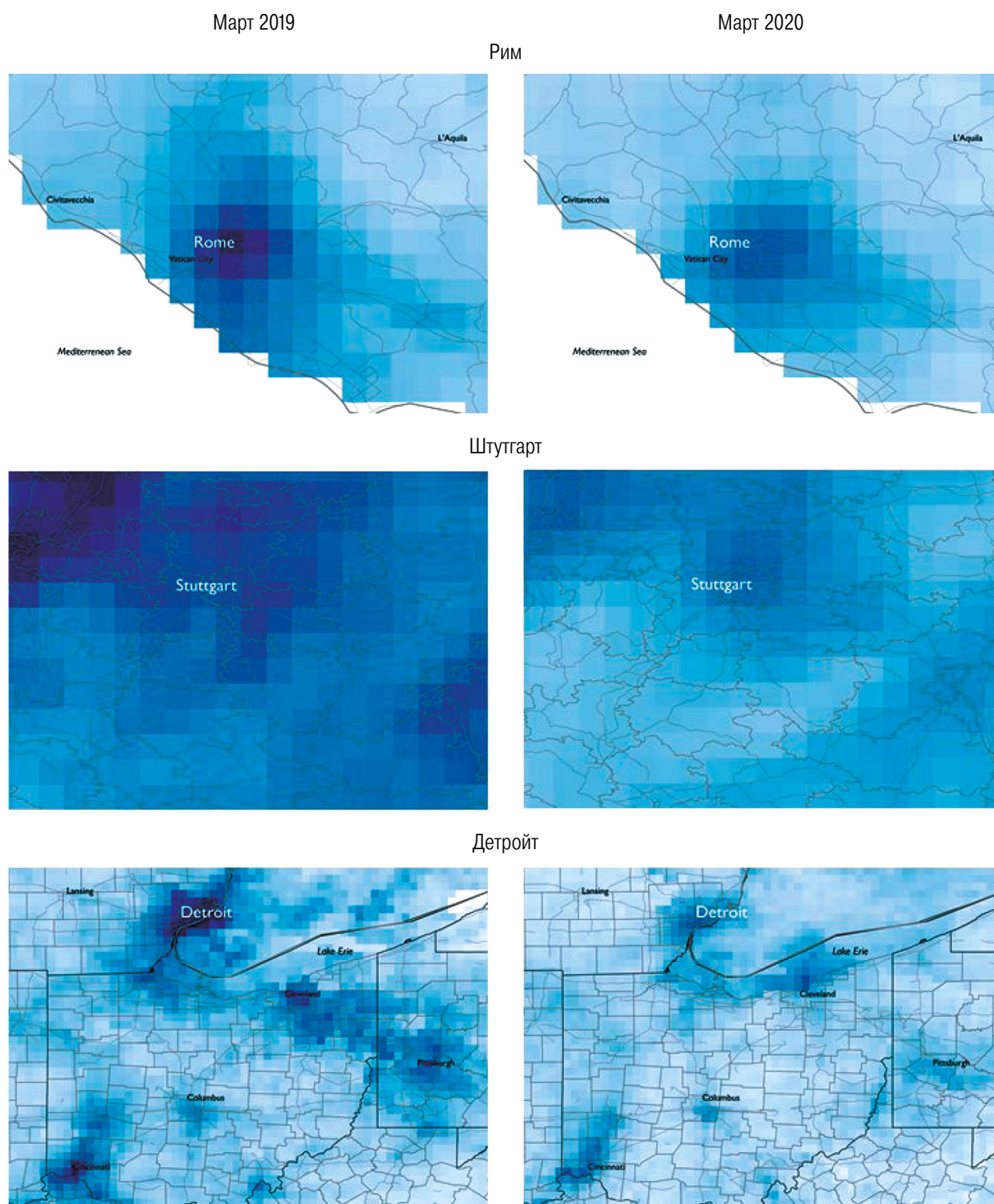


Рис. 1.34. Снижение концентрации NO₂ в различных городах
Источник: данные Европейского космического агентства.

Таблица 1.6

Общее снижение концентрации ультрадисперсных частиц в некоторых городах Европы

Город	PM ₁₀ (%)	PM _{2,5} (%)
Милан	8,5	27,2
Рим	9,8	-10,5
Лион	3,1	
Мадрид	-15,6	2,1
Париж	-16,0	
Мюнхен	-16,2	-14,4
Дюссельдорф	-18,1	-45,3
Барселона	-19,2	
Гамбург	-22,2	-39,1
Дортмунд	-23,6	-27,9
Берлин	-24,3	
Валенсия	-33,8	-29,5
Лондон	-41,1	-43,7
Манчестер		-35,8

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

что существенное уменьшение их концентрации произошло с 30 января по 6 марта 2020 года и с 17 апреля по 7 мая 2020 года. В эти периоды концентрация частиц в среднем была меньше соответствующей концентрации частиц в 2019 году:

- на 6,83 мкг/м³ для PM₁₀ и 6,28 мкг/м³ для PM_{2,5} с 30 января по 6 марта 2020 года;
- на 5,42 мкг/м³ для PM₁₀ и 4,27 мкг/м³ для PM_{2,5} с 17 апреля по 7 мая 2020 года.

На рисунках 1.56 и 1.57 представлена динамика средней концентрации частиц в Европе со всех точек наблюдения CAMS.

3) В результате анализа данных о концентрациях ультрадисперсных частиц, публикуемых правительственными агентствами некоторых стран, специалисты компании IQAir обнаружили, что в ряде крупных городов в условиях эпидемии коронавирусной инфекции концентрация PM_{2,5} резко сократилась в период с 26 февраля по 13 апреля 2020 года в сравнении с аналогичными периодами 2016–2019 гг.⁶²:

- в городах с исторически высоким уровнем загрязнения PM_{2,5} произошли наиболее существенные сокращения, например, в Дели — на 60%, Сеуле — на 54%, Ухане — на 44%;
- во время 10-недельного локдауна в Ухане в феврале и марте 2020 года был зафиксирован самый чистый воздух;
- в период введения ограничительных мер количество дней с предельными допустимыми концентрациями загрязняющих веществ в Дели сократилось с 68% в 2019 году до 17% в аналогичный период 2020 года;
- в Лос-Анджелесе был зафиксирован самый продолжительный период дней с чистым воздухом за всю историю наблюдений, соответствующих требованиям ВОЗ по качеству воздуха.

Таблица 1.8, составленная на основе данных IQAir, дает возможность сравнить концентрацию PM_{2,5} в воздухе над некоторыми городами.

⁶² COVID-19 Impact On Air Quality In 10 Major Cities <https://www2.iqair.com/sites/default/files/documents/REPORT-COVID-19-Impact-on-Air-Quality-in-10-Major-Cities_V6.pdf?_ga=2.63947823.1022002571.1591218618-1161341441.1591218618> (дата обращения 30.05.2020).

Таблица 1.7

Динамика изменений средней за неделю концентрации ультрадисперсных частиц в период январь — май 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года (%)

Страна	Частица	4-я неделя января	1-я неделя февраля	2-я неделя февраля	3-я неделя февраля	4-я неделя февраля	1-я неделя марта	2-я неделя марта	3-я неделя марта	4-я неделя марта	1-я неделя апреля	2-я неделя апреля	3-я неделя апреля	4-я неделя апреля	1-я неделя мая	2-я неделя мая	3-я неделя мая	4-я неделя мая
Германия	PM ₁₀	-68,3	0,2	-56,9	-62,4	-64,1	37,5	17,6	-24,7	40,0	-20,1	0,6	-1,8	18,4	-28,8	28,5	-1,6	0,6
Франция		-11,9	11,3	-22,0	-34,8	-31,6	-7,2	8,5	-3,7	-0,5	1,8	-6,6	-4,3	25,9	-20,5	16,4	-6,6	1,4
Италия		39,4	10,6	-12,1	-49,0	-30,7	-1,8	33,8	21,6	24,3	-0,7	12,1	-31,5	-29,3	76,2	67,7	0,0	0,0
Испания		23,7	22,3	-1,1	-25,2	33,6	-1,5	6,9	8,9	-25,1	-9,5	-1,0	-20,2	-7,0	-23,2	6,4	-27,6	15,4
Великобритания		12,8	26,6	-17,4	-18,7	-26,2	18,0	4,4	4,2	13,3	-11,6	6,8	-19,0	8,5	-6,7	20,5	-16,3	19,5
Германия	PM _{2,5}	-79,6	-8,0	-63,5	-73,2	-71,4	61,9	23,2	-30,4	29,9	-28,7	-19,6	-25,9	3,5	-30,2	23,4	-10,6	-15,8
Франция		-6,1	15,6	-23,5	-26,9	-30,9	14,7	0,1	-4,8	8,5	-19,1	3,9	-23,8	-3,4	-14,9	12,6	-23,7	0,3
Италия		-2,1	3,0	-3,6	-4,5	-3,7	-0,8	0,6	-0,7	0,3	0,3	-2,6	-1,8	3,2	-2,1	2,8	-0,3	0,5
Испания		35,9	15,9	-6,2	-54,3	-21,6	32,7	18,9	0,0	51,4	-6,0	15,5	-44,2	-26,7	39,8	46,9	0,0	0,0
Великобритания		28,2	20,2	10,9	-8,0	34,6	66,8	11,4	4,7	-7,0	7,5	0,8	-18,3	16,5	-21,8	59,9	-2,1	19,8

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

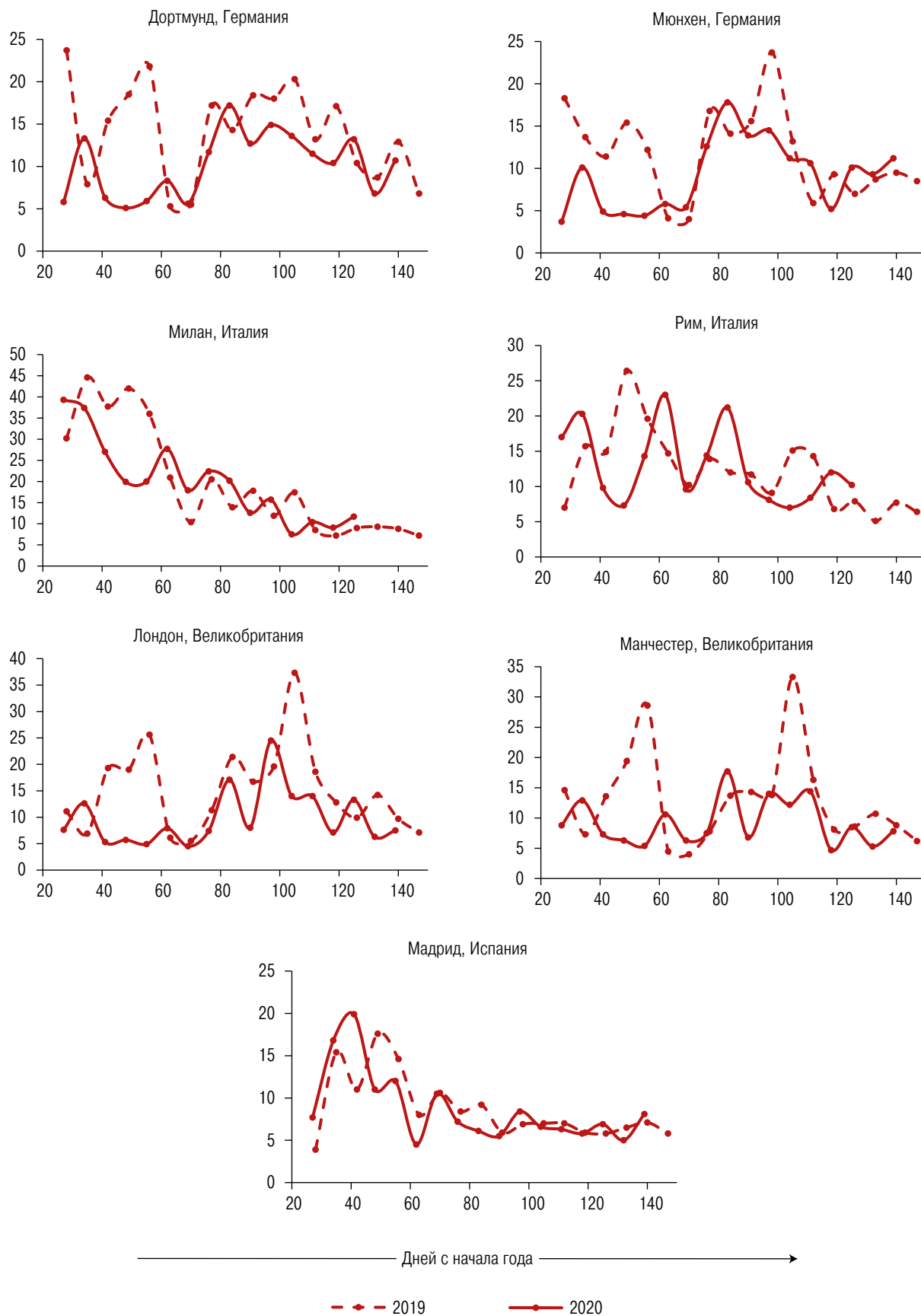


Рис. 1.35. Динамика концентрации $PM_{2.5}$ в 2019–2020 гг. в городах Европы (mg/m^3)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

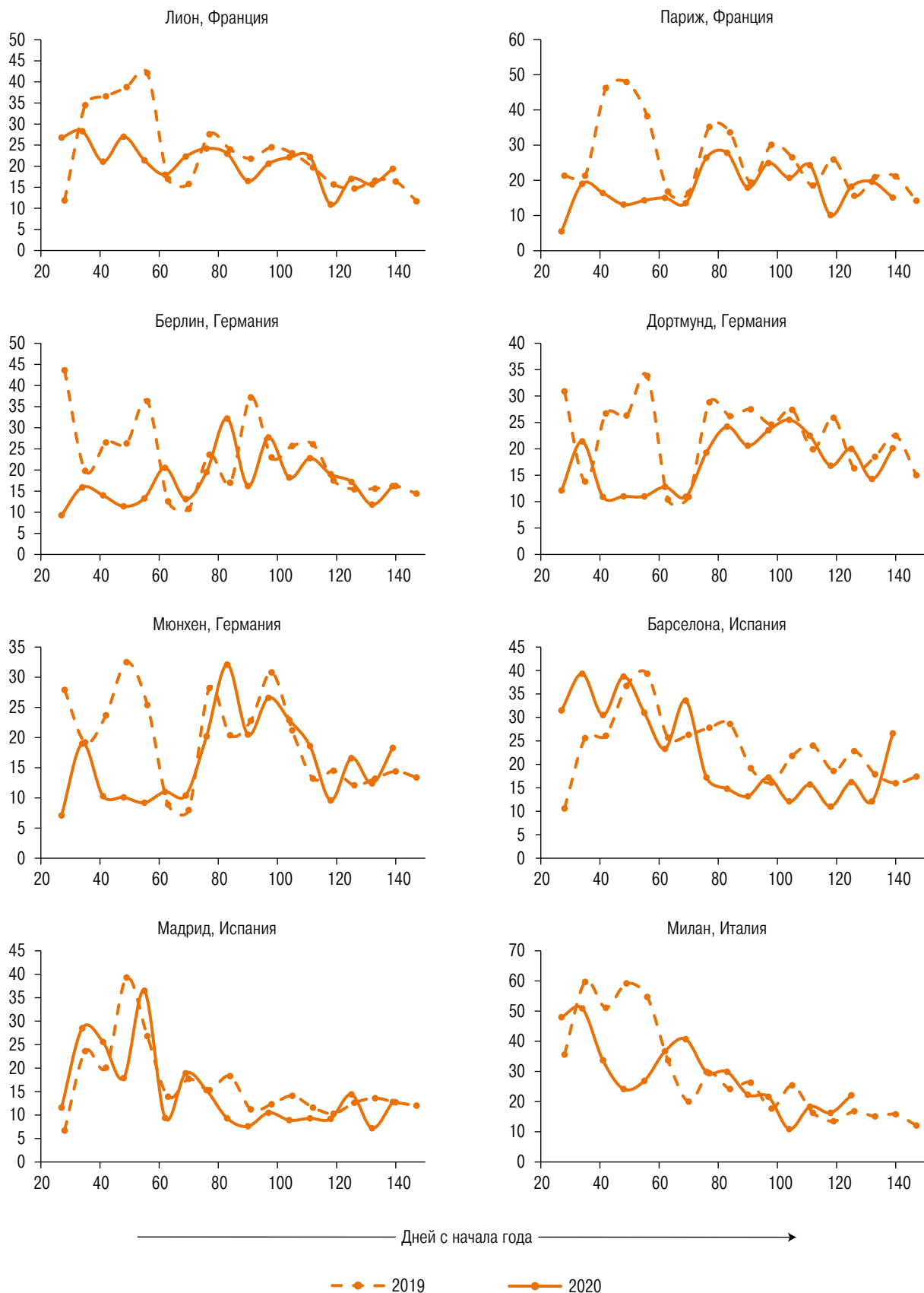


Рис. 1.36. Динамика концентрации PM₁₀ в 2019–2020 гг. в городах Европы (мгк/м³)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

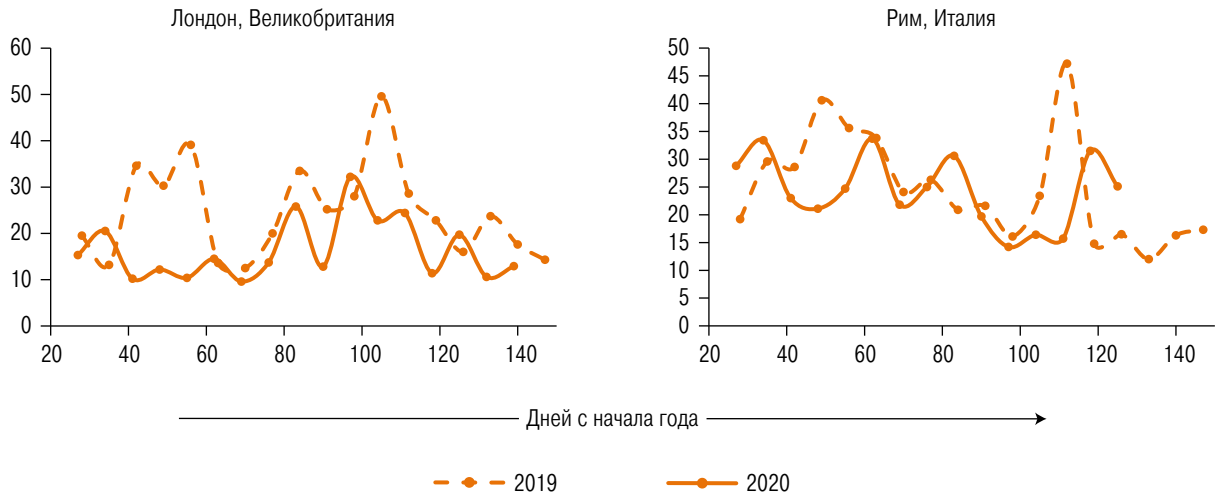


Рис. 1.37. Динамика концентрации PM_{10} в 2019–2020 гг. в разных городах Европы ($мкг/м^3$) (продолжение)

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

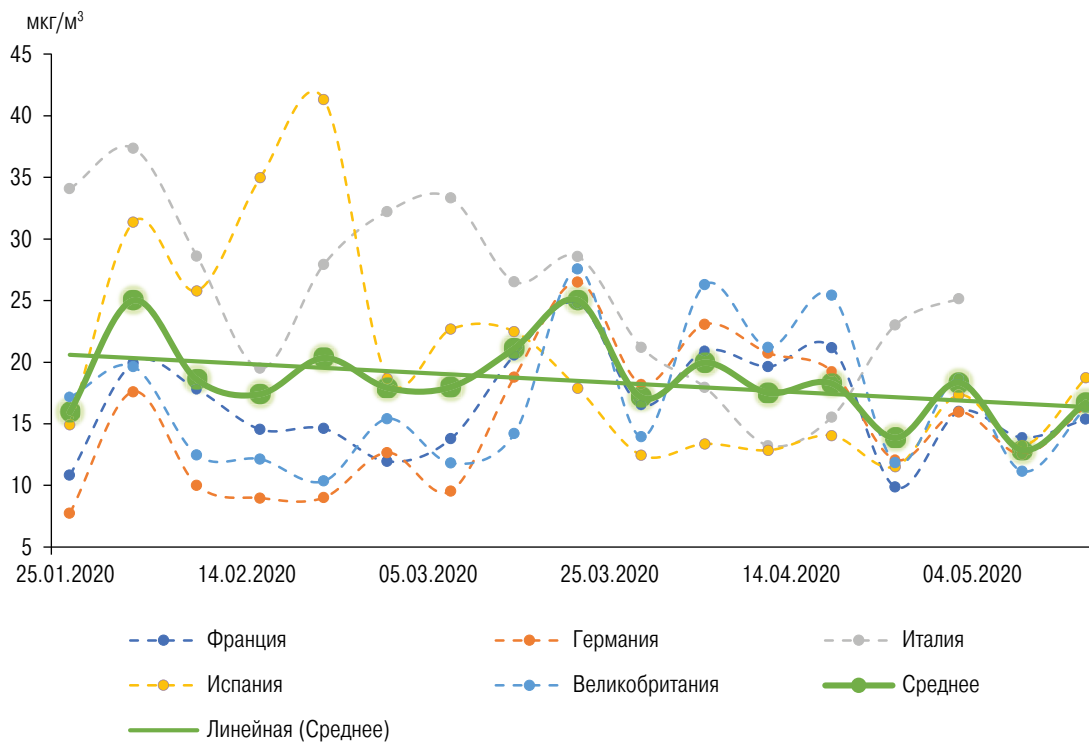


Рис. 1.38. Динамика средней концентрации PM_{10} в 2020 году

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

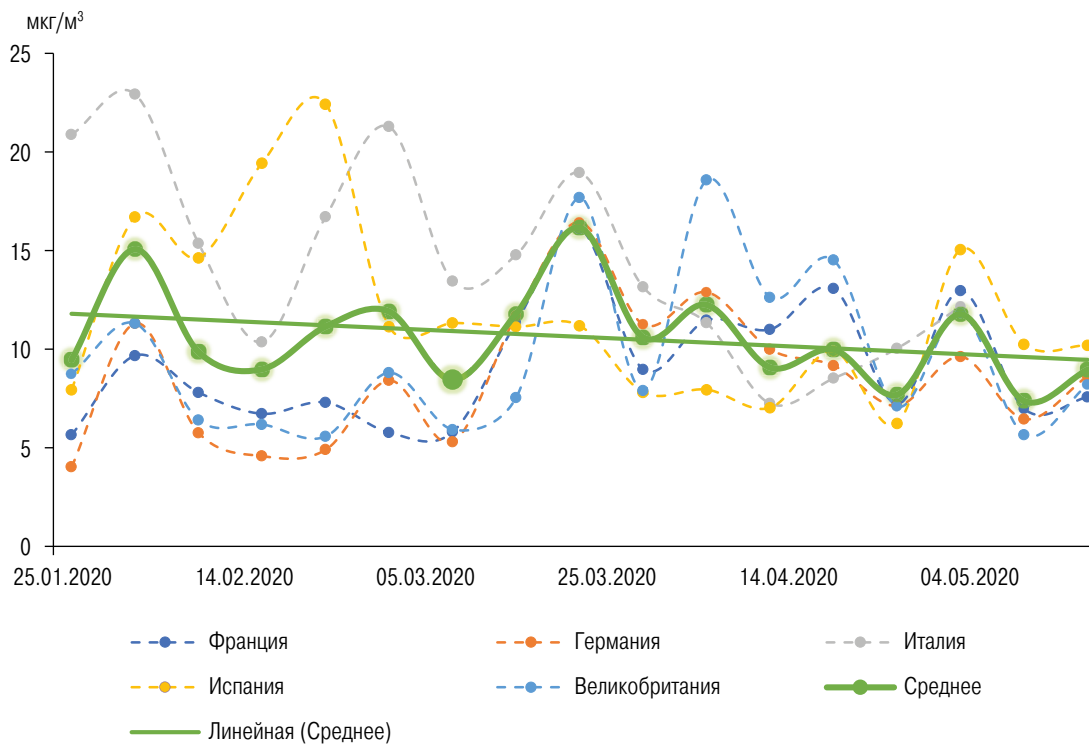


Рис. 1.39. Динамика средней концентрации $PM_{2.5}$ в 2020 году

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

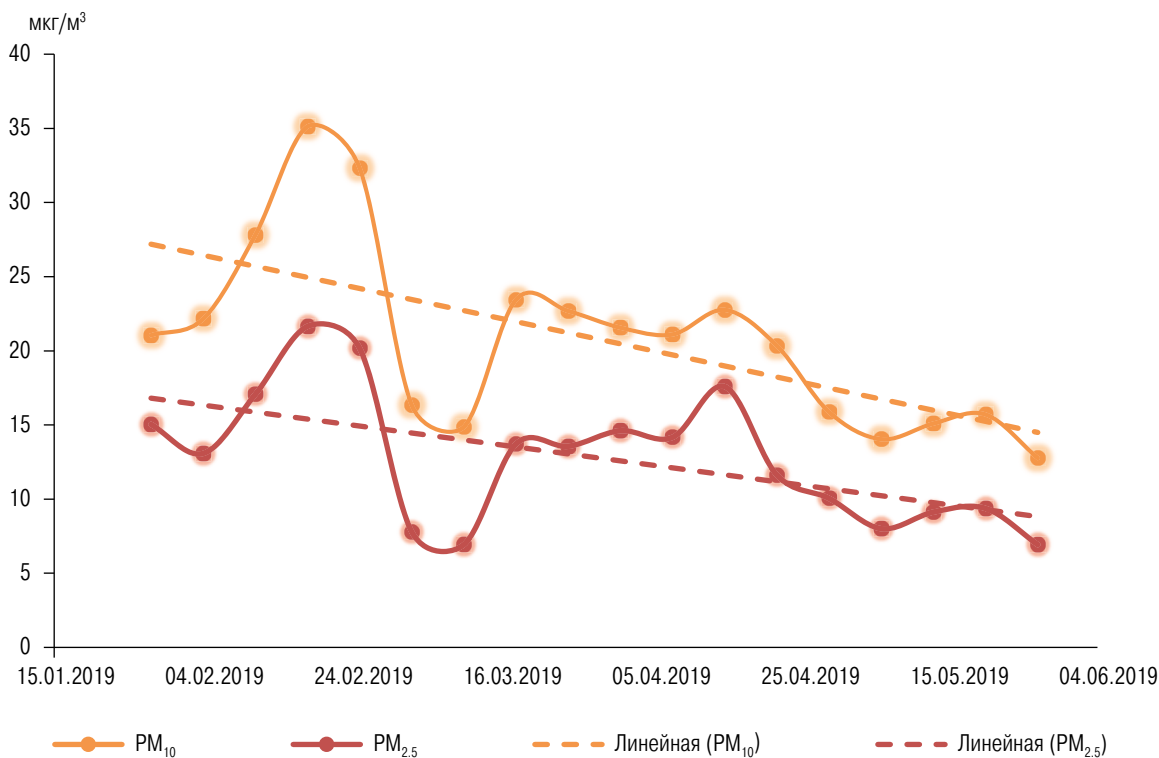


Рис. 1.40. Динамика средних концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ в 2019 году

Источник: данные Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, расчеты НИУ ВШЭ.

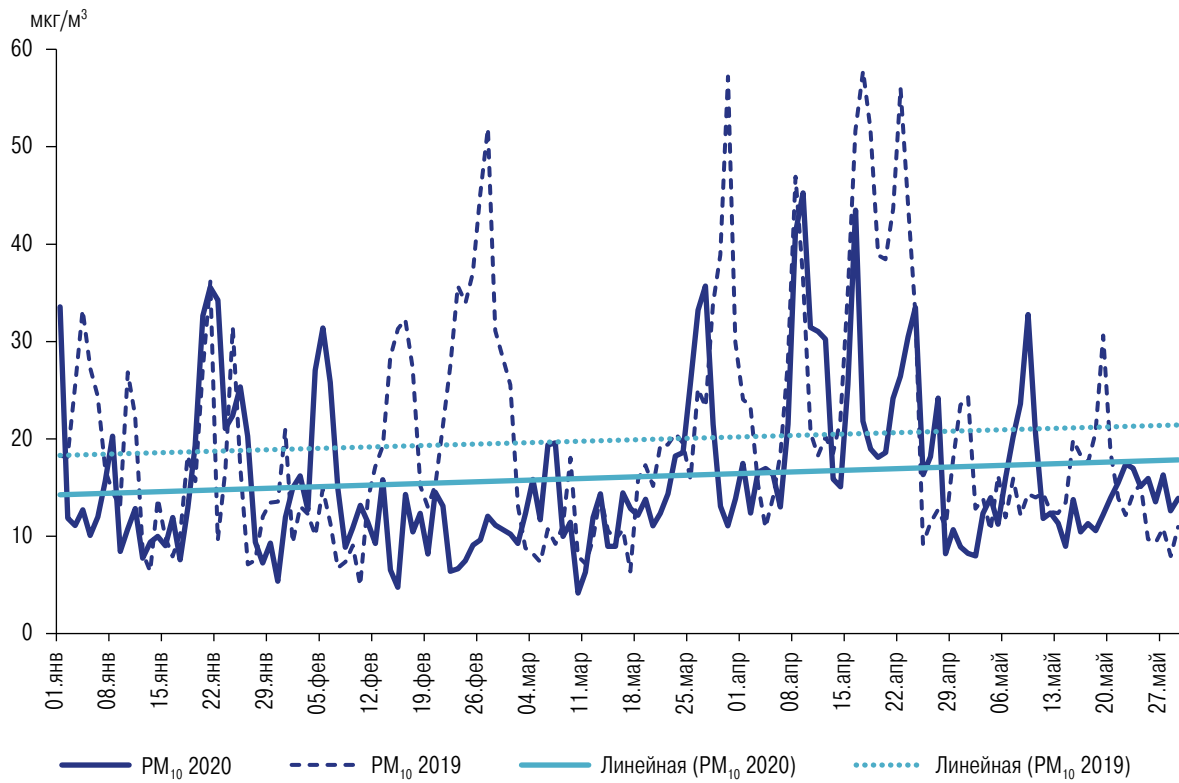


Рис. 1.41. Динамика концентрации PM_{10} , Лондон

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

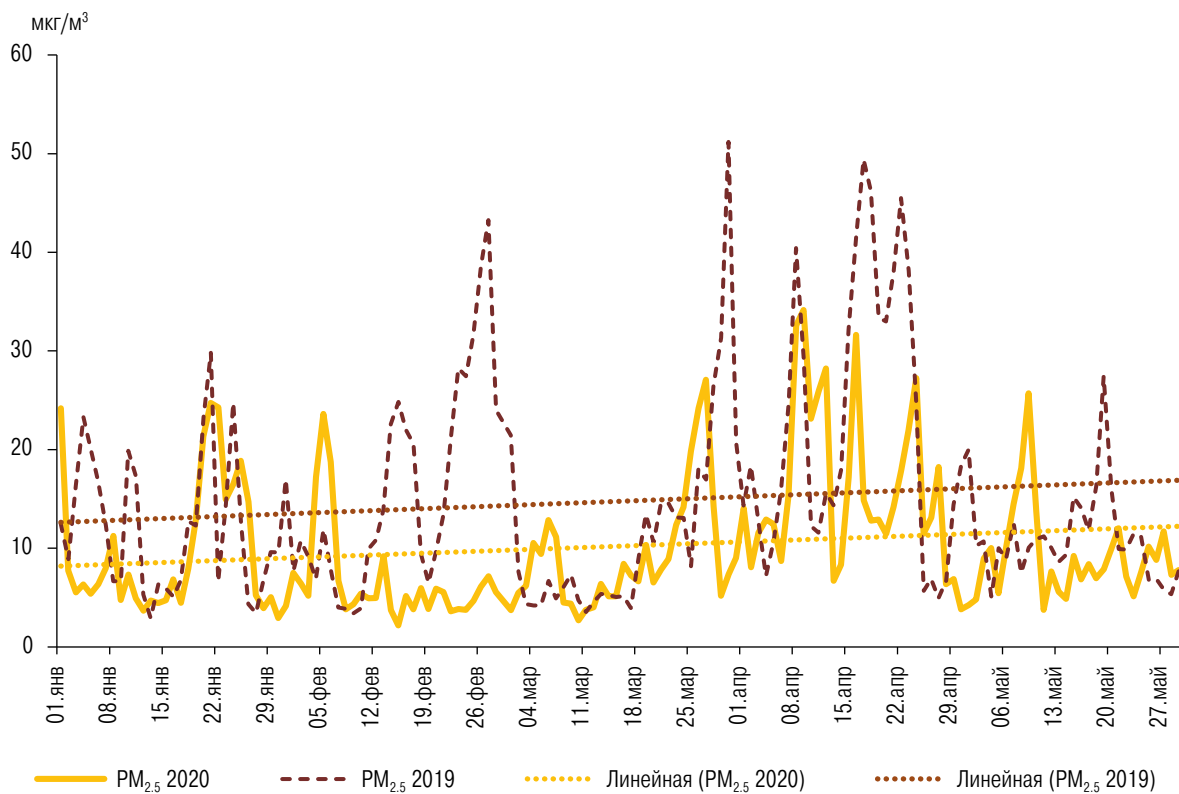


Рис. 1.42. Динамика концентрации $PM_{2.5}$, Лондон

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

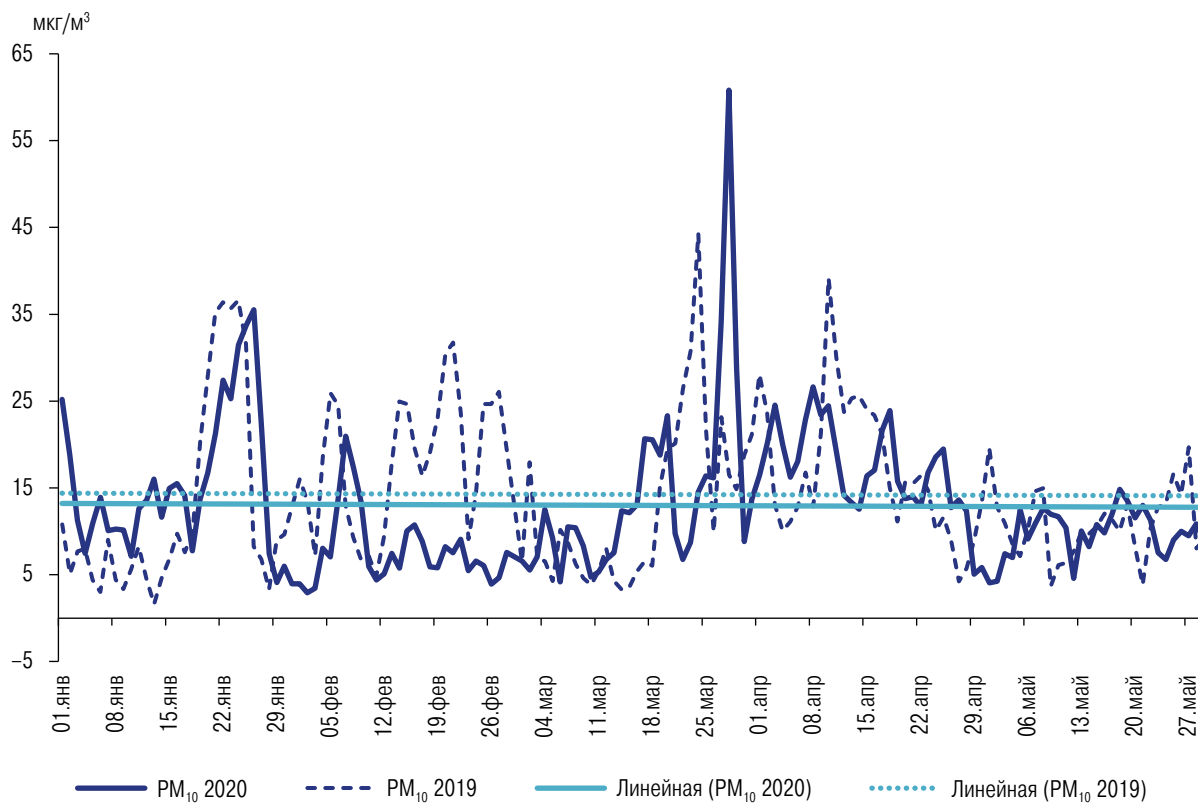


Рис. 1.43. Динамика концентрации PM_{10} , Мюнхен

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

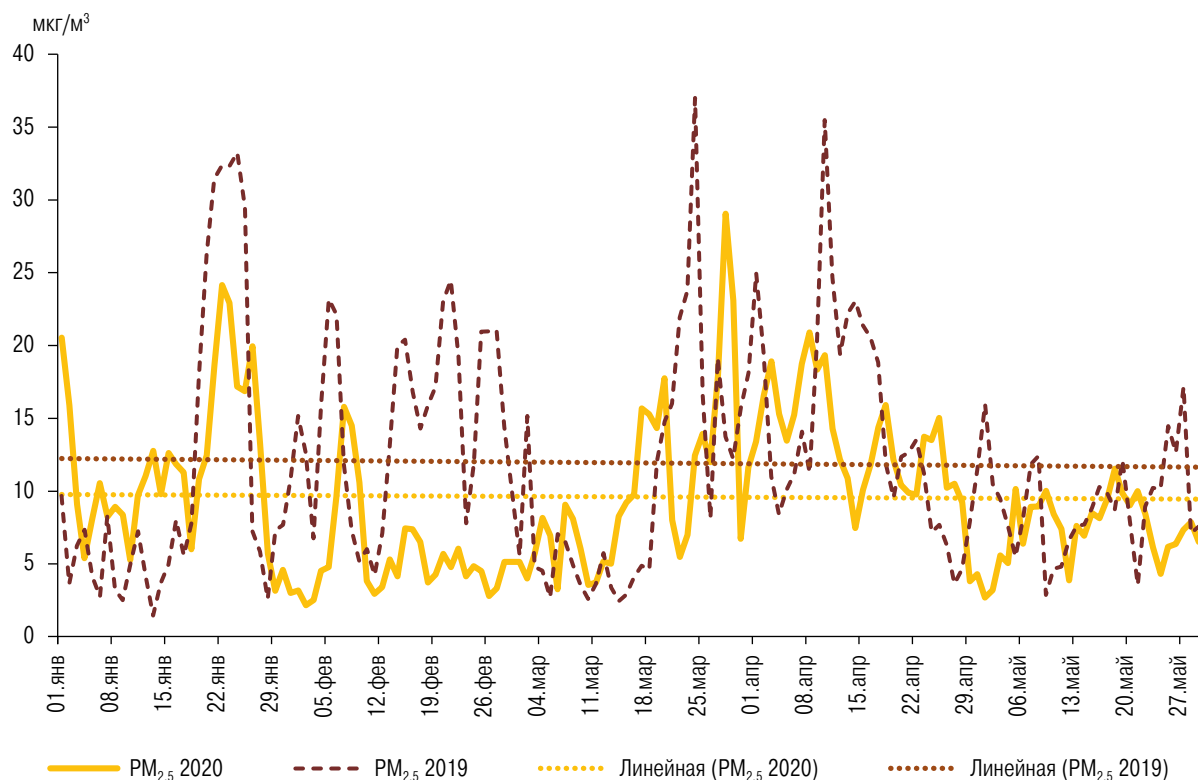


Рис. 1.44. Динамика концентрации $PM_{2,5}$, Мюнхен

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

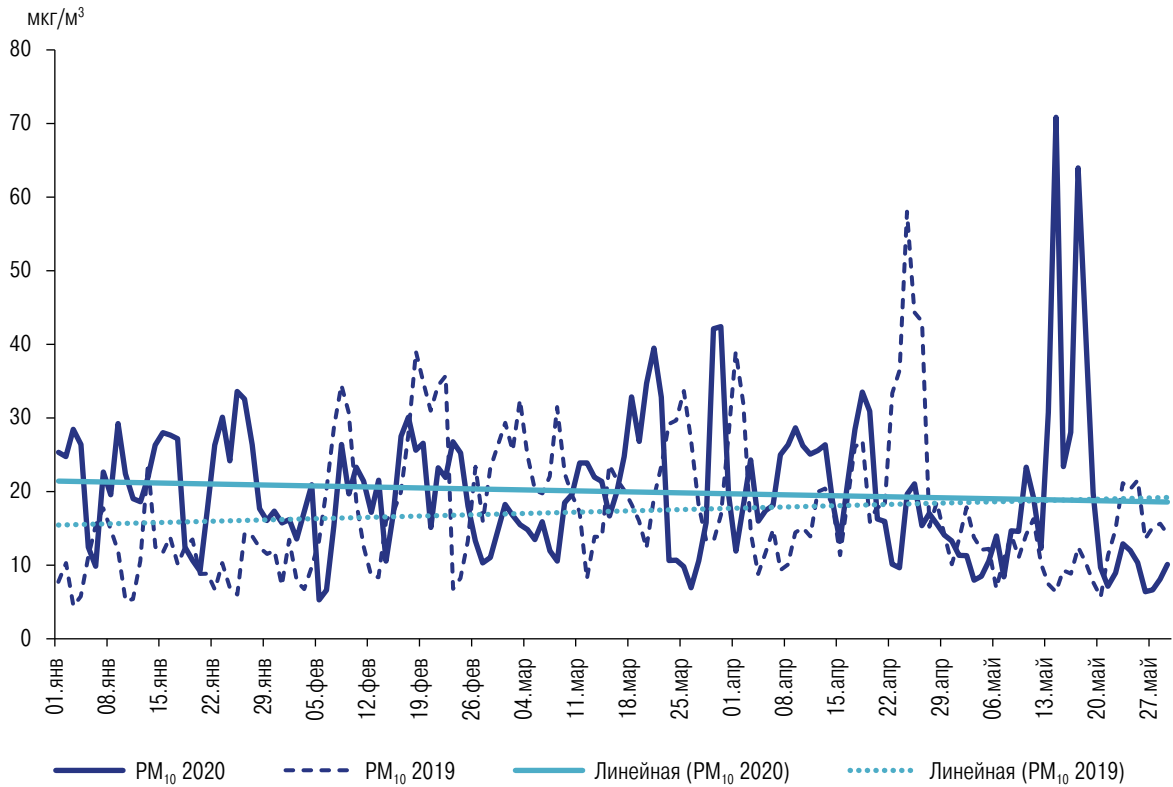


Рис. 1.45. Динамика концентрации PM_{10} , Париж

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

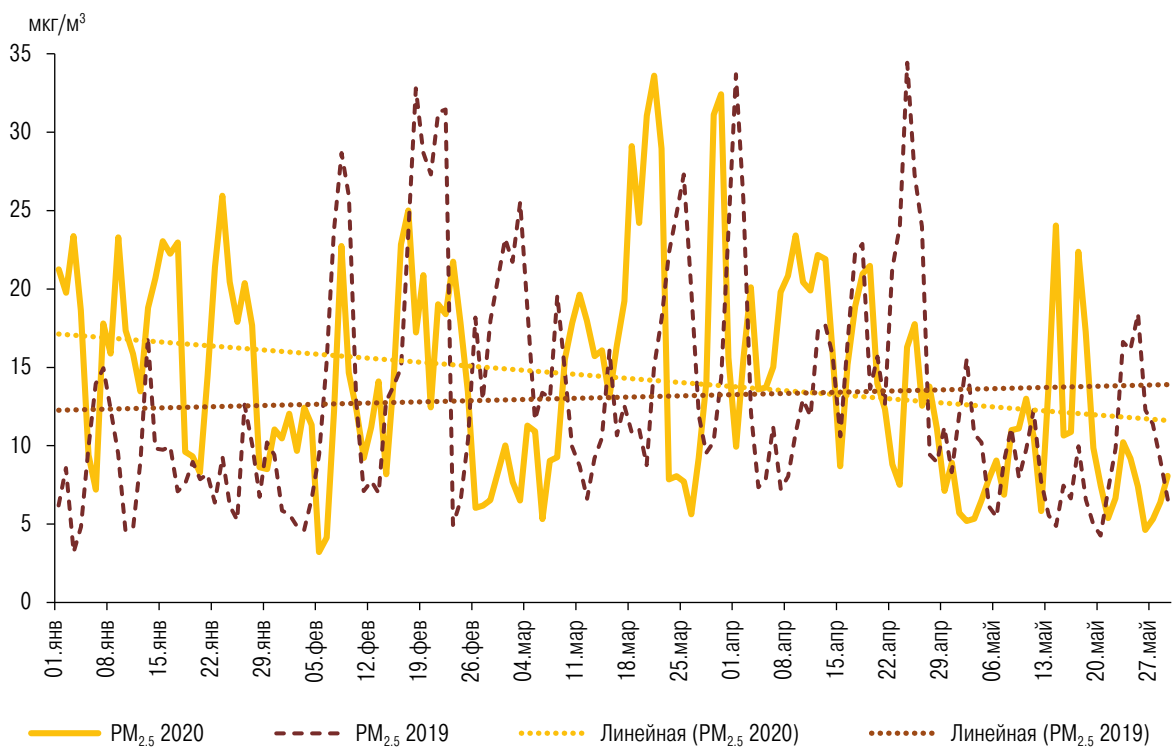


Рис. 1.46. Динамика концентрации $PM_{2.5}$, Париж

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

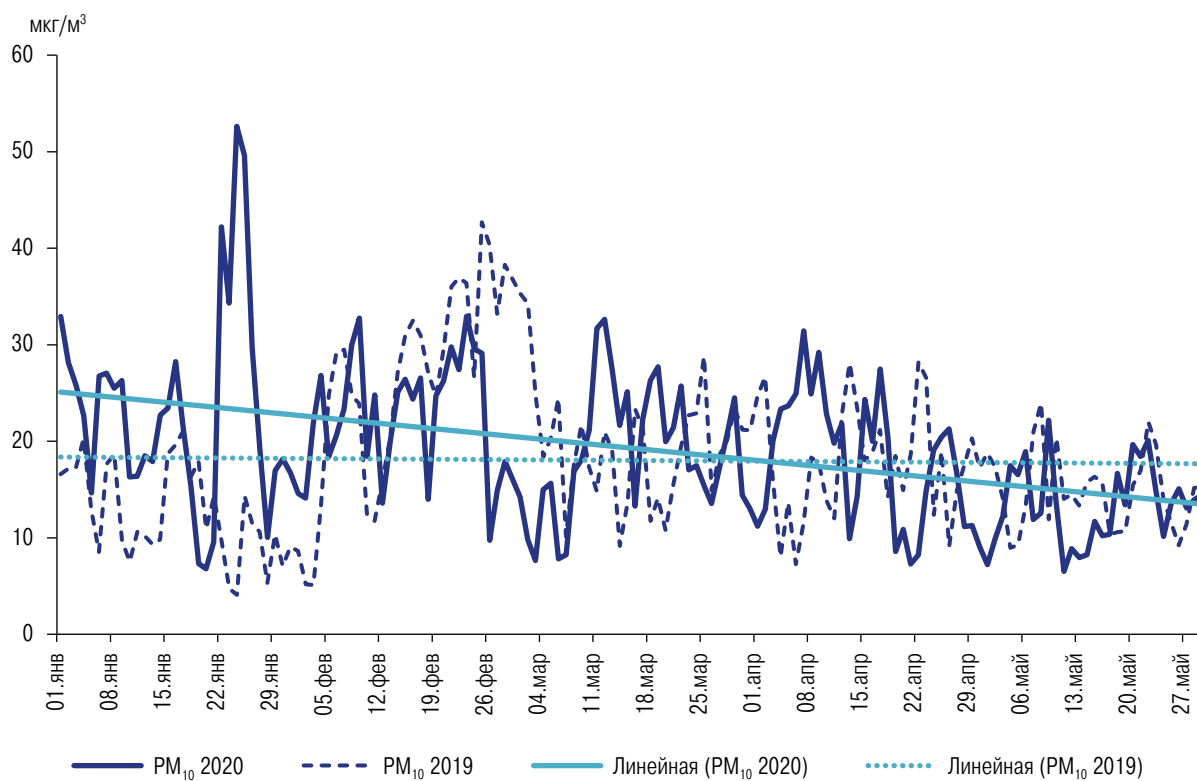


Рис. 1.47. Динамика концентрации PM_{10} , Барселона

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

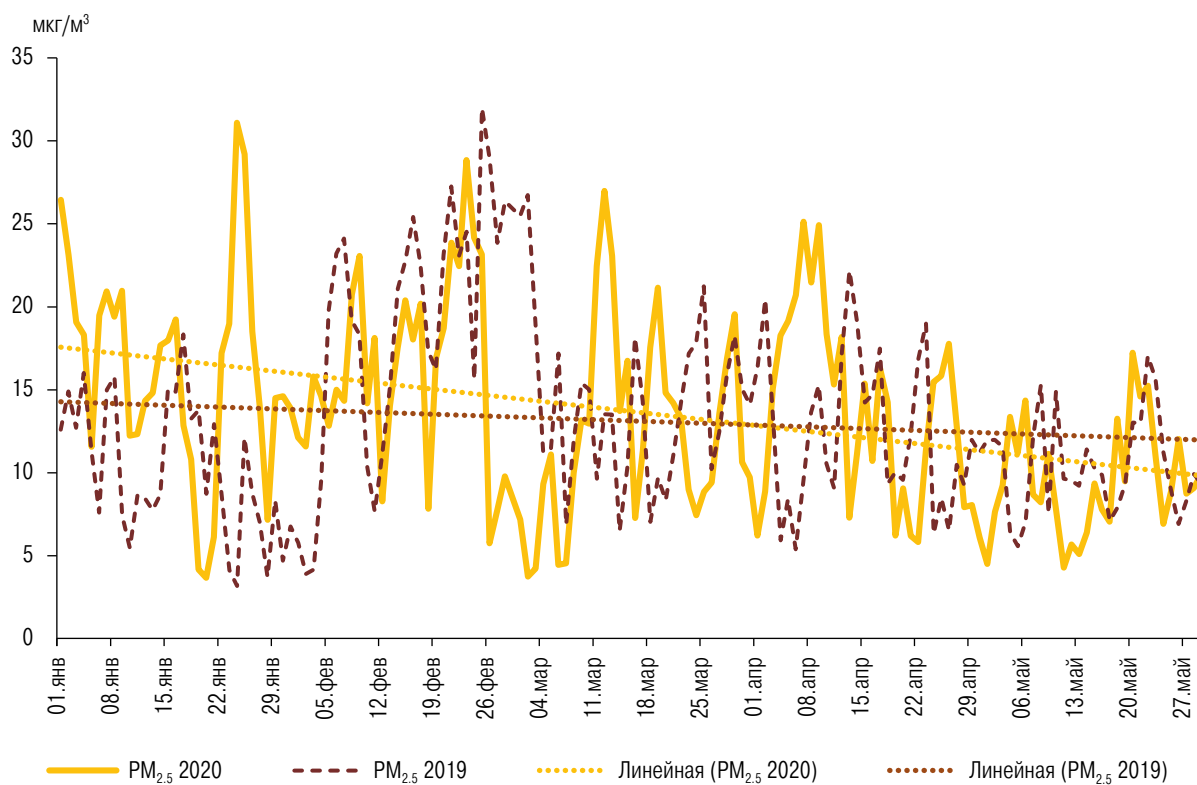


Рис. 1.48. Динамика концентрации $PM_{2.5}$, Барселона

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

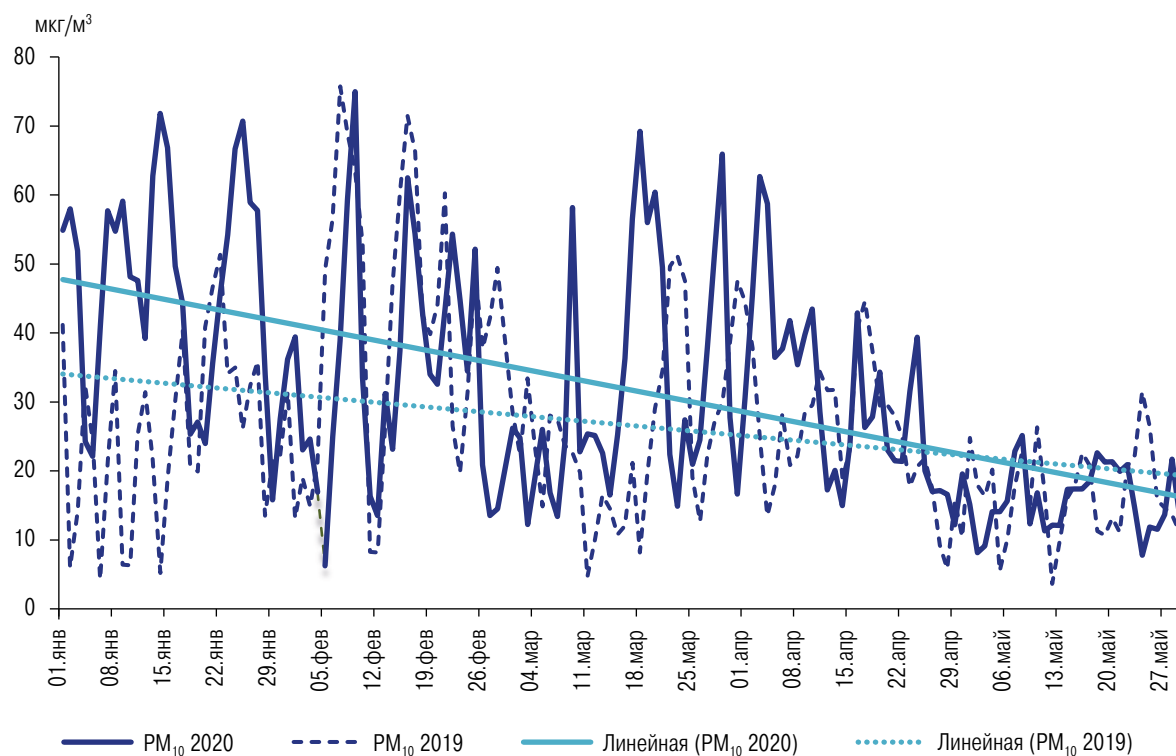


Рис. 1.49. Динамика концентрации PM_{10} , Милан

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

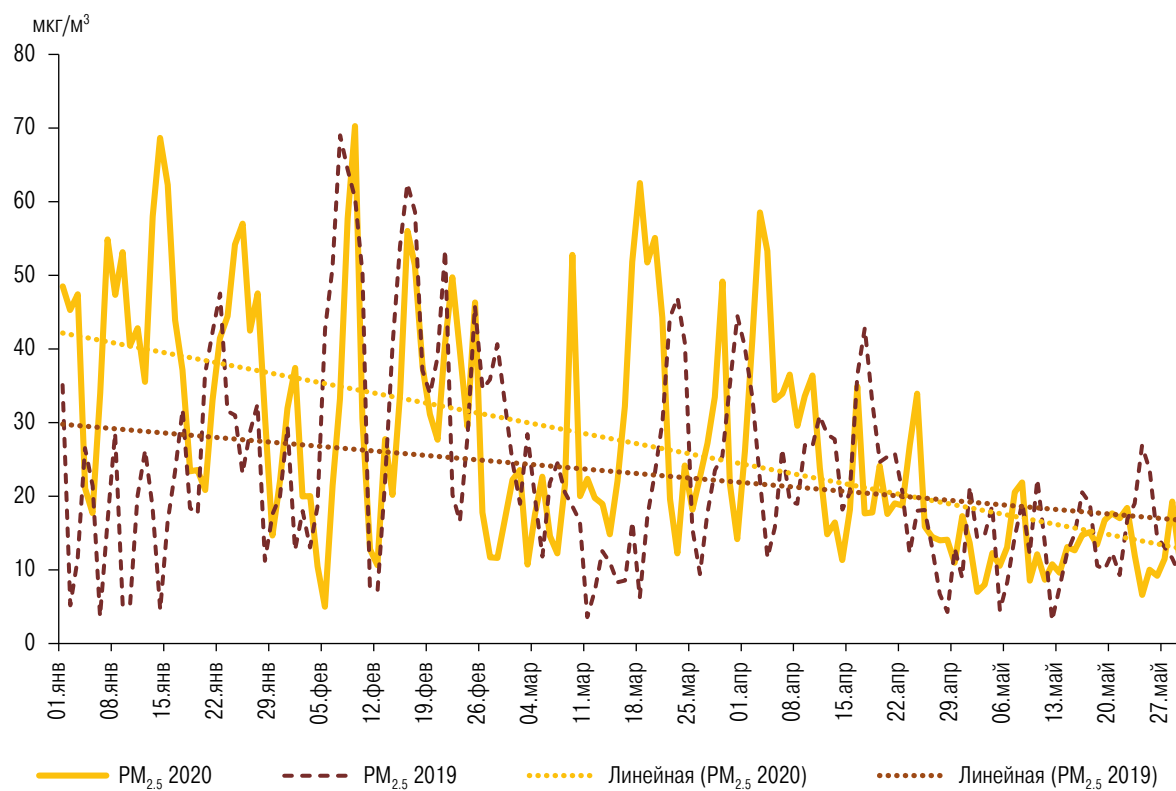


Рис. 1.50. Динамика концентрации $PM_{2.5}$, Милан

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

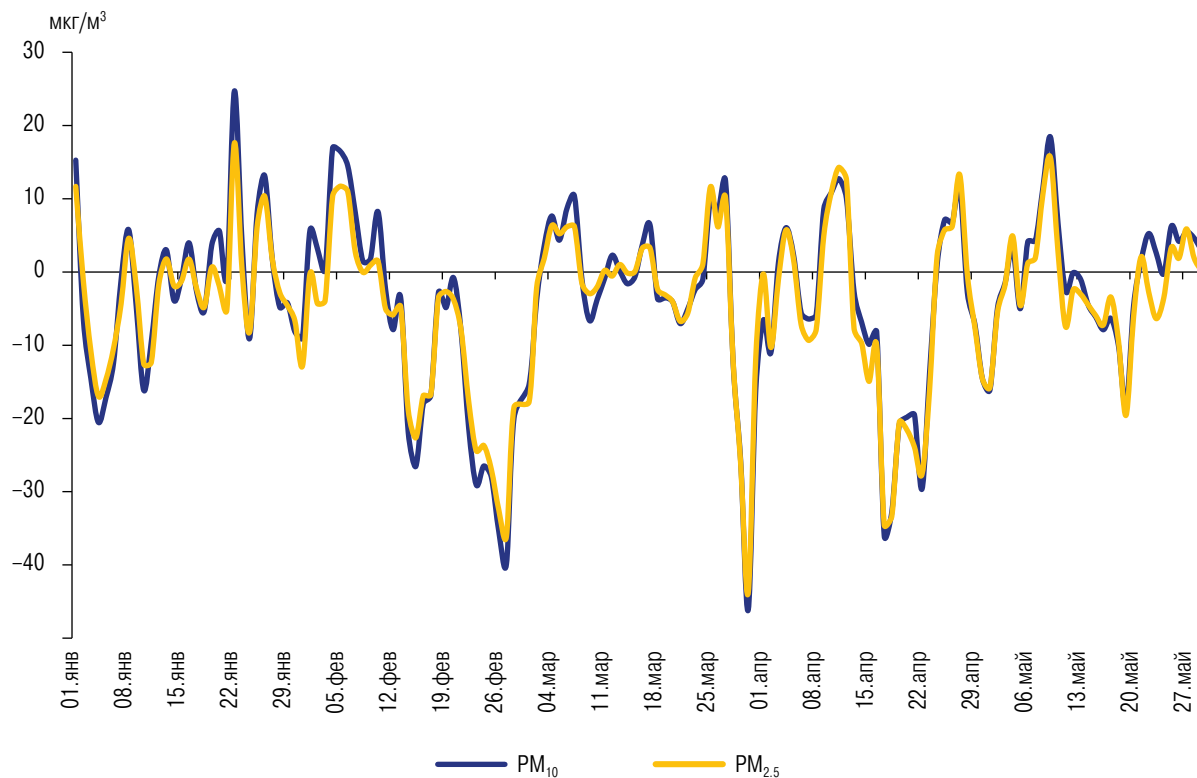


Рис. 1.51. Разница между суточными концентрациями ультрадисперсных частиц в 2019–2020 гг., Лондон
Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

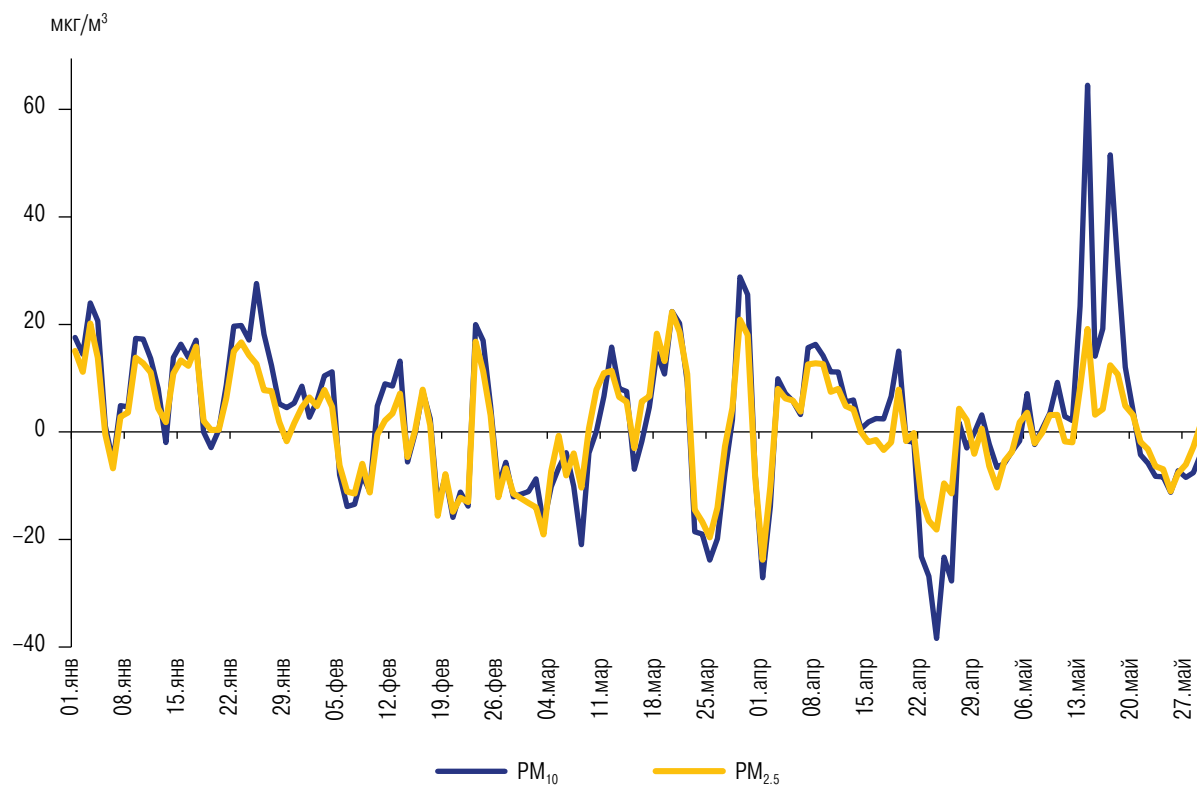


Рис. 1.52. Разница между суточными концентрациями ультрадисперсных частиц в 2019–2020 гг., Париж
Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

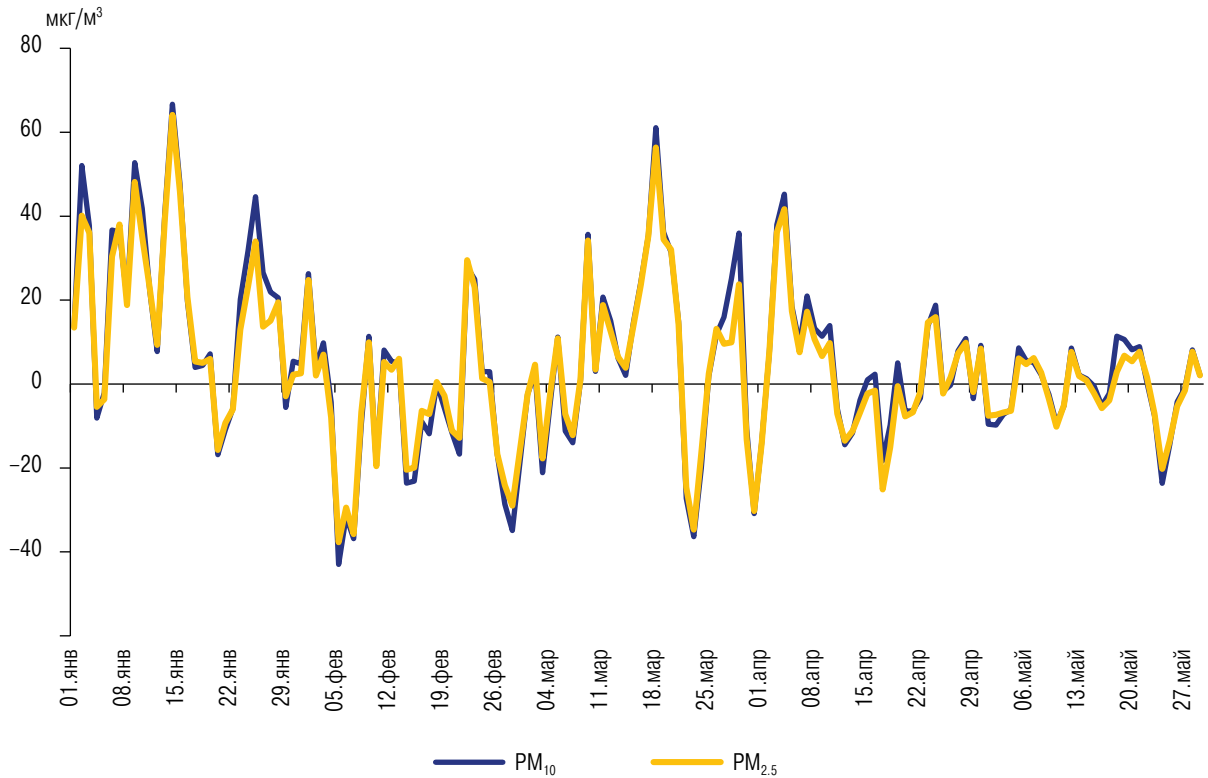


Рис. 1.53. Разница между суточными концентрациями ультрадисперсных частиц в 2019–2020 гг., Милан
 Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

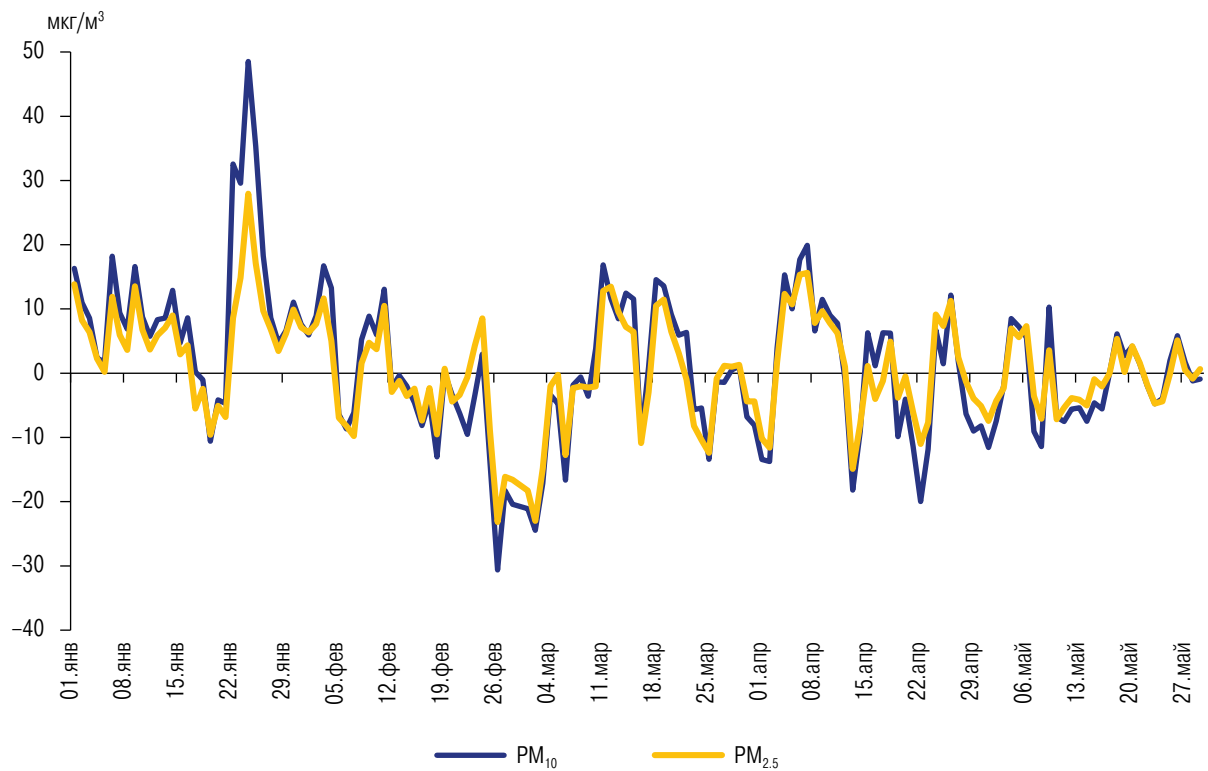


Рис. 1.54. Разница между суточными концентрациями ультрадисперсных частиц в 2019–2020 гг., Барселона
 Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

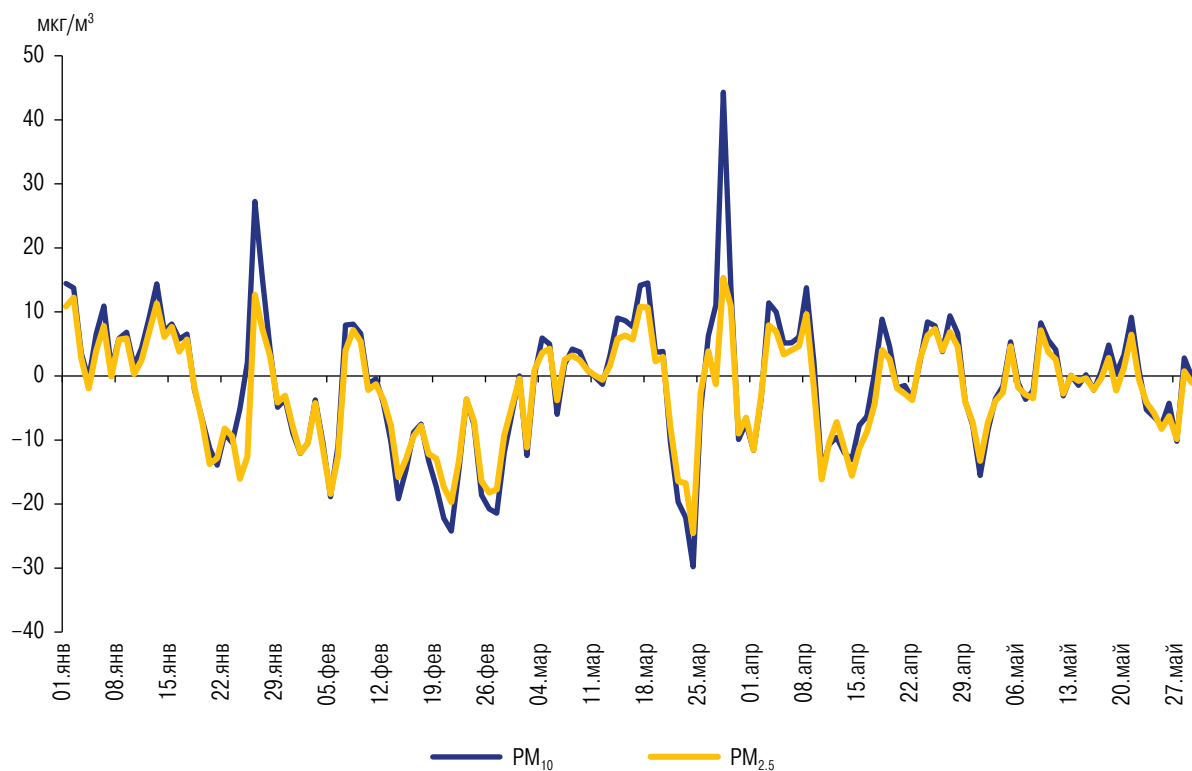


Рис. 1.55. Разница между суточными концентрациями ультрадисперсных частиц в 2019–2020 гг., Мюнхен
Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

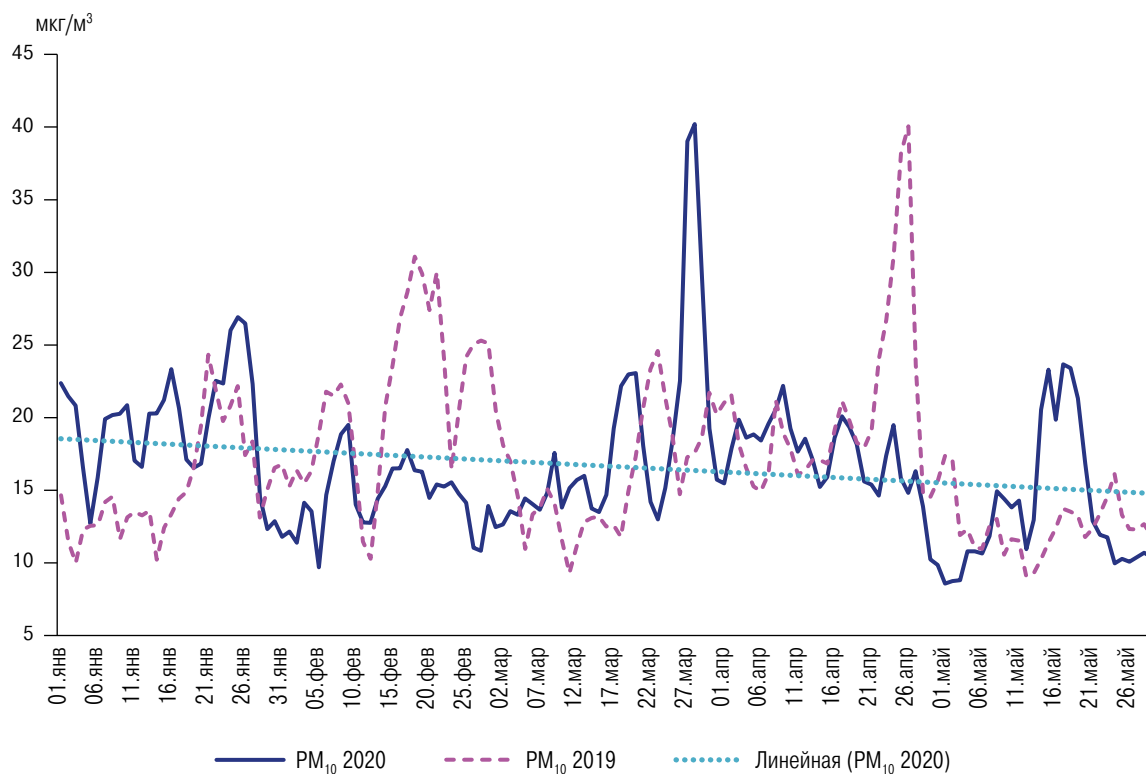


Рис. 1.56. Динамика средней концентрации PM_{10} в Европе
Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

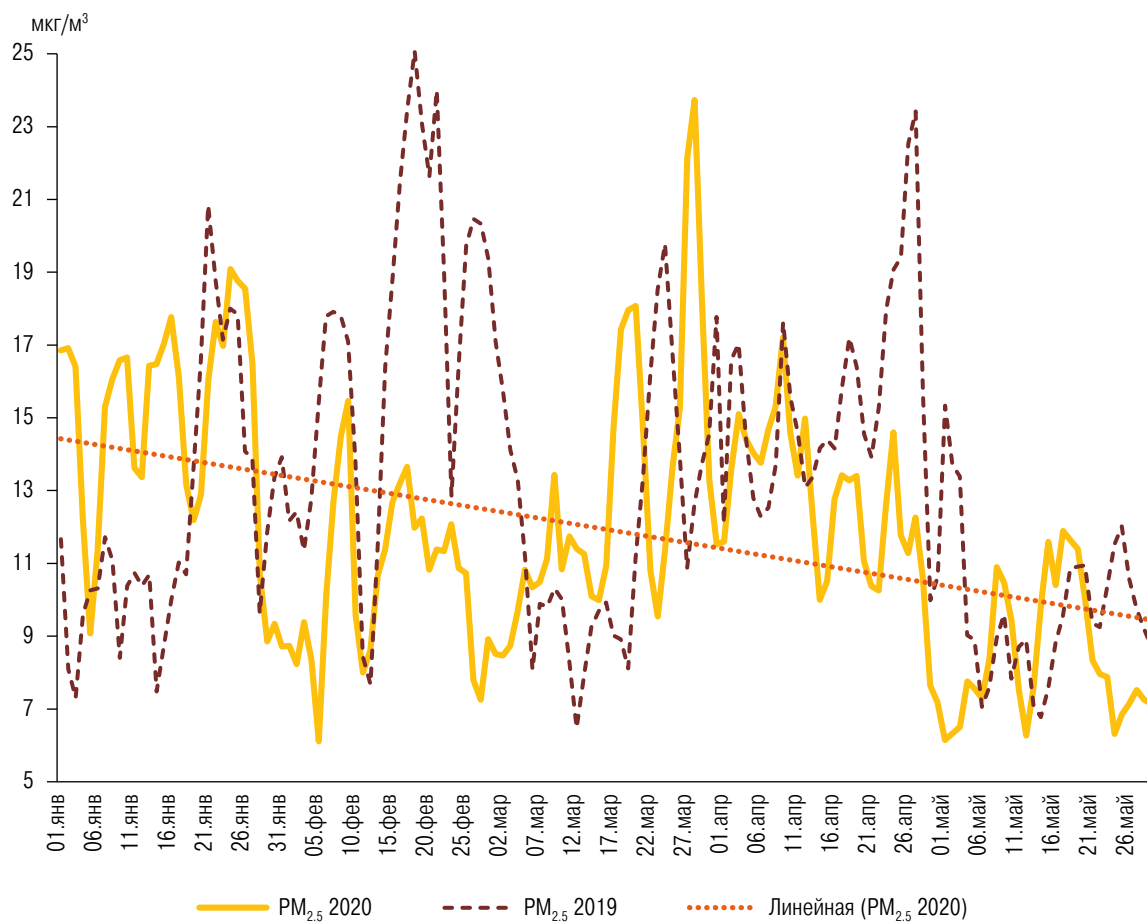


Рис. 1.57. Динамика средней концентрации $PM_{2.5}$ в Европе

Источник: данные Copernicus Atmosphere Monitoring Service, расчеты НИУ ВШЭ.

Таблица 1.8

Концентрация $PM_{2.5}$

Город	Средняя концентрация в 2020 году ($мг/м^3$)	Снижение по сравнению с 2019 годом (%)	Снижение за 2016–2020 гг. (%)
Дели	32,8	-60	-55
Лондон	16,2	-9	+6
Лос-Анджелес	5,5	-31	-51
Мадрид	6,4	-11	+2
Мумбаи	28,8	-34	-43
Нью-Йорк	4,4	-25	-29
Рим	16,7	+30	Н. д.
Сан-Паулу	10,1	-32	-26
Сеул	24,1	-54	-32
Ухань	35,1	-44	-50

Источник: данные IQAir.

2. Оценка влияния COVID-19 на выбросы в атмосферу в России

2.1. Текущее состояние мониторинга атмосферного воздуха

В соответствии со ст. 63.1 Федерального закона от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» должна быть создана Единая система государственного экологического мониторинга и Федеральная информационная система государственного фонда данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), одной из задач которой является сбор, хранение и обработка информации о загрязнении атмосферного воздуха, комплексная оценка и прогноз его состояния.

В 2015 году НИУ ВШЭ была разработана Концепция создания Государственного фонда данных государственного экологического мониторинга, в рамках которой предлагался сбор и анализ в том числе следующих сведений (в разрезе загрязняющих веществ, в том числе диоксида серы, оксидов азота, бенз(а)приена, формальдегида, оксидов углерода и ультрадисперсных частиц):

- число дней в году, когда уровень загрязнения воздуха в городских населенных пунктах превышает установленные значения;
- среднегодовая концентрация загрязняющих веществ в воздухе по каждой примеси на каждой станции;
- максимальная среднесуточная концентрация примеси на каждой станции;
- уровень загрязнения воздуха в городском населенном пункте;
- объем выбросов парниковых газов.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 августа 2013 года № 681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)» в перечень информации, собираемой в рамках функционирования государственного фонда данных, включены в том числе:

- результаты наблюдений за состоянием и загрязнением атмосферного воздуха;
- результаты оценки состояния и загрязнения атмосферного воздуха;
- прогноз состояния и загрязнения атмосферного воздуха;
- результаты оценки объемов антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов.

По данным, опубликованным в государственном докладе «О повышении качества окружающей среды в субъектах Российской Федерации», наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводятся в 244 городах Российской Федерации на 672 станциях, из них регулярные наблюдения Росгидрометом выполняются в 221 городе на 613 станциях, измеряются концентрации до 54 загрязняющих веществ. В то же время сведения о сборе и анализе оперативной информации о состоянии и качестве атмосферного воздуха, собираемые в рамках функционирования данных систем, в открытом доступе отсутствует. На основании данных, опубликованных Росгидрометом и Минприроды России, невозможно сделать никаких выводов о том, как пандемия новой коронавирусной инфекции, введение ограничительных мер повлияли на состояние и качество атмосферного воздуха в Российской Федерации.

Единственная оперативная информация о состоянии и загрязнении окружающей среды публикуется на сайте Росгидромета в разрезе двух субъектов РФ⁶³ (Москвы и Московской области). Росгидрометом также проводится мониторинг аварийного, экстремально высокого и высокого загрязнения окружающей среды на территории России⁶⁴, в рамках которого существенных из-

⁶³ О загрязнении окружающей среды на территории Москвы и Московской области <<http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/100/>> (дата обращения 04.06.2020).

⁶⁴ Об аварийном, экстремально высоком и высоком загрязнении окружающей среды на территории России <<http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/99/>> (дата обращения 04.06.2020).

менений концентраций загрязняющих веществ не выявлено. Однозначных выводов о влиянии пандемии новой коронавирусной инфекции и введения ограничительных мер на состояние и качество атмосферного воздуха на основании этих данных сделать невозможно.

В рамках федерального проекта⁶⁵ «Чистый воздух» национального проекта «Экология» предусмотрена реализация комплексных планов мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в крупных промышленных центрах, включая города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Читу, с учетом сводных расчетов допустимого в этих городах негативного воздействия на окружающую среду. Также в рамках федерального проекта предусмотрено внедрение информационной системы анализа качества воздуха, использующей данные автоматизированного онлайн-контроля выбросов, национальной системы мониторинга и социально-гигиенического мониторинга, а также данных системы расчетного мониторинга состояния атмосферного воздуха. Данная система должна быть внедрена в промышленную эксплуатацию в соответствии с постановлением Правительства РФ от 24 декабря 2019 года № 1806 «О создании и эксплуатации федеральной государственной информационной системы мониторинга качества атмосферного воздуха в городских округах Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита».

Сейчас актуальных и оперативных данных из этой системы нет в открытом доступе, хотя в соответствии с постановлением о создании данной системы предусмотрено, что содержащаяся в ней информация предоставляется оператором пользователям (органы исполнительной власти, органы местного самоуправления, юридические лица, индивидуальные предприниматели, граждане) на портале в сети Интернет. Сведения о функционировании данной системы отсутствуют.

15 января 2020 года В.В. Путин поручил до 1 июня 2020 года разработать и утвердить концепцию создания комплексной информационной системы мониторинга состояния окружающей среды на территории Российской Федерации, определив архитектуру указанной системы мониторинга, функциональные требования к ней, этапы ее создания и ввода в эксплуатацию, а также исполнителей, ответственных за создание такой системы, и необходимые объемы финансирования. При этом, по сообщениям средств массовой информации⁶⁶, проект концепции был возвращен на доработку в Минприроды России и к середине июня так и не определены архитектура системы, параметры данных, этапы построения и объемы финансирования, ответственные исполнители.

Таким образом, в России до сих пор не введены в промышленную эксплуатацию (либо сведения о функционировании в открытом доступе отсутствуют) нормативно предусмотренные информационные системы и ресурсы:

- Федеральная информационная система государственного фонда данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды);
- Федеральная государственная информационная система мониторинга качества атмосферного воздуха в городских округах Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита;
- Комплексная информационная система мониторинга состояния окружающей среды на территории Российской Федерации.

2.2. Данные о загрязнении атмосферы в России в период пандемии

В результате экспресс-анализа научных статей, публикаций и исследований о влиянии эпидемии коронавирусной инфекции на загрязнение атмосферы и качество воздуха в Российской Федерации выявлено следующее:

⁶⁵ Утвержден протоколом заседания проектного комитета по национальному проекту «Экология» от 21 декабря 2018 года № 3.

⁶⁶ Комплексная экологическая деформация <<https://www.kommersant.ru/doc/4378582>> (дата обращения 15.06.2020).

а) Количественные актуальные и достоверные данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу над большей частью территории страны отсутствуют. Спутниковый мониторинг загрязнения атмосферы, проводимый Европейским космическим агентством и Национальным управлением по аэронавтике и исследованиям космического пространства, частично покрывает территорию России, но данные о концентрациях загрязняющих веществ в российских населенных пунктах, аналогичные рассмотренным в разделе 1, не опубликованы.

б) Международным энергетическим агентством и Global Carbon Project опубликованы данные о снижении выбросов углекислого газа, в том числе на территории Российской Федерации (см. пункт 1.1.1).

в) Отечественные поставщики экологической информации, например, Росгидромет, не предоставляют открытые сведения о загрязняющих веществах в атмосфере и выбросах таких веществ. Учреждения в сфере экологии могут частично публиковать информацию о содержании и концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере над территорией отдельных населенных пунктов на текущую дату. Например, ФГУП «Мосэкомониторинг»⁶⁷ или Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечения экологической безопасности Санкт-Петербурга⁶⁸ в интерактивном виде предоставляют текущие значения концентраций некоторых загрязняющих веществ в воздухе Москвы и Санкт-Петербурга соответственно. При этом отсутствует ретроспективная информация о качестве воздуха, на основании которой можно было бы сделать вывод о динамике качества воздуха и концентрации загрязняющих веществ во время эпидемии коронавирусной инфекции. На сайте ФГУП «Мосэкомониторинг» также предусмотрена публикация прогноза концентраций загрязняющих веществ⁶⁹, но все ссылки на прогнозы ведут на страницы с ошибкой 404 (судя по URL ссылок, по ним располагались скриншоты карт за 12 декабря 2019 года).

г) В рамках официальной государственной статистики наборы данных о качестве воздуха публикуются в официальных статистических сборниках или в виде отчетных сводных таблиц в рамках Федерального плана статистических работ на сайтах отраслевых ведомств, Росстата или на портале Единой межведомственной информационно-статистической системы один раз в год, часто с задержкой до нескольких лет.

д) Мониторинг влияния эпидемии коронавирусной инфекции на качество воздуха и выбросы загрязняющих веществ на всей территории страны не проводится. Более того, только в мае 2020 года Росприроднадзор предложил осуществлять режим постоянного надзора негативного воздействия на окружающую среду в ряде городов в рамках национального проекта «Экология»⁷⁰. Ранее Росприроднадзор отчитывался об улучшении качества воздуха в семи городах из 12, входящих в перечень городов федерального проекта «Чистый воздух»⁷¹.

е) 1 мая 2020 года Департамент природопользования и охраны окружающей среды Москвы, ссылаясь на данные ФГУП «Мосэкомониторинг», выпустил пресс-релиз, содержащий информацию о том, что во время самоизоляции концентрация загрязняющих веществ была значительно ниже обычно наблюдаемых уровней⁷². По данным департамента:

— во второй половине апреля воздух в Москве стал чище, минимальные значения отмечены 22 апреля 2020 года;

⁶⁷ Качество воздуха в Москве <<https://mosecom.mos.ru/karta/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁶⁸ Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга <<http://www.infoeco.ru/index.php?id=53>> (дата обращения 25.05.2020).

⁶⁹ Прогноз загрязнения воздуха: средние значения CO, N2, NO, O3, PM10, максимальные значения: CO, N2, NO, O3, PM10 <<https://mosecom.mos.ru/vozdux/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁷⁰ Росприроднадзор предлагает установить режим постоянного надзора на объектах I категории негативного воздействия на окружающую среду <https://rpn.gov.ru/news/rosprirodnadzor_predlagaet_ustanovit_rezhim_postoyannogo_nadzora_na_obektakh_i_kategorii_negativnogo/> (дата обращения 04.06.2020).

⁷¹ Качество воздуха в период пандемии улучшилось в семи из 12 городов с худшей экологией <<https://www.kommersant.ru/doc/4347812>> (дата обращения 04.06.2020).

⁷² В Москве концентрация загрязняющих веществ в воздухе заметно снизилась <<https://www.mos.ru/news/item/73469073/>> (дата обращения 15.05.2020).

- в период с 16 по 30 апреля 2020 года концентрация основных загрязняющих веществ в атмосфере Москвы оказалась в 1,1–1,2 раза ниже, чем в начале периода самоизоляции;
- концентрация оксида углерода сократилась в 1,6 раза, диоксида азота — в 1,9 раза, оксида азота — в 2,5 раза, диоксида серы — в 1,5 раза, взвешенных веществ PM_{10} — в 1,3 раза.

Какие-либо данные, подтверждающие результаты мониторинга, не опубликованы.

ж) 26 мая 2020 года опубликованы результаты исследования⁷³ аналитической службы международной аудиторско-консалтинговой сети FinExpertiza с основным выводом: в 2020 году в России побит рекорд по количеству случаев высокого загрязнения воздуха в 1,5 раза. По данным FinExpertiza, за первый квартал 2020 года было зафиксировано 44 случая высокого загрязнения воздуха, что на 57% превышает количество выбросов в атмосферу за аналогичный период 2019 года.

Результаты данного исследования не могут быть использованы в данной работе для подтверждения снижения (или увеличения) концентрации загрязняющих веществ в Российской Федерации, поскольку:

- отсутствуют сведения об источниках информации в самом исследовании, хотя в средствах массовой информации ссылаются на источники в Росгидромете;
- в исследовании проанализированы только зафиксированные случаи высокого загрязнения и отсутствует оценка общего снижения (или увеличения) концентрации загрязняющих веществ.

и) В настоящее время компании, входящие в холдинг «Российские космические системы», также проводят спутниковый мониторинг загрязнения воздуха с помощью отечественного спутника «Метеор-М» № 2–2. В марте 2020 года с помощью спутника зафиксировали снижение загрязняющих веществ над городом Ухань (Китай)⁷⁴. Иные данные о результатах наблюдений за состоянием атмосферы в период эпидемии коронавирусной инфекции (в том числе над территорией Российской Федерации) на сайте холдинга «Российские космические системы» отсутствуют.

к) В 2016 году ученые из Академгородка в Новосибирске запустили проект CityAir⁷⁵ по созданию платформы для построения и объединения сетей мониторинга атмосферного воздуха. На данный момент на сайте проекта размещаются данные о качестве атмосферного воздуха в некоторых городах Российской Федерации в режиме реального времени, а также значения концентраций различных загрязняющих веществ в атмосфере. Ретроспективные и исторические данные о концентрациях веществ в свободном доступе не опубликованы.

Таким образом, получить полноценную информацию о влиянии эпидемии коронавирусной инфекции на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и качество воздуха в Российской Федерации из отечественных источников не представляется возможным. В связи с этим были изучены дополнительные источники информации, содержащие сведения о загрязняющих веществах в атмосфере в Российской Федерации, а также предпринята попытка провести оценку концентраций загрязняющих веществ в крупных городах-миллионниках во время эпидемии коронавирусной инфекции.

2.3. Проект World Air Quality Index

World Air Quality Index⁷⁶ (далее — WAQI) — некоммерческий проект, основанный в 2007 году в Пекине. Он объединяет специалистов и энтузиастов наук об окружающей среде, по обработке информации и визуализации данных. В рамках проекта осуществляется сбор данных о загрязняющих веществах с 30 тыс. станций в 1000 крупных городах в более чем 100 странах мира.

⁷³ Рост в полтора раза: в РФ побит рекорд по количеству случаев высокого загрязнения воздуха <<https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2020/vysok-zagryaznenie-vozdukha/>> (дата обращения 26.05.2020).

⁷⁴ Российский спутник зафиксировал изменения в атмосфере над городом Ухань за время пандемии COVID-19 <<http://russianspacesystems.ru/2020/05/22/rossiyskiy-sputnik-zafiksiroval/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁷⁵ CityAir <<https://cityair.io/about-project-ru/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁷⁶ World Air Quality Index <<http://waqi.info/>> (дата обращения 10.05.2020).

WAQI предоставляет свободный доступ к текущим, ретроспективным и прогнозным данным о состоянии атмосферы, концентрациях загрязняющих веществ всем желающим. Различные исследования международных и правительственных учреждений также основаны на данных WAQI⁷⁷. На основании значений концентраций загрязняющих веществ в атмосфере рассчитывается сводный индекс качества воздуха.

Проект обеспечивает доступ к специализированным наборам данных, содержащих необходимые сведения для изучения влияния эпидемии коронавирусной инфекции на атмосферу в 380 городах мира⁷⁸, в том числе в некоторых городах Российской Федерации (Москва, Санкт-Петербург, Челябинск, Красноярск, Новосибирск, Томск). Данные по Российской Федерации за 2019 год отсутствуют, поэтому анализ динамики изменений концентраций веществ в 2020 году по сравнению с 2019 годом проведен не был. Для некоторых городов также не представлены значения концентраций отдельных веществ.

На основании данных WAQI Институтом экологии НИУ ВШЭ был проведен анализ динамики концентраций загрязняющих веществ в нескольких городах Российской Федерации в 2020 году. Соответствующая информация представлена на рисунках 2.1–2.12.

Как видно из рисунков 2.1 и 2.2, в период с 8 марта по 3 апреля 2020 года значения концентрации веществ в наборе данных отсутствуют.

Как видно из рисунка 2.8, с 19 апреля по 9 мая 2020 года в Нижнем Новгороде зафиксированы значительные увеличения концентрации диоксида серы в атмосфере (в 50 раз). Информация о причинах, объясняющих превышение нормальных значений, отсутствует. В средствах массовой информации также нет упоминаний о ЧС, произошедших на территории Нижнего Новгорода, которые могли бы повлечь за собой резкое ухудшение экологической обстановки. Возможно, в рассматриваемый период датчик, снимающий показания концентрации диоксида серы, работал некорректно. Однако в любом случае это превышение требует официальной реакции уполномоченных органов.

Данные, представленные на рисунках 2.1–2.12, иллюстрируют, что концентрации ряда веществ значительно снижались в период с конца февраля по середину апреля 2020 года, как раз во время введения и ужесточения мер противодействия эпидемии коронавирусной инфекции в Российской Федерации. Подробный расчет Института экологии и Института государственного и муниципального управления НИУ ВШЭ и информация о ежемесячных темпах динамики концентрации веществ в атмосферном воздухе на основе данных WAQI представлены в таблице 2.1.

На основании данных таблицы 2.1 можно сделать вывод, что в ряде городов концентрации загрязняющих веществ стабильно снижались в период с апреля по май 2020 года:

- NO₂ — в Москве, Санкт-Петербурге;
- PM₁₀ — в Москве, Нижнем Новгороде, Челябинске;
- PM_{2.5} — в Москве, Нижнем Новгороде, Челябинске;
- CO — в Москве, Челябинске;
- SO₂ — в Москве, Санкт-Петербурге, Красноярске.

При этом в некоторых городах концентрация снижалась и в другие периоды. Например, в Новосибирске и Томске — в феврале — марте 2020 года. Зато после — в апреле и мае — она, наоборот, росла. Другой вариант — падение в феврале и марте, затем рост в апреле и последующее падение в мае. Такая динамика была зафиксирована в Санкт-Петербурге и Новосибирске. Эти различия могут быть связаны с принимаемыми ограничительными мерами, временем их принятия, соблюдением населением режима самоизоляции, ограничениями передвижения на личном автотранспорте и т.д. Динамика частично коррелирует с динамикой изменения Индекса самоизоляции⁷⁹ или Индексом активности населения⁸⁰, рассчитываемых «Яндексом».

⁷⁷ Платформа исторических данных о качестве воздуха <<https://aqicn.org/data-platform/register/ru/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁷⁸ Всемирный набор данных COVID-19 <<https://aqicn.org/data-platform/covid19/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁷⁹ Индекс самоизоляции <<https://yandex.ru/company/researches/2020/podomam>> (дата обращения 25.05.2020).

⁸⁰ Активность на улицах городов мира <<https://yandex.ru/maps/covid19/isolation>> (дата обращения 25.05.2020).

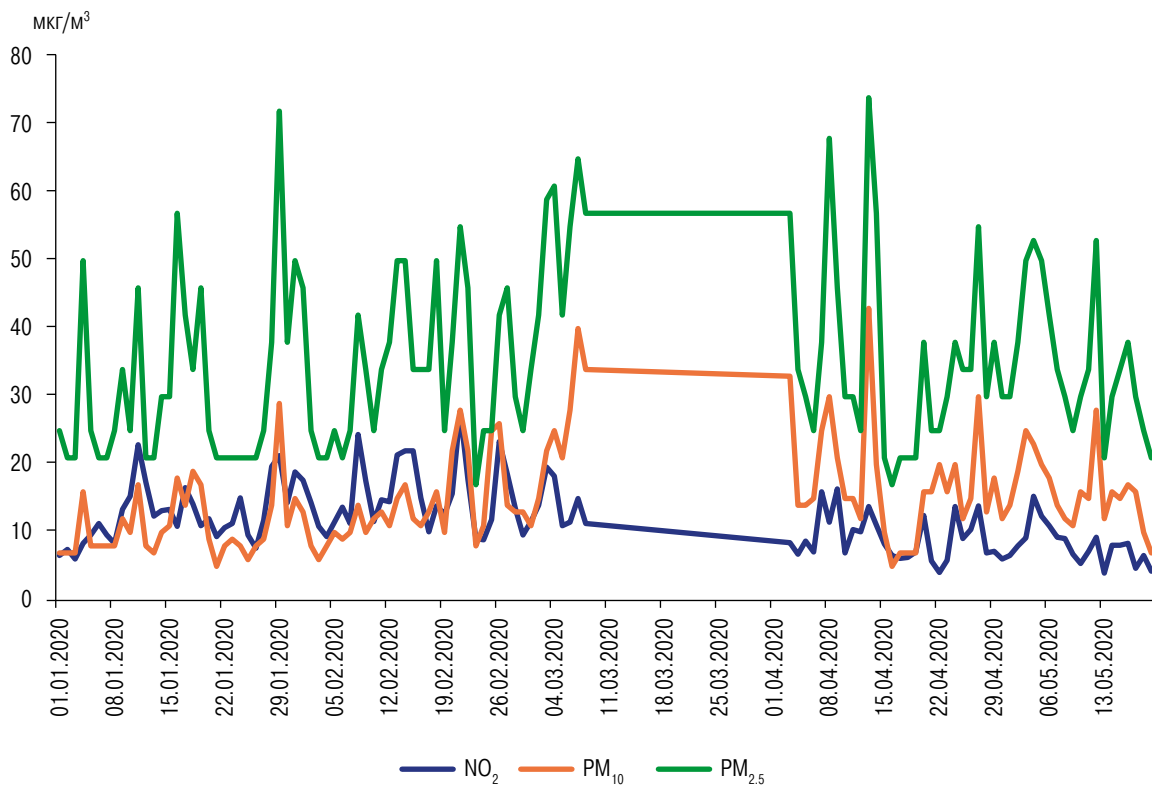


Рис. 2.1. Концентрация NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ в Москве

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

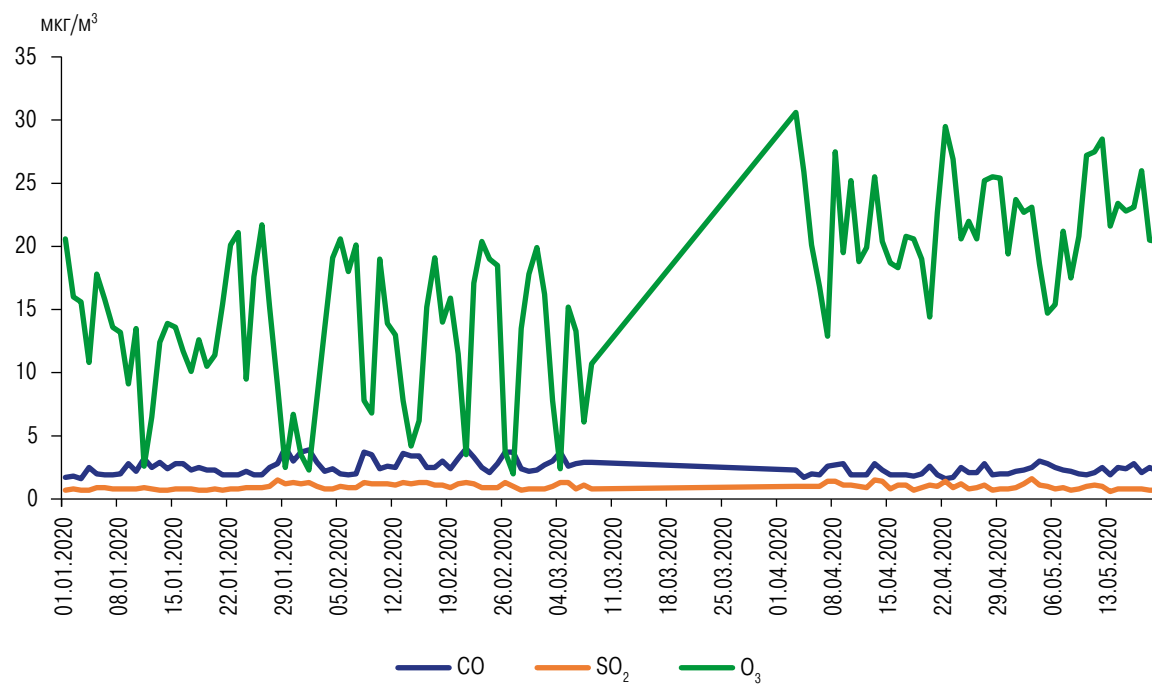


Рис. 2.2. Концентрация CO , SO_2 , O_3 в Москве

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

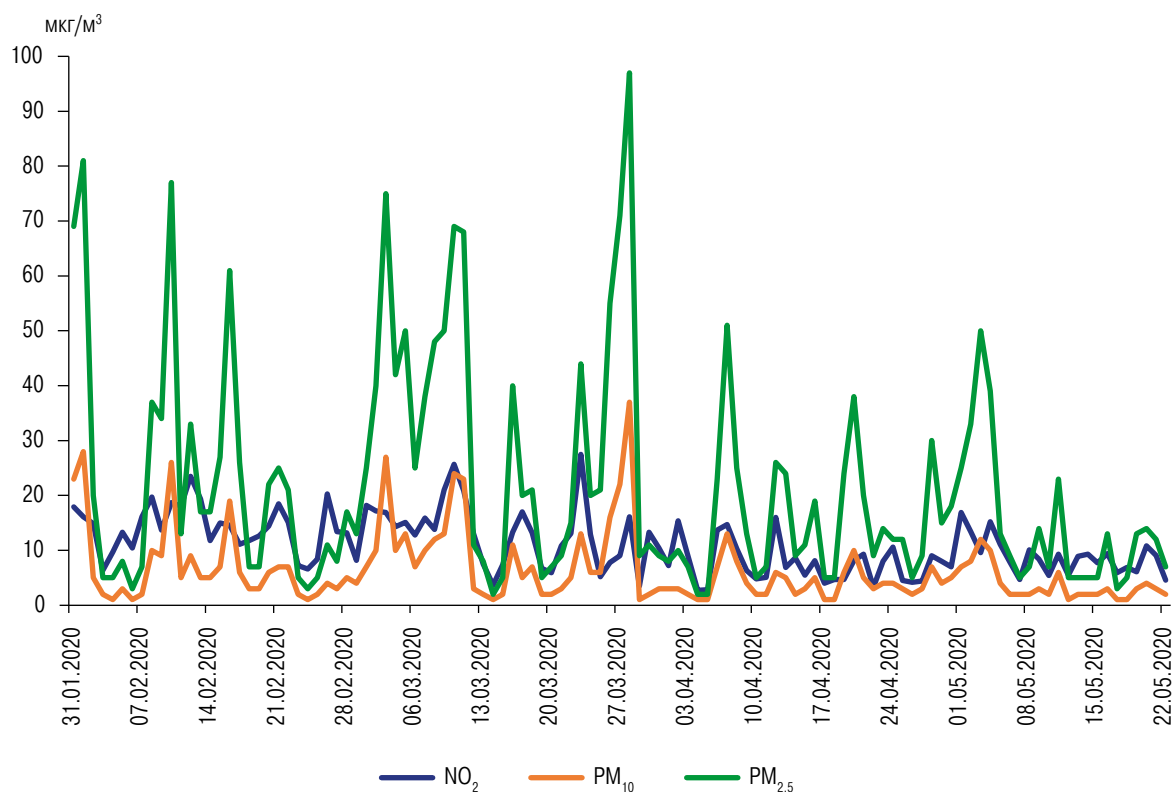


Рис. 2.3. Концентрация NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ в Санкт-Петербурге

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

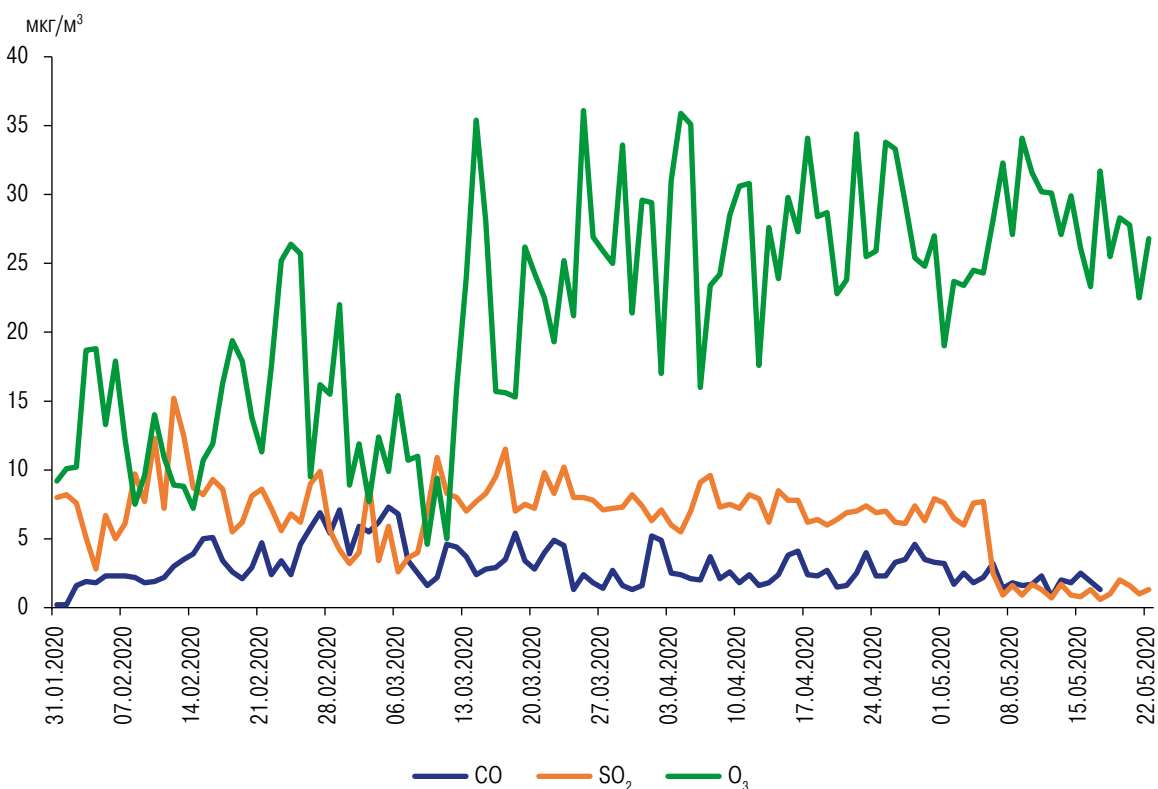


Рис. 2.4. Концентрация CO , SO_2 , O_3 в Санкт-Петербурге

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

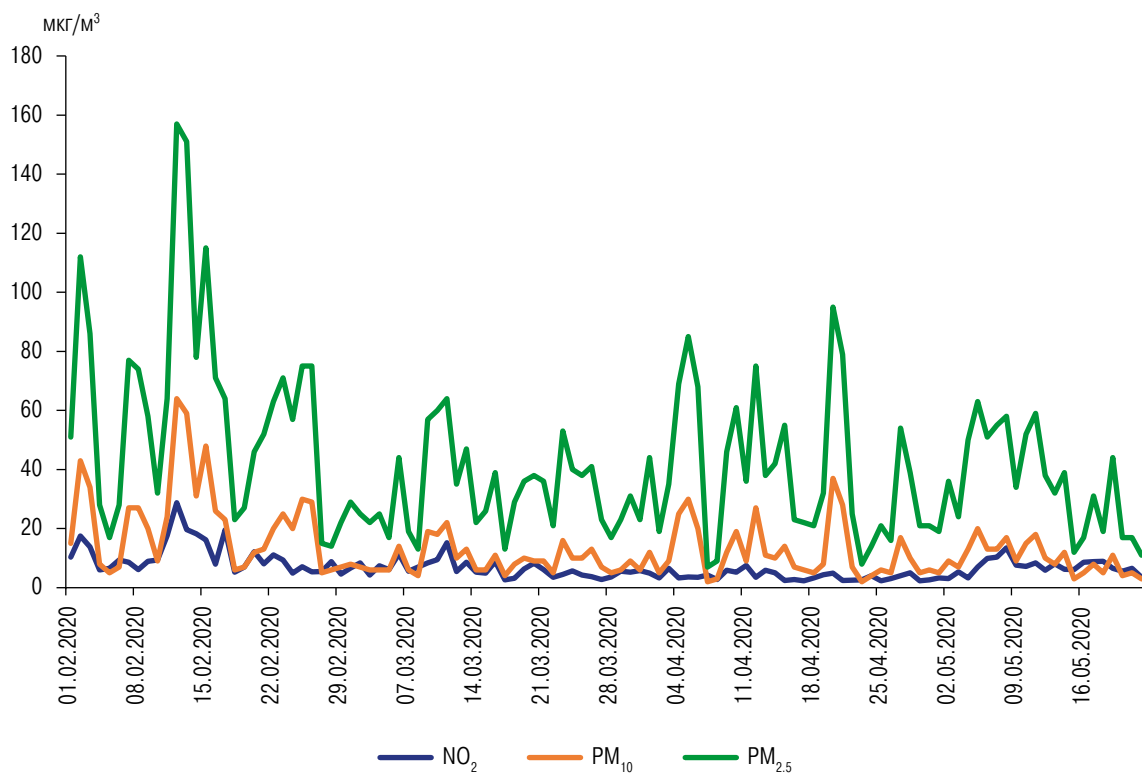


Рис. 2.5. Концентрация NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ в Челябинске

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

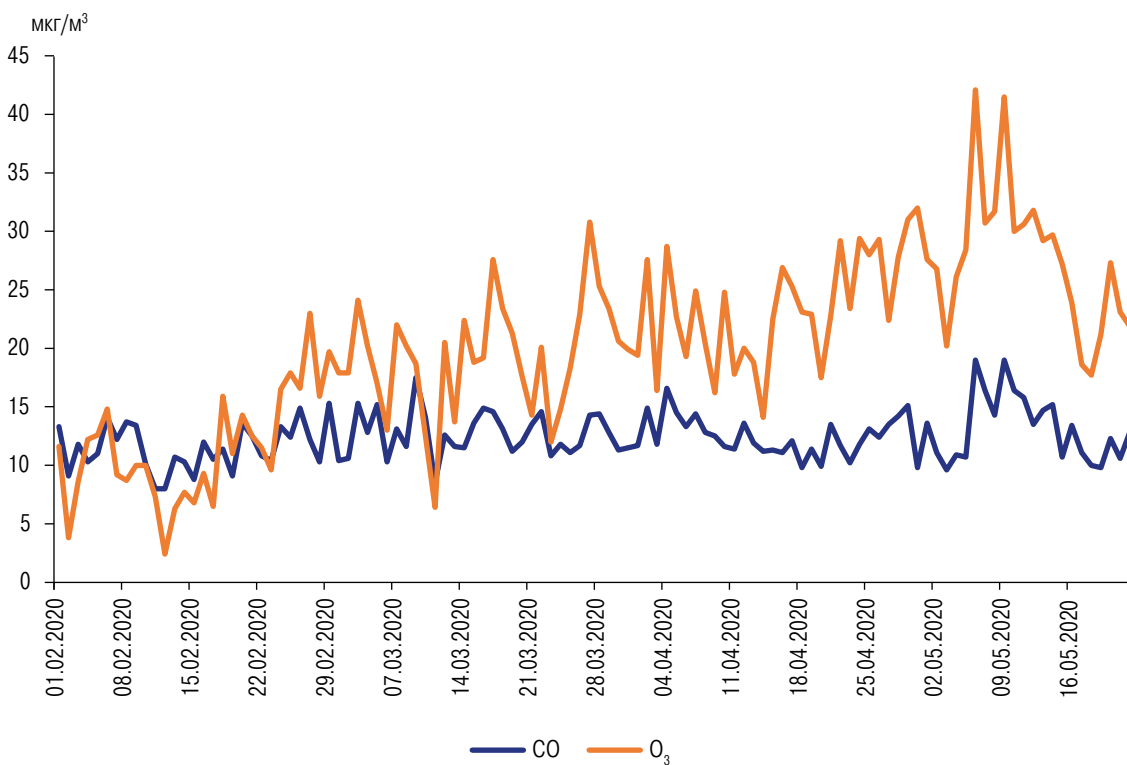


Рис. 2.6. Концентрация CO , O_3 в Челябинске

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
 НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

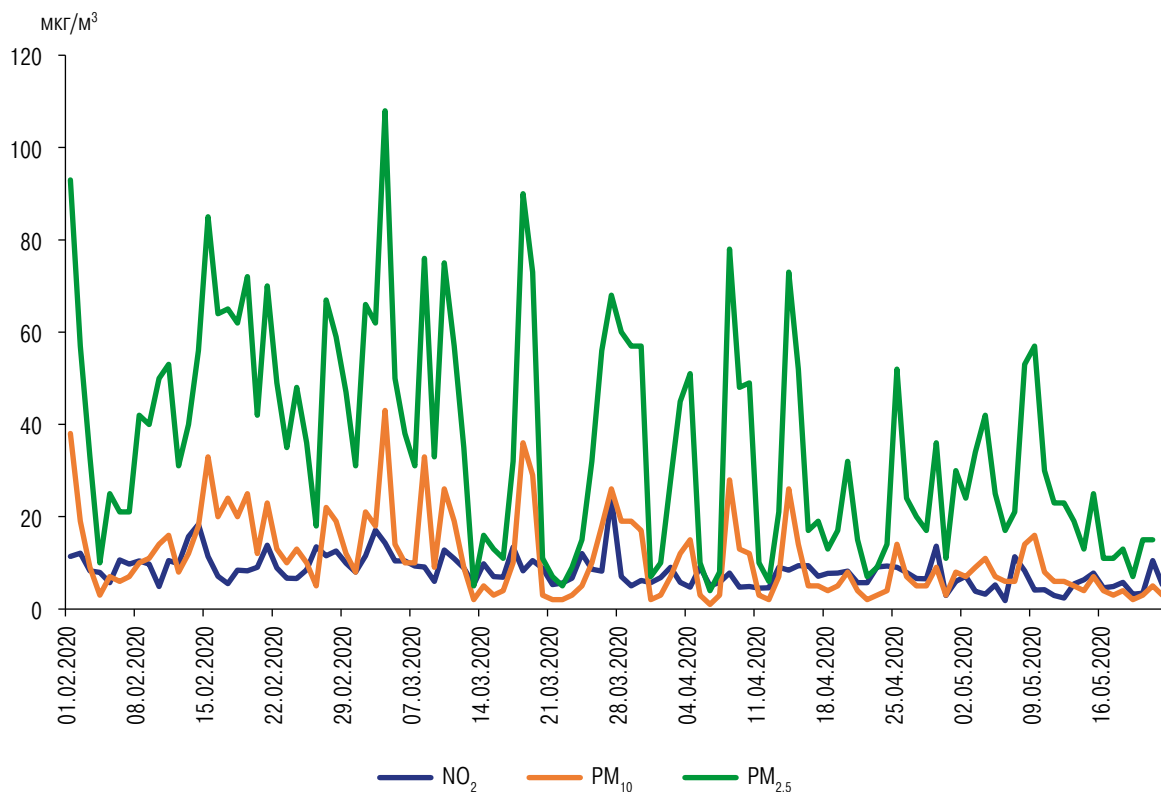


Рис. 2.7. Концентрация NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ в Нижнем Новгороде

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

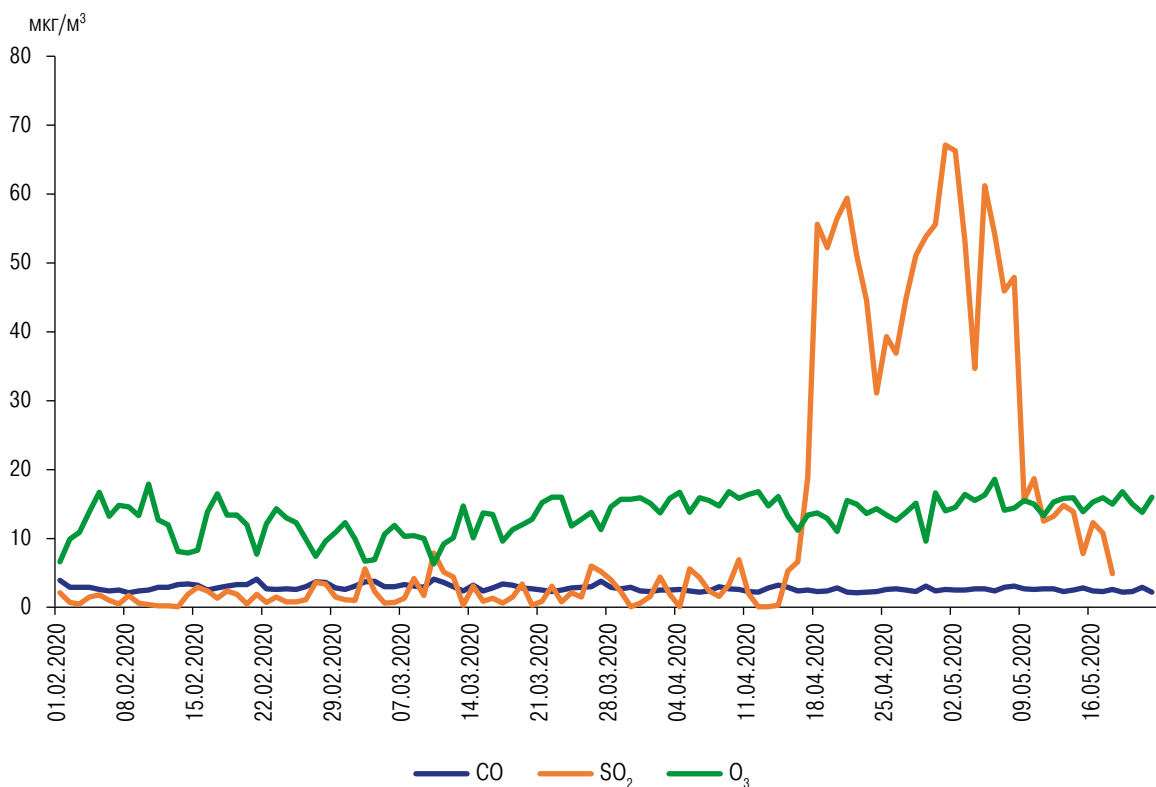


Рис. 2.8. Концентрация CO , SO_2 , O_3 в Нижнем Новгороде

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

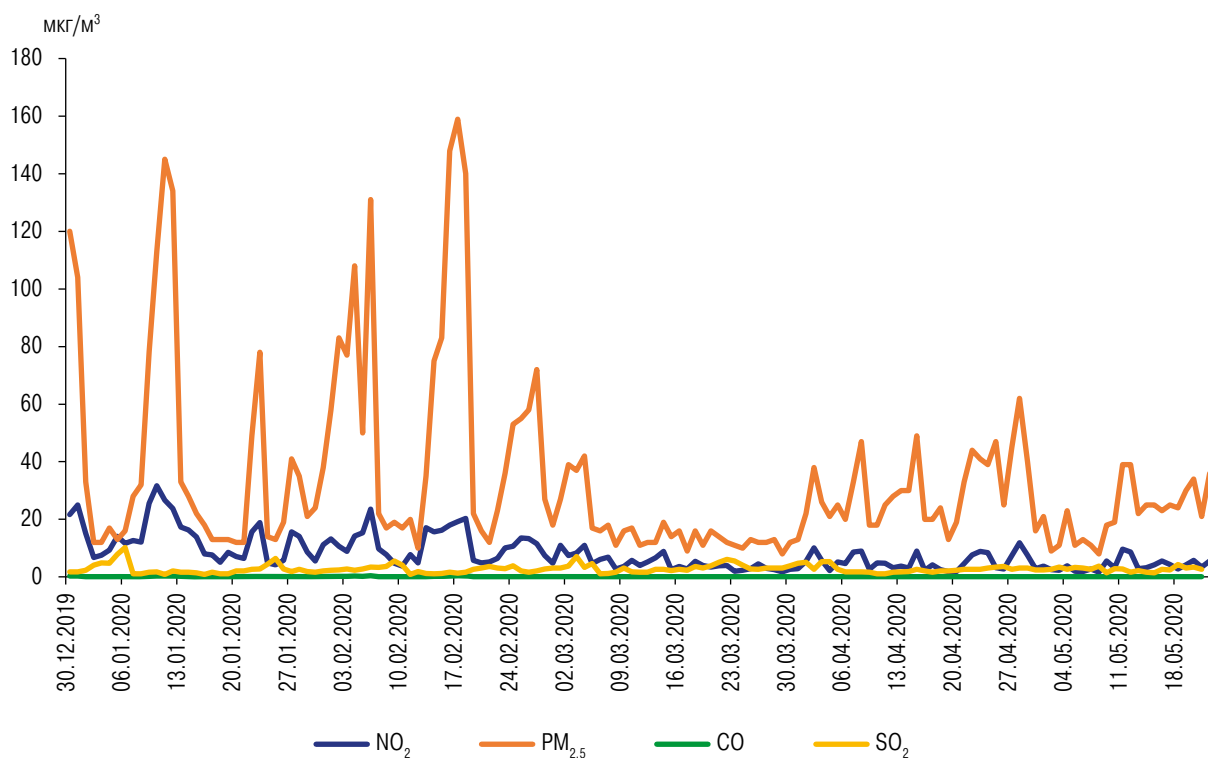


Рис. 2.9. Концентрация NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, CO , SO_2 в Красноярске

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

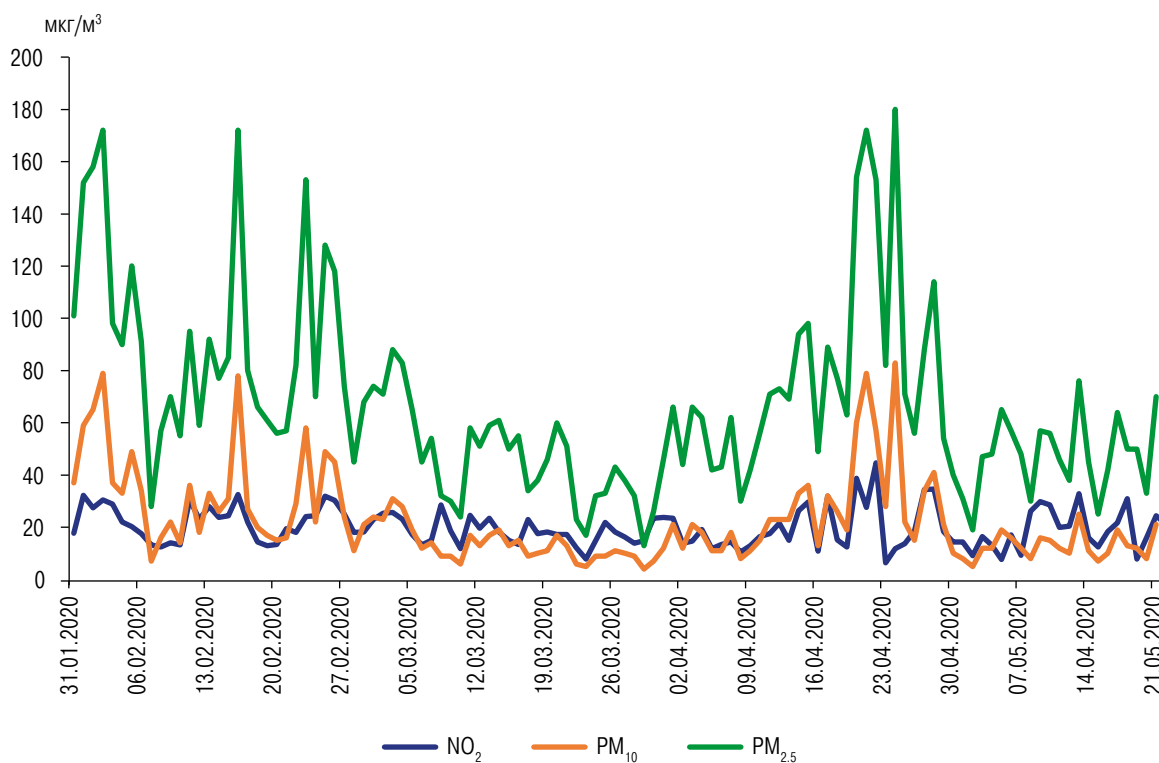


Рис. 2.10. Концентрация NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ в Новосибирске

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

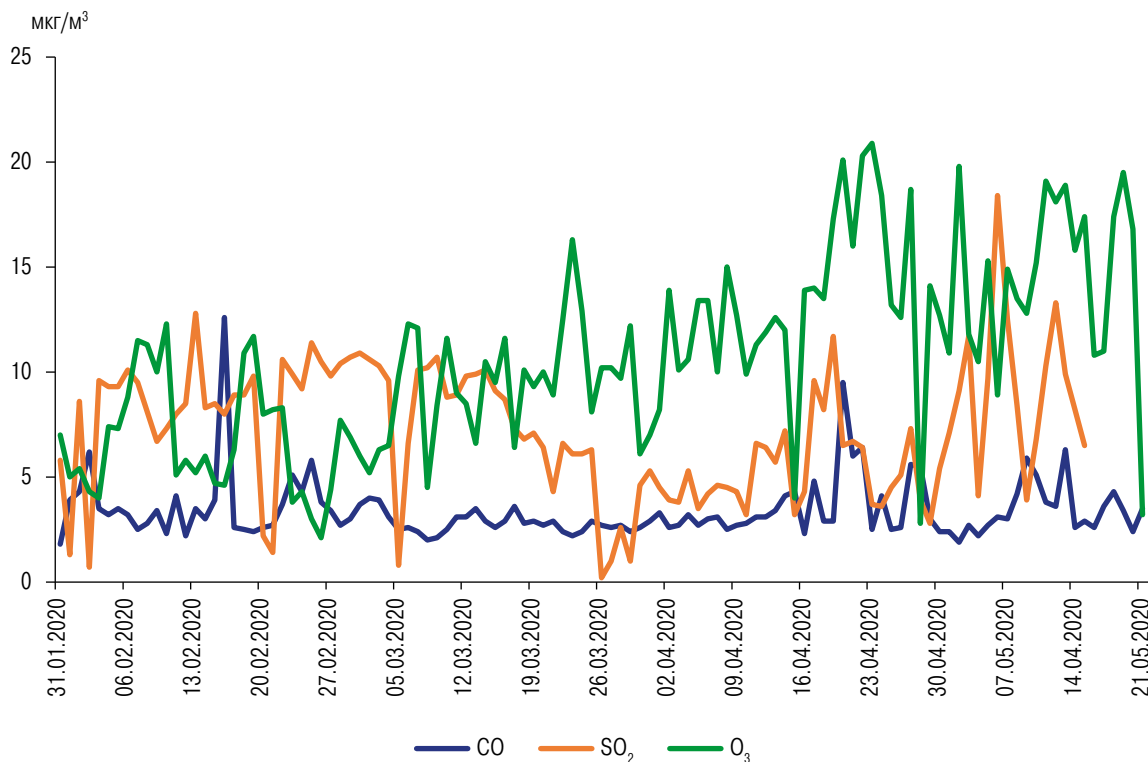


Рис. 2.11. Концентрация CO, SO₂, O₃ в Нижнем Новгороде
Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

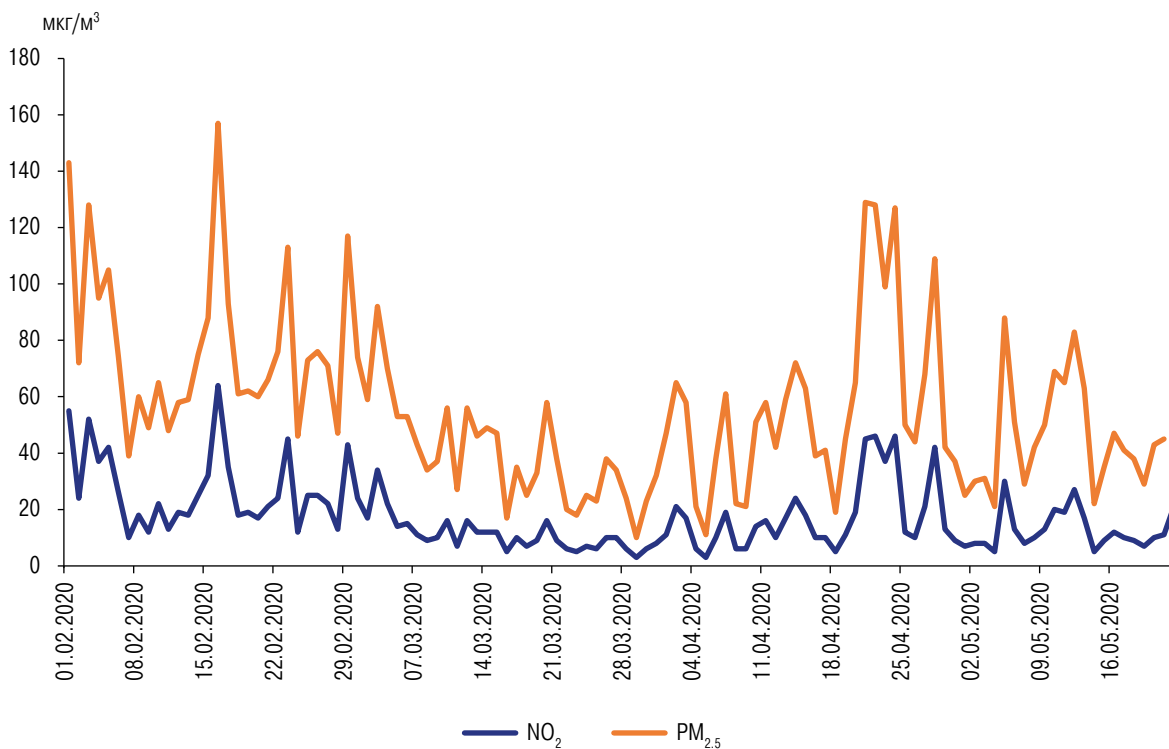


Рис. 2.12. Концентрация PM₁₀, PM_{2.5} в Новосибирске
Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

Таблица 2.1

Сводные ежемесячные темпы динамики концентраций веществ в 2020 году (%)

Город	Частица	Январь – Май	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Москва	NO ₂	-4,7	21,2	3,0	-34,2	-8,1	-26,8
	PM ₁₀	5,0	15,8	35,4	357,1	-23,1	-41,6
	PM _{2,5}	3,3	39,2	21,9	291,7	-34,4	-92,5
	CO	-0,3	2,9	0,9	4,2	-0,5	-0,9
	SO ₂	0,0	1,3	-0,3	1,1	-1,0	-2,5
	O ₃	9,4	-14,0	1,2	-101,9	3,9	18,0
Санкт-Петербург	NO ₂	-8,3	Н. д.	-9,0	-25,3	-10,6	-28,0
	PM ₁₀	-6,0	Н. д.	-21,9	-11,5	1,3	-27,8
	PM _{2,5}	-17,1	Н. д.	-69,8	-53,3	10,4	-110,7
	CO	-1,1	Н. д.	15,1	-11,8	0,4	-4,9
	SO ₂	-4,5	Н. д.	-1,1	12,0	-1,6	-28,6
	O ₃	17,7	Н. д.	27,9	73,0	5,6	11,6
Новосибирск	NO ₂	-2,4	Н. д.	-3,7	-16,5	31,2	35,9
	PM ₁₀	-14,6	Н. д.	-66,3	-48,8	90,9	17,7
	PM _{2,5}	-31,5	Н. д.	-121,3	-134,7	184,6	57,9
	CO	0,1	Н. д.	1,1	-2,0	5,6	4,3
	SO ₂	-1,2	Н. д.	11,7	-24,2	4,0	-4,2
	O ₃	9,1	Н. д.	-4,8	9,2	14,5	2,8
Нижний Новгород	NO ₂	-5,1	Н. д.	2,1	-8,8	6,0	2,0
	PM ₁₀	-11,5	Н. д.	5,5	-17,4	-14,0	-33,2
	PM _{2,5}	-31,3	Н. д.	37,4	-55,9	-39,2	-123,5
	CO	-0,6	Н. д.	1,3	-1,6	0,0	-1,3
	SO ₂	38,6	Н. д.	3,6	0,3	222,5	-380,4
	O ₃	4,2	Н. д.	-6,4	21,1	-8,4	-0,5
Челябинск	NO ₂	-6,0	Н. д.	-20,1	-13,4	-6,0	3,4
	PM ₁₀	-13,3	Н. д.	-37,1	-4,2	-22,3	-35,7
	PM _{2,5}	-28,8	Н. д.	-98,3	-3,5	-69,4	-127,0
	CO	1,5	Н. д.	4,9	-0,7	-4,9	-9,7
	O ₃	18,3	Н. д.	33,3	14,3	27,7	-39,1
Красноярск	NO ₂	-8,2	-21,9	-11,2	-19,9	1,4	10,3
	PM _{2,5}	-18,5	-40,4	-84,9	-60,8	47,0	91,0
	CO	-0,1	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0
	SO ₂	-0,1	-6,1	-0,9	3,2	-1,1	0,0
Томск	PM ₁₀	-12,5	Н. д.	-32,2	-50,4	57,6	5,5
	PM _{2,5}	-28,2	Н. д.	-57,0	-151,1	148,1	15,8

Источник: данные WAQI, расчеты НИУ ВШЭ.

3. Модель оценки снижения концентраций загрязняющих веществ в городах Российской Федерации

В ряде исследований, упомянутых в пунктах 1.2.1 и 1.2.2, выявлено линейное снижение концентраций различных загрязняющих атмосферу веществ в крупных городах мира. На основании данных Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, Европейского космического агентства в подразделе 1.2 были проведены расчеты динамики концентраций NO_2 , ультрадисперсных частиц и показано, что в период с января по май 2020 года в ряде городов Европы наблюдалось ежедневное снижение суточных концентраций загрязняющих веществ, а также их снижение по сравнению с аналогичным периодом 2019 года.

Как было отмечено в разделе 2, актуальных и достоверных данных о загрязнении атмосферы в российских городах (кроме данных проекта WAQI) в открытом доступе нет. Поэтому оценка воздействия мер, связанных с эпидемией коронавирусной инфекции в Российской Федерации, на окружающую среду и, в частности, на атмосферный воздух, была основана на зарубежных данных, а именно данных Европейского космического агентства⁸¹, полученных в рамках проекта Copernicus со спектрометра TROPOMI космического аппарата Sentinel-5P. Расчеты проводились с помощью линейной регрессионной модели оценки концентраций NO_2 , ультрадисперсных частиц в российских городах-миллионниках в период с января по май 2020 года и в аналогичный период 2019 года.

3.1. Методика оценки

1) Для построения модели были отобраны 18 крупных европейских городов, значения концентраций NO_2 и ультрадисперсных частиц в атмосфере которых есть в наборе данных Европейского космического агентства. Помимо этих данных в модели были использованы показатели численности населения и количества личного автотранспорта. В списке изученных городов (индекс соответствует индексу в наборе исходных данных):

- AQ001 Амстердам
- AQ002 Анкара
- AQ004 Барселона
- AQ006 Берлин
- AQ011 Бухарест
- AQ012 Будапешт
- AQ016 Гамбург
- AQ018 Лиссабон
- AQ020 Лондон
- AQ023 Мадрид
- AQ024 Марсель
- AQ025 Милан
- AQ027 Мюнхен
- AQ031 Париж
- AQ033 Прага
- AQ037 Рим
- AQ040 София
- AQ049 Варшава

⁸¹ Repository for latest CAMS European air quality analyses <<https://github.com/CopernicusAtmosphere/air-quality-covid19-response>> (дата обращения 29.05.2020).

2) Определены 10 городов-миллионников Российской Федерации:

- Москва
- Санкт-Петербург
- Новосибирск
- Екатеринбург
- Казань
- Нижний Новгород
- Челябинск
- Самара
- Омск
- Ростов-на-Дону

3) Суточная концентрация загрязняющего вещества в рамках данной модели рассчитывалась по формуле (3.1):

$$C_i^j = v_c P_i^j + v_v V_i^j, \quad (3.1)$$

где: i — порядковый номер дня;

j — порядковый номер города Российской Федерации;

v_c — весовой коэффициент вклада активности населения в загрязнение воздуха;

v_v — весовой коэффициент вклада автотранспорта в загрязнение воздуха;

P — суточная концентрация загрязняющих веществ, производимых в результате деятельности населения;

V — суточная концентрация загрязняющих веществ, производимых в результате пользования транспортом.

4) Весовые коэффициенты определены следующим образом. В ряде научных публикаций^{82, 83, 84} отмечается, что существенный вклад в загрязнение воздуха в крупных городах вносит автотранспорт. По различным оценкам, вклад автотранспорта составляет 80–90%, поэтому в рамках данной модели значения весовых коэффициенты равны 0,2 и 0,8 для v_c и v_v соответственно.

5) Суточные концентрации загрязняющих веществ, производимых в результате деятельности населения и в результате пользования транспортом, рассчитываются по формулам (3.2) и (3.3):

$$P_i^j = k_i^p N_j^p + b_i^p, \quad (3.2)$$

$$V_i^j = k_i^v N_j^v + b_i^v, \quad (3.3)$$

где: k^p, k^v, b^p, b^v — коэффициенты линейной регрессии;

N^p — численность населения в j -м городе;

N^v — количество автотранспорта в j -м городе.

6) Коэффициенты линейной регрессии являются коэффициентами уравнения типа $y = kx + b$, где: y — значения суточных концентраций загрязняющих веществ в 18 городах Европы;

x — значения численности населения и количества автотранспорта в 18 городах Европы.

7) Суточные концентрации C рассчитаны для городов-миллионников Российской Федерации в период с января по май 2020 года и в аналогичный период 2019 года.

⁸² Сердюкова А.Ф. Влияние автотранспорта на окружающую среду <<https://moluch.ru/archive/211/51590/>> (дата обращения 25.05.2020).

⁸³ Wang P. et al. (2020) Severe air pollution events not avoided by reduced anthropogenic activities during COVID-19 outbreak // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 158 <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104814>> (дата обращения 25.05.2020).

⁸⁴ Влияние автотранспорта на состояние окружающей среды крупного промышленного города <<http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2012/01/2012-01-30.pdf>> (дата обращения 25.05.2020).

3.2. Результаты

1) Получены значения суточных концентраций загрязняющих веществ для городов-миллионников Российской Федерации. Результаты оценки представлены на рисунках 3.1–3.6.

Как видно из рисунков 3.1–3.6, значения суточных концентраций загрязняющих веществ для городов с населением не более 1,6 млн человек (8 городов из 10) не сильно отличаются друг от друга. Разница в концентрациях загрязняющих веществ для таких городов, в соответствии с расчетами, составляет не более $0,7 \text{ мкг/м}^3$. Столь незначительные различия связаны в основном с тем, что эти города имеют примерно одинаковую численность проживающего населения и количество автотранспорта, и эти значения в несколько раз меньше соответствующих значений для Москвы и Санкт-Петербурга. Значения постоянных показателей, используемых в модели, представлены в таблице 3.1.

2) Получены значения динамики изменений суточных концентраций загрязняющих веществ в городах-миллионниках Российской Федерации в 2020 году относительно концентраций загрязняющих веществ в 2019 году. Результаты представлены на рисунках 3.7–3.9.

В таблице 3.2 представлены расчеты динамики изменения ежемесячных концентраций загрязняющих веществ в городах-миллионниках в 2020 году относительно 2019 года.

Из данных, представленных в таблице 3.2, видно, что модельными расчетами подтверждается гипотеза о том, что концентрации загрязняющих веществ действительно снижались в 2020 году и были меньше соответствующих значений 2019 года. То есть ряд ограничительных мер, принимаемых правительством Российской Федерации, снижение активности населения и общее замедление экономики страны привели к снижению антропогенного влияния на атмосферу во время эпидемии коронавирусной инфекции. Результаты моделирования показывают, что наибольшее изменение концентраций загрязняющих веществ во всех рассматриваемых городах происходило в период с февраля по апрель 2020 года.

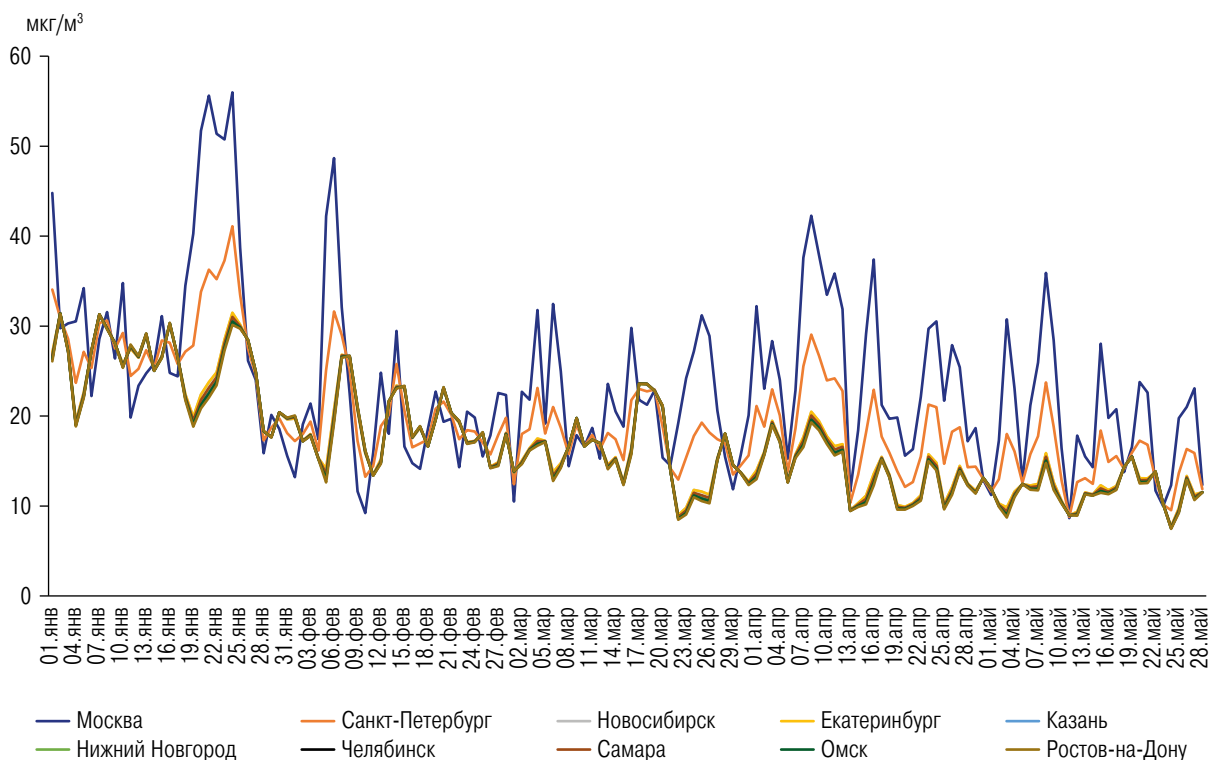


Рис. 3.1. Концентрация NO_2 (2020)

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

3. МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

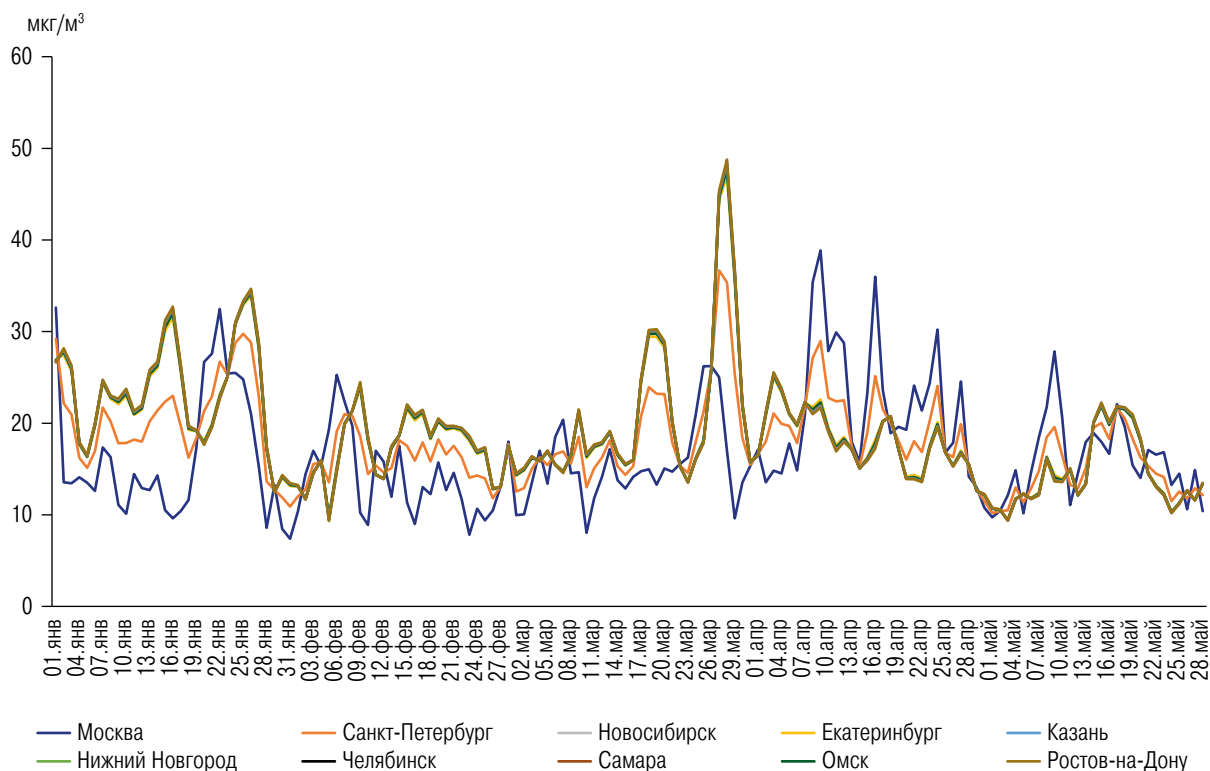


Рис. 3.2. Концентрация PM_{10} (2020)

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

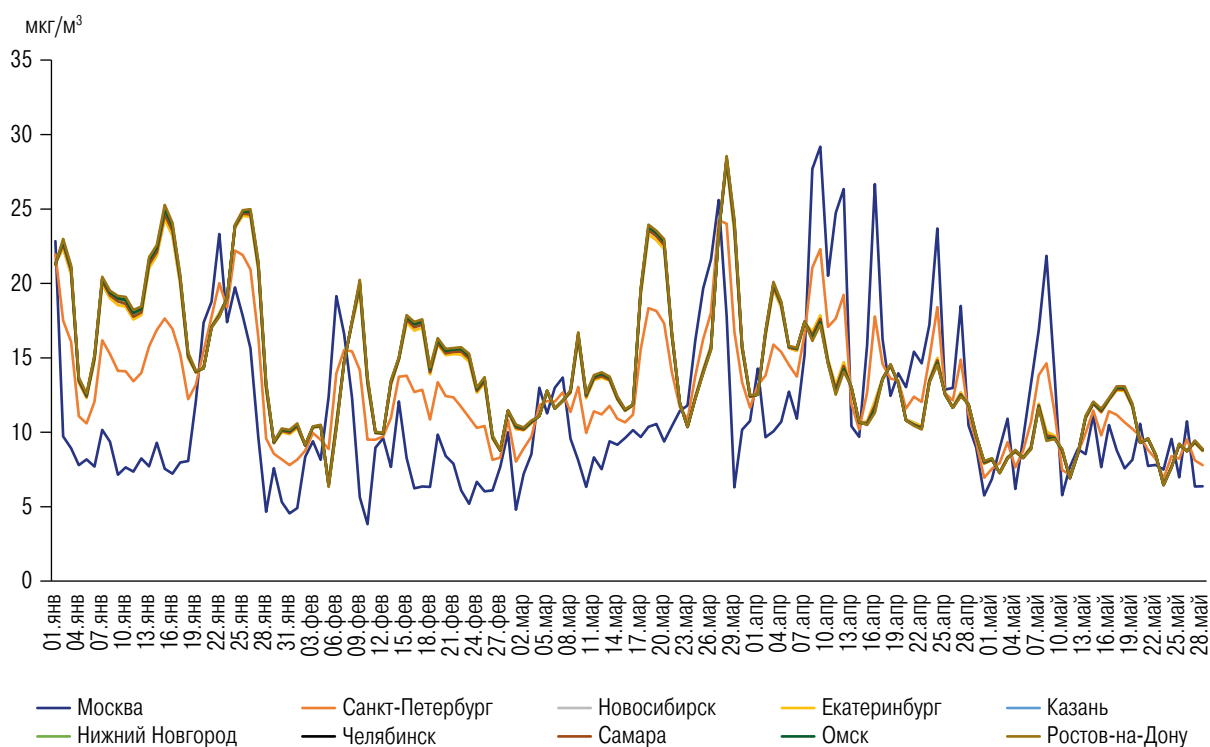


Рис. 3.3. Концентрация $PM_{2.5}$ (2020)

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

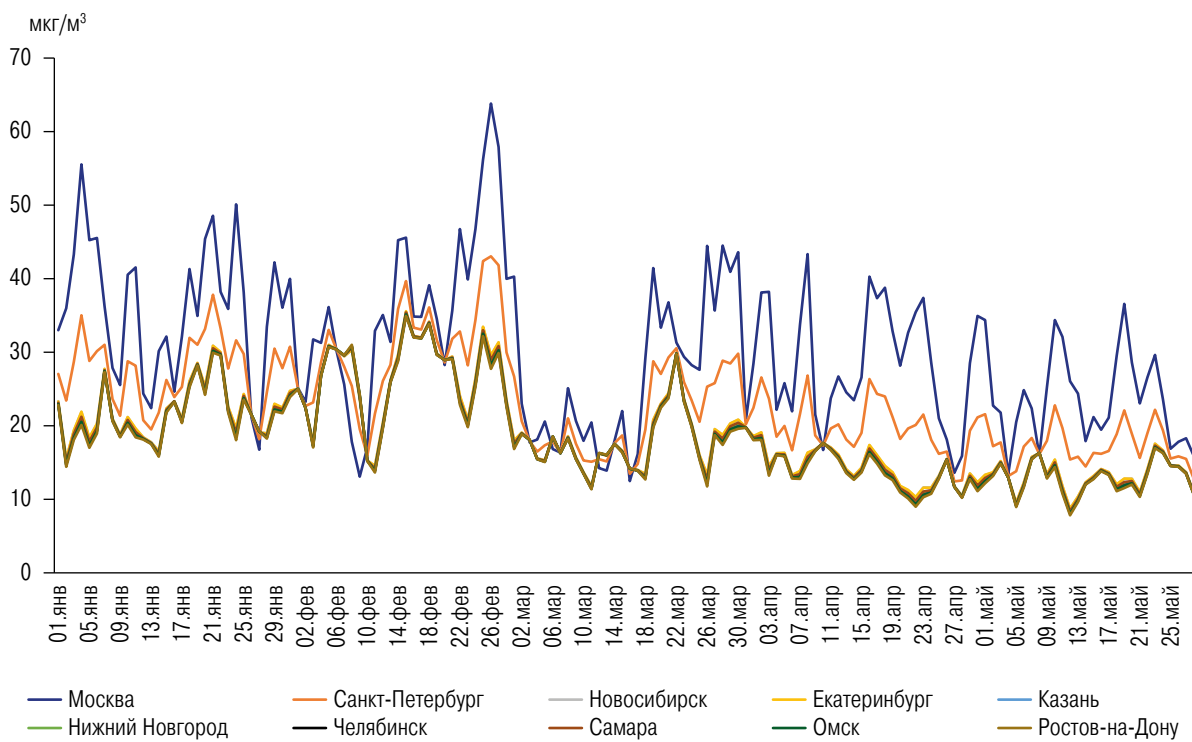


Рис. 3.4. Концентрация NO₂ (2019)

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

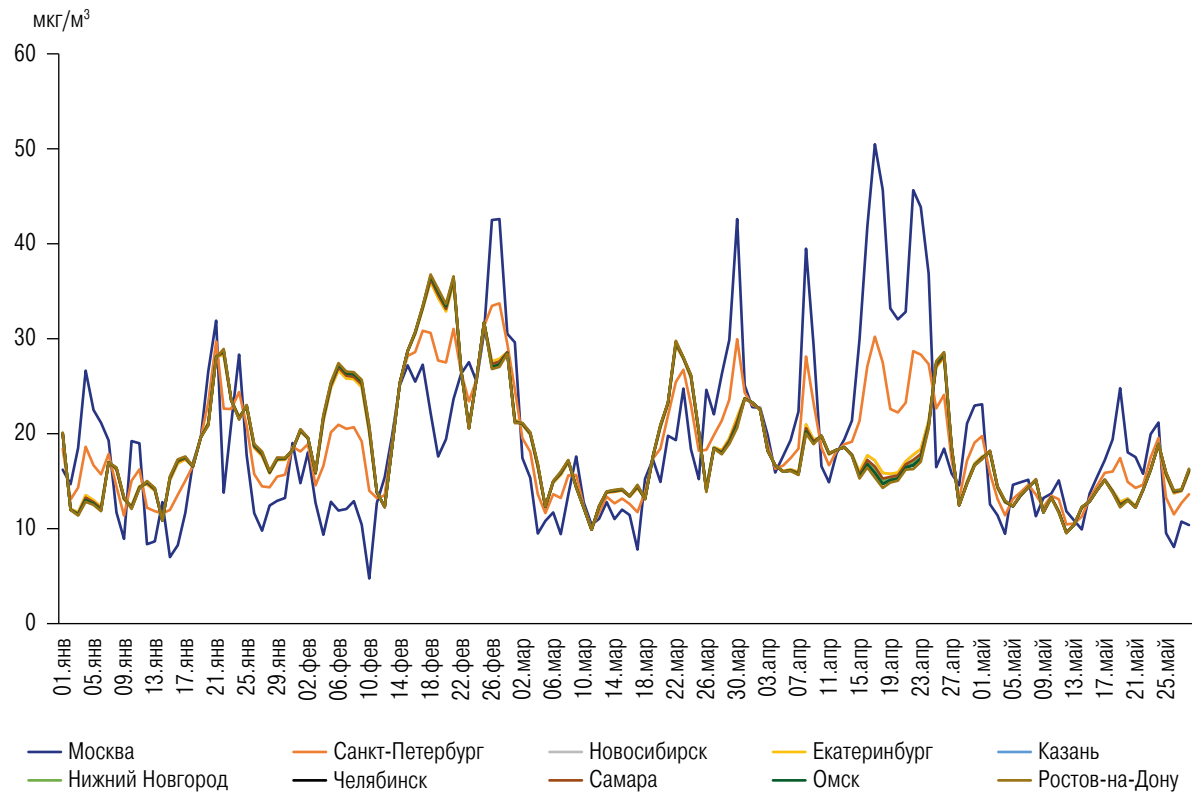


Рис. 3.5. Концентрация PM₁₀ (2019)

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

3. МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

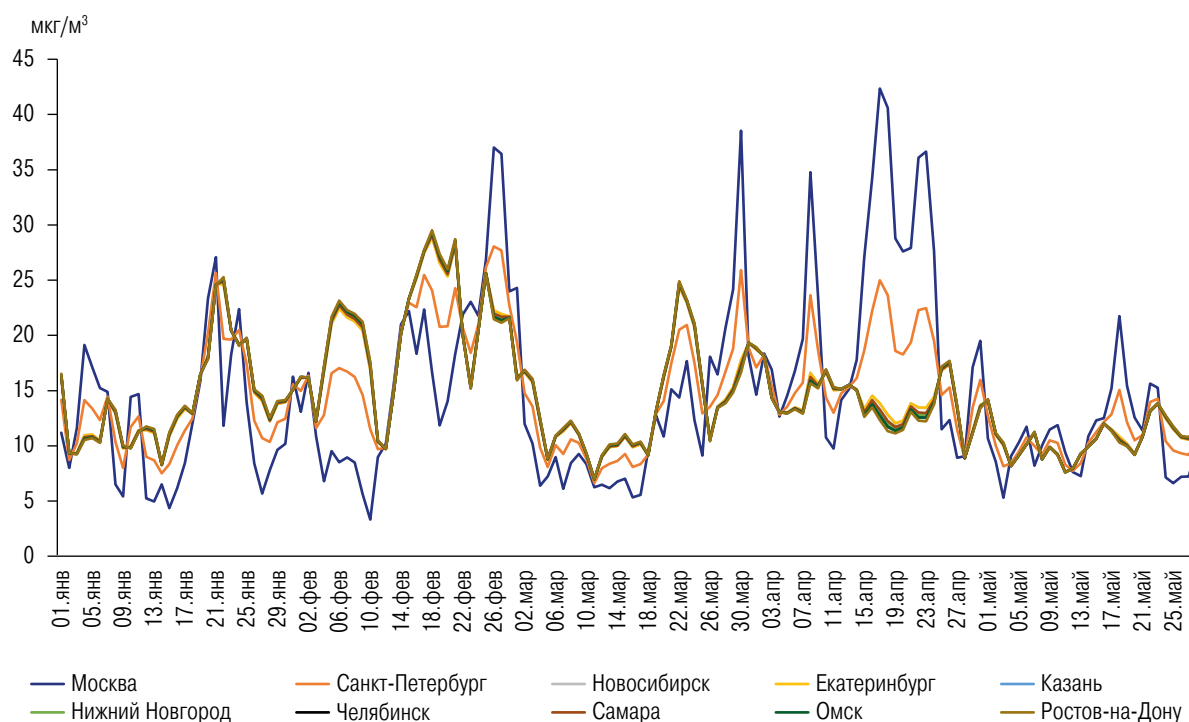


Рис. 3.6. Концентрация $PM_{2.5}$ (2019)

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

Таблица 3.1

Постоянные показатели

Город	Население (чел.)	Кол-во автомобилей на 1000 чел.	Кол-во автомобилей	Отношение численности населения		Отношение численности автотранспорта	
				Мск	СПб	Мск	СПб
Москва	12 678 000	293	3 714 654	1,0	0,5	1,0	0,4
Санкт-Петербург	5 398 000	330	1 781 340	2,1	1,0	2,3	1,0
Новосибирск	1 626 000	278	452 028	8,2	3,9	7,8	3,3
Екатеринбург	1 494 000	315	470 610	7,9	3,8	8,5	3,6
Казань	1 257 000	305	383 385	9,7	4,6	10,1	4,3
Нижний Новгород	1 252 000	290	363 080	10,2	4,9	10,1	4,3
Челябинск	1 197 000	276	330 372	11,2	5,4	10,6	4,5
Самара	1 163 000	344	400 072	9,3	4,5	10,9	4,6
Омск	1 157 000	283	327 431	11,3	5,4	11,0	4,7
Ростов-на-Дону	1 155 000	234	270 270	13,7	6,6	11,0	4,7

Источники: данные Росстата, Аналитическое агентство АВТОСТАТ.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАНДЕМИИ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

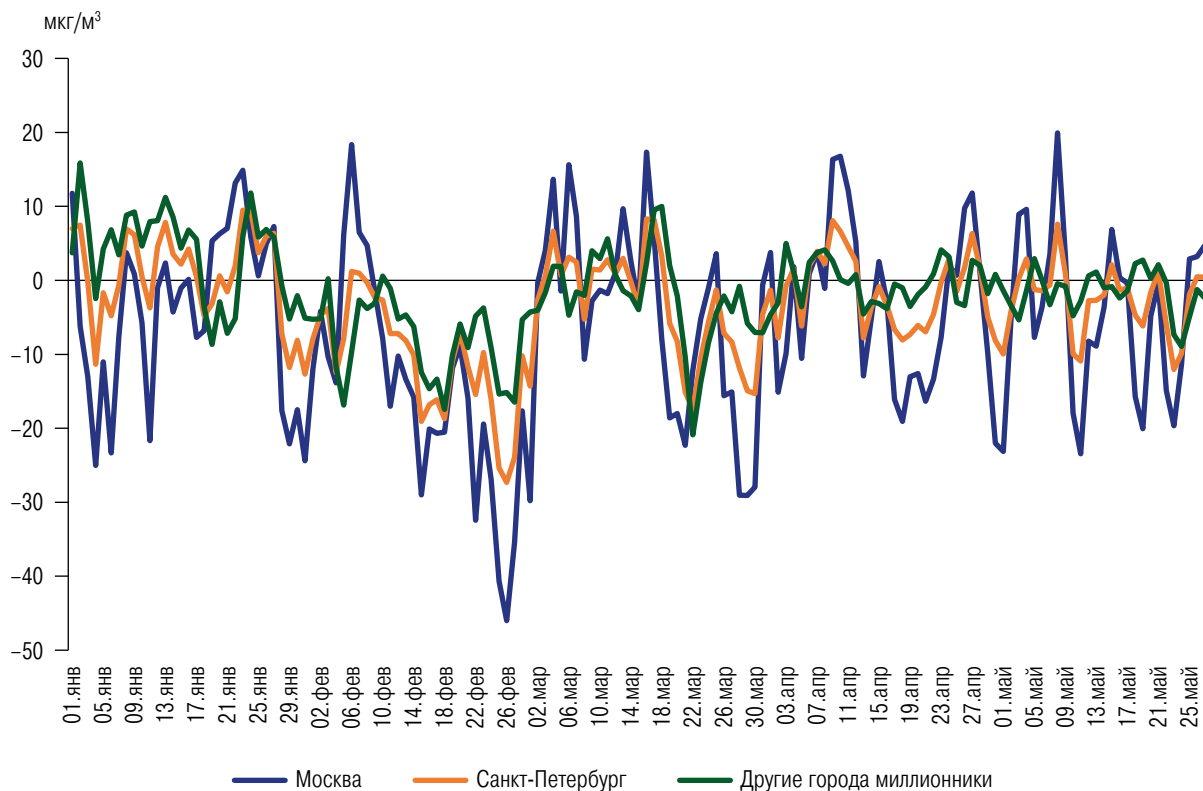


Рис. 3.7. Динамика изменения суточных концентраций NO_2

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

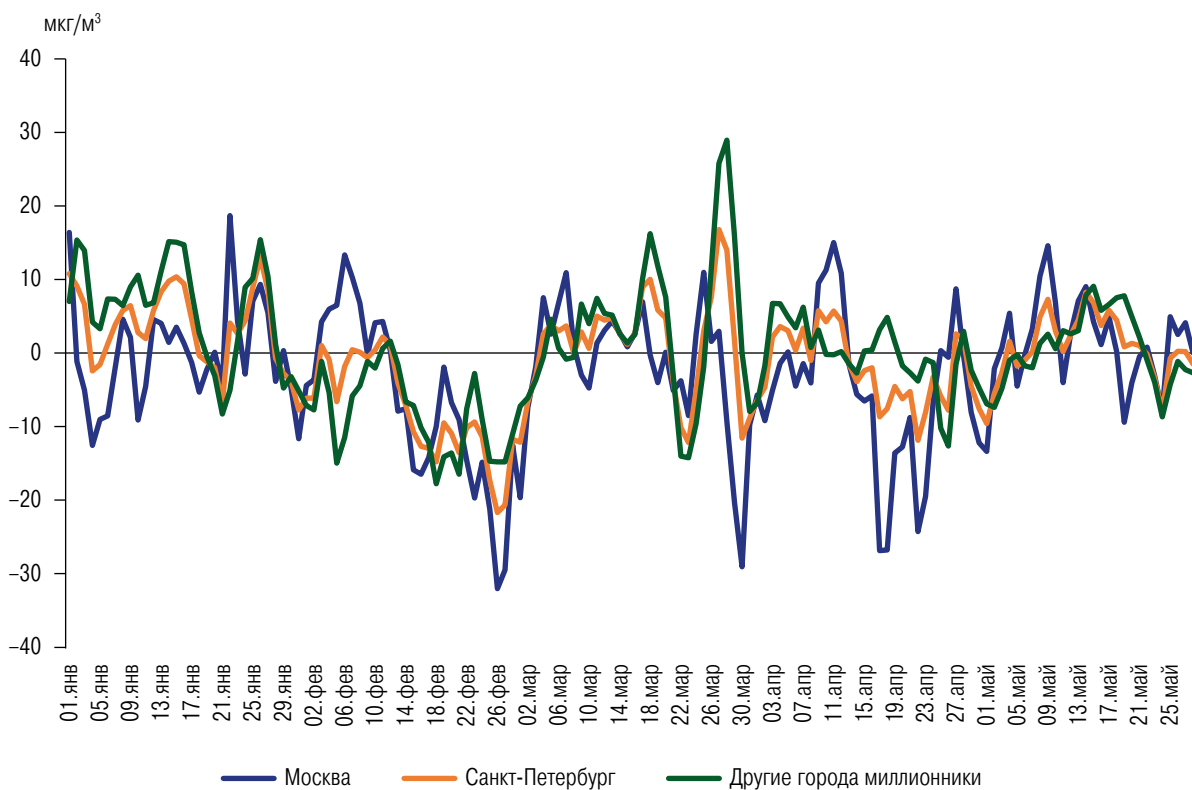


Рис. 3.8. Динамика изменения суточных концентраций PM_{10}

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

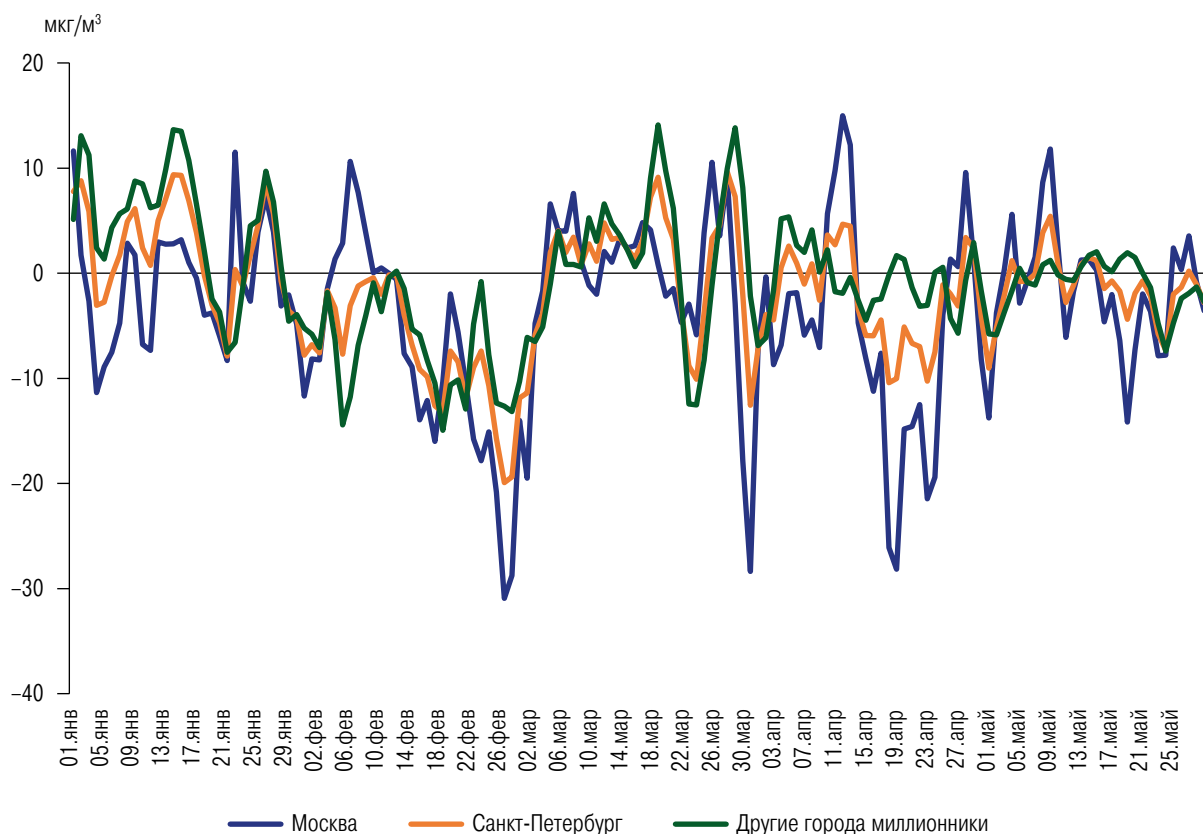


Рис. 3.9. Динамика изменения суточных концентраций $PM_{2,5}$

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

Таблица 3.2

Динамика ежемесячных изменений концентраций загрязняющих веществ в городах-миллионниках в 2019–2020 гг. (%)

Частица	Город	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
NO_2	Москва	9,19	-127,61	-67,80	-21,70	-9,45
	Санкт-Петербург	-15,45	-64,95	-41,43	-8,76	-4,85
	Новосибирск	-30,44	-24,16	-24,19	-0,22	-2,14
	Екатеринбург	-30,52	-24,39	-24,29	-0,28	-2,11
	Казань	-31,49	-21,74	-23,17	0,27	-1,94
	Нижний Новгород	-31,64	-21,21	-22,95	0,39	-1,92
	Челябинск	-31,95	-20,28	-22,55	0,59	-1,87
	Самара	-31,39	-22,35	-23,44	0,13	-1,95
	Омск	-32,03	-20,13	-22,49	0,62	-1,85
	Ростов-на-Дону	-32,42	-18,67	-21,86	0,94	-1,79
PM_{10}	Москва	7,68	-113,65	-29,53	-29,42	-2,07
	Санкт-Петербург	-17,91	-64,53	5,39	-26,13	3,35
	Новосибирск	-34,02	-32,37	28,30	-24,40	6,47
	Екатеринбург	-34,02	-32,58	28,14	-24,34	6,52

Окончание табл. 3.2

Частица	Город	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
	Казань	-35,06	-30,48	29,63	-24,23	6,72
	Нижний Новгород	-35,24	-30,06	29,94	-24,23	6,74
	Челябинск	-35,60	-29,32	30,47	-24,20	6,80
	Самара	-34,89	-30,99	29,27	-24,21	6,72
	Омск	-35,67	-29,21	30,55	-24,19	6,82
	Ростов-на-Дону	-36,17	-28,03	31,39	-24,18	6,88
PM _{2,5}	Москва	0,06	-93,84	-19,04	-24,73	-20,60
	Санкт-Петербург	-21,43	-49,67	-2,43	-17,47	-10,70
	Новосибирск	-34,81	-20,80	8,56	-12,77	-4,96
	Екатеринбург	-34,84	-20,98	8,47	-12,79	-4,89
	Казань	-35,70	-19,10	9,18	-12,49	-4,52
	Нижний Новгород	-35,85	-18,72	9,33	-12,43	-4,48
	Челябинск	-36,13	-18,06	9,59	-12,32	-4,37
	Самара	-35,58	-19,54	9,00	-12,55	-4,52
	Омск	-36,20	-17,96	9,63	-12,30	-4,33
	Ростов-на-Дону	-36,59	-16,91	10,04	-12,14	-4,22

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

3.3. Выводы

Для восполнения отсутствующей в открытом доступе достоверной информации об объемах выбросов и концентрации загрязняющих веществ (диоксида азота и ультрадисперсных частиц) в Российской Федерации Институт экологии и Институт государственного и муниципального управления НИУ ВШЭ разработали линейную модель, основанную на данных Европейского космического агентства по крупнейшим городам Европы и позволяющую рассчитать соответствующие показатели для 10 российских городов-миллионников.

Подтвердилось предположение, что ситуация с загрязнением атмосферы в российских городах развивалась по общеевропейскому сценарию. Рассчитанные в результате моделирования объемы выбросов и концентрации в период ограничений из-за пандемии в январе — мае 2020 года в среднем были на 16% ниже показателей аналогичного периода 2019 года (таблица 3.3):
— концентрация NO₂ ниже в среднем на 19,5%;
— концентрация PM₁₀ и PM_{2,5} ниже в среднем на 14,3% и 14,7% соответственно.

Таблица 3.3

Динамика изменений расчетных концентраций загрязняющих веществ в январе — мае 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года в городах-миллионниках Российской Федерации (%)

Наименование	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
NO ₂	-25,81	-36,55	-29,42	-2,80	-2,99
PM ₁₀	-28,30	-43,69	20,24	-25,04	5,34
PM _{2,5}	-31,20	-29,42	7,61	-15,11	-5,52

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

Таблица 3.4

Динамика изменений концентраций загрязняющих веществ в январе — мае 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года в крупных городах Европы (%)

Наименование	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
NO ₂	-20,07	-10,06	-10,51	1,80	1,27
PM ₁₀	-27,81	-45,88	18,64	-24,77	1,86
PM _{2,5}	-29,78	-32,88	3,84	-14,70	-5,35

Источник: расчеты НИУ ВШЭ.

Полученные расчетные данные в целом соответствуют исходным данным Европейского космического агентства, Европейской сети информации и наблюдения за окружающей средой, Европейского агентства по окружающей среде (см. раздел 1.2). Так, в крупных городах Европы концентрации диоксида азота и ультрадисперсных частиц в среднем были меньше на 12,3% в январе — мае 2020 года по сравнению с аналогичным периодом 2019 года (на 7,5% меньше диоксида азота, на 15,6% меньше PM₂ и на 15,8% меньше PM_{2,5} (таблица 3.4)).

В некоторых провинциях Китая были зафиксированы аналогичные изменения объема выбросов и концентрации загрязняющих веществ на 10–20%^{85, 86, 87, 88}.

Следует также отметить, что концентрации загрязняющих веществ в январе всегда меньше из-за снижения экономической и социальной активности в связи с новогодними праздниками и длинными выходными во всем мире, в том числе во время китайского Нового года. Однако в январе 2020 года концентрации загрязняющих веществ были меньше, чем в январе 2019 года.

⁸⁵ A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment — A case study of China <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720324323?via%3Dihub>> (дата обращения 04.06.2020).

⁸⁶ NOx Emission Reduction and Recovery during COVID-19 in East China <<https://www.mdpi.com/2073-4433/11/4/433/htm>> (дата обращения 04.06.2020).

⁸⁷ Changes in air quality related to the control of coronavirus in China: Implications for traffic and industrial emissions <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720326504?via%3Dihub>> (дата обращения 04.06.2020).

⁸⁸ Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China <<https://science.sciencemag.org/content/early/2020/06/16/science.abb7431>> (дата обращения 17.06.2020).

Заключение

Коронавирус уменьшил негативное воздействие на окружающую среду. Обзор научных исследований и публикаций на одну из самых актуальных сейчас тем и анализ открытых данных различных мониторинговых наблюдений по всему миру, проведенные в данном исследовании, подтверждают выводы мирового сообщества о влиянии пандемии на сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из-за ограничительных мер, введенных правительствами разных стран для противодействия коронавирусу. Подобные исследования играют важную роль для лучшего понимания процессов, в результате которых образуются загрязняющие вещества, и оценки влияния экономической и социальной деятельности на экологию.

Основные загрязнители атмосферы — промышленность, ТЭК и транспортный сектор. Анализ доступных данных и расчеты показывают, что основными источниками выбросов и загрязнения воздуха являлись индустриальные производства, топливно-энергетический комплекс, личные и коммерческие транспортные средства. Вклад транспорта в загрязнение атмосферы, согласно различным источникам, составляет от 20 до 50%, поэтому ограничения и правительственные меры по контролю за транспортным передвижением существенно повлияли на снижение выбросов загрязняющих веществ в крупных городах, особенно диоксида азота и ультрадисперсных частиц.

Сокращение негативного влияния кратковременно, и объемы выбросов быстро восстановятся. По мнению большинства экспертов, наблюдаемое снижение выбросов загрязняющих веществ в период пандемии (зафиксировано наибольшее снижение за всю историю наблюдений) имеет краткосрочный характер, а уровень выбросов вернется к своим средним значениям быстрее, чем продолжалась пандемия и связанные с ней ограничения. Более того, авторы подавляющего количества исследований и отчетов экспертных групп прогнозируют, что к концу 2020 года спрос на энергоносители и энергопотребление вырастут по сравнению с прошлогодними показателями, а вместе с ними увеличатся и глобальные выбросы. Поскольку большинство стран еще не перешли к концепции декарбонизации своих экономик⁸⁹ (low-carbon economy), в среднесрочной перспективе также не следует ожидать существенного изменения объемов выбросов, концентрации загрязняющих веществ и улучшения качества атмосферного воздуха (если не произойдет чрезвычайное событие планетарного масштаба, затрагивающее экономическую и социальную активность всего населения).

Россия не раскрывает информацию о воздействии на экологию. В Российской Федерации до сих пор не создана общедоступная система мониторинга состояния окружающей среды, отсутствует открытый доступ к актуальным и оперативным данным об объемах выбросов и концентрации вредных загрязняющих веществ в воздухе. Это не позволяет ни проводить независимый и качественный анализ влияния качества воздуха на здоровье человека, ни выявлять аномальные скачки и падения выбросов, ни прогнозировать последствия происходящих в стране событий различного характера — от техногенных катастроф и эпидемий до изменений состояния экономики и их влияния на экологию и качество жизни россиян.

Экологическая обстановка в России — важный показатель для мирового сообщества. В силу размеров территории страны и объемов ее экономики зарубежные организации, изучающие воздействие на окружающую среду, не могут игнорировать российские показатели и регулярно публикуют результаты собственного мониторинга, в первую очередь объемов выбросов углекислого газа. Ни подтвердить, ни оспорить эту информацию отечественные эксперты не в состоянии из-за отсутствия собственного достоверного источника данных.

Потребность в открытых экологических показателях растет и внутри страны. По данным мониторинга⁹⁰ «Востребованность информации об экологии и охране окружающей среды», проведенного НИУ ВШЭ в 2019 году, существует высокий спрос на информацию об экологических

⁸⁹ Drivers of declining CO₂ emissions in 18 developed economies <<https://www.nature.com/articles/s41558-019-0419-7>> (дата обращения 12.06.2020).

⁹⁰ ВШЭ выступила за экологическую открытость <<https://www.hse.ru/news/expertise/310656474.html>> (дата обращения 14.06.2020).

проблемах среди населения: 94% граждан обеспокоены загрязнением окружающей среды, при этом 64% респондентов отмечают, что информация об этом, скорее, недоступна.

Стоит также отметить, что Государственная дума 12 декабря 2019 года приняла⁹¹ в первом чтении законопроект о внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды», касающихся доступа к информации о состоянии окружающей среды⁹². Изменения предусматривают отнесение информации о состоянии окружающей среды к общедоступной.

Предложенный экспертами НИУ ВШЭ способ оценки экологических показателей не заменит анализ открытых данных. Разработанная Институтом экологии и Институтом государственного и муниципального управления НИУ ВШЭ модель, экстраполирующая данные о выбросах и концентрации загрязняющих веществ (диоксида азота и ультрадисперсных частиц) в крупнейших городах мира на российские города-миллионники, может использоваться для необходимых текущих оценок и сопоставлений, но анализ реальных показателей был бы более корректным, а прогнозирование на их основе — более эффективным. Кроме того, открытые данные собственного качественного мониторинга могли бы стать основным источником информации для мирового научного сообщества, пристально следящего за состоянием и изменениями мирового климата.

⁹¹ Законопроект об экологической информации принят Госдумой РФ в первом чтении <http://www.mnr.gov.ru/press/news/zakonoproekt_ob_ekologicheskoy_informatsii_prinyat_gosdumoy_rf_v_pervom_chtenii/> (дата обращения 14.06.2020).

⁹² № 735006–7 О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации <<https://sozd.duma.gov.ru/bill/735006-7>> (дата обращения 14.06.2020).

Борис Алексеевич Моргунов
Ирина Николаевна Тельнова
Борис Алексеевич Щиголев

**Анализ влияния пандемии новой коронавирусной инфекции
на загрязнение атмосферного воздуха и снижение выбросов загрязняющих веществ**
Аналитический доклад

Зав. редакцией *Е.А. Бережнова*
Редактор *А.В. Заиченко*
Компьютерная верстка и графика: *Л.В. Маликина*
Корректор *А.В. Заиченко*

Подписано в печать 31.08.2020. Формат 60×90 ¹/₈
Печать офсетная. Гарнитура Newton
Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 30 экз. Изд. № 2427

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 20,
тел.: 8 (495) 772-95-90 доб. 15285