

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-3-250-265

УДК 504.064.36(470)

Научная статья / Research article

Спутниковые индикаторы изменения качества воздуха над Россией из-за ограничений в связи с пандемией COVID-19

И.Ю. Савин^{1,2}  , А.В. Чинилин^{1,3} , С.А. Аветян^{1,4} ,
Е.А. Шишконокова¹ , Е.Ю. Прудникова^{1,2} 

¹Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

⁴Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ savin_iyu@esoil.ru

Аннотация. Проведен анализ содержания пыли (pm10) и NO₂ в атмосфере над Россией за январь – май 2020 г. в сравнении с прошлыми годами. В качестве источника информации использованы архивы данных Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Установлено, что введение социально-экономических ограничений из-за пандемии COVID-19 неравномерно повлияло на содержание в атмосфере пыли и оксида азота в разных регионах страны. Состояние запыленности атмосферы и содержания NO₂ из-за введенных ограничений улучшилось в ряде регионов Дальнего Востока (по-видимому, и из-за ограничений на территории соседнего Китая) и в меньшей степени в центре Европейской части России. Полученная информация может быть использована для прогнозирования развития социальной и экономической ситуации на ближайшие годы и планирования превентивных мер для преодоления экономических и социальных последствий пандемии COVID-19, а также для разработки предложений по преодолению негативных последствий для окружающей среды, включая меры по оптимизации территориального развития, охране природы и учету экосистемных функций.

Ключевые слова: запыленность атмосферы, содержание NO₂ в атмосфере, COVID-19, Copernicus Atmosphere Monitoring Service, Россия

Благодарности и финансирование. Исследования проведены при поддержке Русского географического общества и Программы стратегического академического лидерства РУДН.

История статьи: поступила в редакцию 17.02.2021; принята к публикации 15.05.2021.

Для цитирования: Савин И.Ю., Чинилин А.В., Аветян С.А., Шишконокова Е.А., Прудникова Е.Ю. Спутниковые индикаторы изменения качества воздуха над Россией из-за ограничений в связи с пандемией COVID-19 // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29. № 3. С. 250–265. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-3-250-265>

© Савин И.Ю., Чинилин А.В., Аветян С.А., Шишконокова Е.А., Прудникова Е.Ю., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Satellite indicators of air quality changes over Russia due to the COVID-19 pandemic restrictions

Igor Yu. Savin^{1,2}✉, Andrej V. Chinilin^{1,3}, Sergey A. Avetyan^{1,4},
Ekaterina A. Shishkonakova¹, Elena Yu. Prudnikova^{1,2}

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia*

²*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*

³*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

⁴*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

✉ savin_iyu@esoil.ru

Abstract. The analysis of the dust content (pm10) and NO₂ in the atmosphere over Russia for January – May 2020 in comparison with previous years was carried out. Copernicus Atmosphere Monitoring Service data archives are used as a source of information. It was found that the imposition of socio-economic restrictions due to the COVID-19 pandemic affected the content of dust and nitrogen oxide in the atmosphere unevenly for different regions of the country. The state of atmospheric dust and NO₂ content has improved due to the restrictions imposed in a number of regions of the Far East (apparently, also due to restrictions on the territory of neighboring China) and, to a lesser degree, in the center of the European part of Russia. The information obtained can be used to predict the development of the social and economic situation in the coming years and to plan preventive measures to overcome the economic and social consequences of the COVID-19 pandemic, as well as to develop proposals to overcome negative consequences for the environment, including measures to optimize territorial development, nature protection and consideration of ecosystem functions.

Keywords: atmosphere dust, NO₂ content in the atmosphere, COVID-19, Copernicus Atmosphere Monitoring Service, Russia

Acknowledgements and Funding. The study was supported by the Russian Geographical Society, and by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

Article history: received 17.02.2021; revised 15.05.2021.

For citation: Savin IYu, Chinilin AV, Avetyan SA, Shishkonakova EA, Prudnikova EYu. Satellite indicators of air quality changes over Russia due to the COVID-19 pandemic restrictions. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(3):250–265. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-3-250-265>

Введение

Пандемия COVID-19 привела как к положительным, так и к отрицательным последствиям для окружающей среды, которые по-разному проявились в наиболее пострадавших странах (США, Бразилия, страны Европы, Китай, Россия и др.). В [1–8] показано, что существует отчетливая связь между предпринятыми чрезвычайными карантинными мерами и кратковременным снижением воздействия на окружающую среду. Оно проявилось в виде улучшения качества воздуха (особенно по оксиду азота, твердым частицам, в меньшей степени по угарному газу), очистки побережий, снижения шумового загрязнения, уменьшения частоты пожаров и других аспектов трансформации окружающей среды. Вместе с тем была установлена положительная корреляция между загрязненностью воздушной среды и заболе-

ваемостью, а также смертностью от COVID-19 [9–12]. Эксперты прогнозировали сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) в разгар пандемии до масштабов, каких еще не было со времен Второй мировой войны [13]. С другой стороны, возникло множество негативных побочных эффектов, создающих угрозу экологии. В частности, приостановка программ переработки вторичного сырья на территории Бразилии уже в первые месяцы пандемии привела к необходимости разместить на наземных свалках 19 000 м³ дополнительно объема медицинских и прочих опасных отходов, из которых 30 % не утилизировалось правильно [14]. В этот период США также ограничили программы по вторичной переработке отходов в 46 % городов ввиду риска роста заболеваемости на предприятиях по переработке. В то же время в Ухани в разгар пандемии образовывалось 240 метрических т отходов ежедневно, что почти на 190 т больше, чем в обычное время [7].

На международном уровне звучат призывы к глубокому, системному пересмотру социально-экономического развития, изменению потребительского поведения, переходу к устойчивой зеленой экономике, которая функционирует как для людей, так и для планеты.

Сделать это будет возможно только на основе детального анализа, мониторинга и оценки направленности изменений окружающей среды, экономики и социальной сферы. Традиционно подобные задачи решаются на основе данных официальной статистики. Кондиционность статистической информации оказывает сильное влияние на качество прогностических моделей развития стран и регионов. Система сбора статистических данных во всех странах мира имеет большой временной лаг, что приводит к большой временной задержке доступности данных о влиянии того или иного события на социально-экономическую ситуацию в стране или в ее отдельных регионах. Во многих странах третьего мира статистическая информация вообще не собирается на регулярной основе. Например, в Африке практически не проводятся научные исследования по распространению COVID-19. Так, из 3487 научных публикаций по этой тематике за первые три месяца развития эпидемии африканского континента касались только 22 (0,6 %) из них, то есть примерно столько же, сколько относилось к одной Колумбии (18 публикаций) [15].

Одним из перспективных типов данных для интегральной независимой и оперативной оценки состояния окружающей среды и социально-экономической обстановки на больших территориях являются спутниковые данные. В последние годы появились глобальные продукты детектирования пылевых выбросов по спутниковым данным¹. MERRA-2 – первый глобальный продукт повторяющегося анализа, помимо стандартного метеорологического анализа ассимилирующий спутниковые наблюдения за взвешенными частицами в атмосфере и представляющий сведения об их взаимосвязи с другими физическими процессами, которые рассматриваются в рамках климатических исследований. Они позволяют получать данные о содержании пыли в атмосфере с периодичностью в несколько часов [16]. Эта информация по-

¹ Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2. URL: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/> (accessed: 10.02.2021).

тенциально может являться хорошим источником данных о запыленности атмосферы как одного из индикаторов состояния окружающей среды.

В настоящее время многие международные организации (ЮНЕП, ФАО, ОЭСР, МСОП, ВВФ, ГЭФ, МЭА и др.), университеты (Oxford и др.) и научные институты (WRI) подключаются к инвентаризации, мониторингу и анализу последствий пандемии по разным аспектам экологической проблематики: COVID и воздействие опасных веществ, COVID и управление отходами, COVID и животный мир, COVID и проблемы сохранения биоразнообразия, COVID и проблемы загрязнения воздуха, влияние COVID на развитие зеленой экономики и финансов, воздействие COVID на ослабление природоохранных законов и пр.

Экологические последствия пандемии и мировые тренды экологического развития необходимо учитывать при планировании природоохранных мероприятий на разных территориальных уровнях, прогнозировании возможных изменений землепользования, оценке экологических функций природно-хозяйственных систем в условиях неопределенности социально-экономического развития и глобальных кризисов.

Анализ влияния пандемии COVID-19 на социально-экономическую активность и состояние окружающей среды в России на основе спутникового мониторинга запыленности атмосферы и содержания в ней NO_2 до сих пор не проводился. В статье приведены некоторые результаты подобного анализа.

Объект и методы

Анализ выполнен для территории всей России. Использовались глобальные пространственные данные за период 2017–2020 гг., поставляемые службой мониторинга состояния атмосферы Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), входящей в состав Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Пространственные данные имеют разрешение 40×40 км и объединяют порядка 1000 ежесуточных (за каждый год) прогнозов. Пространственные данные отображают среднесуточную концентрацию ключевых загрязняющих веществ в приземном слое – двуокиси азота (NO_2) и твердых пылевых частиц (pm_{10}), которые и были использованы в качестве индикаторов чистоты воздуха. Единицы измерения концентрации на картах – микрограмм на кубический метр (ug/m^3). CAMS позволяет отслеживать ряд других загрязняющих веществ, однако концентрация NO_2 и твердых пылевых частиц особенно актуальна в контексте кризиса COVID-19. NO_2 – это недолговечный вид загрязнителя, продолжительность жизни которого составляет менее суток. Это означает, что этот загрязнитель будет оставаться достаточно близко к своим источникам выбросов и что концентрация будет быстро меняться, если изменятся его источники выбросов. Мелкодисперсные твердые частицы являются сложным типом загрязняющих веществ, поскольку они включают частицы различного химического состава. Одними из основных их источников выступают промышленность и автомобильный транспорт.

На первом этапе анализа ежесуточные карты были усреднены в ежемесячные (посчитано среднее арифметическое). После этого проведено сравнение данных за 2020 г. с предыдущими годами.

Сначала сравнивались средние значения за каждый месяц с февраля по май 2020 г. с со средним многолетним за период 2017–2019 гг. для каждого месяца. В результате получено четыре карты отклонений от среднего.

После этого для каждого года построены карты тренда показателей за период с января по май и проведено сравнение карт, отражающих угол наклона линии тренда для каждого года.

Для работы с картами и визуализации результатов анализа использовалась ГИС QGIS.

Результаты и обсуждение

Основные меры по борьбе с пандемией COVID-19 в России были введены с конца марта 2020 г. В рамках их реализации последовательно вводились ограничения в передвижениях через границы с другими государствами, карантин для граждан, прибывающих из других государств, дистанционный режим обучения для учащихся, перевод части граждан на удаленную работу, временное закрытие для посещения учреждений культуры, религиозных учреждений, введение нерабочих дней, масочного режима, пропускного режима на фоне мобилизационных мер в системе здравоохранения². С июня 2020 г. ряд регионов начал смягчать ограничения и возобновлять деятельность отдельных видов предприятий.

Теоретически, сокращение промышленной активности и передвижения автотранспорта могли сказаться на повышении чистоты атмосферы. Это зафиксировано в Китае, США и некоторых других странах³. Но до сих пор остается неизвестным, насколько эти изменения были масштабными в России. На рис. 1–4 представлены основные результаты наших исследований.

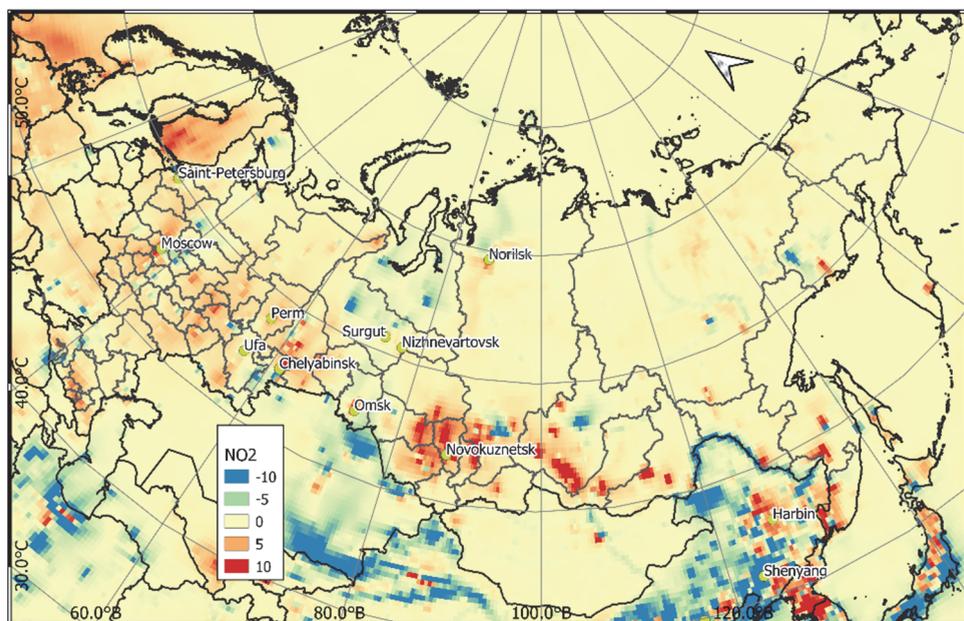
На рис. 1 показаны карты отклонения содержания NO₂ в атмосфере от среднего многолетнего для отдельных месяцев 2020 г. Из рисунка следует, что концентрация NO₂ после введения ограничений в апреле 2020 г. практически во всех населенных регионах России немного понизилась. Исключением стали лишь некоторые крупные промышленные центры и города, где концентрация немного возросла (например, в районе Норильска и Сочи). По-видимому, это связано с тем, что введенные ограничения в апреле никак не сказались на функционировании предприятий в этих регионах. Обращает на себя внимание сильное падение в апреле относительно среднего многолетнего концентрации NO₂ в атмосфере над Амурской областью, Хабаровском краем и Приморьем. Это, по-видимому, объясняется как влиянием ограничительных мер в России, так и ограничительными мерами в соседнем Китае [17]. Но уже в мае ситуация в этом регионе стала хуже, чем в среднем многолетнем.

Анализ карт на рис. 2 приводит к заключению, что вклад ограничений из-за пандемии не оказал заметного влияния на специфику сезонных изменений в концентрации NO₂ в атмосфере. Видно, что специфика направлен-

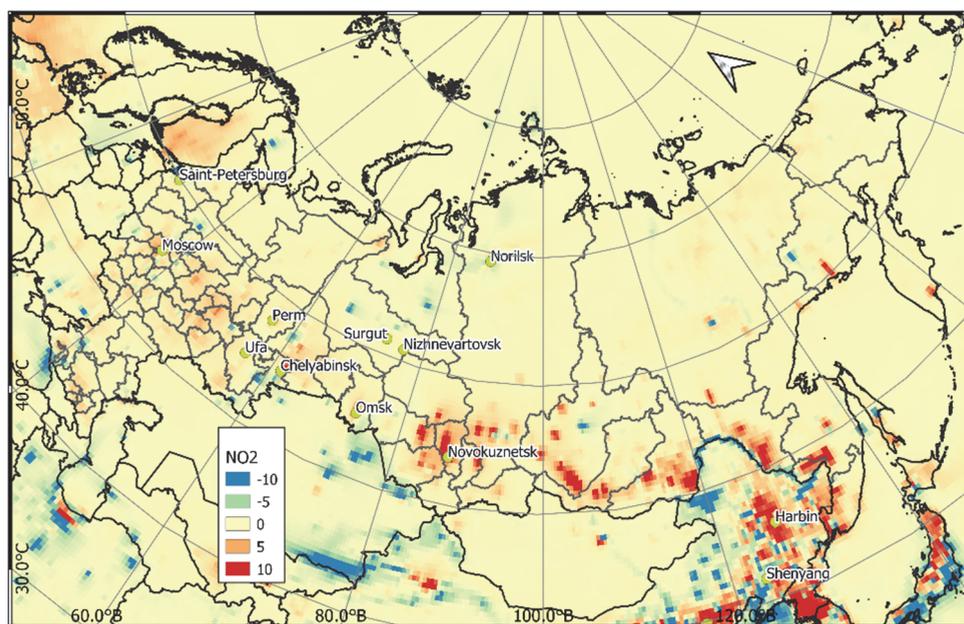
² Меры борьбы с распространением COVID-19 в России // РИА Новости. 12.05.2020. <https://ria.ru/20200512/1571296656.html> (дата обращения: 01.02.2021).

³ Как пандемия коронавируса может повлиять на климат нашей планеты // РБК. Тренды. 08.04.2020. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/5e73d27b9a7947f940241261> <https://trends.rbc.ru/trends/green/5e73d27b9a7947f940241261> (дата обращения: 12.02.2021).

ности изменений за анализируемый период очень схожа в разные годы, что, скорее всего, обусловлено изменениями температурного режима и метеорологических условий конкретного года. Так, в 2020 г. наблюдается ускорение роста концентрации NO_2 в атмосфере в восточной части России, где промышленные предприятия и автотранспорт практически отсутствуют. В промышленных районах страны тренд изменений в 2020 г. был очень схож с трендом в другие проанализированные годы.

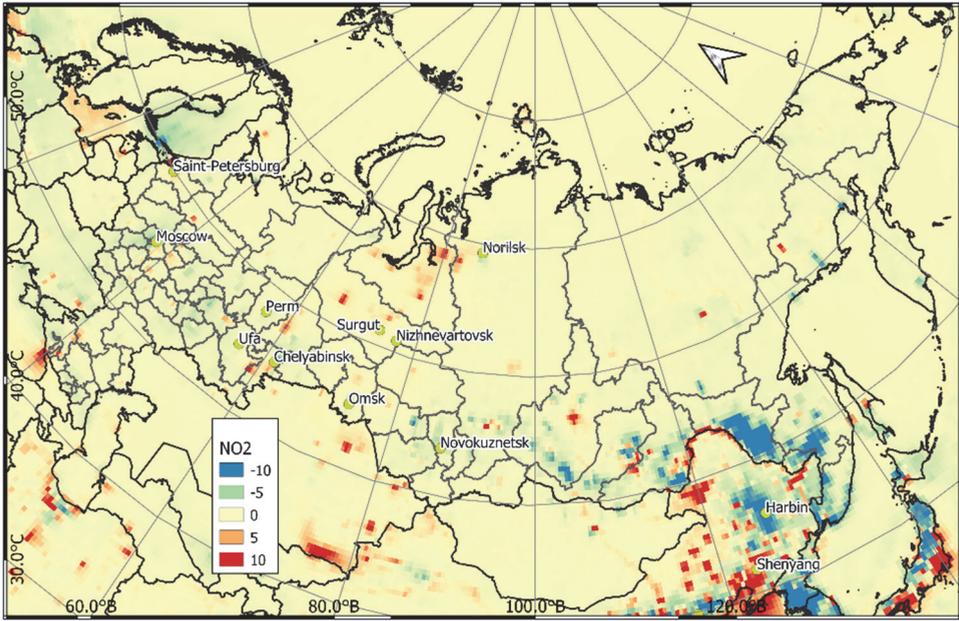


а

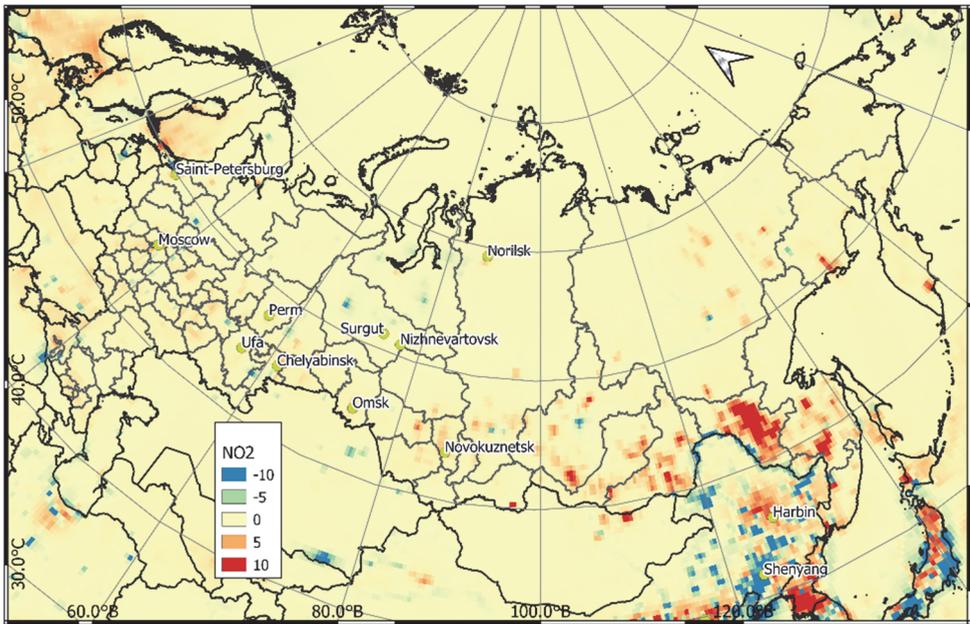


б

Рис. 1. Отклонение содержания NO_2 в атмосфере от среднего многолетнего для месяцев 2020 г. (начало): а – февраль; б – март
Figure 1. Deviation of NO_2 content in the atmosphere from the long-term average for the months of 2020 (beginning): а – February; б – March



6

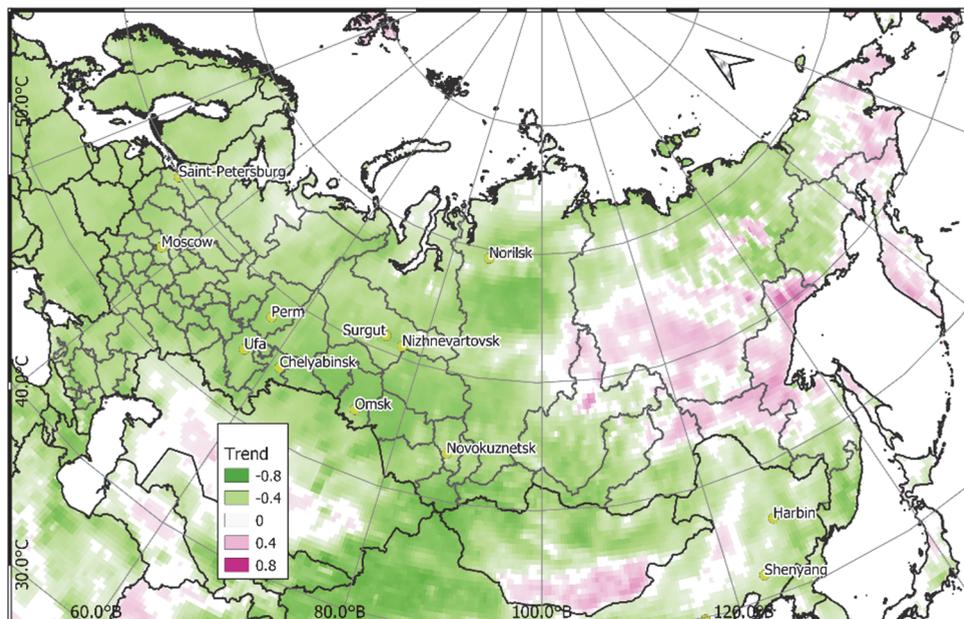


2

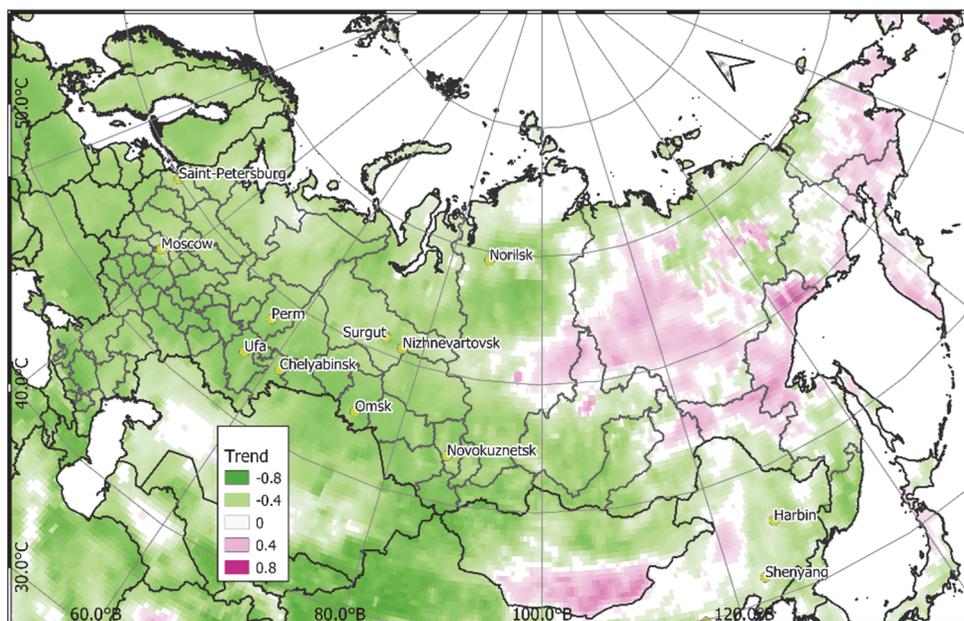
Рис. 1. Отклонение содержания NO_2 в атмосфере от среднего многолетнего для месяцев 2020 г. (окончание):
 в – апрель; з – май
Figure 1. Deviation of NO_2 content in the atmosphere from the long-term average for the months of 2020 (ending):
 в – April; з – May

На рис. 3 показаны карты отклонения содержания пыли (pm_{10}) в атмосфере от среднего многолетнего для месяцев 2020 г. с февраля по май. Из рисунка следует, что понижение содержания пыли в атмосфере на Дальнем Востоке относительно среднего началось еще в марте, что может быть последствием ограничений, введенных в соседнем Китае. В апреле и мае запыленность атмосферы там стала еще ниже, чем обычно, что может быть

результатом введения ограничений уже в России. Интересно отметить, что запыленность атмосферы после введения ограничений снизилась и над Европейской частью России, особенно в ее центральной части (рис. 3, в). Запыленность атмосферы над Сибирской частью страны (за исключением района Норильска) стало ниже обычного лишь в мае.



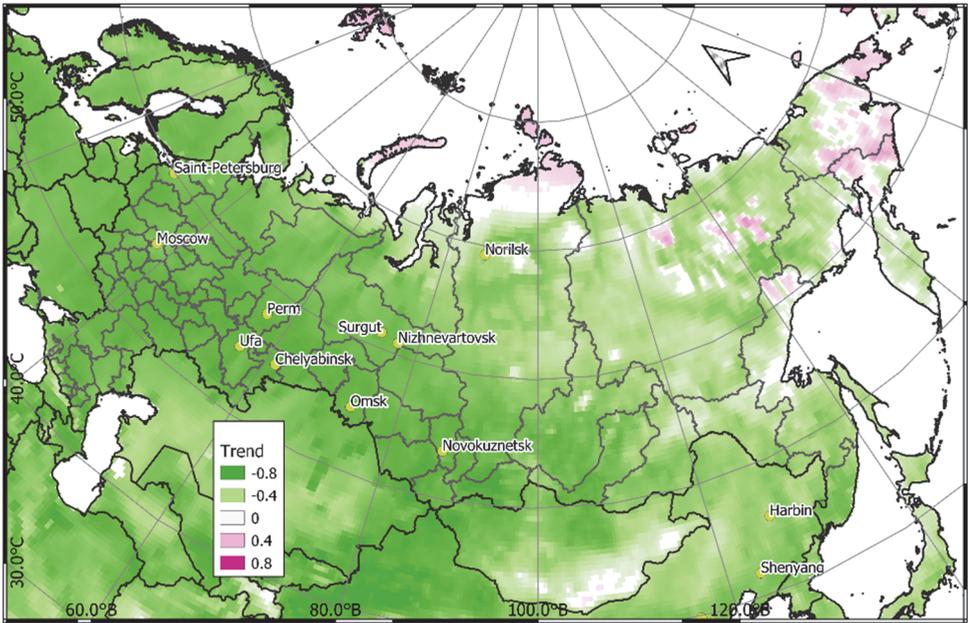
а



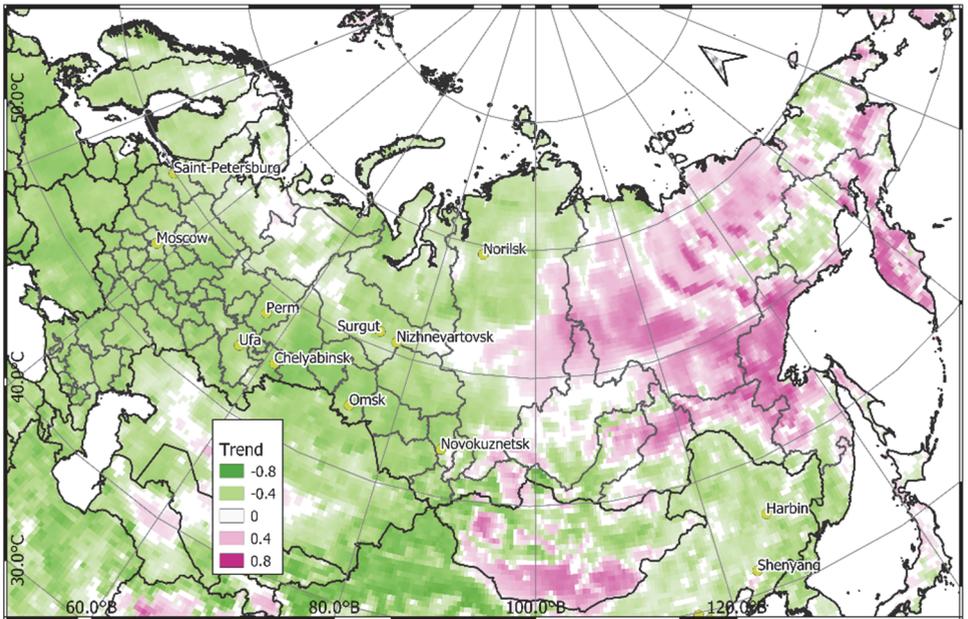
б

Рис. 2. Тренд содержания NO_2 в атмосфере от среднего многолетнего для января – мая года (начало): а – 2017; б – 2018

Figure 2. Trends of NO_2 content in the atmosphere from the long-term average for January – May (beginning): а – 2017; б – 2018



6



2

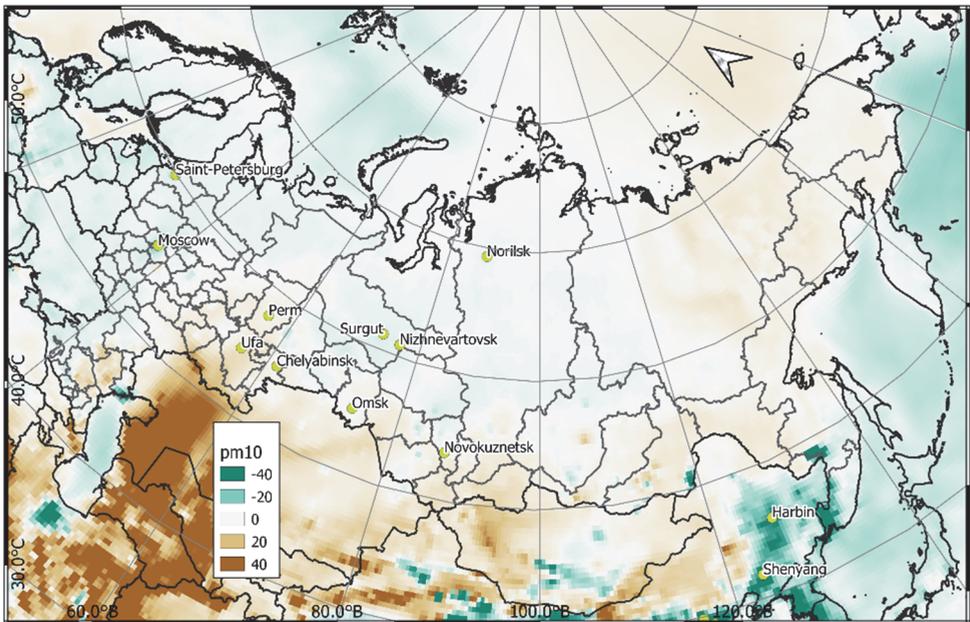
Рис. 2. Тренд содержания NO_2 в атмосфере от среднего многолетнего для января – мая года (окончание): а – 2019; з – 2020

Figure 2. Trends of NO_2 content in the atmosphere from the long-term average for January – May (ending): а – 2019; з – 2020

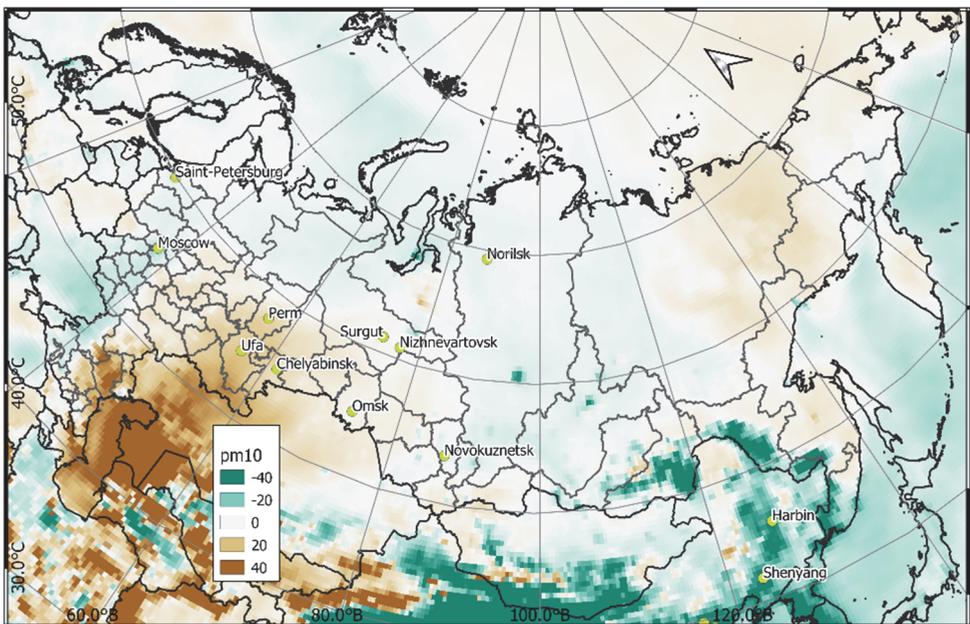
Судя по рис. 4, четкой связи сезонного тренда запыленности атмосферы с введенными в 2020 г. ограничениями, как и в случае с содержанием в атмосфере NO_2 , также не прослеживается.

Таким образом, закономерности изменения запыленности атмосферы и содержания в ней NO_2 достаточно схожи друг с другом – косвенное под-

тверждение того, что основным фактором наблюдаемых изменений является именно изменение антропогенной деятельности, связанное с введенными ограничениями.



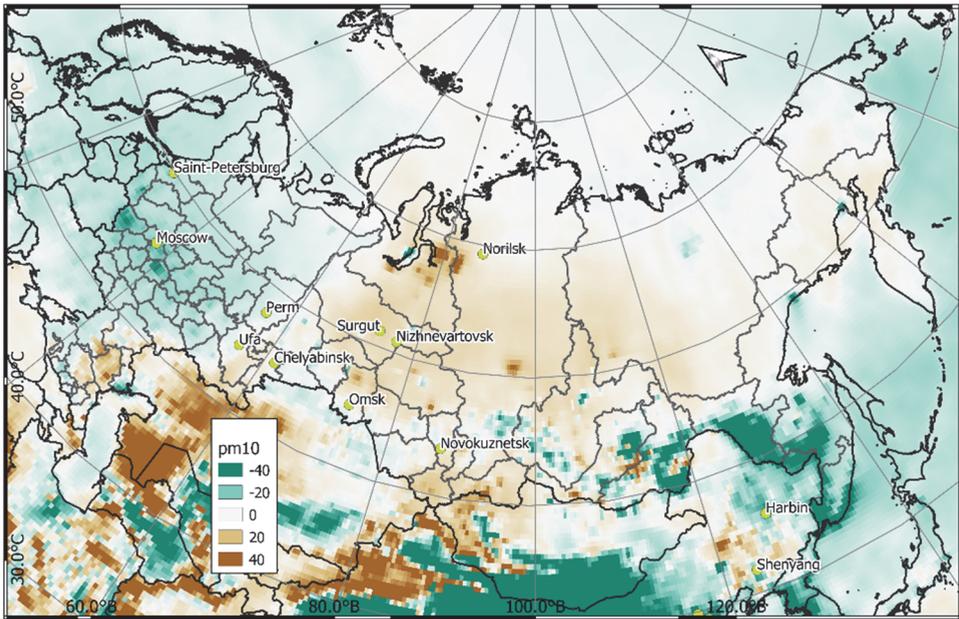
a



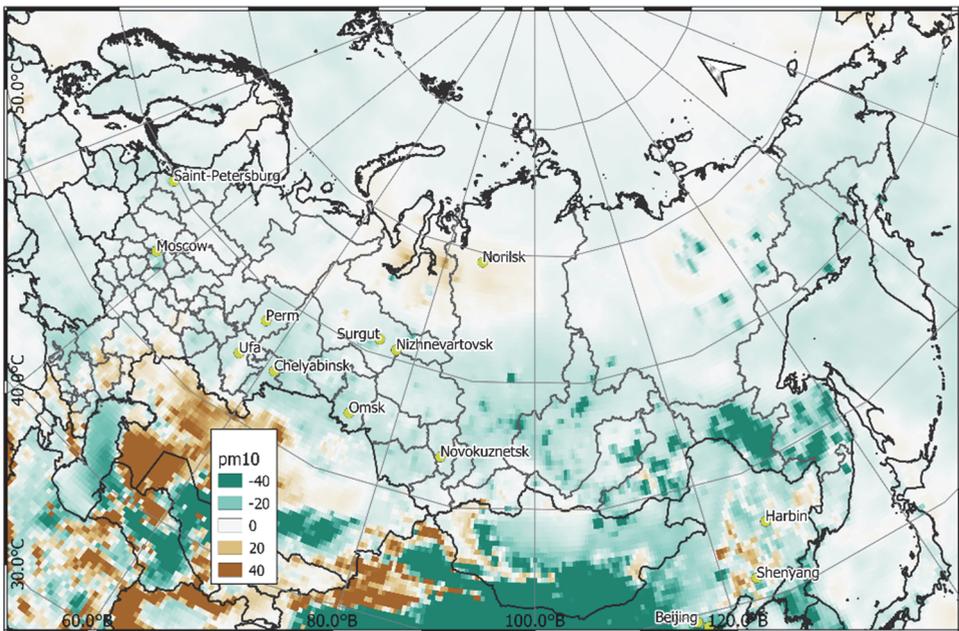
б

Рис. 3. Отклонение содержания пыли (pm10) в атмосфере от среднего многолетнего для месяцев 2020 года (*начало*):
a – февраль; *б* – март

Figure 3. Deviation of the dust content (pm10) in the atmosphere from the long-term average for the months of 2020 (*beginning*):
a – February; *б* – March



б



з

Рис. 3. Отклонение содержания пыли (pm10) в атмосфере от среднего многолетнего для месяцев 2020 года (*окончание*):

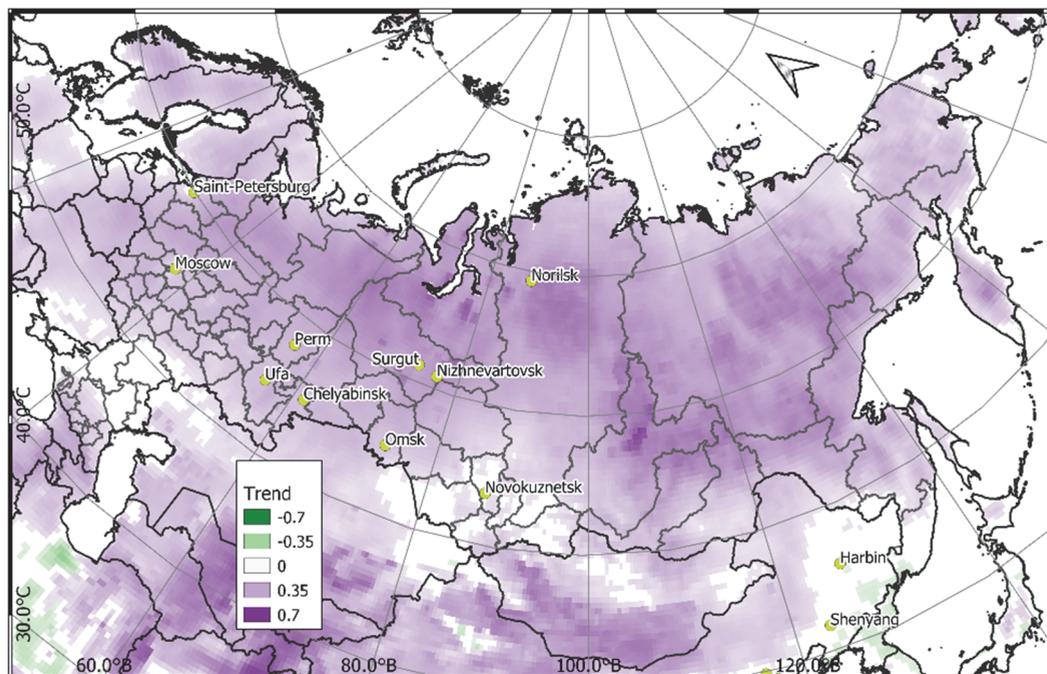
б – апрель; з – май

Figure 3. Deviation of the dust content (pm10) in the atmosphere from the long-term average for the months of 2020 (*ending*):

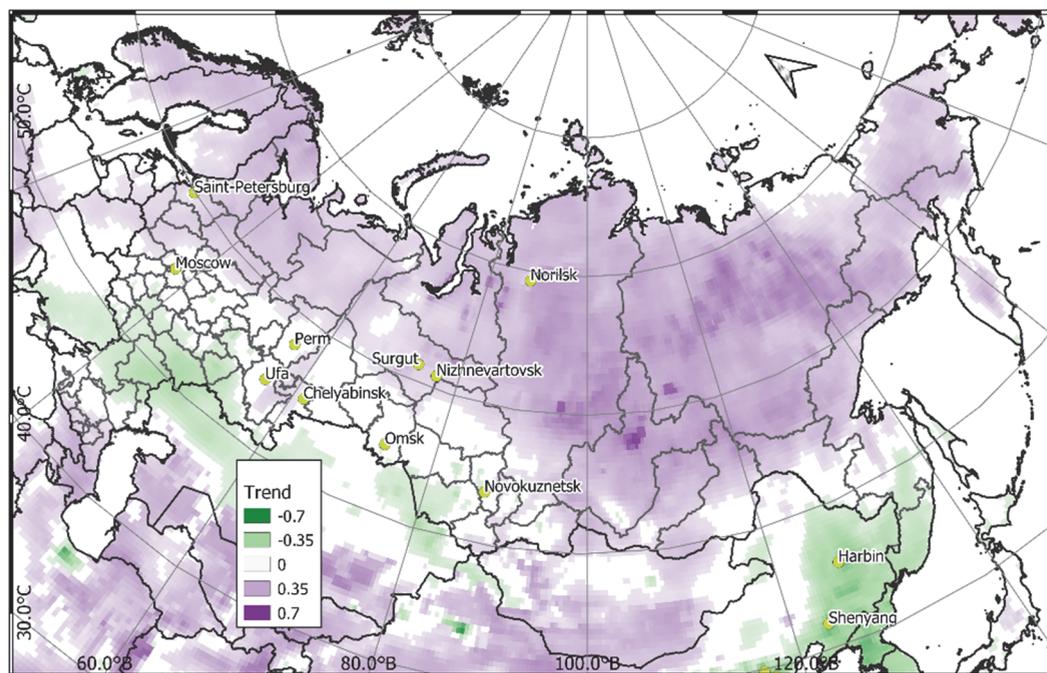
б – April; з – May

По мере того, как ограничения и меры изоляции будут продолжаться с течением времени, ожидается, что качество воздуха улучшится, и можно с большей уверенностью утверждать, что изменения связаны с продолжающимися мерами. Предположительно, этот эффект будет более заметным для

двуокиси азота, поскольку концентрация его будет быстро изменяться в результате изменений выбросов и того факта, что одним из наиболее пострадавших секторов от мер блокировки является транспорт, выбросы NO_2 которого составляют большую часть.



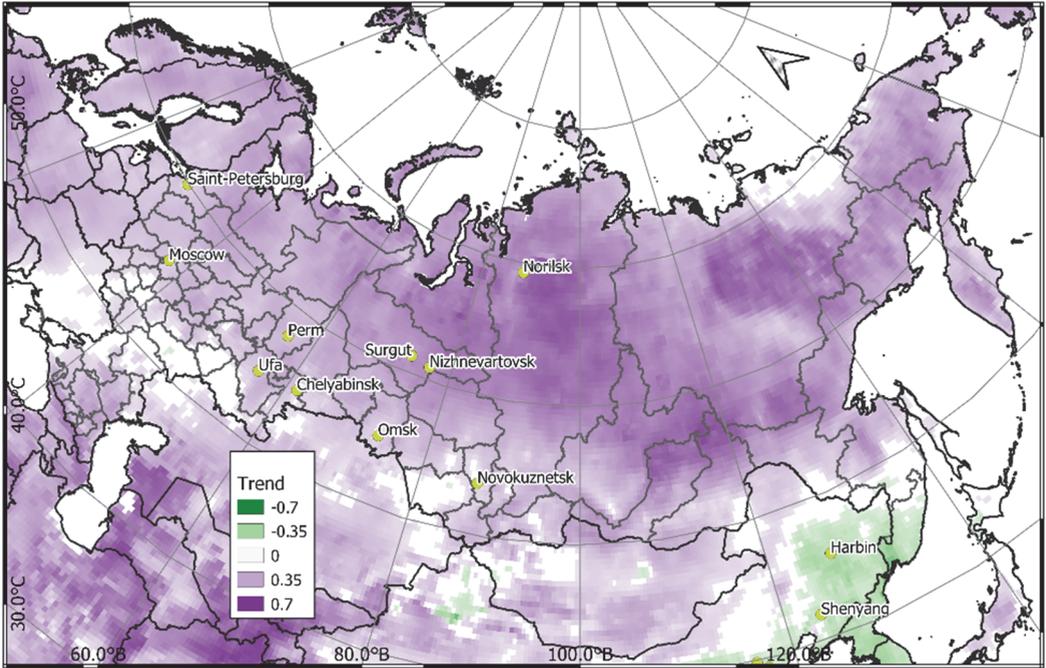
a



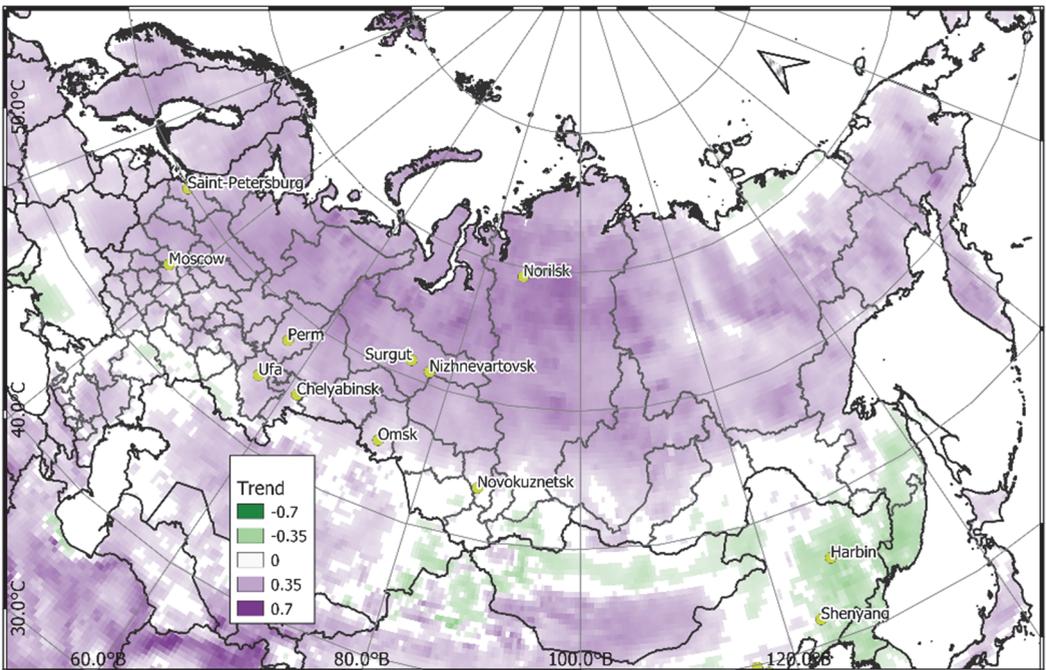
б

Рис. 4. Тренд содержания пыли (pm10) в атмосфере от среднего многолетнего для января – мая года (*начало*): *a* – 2017; *б* – 2018

Figure 4. Trend of dust content (pm10) in the atmosphere from the long-term average for January – May (*beginning*): *a* – 2017; *б* – 2018



6



2

Рис. 4. Тренд содержания пыли (pm10) в атмосфере от среднего многолетнего для января – мая года (окончание):
а – 2019; б – 2020

Figure 4. Trend of dust content (pm10) in the atmosphere from the long-term average for January – May (ending):
а – 2019; б – 2020

Заключение

Проведение анализа позволило на основе спутниковых данных получить объективную картину изменений чистоты атмосферы регионов России, которая вызвана влиянием ограничений, введенных из-за пандемии COVID-19, выявить регионы с наибольшими изменениями и регионы, в которых вводимые ограничения никак не повлияли на состояние загрязненности атмосферы.

Установлено, что состояние запыленности атмосферы и содержания NO₂ из-за введенных ограничений улучшилось в ряде регионов Дальнего Востока (по-видимому, в том числе и из-за ограничений на территории соседнего Китая) и в меньшей степени в центре Европейской части России.

Полученная информация может быть использована для прогнозирования развития социальной и экономической ситуации на ближайшие годы и планирования превентивных мер для преодоления экономических и социальных последствий пандемии COVID-19, а также для разработки предложений по преодолению негативных последствий для окружающей среды, включая меры по оптимизации территориального развития, охране природы и учету экосистемных функций.

Список литературы / References

- [1] Baldasano JM. Covid-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* 2020;741:140353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140353>
- [2] Chakraborty I, Maity P. COVID-19 outbreak: migration, effect on society, global environment and prevention. *Sci. Total Environ.* 2020;728:138882. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138882>. Epub 2020 Apr 22
- [3] Gama C, Revals H, Lopes M, Monteiro A. The impact of Covid-19 on air quality levels in Portugal: a way to assess traffic contribution. *Environ. Res.* 2021;193:110515. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110515>. Epub 2020 Nov 23.
- [4] Ibn-Mohammed T, Mustapha KB, Godsell J, Adamu Z, Babatunde KA, Akintade DD, Acquaye A, Fujii H, Ndiaye MM, Yamoah FA, Koh SCL. A critical review of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. *Resources, Conservation & Recycling.* 2021;164(39):105169.
- [5] Otmani A, Benchrif A, Tahri M, Bounakhla M, El Mahjoub C, El Bouch M, Krombi M. Impact of Covid-19 lockdown on PM10, SO₂ and NO₂ concentrations in Sale City (Morocco). *Science of the Total Environment.* 2020;735:139541. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139541>
- [6] Muhammad S, Long X, Salman M. COVID-19 pandemic and environmental pollution: a blessing in disguise? *Science of the Total Environment.* 2020;728:138820. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138820>
- [7] Rume T, Didar-UI Islam SM. Environmental effects of COVID-19 pandemic and potential strategies of sustainability. *Heliyon.* 2020;6:e04965. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04965>
- [8] Wu C-L, Wang H-W, Cai W-J, He H, Ni A, Peng Z. Impact of the Covid-19 lockdown on roadside traffic related air pollution in Shanghai, China. *Building and Environment.* 2021;107718. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107718>
- [9] Copiello S, Grillenzoni C. The spread of 2019-nCoV in China was primarily driven by population density. Comment on “Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: evidence from China” by Zhu et al. *Science of Total Environment.* 2020;744:141028.

- [10] Liang D, Shi L, Zhao J, Liu P, Sarnat JA, Gao S, Schwartz J, Liu Y, Ebelt ST, Scovronick N, Chang HH. Urban air pollution may enhance COVID-19 case-fatality and mortality rates in the United States. *The Innovation*. 2020;1(3):100047. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100047>
- [11] Perone G. The determinants of COVID-19 case fatality rate (CFR) in the Italian regions and provinces: an analysis of environmental, demographic, and healthcare factor. *Science of the Total Environment*. 2021;755(Pt 1):142523. <https://doi.org/10/1016/j.scitotenv.2020.142523>
- [12] Zhang Z, Xue T, Jin X. Effects of meteorological conditions and pollution on COVID-19 transmission: evidence from 219 Chinese cities. *Science of the Total Environment*. 2020;741:140244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140244>
- [13] Friedlingstein P, O’Sullivan M, Jones MW, Andrew RM., Hauck J, Olsen A, Peters GP, Peters W, Pongratz J, Sitch S, Le Quéré C, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Alin S, Aragão LEOC, Arneeth A, Arora V, Bates NR, Becker M, Benoit-Cattin A, Bittig HC, Bopp L, Bultan S, Chandra N, Chevallier F, Chini LP, Evans W, Florentie L, Forster PM, Gasser T, Gehlen M, Gilfillan D, Gkritzalis T, Gregor L, Gruber N, Harris I, Hartung K, Haverd V, Houghton RA, Ilyina T, Jain AK, Joetzjer E, Kadono K, Kato E, Kitidis V, Korsbakken JI, Landschützer P, Lefèvre N, Lenton A, Lienert S, Liu Z, Lombardozzi D, Marland G, Metzl N, Munro DR, Nabel JEMS, Nakaoka S-I, Niwa Y, O’Brien K, Ono T, Palmer PI, Pierrot D, Poulter B, Resplandy L, Robertson E, Rödenbeck C, Schwinger J, Séférian R, Skjelvan I, Smith AJP, Sutton AJ, Tanhua T, Tans PP, Tian H, Tilbrook B, van der Werf G, Vuichard N, Walker AP, Wanninkhof R, Watson AJ, Willis D, Wiltshire AJ, Yuan W, Yue X, Zaehle S. Global Carbon Budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data*. 2020;12(4):3269–3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
- [14] Urban RC, Nakada LYK. COVID-19 pandemic: solid waste and environmental impacts in Brazil. *Science of the Total Environment*. 2021;755:142471. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
- [15] Gwenzi W, Rzymiski P. When silence goes viral, Africa sneezes! A perspective on Africa’s subdued research response to COVID-19 and a call for local scientific evidence. *Environmental Research*. 2021;194:110637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110637>
- [16] Gelaro R, McCarty W, Suárez MJ, Todling R, Molod A, Takacs L, Randles C, Darmenov A, Bosilovich MG, Reichle R, Wargan K, Coy L, Cullather R, Draper C, Akella S, Buchard V, Conaty A, da Silva A, Gu W, Kim GK, Zhao B. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*. 2017;30(13):5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- [17] Xu W, Wu J, Cao L. COVID-19 pandemic in China: context, experience and lessons. *Health Policy and Technology*. 2020;9(4):639–648. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2020.08.006>

Сведения об авторах:

Савин Игорь Юрьевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Института экологии, Российский университет дружбы народов, Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; главный научный сотрудник, Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. ORCID: 0000-0002-8739-5441. E-mail: savin_iyu@esoil.ru

Чинилин Андрей Владимирович, доцент факультета почвоведения, агрохимии и экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; младший научный сотрудник, Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. ORCID: 0000-0002-4237-7995. E-mail: achinilin@mail.ru

Аветян Сергей Андреевич, старший научный сотрудник, Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2; научный сотрудник

факультета почвоведения, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12. ORCID: 0000-0002-3435-9092. E-mail: Avetyan-serg@mail.ru

Шишконокова Екатерина Анатольевна, старший научный сотрудник, Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. ORCID: 0000-0003-4396-2712. E-mail: shishkonakova_ea@esoil.ru

Прудникова Елена Юрьевна, старший научный сотрудник, Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2; доцент департамента рационального природопользования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-7743-8607. E-mail: Prudnikova_eyu@esoil.ru

Bio notes:

Igor Yu. Savin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russia; chief researcher, V.V. Dokuchaev Soil Institute, 7 Pyzhevskii Pereulok, bldg 2, Moscow, 119017, Russia. ORCID: 0000-0002-8739-5441. E-mail: savin_iyu@esoil.ru

Andrey V. Chinilin, Associate Professor of the Faculty of Soil Science, Agrochemistry and Ecology, K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127434, Russia; junior researcher, V.V. Dokuchaev Soil Institute, 7 Pyzhevskii Pereulok, bldg 2, Moscow, 119017, Russia. ORCID: 0000-0002-4237-7995. E-mail: achinilin@mail.ru

Sergey A. Avetyan, senior researcher, V.V. Dokuchaev Soil Institute, 7 Pyzhevskii Pereulok, bldg 2, Moscow, 119017, Russia; researcher, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, bldg 12, Moscow, 119991, Russia. ORCID: 0000-0002-3435-9092. E-mail: Avetyan-serg@mail.ru

Ekaterina A. Shishkonakova, senior researcher, V.V. Dokuchaev Soil Institute, 7 Pyzhevskii Pereulok, bldg 2, Moscow, 119017, Russia. ORCID: 0000-0003-4396-2712. E-mail: shishkonakova_ea@esoil.ru

Elena Yu. Prudnikova, senior researcher, V.V. Dokuchaev Soil Institute, 7 Pyzhevskii Pereulok, bldg 2, Moscow, 119017, Russia; Associate Professor of the Department of Environmental Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russia. ORCID: 0000-0001-7743-8607. E-mail: Prudnikova_eyu@esoil.ru