

Библиографический список

1. Lung cancer risk assessment for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons in various industries / P. Petit, A. Maître, R. Persoons, D. J. Bicot // *Environ. Int.* 2019. Vol. 124. P. 109–120. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.058
2. Gupta A. D., Soni A., Gupta T. Synergistic cancer risk assessment from PM1 bound metals and PAHs in the Indo-Gangetic Region // *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2023. Vol. 1. Article No. 100002. doi: 10.1016/j.scenv.2023.100002
3. Semi volatile organic compounds in the snow of Russian Arctic islands: Archipelago Novaya Zemlya / A. T. Lebedev, D. M. Mazur, O. V. Polyakova, D. S. Kosyakov, A. Yu. Kozhevnikov, T. B. Latkin, Yu. I. Andreeva, V. B. Artaev // *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 239. P. 416–427. doi: 10.1016/j.envpol.2018.03.009
4. Tsibart A. S., Gennadiev A. N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: Sources, behavior, and indication significance (a review) // *Eurasian Soil Sc.* 2013. Vol. 46. P. 728–741. doi: 10.1134/S1064229313070090
5. Characterizing the PAHs in surface waters and snow in the Athabasca region: Implications for identifying hydrological pathways of atmospheric deposition / S. J. Birks, S. Chob, E. Yi, Y. Taylor, J. J. Gibson // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 603–604. P. 570–583. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.051

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА КАЗАНИ ДИОКСИДОМ АЗОТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ SENTINEL-5P

О. В. Никитин^{1,2}, *Р. С. Кузьмин*¹, *И. И. Вазиев*², *Э. И. Насырова*³,
В. З. Латыпова^{3,4}

¹ ООО «Экоаудит», *olnova@mail.ru*,

² Центр детского творчества «Танкодром»,

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет,

⁴ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

Одним из оперативных способов осуществления экологического мониторинга атмосферного воздуха является спутниковое зондирование. В рамках данной работы проведена оценка содержания диоксида азота в тропосфере на территории города Казани в 2018–2023 гг. по данным съемки сенсора TROPOMI космического аппарата Sentinel-5P. Доступ к данным и основные операции осуществлялись с помощью облачной платформы Google Earth Engine.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, диоксид азота, экологический мониторинг, дистанционное зондирование Земли, TROPOMI, Sentinel-5P.

Загрязнение атмосферного воздуха является одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье населения и окружающую среду, которое входит в число наиболее серьезных глобальных экологических проблем и ежегодно становится причиной смерти нескольких миллионов человек во всем мире [1]. По данным Роспотребнадзора, загрязнение атмосфер-

ного воздуха занимает лидирующее место в стране среди основных факторов риска здоровью населения, связанных с окружающей средой. В 2021 г. в 122 городах Российской Федерации, что составляет 53% городов, где проводятся наблюдения, уровень загрязнения атмосферного воздуха являлся высоким и очень высоким. Лишь в 27% городов уровень загрязнения остался низким. В городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха проживает 50,6 млн человек, что составляет 46% городского населения [2].

Актуальна эта проблема и для Республики Татарстан. В 2022 г. общее количество выбросов загрязняющих веществ предприятиями республики составило 319,9 тыс. т. Большая часть выбросов загрязняющих веществ приходится на крупные города: Казань, Набережные Челны, Нижнекамск, Альметьевск и Заинск (~58% населения региона), где сосредоточен основной промышленный потенциал республики. Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с антропогенными выбросами от промышленности, электростанций и транспорта, оксиды азота относятся к наиболее важным. Они образуются в процессе сгорания органического топлива при высоких температурах в виде оксидов азота (NO_x), которые трансформируются в диоксид азота (NO_2). Согласно Государственному докладу [3] на них приходится 14% от суммы всех выбросов стационарными источниками.

Одним из оперативных способов осуществления экологического мониторинга атмосферного воздуха является спутниковое зондирование [4]. В рамках данной работы проведена оценка содержания диоксида азота в тропосфере на территории одного из крупнейших городов России – Казани – в 2020 и 2023 гг. при помощи сенсора TROPOMI (англ. *TROPOspheric Monitoring Instrument*) аппарата Sentinel-5P Европейского космического агентства.

Доступ к спутниковым данным и основные операции осуществлялись с помощью облачной платформы Google Earth Engine (GEE). GEE использовалась для извлечения среднегодовых и месячных растров NO_2 . Данные по концентрации представлены как количество диоксида азота в мкмоль/м^2 вертикального столба тропосферного воздуха [5].

Для расширенной картографической визуализации данных (рис. 1, 2) и углубленной аналитической обработки, использовали программу QGIS 3.12. Геодезические координаты, были спроецированы в плоские прямоугольные координаты в универсальной поперечной проекции Меркатора на эллипсоиде WGS-84 (Universal Transverse Mercator (UTM), зона 39N). Координаты на картах представлены как геодезические (WGS-84, градусы и минуты северной широты и восточной долготы).

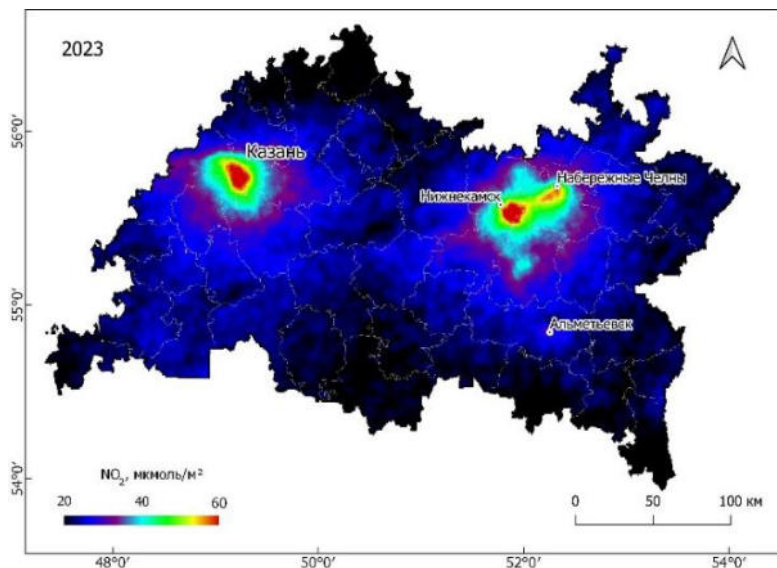


Рис. 1. Карта-схема с отображением усредненной концентрации диоксида азота в тропосфере на территории Республики Татарстан в 2023 г. по данным спутникового мониторинга



Рис. 2. Изолинии усредненных концентраций диоксида азота в тропосфере на карте-схеме территории г. Казани в 2020 и 2023 гг. по данным спутникового мониторинга

Для отображения тематических объектов (административные границы, леса, сельскохозяйственные угодья, водные объекты, автомобильные дороги) использовался набор слоев векторных данных OpenStreetMap (локализация NextGIS (Россия), лицензия на данные: ODbL).

Обработка полученных данных производилась при помощи программ Statistica 10.0 и MS Excel 2007. Данные представлены в виде среднего \pm стандартное отклонение.

Полученные карты-схемы усредненной концентрации диоксида азота в тропосфере на территории Республики Татарстан и г. Казани в 2018 и 2023 гг. (с января по октябрь) по данным спутникового мониторинга представлены на рисунках 1 и 2. Самые высокие значения концентраций NO_2 за выбранный период наблюдения отмечены для 2023 г. – в среднем содержание двуоксида азота на территории Казани составляло 49 ± 10 мкмоль/ м^2 . Самые высокие значения отмечены для центральной части города (Вахитовский район) – около 70 мкмоль/ м^2 . При этом в районе размещения таких крупных промышленных объектов как Казаньоргсинтез и Казанская ТЭЦ-3 концентрации составляли 50 – 55 мкмоль/ м^2 . Влияние от города (до ~ 40 мкмоль/ м^2) хорошо прослеживается по периметру города от Раифского участка Волжско-Камского биосферного заповедника на западе, вдоль федеральной трассы М-7 на севере и востоке, до района международного аэропорта «Казань» на юге.

Это отображают и построенные взаимно перпендикулярные профили концентраций NO_2 (рис. 3) с запада на восток и с юга на север через центральную часть города ($55,79$ с. ш., $49,12$ в. д.).

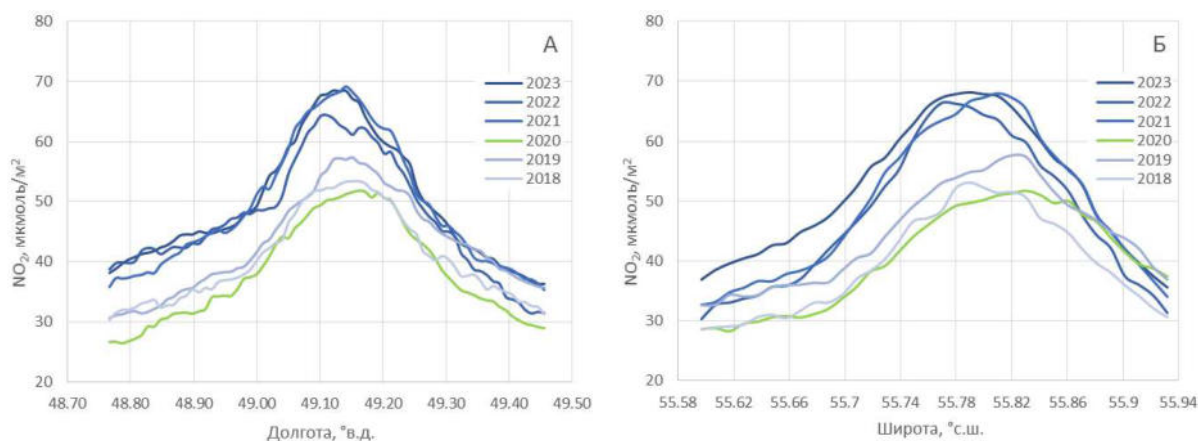


Рис. 3. Изолинии усредненных концентраций диоксида азота в тропосфере на территории города Казани в 2018–2023 гг. по данным спутникового мониторинга

При рассмотрении концентраций диоксида азота в многолетней динамике, хорошо заметна разница, связанная с режимом самоизоляции (локдаун) в 2020 г., вызванным пандемией COVID-19. За рассмотренный период времени, именно в этом году наблюдались наименьшие значения – 38 ± 8 мкмоль/ м^2 . Площади, ограниченные изолиниями концентраций на территории города, также существенно изменились (табл.).

Значения площадей Казанской агломерации, ограниченных изолиниями среднегодовых концентраций диоксида азота в 2020 и 2023 гг.

Значение изолинии, мкмоль/м ²	Площадь, тыс. км ²		Степень различия
	2020 год	2023 год	
30	1,5	4,2	-188%
35	0,7	2,1	-203%
40	0,4	1,1	-187%
45	0,2	0,6	-218%
50	0,1	0,3	-346%
55	–	0,2	–
60	–	0,1	–
65	–	0,04	–

Примечание: прочерки означают отсутствие данных в 2020 г., т. к. указанные концентрации не наблюдались.

Можно рекомендовать более активно использовать дистанционный спутниковый мониторинг в целях наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, комплексной оценки и прогноза его состояния, а также обеспечения органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и населения текущей и экстренной информацией о загрязнении атмосферного воздуха.

Библиографический список

1. Environmental and Health impacts of air pollution: a review / I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, E. Bezirtzoglou // *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022. 684 с.
3. О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2022 году. Государственный доклад. Казань : МЭПР РТ, 2023. 398 с.
4. Интегральная оценка качества атмосферного воздуха в крупнейших городах России на основе данных TROPOMI (Sentinel-5P) за 2019–2020 гг. / А. Э. Морозова, О. С. Сизов, П. О. Елагин, Н. А. Агзамов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. № 4. С. 23–39.
5. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, R. Moore // *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031