

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГОРОДА МИНСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ, АЭРОЗОЛЬНОГО ИНДЕКСА И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Шлендер^{1,2)}, М. В. Бируков¹⁾ Е. А. Ярош¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет,

²⁾ Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: geo.kasushki@bsu.by

Рассмотрено загрязнение аэрозолями с помощью данных спутника SENTINEL-5P в масштабах города Минска. Особенности загрязнения предоставлены посредством анализа картосхем, построенных при помощи платформы Google Earth Engine и ГИС QGIS на основе спутниковых изображений Sentinel-5P за пятилетний период с 2019 по 2023 гг и в отдельные даты.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, аэрозольный индекс, определённые погодные условия, спутниковые снимки, Sentinel-5P, MODIS, QGIS, Google Earth Engine.

ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IN MINSK USING REMOTE SENSING DATA OF THE AEROSOL INDEX AND GIS TECHNOLOGIES

T. V. Shlender¹⁾, M. V. Birukov¹⁾ Y. A. Yarosh¹⁾

¹⁾Belarusian State University,

Minsk, Republic of Belarus, e-mail: timajaya@mail.ru

²⁾ National Research Center for Ozonosphere Monitoring, BSU, Minsk,
Republic of Belarus, e-mail: geo.kasushki@bsu.by

Aerosol pollution is considered using SENTINEL-5P satellite data on the scale of the city of Minsk. The pollution features are provided through the analysis of cartograms built using the Google Earth Engine platform and the QGIS GIS based on Sentinel-5P satellite images for the five-year period from 2019 to 2023 and on selected dates.

Keywords: air pollution, aerosol index, certain weather conditions, satellite images, Sentinel-5P, QGIS, Google Earth Engine.

Современная эпоха характеризуется стремительной урбанизацией, которая неизбежно усиливает загрязнение городской среды, особенно воздуха. Интенсивное промышленное развитие, сосредоточенное в городах, приводит к увеличению выбросов вредных веществ. Эти процессы негативно отражаются на экологии и качестве воздуха, что, в свою очередь, провоцирует ухудшение здоровья населения и рост числа заболеваний дыхательной и других систем организма [1]. Проблема загрязнения атмосферы остается актуальной как для развитых, так и для развивающихся стран.

Загрязнение атмосферы требует детальных количественных наземных измерений (точечных), но в то же время надежного пространственного и временного моделирования, чтобы выявить наиболее пострадавшие районы во времени (день, месяц, год) и помочь должностным лицам, принимающим решения, найти причину загрязнения, и сформировать устойчивое решение для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [2]. И в настоящее время загрязненный воздух ежедневно определяется по индексу качества воздуха (AQI), который показывает, насколько он чист или загрязнен. Атмосферный аэрозоль, также известный как твердые частицы (ТЧ), по своим аэродинамическим характеристикам и распределению по размерам подразделяется на жидкие и твердые частицы диаметром, как правило, от 2,5 мкм до 10 мкм. Аэрозоли имеют большое значение из-за их влияния на климат, видимость, биогеохимические циклы, реакционную способность атмосферы и здоровье человека. Исходя из реакционной способности атмосферы, аэрозоли сразу же или не сразу вступают во взаимодействие с радиационным бюджетом и климатом Земли, а аэрозольное рассеяние солнечного света снижает наблюдаемость и заслоняет восход и закат. К антропогенным источникам первичных ТЧ относятся промышленные процессы и сжигание топлива. Природа промышленных частиц зависит от процесса, но в частицах от сжигания обычно преобладает черный углерод или тяжелые органические элементы и материалы, такие как полициклические ароматические углеводороды. Индекс УФ-аэрозолей Sentinel 5P (UVAI) сосредоточен на индексе поглощающих аэрозолей (AAI), который наблюдается на основе зависящих от длины волны изменений в рассеянии Рэлея в УФ-спектральном диапазоне для пары длин волн - разница между наблюдаемыми и смоделированными результатами отражения в AAI. Характеристики ультрафиолетового аэрозольного индекса Sentinel версии 5P в режиме близком к реальному времени, предоставляемые с 13 октября 2017 года Европейским космическим агентством (ESA), позволяют часто проводить мониторинг загрязняющих веществ в воздухе. Значение индекса AAI может варьироваться от -5 до +5 и выше. Отрицательные значения указывают на чистый воздух, значения около 0 означают низкую концентрацию аэрозолей, а положительные значения свидетельствуют о повышенном уровне аэрозольного загрязнения. Результаты AAI представляют собой положительное значение в неблагоприятную сторону; положительный AAI указывает на присутствие поглощающих ультрафиолет аэрозолей (пыли и дыма). Кроме того, он отслеживает эволюцию эпизодических аэрозольных шлейфов от вспышек пыли, вулканического пепла и сжигания биомассы [3].

Спутниковая миссия Sentinel-5P (S5P) была запущена в октябре 2017 года и предназначена для мониторинга атмосферы в рамках программы EU Copernicus [4]. Sentinel-5P оснащен спектрометром TROPOMI (инструмент для мониторинга атмосферы), который охватывает диапазоны длин волн от 270 нм и до 2350 нм. S5P позволяет получать содержания малых газовых

составляющих, таких как NO₂, озон, формальдегид, SO₂, метан, окись углерода и аэрозоли. Спутниковые снимки производятся ежедневно (орбита пересечения экватора по локальному времени 13:30, значит, над г. Минском снимки имеют время около 9-10 ч локального времени) с пространственным разрешением около 5,5 км × 3,5 км (от 7 км до 5,5 км до августа 2019 г.). S5P предоставляет данные по общему содержанию NO₂ между поверхностью земли и верхней частью тропосферы – тропопаузой.

Для быстрого и эффективного получения спутниковых снимков в работе использовалась Google Earth Engine (GEE) – облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Она позволяет использовать огромные вычислительные мощности компании Google для изучения самых разнообразных проблем: потерь лесов, засухи, стихийных бедствий, эпидемий, продовольственной безопасности, управления водными ресурсами, изменения климата и защиты окружающей среды. Общедоступный каталог данных Earth Engine (Earth Engine Data Catalog) представляет собой огромный архив часто используемых наборов геопространственных данных [5].

Также в работе была использована упрощенная система «Локальные климатические зоны» (LCZ) [6]. Локальные климатические зоны городов представляют собой участки с однородным типом поверхности, человеческой деятельностью, структурой и застройкой протяженностью порядка первых сотен метров. Сама система LCZ включает 17 типов зон в локальном масштабе (от 10² до 10⁴ м). Но в данном исследовании было принято решение модифицировать карту локальных климатических зон по городу Минску ввиду схожести типов застройки и подстилающей поверхности. Были проанализированы все 17 типов застройки и на их основе с помощью программы QGIS выделены пять новых локальных климатических зон: 1 зона – дороги и прочие транспортные узлы; 2 – природные зоны; 3 – малоэтажная застройка; 4 – высокоэтажная застройка; 5 – промышленные предприятия. Первая локальная климатическая зона включает в себя пути движения наземного транспорта, для этой зоны характерна заасфальтированная поверхность. Вторая локальная климатическая зона представляет собой различные природные зоны, такие как лес, парки, водные объекты, почва, кустарники, сельскохозяйственные посевы. Третья локальная климатическая зона включает в себя компактную и открытую низко- и среднеэтажную застройку. Четвертая локальная климатическая зона является зоной открытой и компактной высокоэтажной застройки. Пятая локальная климатическая зона включает в себя различные промышленные предприятия. Обоснованием обобщения локальных климатических зон является схожесть типов застройки и подстилающей поверхности и антропогенной деятельности (рис. 1).

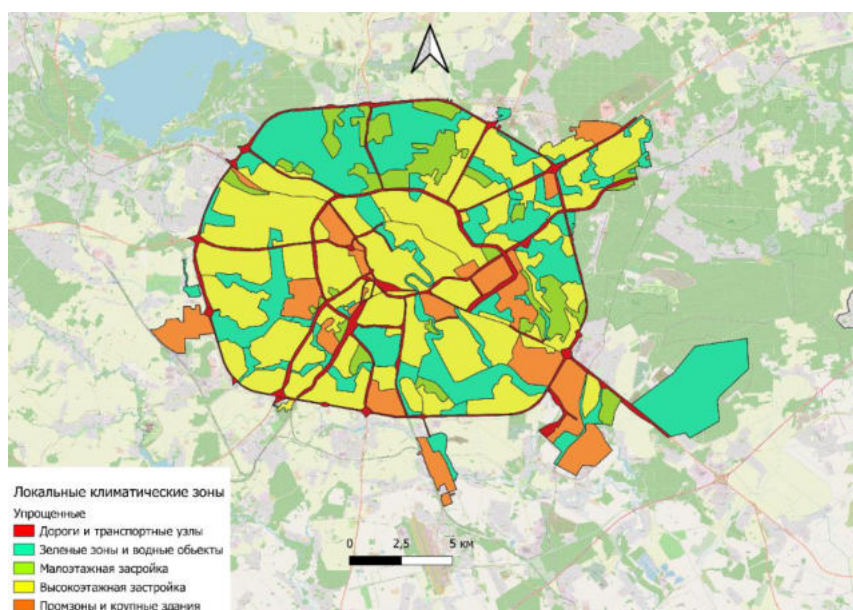


Рис. 1. Картограмма локальных климатических зон города Минска

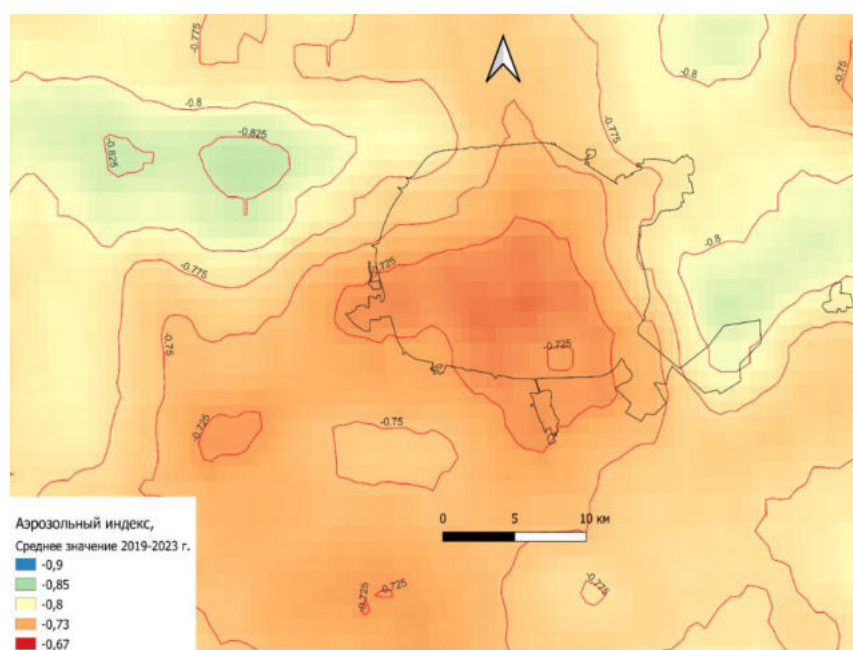


Рис. 2. Картограмма распределения аэрозольного индекса для города Минска, среднее значение за 2019–2023 г.
Составлено по: [6]

С помощью скрипта формировался файл в формате GeoTIFF для средних значений аэрозольного индекса за период 2019–2023 гг. над территорией г. Минска и пригородов. Полученное изображение в формате GeoTIFF по умолчанию является чёрно-белым, поэтому преобразования в

итоговые цветные картосхемы производились в ГИС QGIS, после чего выделялись граничные изолинии, высчитывались геометрические параметры острова загрязнения (рис. 2).

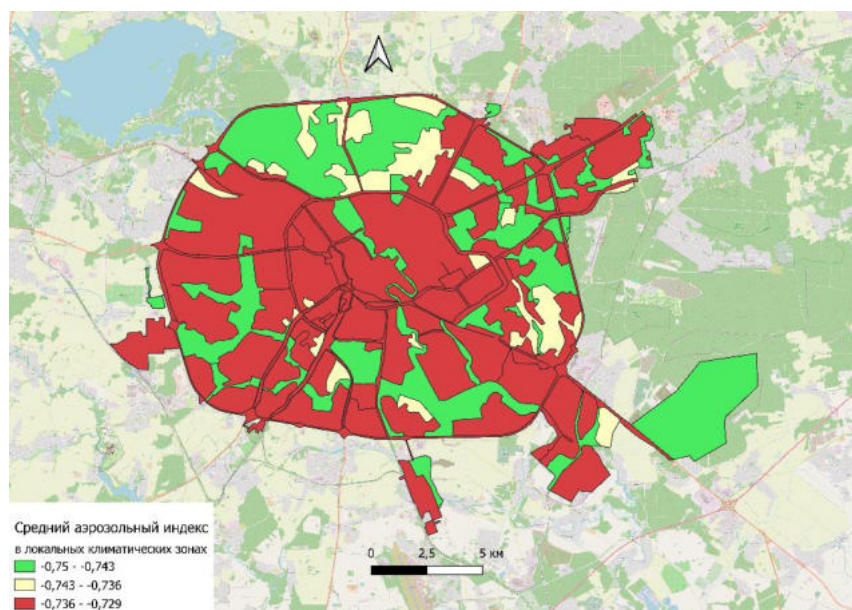


Рис. 3. Картосхема распределения аэрозольного индекса в локальных климатических зонах города Минска

Что касается распределения данного индекса в локальных климатических зонах, то наибольшие концентрации, согласно рисунку 3, принадлежат зоне дорог и транспортных узлов, что обусловлено загрязнением воздуха, поступающим непосредственно от транспорта. Также можно заметить, что повышение данного индекса наблюдается в промышленных зонах и многоэтажной застройке. Самыми чистыми являются зоны зеленых и водных объектов.

Также была построена картосхема распределения аэрозольного индекса за период 19–20 октября 2024 года (рис. 4), поскольку в эти дни наблюдалась способствующая ухудшению качества воздуха погодная обстановка, а именно над территорией нашей страны находился центр антициклона. В ночные часы образовались слои инверсии температуры воздуха. Инверсионное распределение температуры (тепло вверху, холодно внизу) препятствует рассеиванию вредных примесей в воздухе. Слабые ветры, преобладающие в антициклоне, также способствовали ухудшению ситуации. Проанализировав данную картосхему, можно заметить увеличившееся, по сравнению со среднегодовым, значение индекса, в центре Минска, что говорит о повышении концентрации аэрозолей, так как значение индекса положительное. В этом районе мог наблюдаться даже небольшой смог.

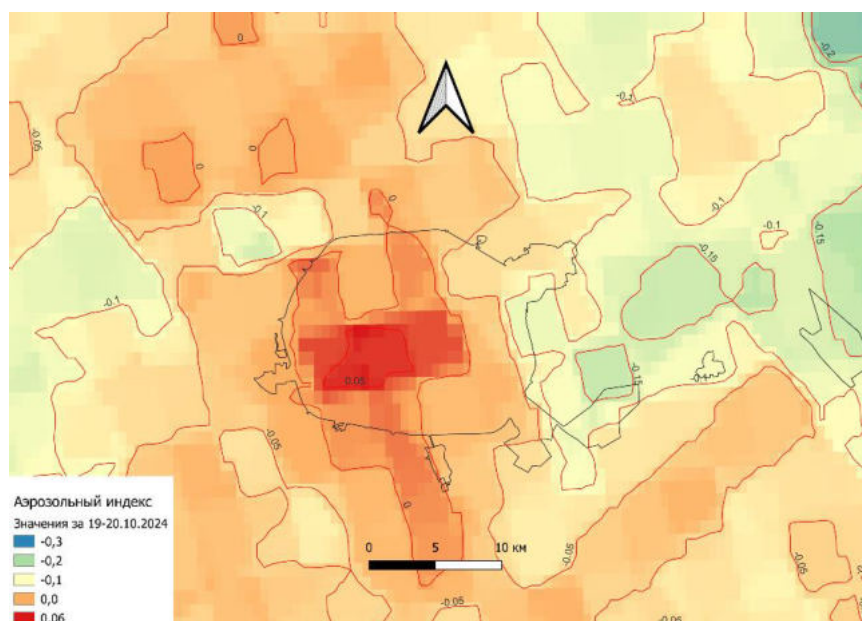


Рис. 4. Картограмма распределения аэрозольного индекса значения за 19–20 октября 2024 г.

По итогу можно сделать вывод, что по аэрозольному индексу превышений за многолетний период в городе Минске не выявлено. Однако он повышается в зоне дорог и транспортных узлов, промышленных зонах и многоэтажной застройке. И в отдельные периоды с сопутствующими погодными условиями и прохождению антициклона может наблюдаться смог и незначительные загрязнения.

Библиографические ссылки

1. Raaschou-Nielsen O., Andersen Z. J., Beeleb R. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) // Ланцет Онкол. 2013. № 14. С. 813–822.
2. Bouggoudis I., Demertzis K., Liadis L. Semi-supervised Hybrid Modeling of Atmospheric Pollution in Urban Centers. Springer: Хам, Швейцария, 2016. С. 51–63.
3. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень, 2010 г. / под ред. В. Ф. Логинава. Минск: Минсктиппроект, 2011. 395 с.
4. European Space Agency / Sentinel online [Electronic resource]. URL : <https://sentinels.copernicus.eu/> (date of access: 04.06.2023).
5. Google Earth Engine Datasets [Electronic resource]. URL : <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> (date of access: 04.06.2023).
6. Классификация локальных климатических зон [Электронный ресурс]. URL : wudapt.org/wp-content/uploads/2021/03/LCZ_Typology_Demuzere2020.pdf (date of access: 23.10.2024).
7. Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series/ S. L. Ermida [et.al.] // Remote Sens. 2020. Vol. 12. P. 1471–1482.