

РАЙОНИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Г. МИНСКА ПО ЛОКАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ

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

¹⁾Факультет географии и геоинформатики БГУ,

²⁾Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: timajaya@mail.ru

Исследована проблема загрязнения воздуха города Минска диоксидом азота с помощью спутниковых данных SENTINEL-5P. Особенности загрязнения приземных слоев атмосферы представлены посредством анализа картосхем, построенных при помощи платформы Google Earth Engine и ГИС QGIS на основе спутниковых изображений Sentinel-5P в 2019-2023 гг. Так же было определено содержание диоксида азота в каждой локальной климатической зоне с целью определения комфортности жизни населения города.

Ключевые слова: загрязнение воздуха; выбросы диоксида азота; угарный газ; диоксид серы; спутниковые снимки; Sentinel-5P; QGIS; Google Earth Engine; предельно допустимая концентрация.

ZONING OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN MINSK BY LOCAL CLIMATIC ZONES

T.V. Shlender^{1,2)}, Y. A. Yarosh¹⁾, M. V. Birukov¹⁾

¹⁾Belarusian State University,

²⁾National Research Center for Monitoring of the Ozonosphere BSU,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: timajaya@mail.ru

The problem of air pollution of Minsk city by nitrogen dioxide using SENTINEL-5P satellite data is investigated. The peculiarities of pollution of the surface layers of the atmosphere are presented by analyzing the cartograms built with the help of Google Earth Engine platform and GIS QGIS on the basis of Sentinel-5P satellite images in 2019-2023. It was also determined the content of nitrogen dioxide in each local climatic zone in order to determine the comfort of life of the city's population.

Keywords: air pollution; nitrogen dioxide emissions; carbon monoxide; sulfur dioxide; satellite images; Sentinel-5P; QGIS; Google Earth Engine; maximum permissible concentration.

Загрязнение атмосферы является одной из важнейших экологических проблем промышленно развитых и развивающихся стран мира. Производство энергии на основе ископаемого топлива, транспортное движение являются

ключевыми факторами, создающими серьезные проблемы общественного здравоохранения локального и национального масштаба.

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, сезон) и помочь лицам, принимающим решения, найти причину загрязнения, устойчивое решение для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [1].

Измерение загрязнения атмосферы с помощью спутниковых датчиков позволяют определить количество аэрозолей, имеющих различные спектральные характеристики в ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и коротковолновом инфракрасном спектрах, которые необходимо измерять и моделировать с целью получения согласованных данных о концентрации газового столба [2] в различных пространственных масштабах, от локального к глобальному. В данном исследовании были использованы снимки спутников Sentinel-5P [3]. Спутниковые снимки являются важной составляющей мониторинга атмосферного загрязнения. Они могут применяться как основа исследований, но для достижения максимальной точности измерений лучше использовать их в комплексе с наземными методами.

В данном исследовании целью было создать картосхему районирования локальных климатических зон Минска и определить содержание диоксида азота в каждой локальной зоне для определения комфортности жизни населения.

Для достижения этой цели были выполнены следующие задачи: Освоена методика работы в онлайн ресурсе GEE; Построены пространственные картосхемы распределения загрязнения атмосферного воздуха в городе Минск по данным спутника SENTINEL-5P; Создана новая классификация локальных климатических зон для города Минска, отражающая особенности города и его застройки; Построена пространственная картосхема распределения загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота в каждой новой локальной климатической зоне города; Выполнен анализ полученных результатов.

Sentinel-5 Precursor, также известный как Sentinel-5P, – это первая миссия Copernicus, посвященная мониторингу нашей атмосферы. На спутнике установлен современный прибор Tropomi, позволяющий составить карту множества газовых примесей, которые влияют на воздух, которым мы дышим, и, следовательно, на наше здоровье и наш климат. Данный спутник обладает блоком полезной нагрузки, в частности, спектрометр Тропомі – ежедневно отображает глобальную атмосферу с разрешением $7 \times 3,5$ км. При таком разрешении можно обнаружить загрязнение воздуха над городами. Sentinel-5 P ориентирован на качество воздуха и взаимодействие состава и климата с основными продуктами данных, таких как O_3 , NO_2 , SO_2 , $НСНО$, $СНОСНО$ и

аэрозоли. Кроме того, Sentinel-5P также предоставляет параметры качества CO, CH₄, и стратосферного O₃ с ежедневным глобальным охватом климатических исследований качества воздуха и озона, приземного УФ-излучения, что делает данный спутник хорошим инструментом для изучения загрязнения атмосферы.

Для быстрого и эффективного получения спутниковых снимков в работе использовалась Google Earth Engine (GEE) – облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Общедоступный каталог данных Earth Engine (Earth Engine Data Catalog) представляет собой огромный архив часто используемых наборов геопространственных данных [4].

С помощью скрипта формировался файл в формате GeoTIFF для средних значений тропосферного столба диоксида азота 2019-2023 гг. над территорией города Минска. Полученные изображения в формате GeoTIFF по умолчанию являются чёрно-белыми, поэтому преобразования в итоговые цветные картосхемы производились в ГИС QGIS. Пересчет единиц моль/м² общего содержания диоксида азота в концентрацию в приземном слое ppb осуществлялся для стометрового приземного слоя с использованием функции "калькулятор растров".

Значения ПДК были взяты из гигиенических нормативов Республики Беларусь для атмосферного воздуха населенных пунктов за 2021 год, которые представлены в таблице.

Значения ПДК для загрязняющих газов в приземной атмосфере РБ [5]

<i>Загрязняющие вещества</i>	<i>Значения ПДК, мкг/м³</i>		
	<i>Макс.разовая</i>	<i>суточная</i>	<i>годовая</i>
Азота диоксид	250	100 (25*)	40 (10*)

*ПДК по ВОЗ [6]

Построение картосхем спутниковых снимков производилось в ГИС QGIS, где осуществлялись преобразования единиц, выделялись граничные изолинии ПДК, высчитывались геометрические параметры острова загрязнения.

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 согласно классификации WUDAPT 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, а также схожие показатели температуры в данных зонах.

С помощью метода зональной статистики были построены картосхемы содержания диоксида азота в локальных климатических зонах.

В результате была разработана упрощенная классификация локальных климатических зон города Минска. В основе выделения локальных климатических зон лежала классификация WUDAPT, а также генеральный план города Минска. Данная картосхема была составлена на платформе QGIS, где были отредактированы сами локальные климатические зоны, добавлена цветовая заливка.

По полученным результатам на рисунке 1 можно заметить, что в г. Минске самая большая площадь, около 215 км², занята зоной, которая представляет собой высоко-и среднеэтажную застройку. Опираясь на полученную картосхему можно повышать комфортность жизни людей в районах, где наблюдается наиболее высокая плотность застройки путем озеленения территории, создания искусственных водоемов, а также с помощью правильной планировки жилых сооружений и промышленных объектов, что особенно важно в большом городе.

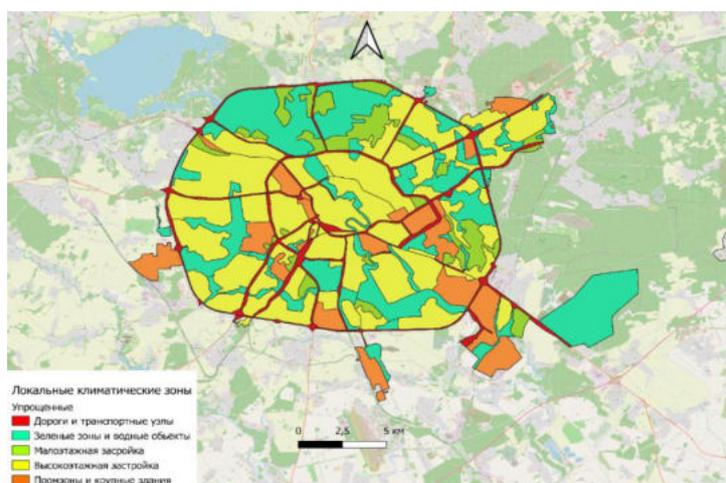


Рис. 1. Картосхема локальных климатических зон г. Минска

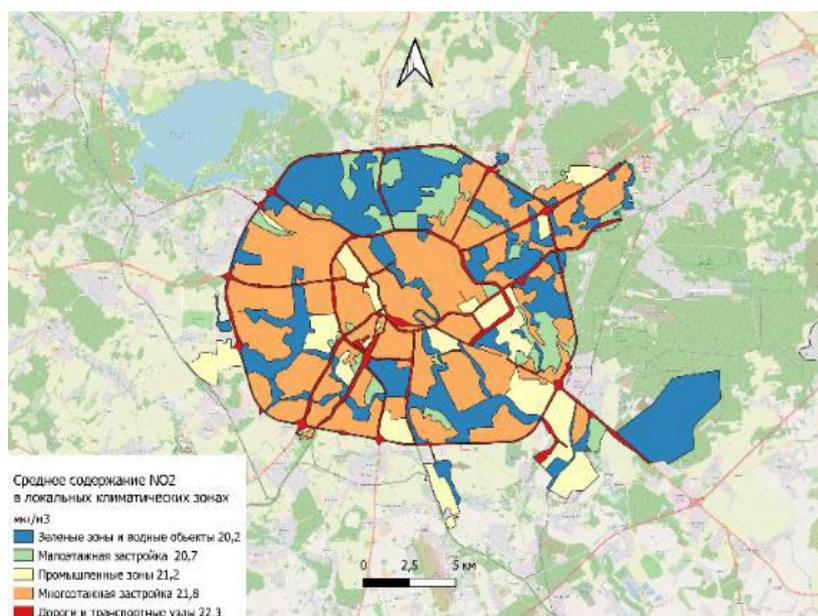


Рис. 2. Картограмма распределения диоксида азота в городе Минск

Проанализировав полученную картограмму распределения диоксида азота на рисунке 2, можно отметить, что наибольшая концентрация данного газа наблюдается в центре и снижается она к периферийным окраинам города. Это объясняется тем, что диоксид азота поступает в атмосферу при неполном сгорании ископаемого топлива. В центре нашего города наиболее густая транспортная сеть, что делает данный район неблагоприятным из-за высокого газового загрязнения. Предельно допустимая среднегодовая концентрация данного загрязнителя по белорусским нормативам 40 мкг/м^3 , однако по нормативам Всемирной Организации Здравоохранения предельно допустимая концентрация диоксида азота — 10 мкг/м^3 . Поэтому можно судить о превышении ПДК диоксида азота. Целесообразно проводить ежедневный мониторинг, поскольку концентрация данного загрязнителя зависит от метеословий.

Проанализировав полученную картограмму распределения диоксида азота в локальных климатических зонах на рисунке 3, можно заметить, что наибольшая концентрация газа характерна для зоны дорог и транспортных узлов, что соответствует написанному ранее. В целом по всем локальным климатическим зонам характерно превышение ПДК по диоксиду азота по нормативам ВОЗ в два раза. Высокие показатели в зонах с высокоэтажной и малоэтажной застройкой являются следствием маятниковой миграции населения.

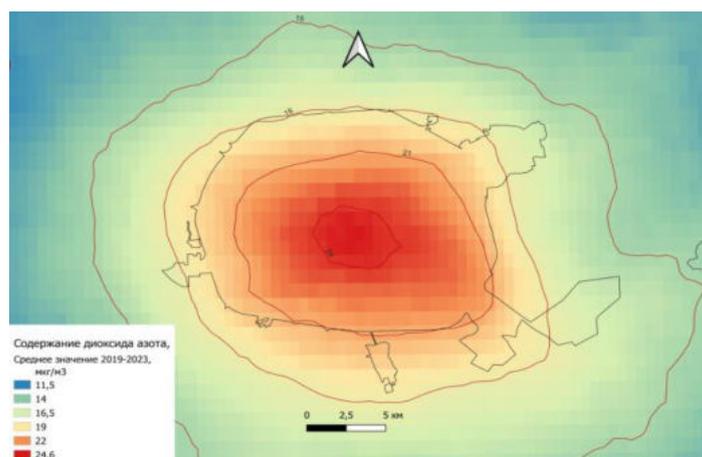


Рис. 3. Районирование распределения диоксида азота в локальных климатических зонах города Минска

Также была построена картосхема распределения диоксида азота в городе Минск за период 19–20 октября 2024 года в связи с неблагоприятной синоптической обстановкой (рис. 4) Антициклон, находящийся в этот момент на территории нашей страны способствовал появлению инверсии и слабым южным ветрам, скорость которых была 1–2 м/с, что негативно сказалось на качестве атмосферного воздуха. На рисунке 4 мы можем наблюдать увеличение концентрации диоксида азота в связи с неблагоприятной синоптической обстановкой. Разовая ПДК диоксида азота составляет 100 мкг/м³, поэтому превышения показателя не наблюдалось. Однако, самые большие значения диоксида азота получились за Минском, около деревни Юзуфово. Так как там нет промышленных предприятий, низкая плотность населения, то скорее всего повышение концентрации до 60 мкг/м³ связано с постепенным переносом воздушных масс с Минска на север в Смоленскую область.

В итоге была разработана упрощенная классификация локальных климатических зон города, были построены картосхемы содержания диоксида азота в каждой локальной климатической зоне. На основании полученных данных можно судить о комфортности жизни людей и предпринимать активные действия для улучшения экологической обстановки в городе.

В Минске наблюдаются высокие значения концентрации диоксида азота, что коррелирует с плотностью автомобильных дорог, застройки и большим количеством промышленных предприятий. Однако концентрации диоксида азота не превышают ПДК, используемые в Беларуси.

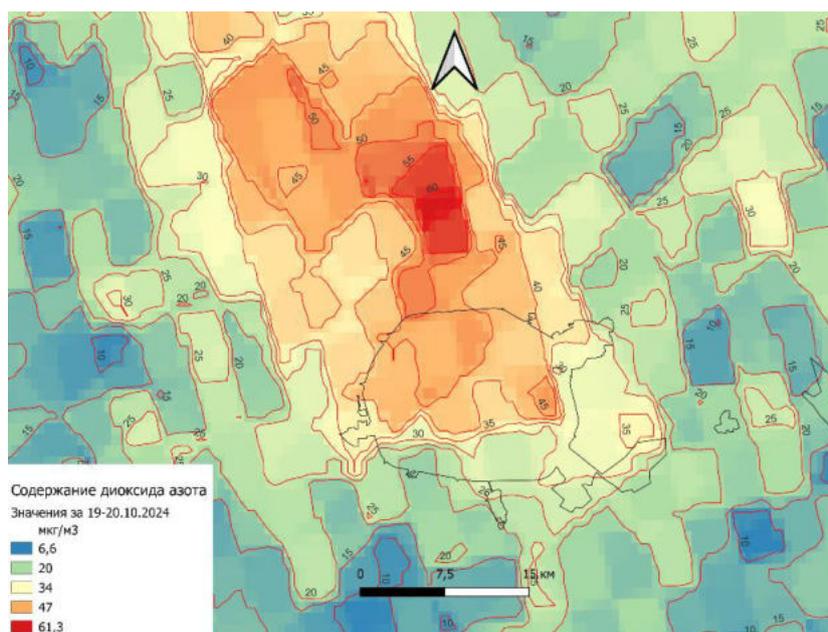


Рис. 4. Картограмма распределения диоксида азота за период 19–20 октября 2024 г.

В целом, экологическую ситуацию в городе Минск по полученным данным можно оценить как хорошую, однако необходим ежедневный мониторинг для выявления случаев превышения концентрации загрязняющих веществ, так как на это влияют постоянно изменяющиеся погодные условия.

Библиографические ссылки

1. Bougoudis I., Demertzis K., Iliadis L. Semi-supervised hybrid modeling of air pollution in urban centers // International Conference on Engineering Applications of Neural Networks; Springer : Cham, Switzerland, 2016. P. 51–63.
2. Consistency of satellite climate data records for Earth system monitoring / T. Popp [et al.] // Bull. Apparent. Meteorol. Soc. 2020. P. 1–68.
3. European Space Agency / Sentinel online [Electronic resource]. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/> (date of access: 04.06.2023).
4. Google Earth Engine Datasets [Electronic resource]. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> (date of access: 04.06.2023).
5. Гигиенические нормативы 2.1.6.12-6-2006 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов в атмосферном воздухе населенных мест», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 3 апреля 2006 г. № 41.
6. WHO [Electronic resource] URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US (date of access: 04.06.2023).
7. Загрязнение воздуха Беларуси. Исследование из Космоса // под ред. Я. Лабоги. Прага – Минск. 2020. 32 с.