

УДК 551.584.5

ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА SENTINEL-5P

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, timajaya@mail.ru

Исследована проблема загрязнения воздуха городов различными газами 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.

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

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC POLLUTION OF BELARUSIAN CITIES BASED ON SENTINEL-5P SATELLITE DATA

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, timajaya@mail.ru

The problem of urban air pollution by various gases 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 QGIS GIS based on Sentinel-5P satellite images in 2019-2023.

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 пространствен-

ного 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].

Измерения 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].

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 содержания 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 Трополи — 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 , $HCNO$, CH_2O и аэрозоли. Кроме того, Sentinel-5P также предоставляет параметры качества CO , CH_4 , и стратосферного O_3 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, формальдегида, метана, диоксида серы, угарного газа и озона (изменялись только пути к библиотекам данных и диапазон измерений) за период 2019-2023 гг. над территорией всех областных городов и их пригородов. Полученные изображения в формате GeoTIFF по умолчанию являются черно-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 РБ для атмосферного воздуха населенных пунктов за 2021 г., которые представлены в таблице. Для анализа антропогенной активности в г. Могилеве использовались данные о величинах ПДК (мкг/м³) для диоксида азота, а в качестве фоновой концентрации принимались значения для Березинского заповедника.

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

Загрязняющие вещества	Значения ПДК, мкг/м ³		
	Макс.разовая	суточная	годовая
Азота диоксид	250	100 (25*)	40 (10*)

*ПДК по ВОЗ [6]

Для проведения сравнительного анализа концентраций загрязняющих газов над территорией областных городов и Березинским заповедником, был использован скрипт, позволяющий получить на одном изображении несколько параметров для различных выбранных территорий, что позволило создать на его основе график среднедневных многолетних значений концентрации диоксида азота, угарного газа, диоксида серы, а также других газов за период 2019-2023 гг. для территории г. Могилева и Березинского заповедника.

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

Анализ среднедневных многолетних значений тропосферных концентраций NO₂ над г. Могилевом и Березинским заповедником за период 2019-2023 гг. выявил некоторые особенности сезонного хода, а именно: максимум концентраций наблюдался осенью (сентябрь-октябрь) и в конце зимы-начале весны (февраль-март), а минимум — в летние месяцы (рис. 1), что согласуется с данными, представленными в [7]. Стоит отметить, что в зимние сезоны значительная часть спутниковых данных отфильтровываются из-за плохих погодных условий. Значения концентраций NO₂ в г. Могилеве значительно превышают фоновые значения Березинского заповедника в течении всего периода — в 2-3 раза в зависимости от сезона года (теплый период в 1,5-2 раза).

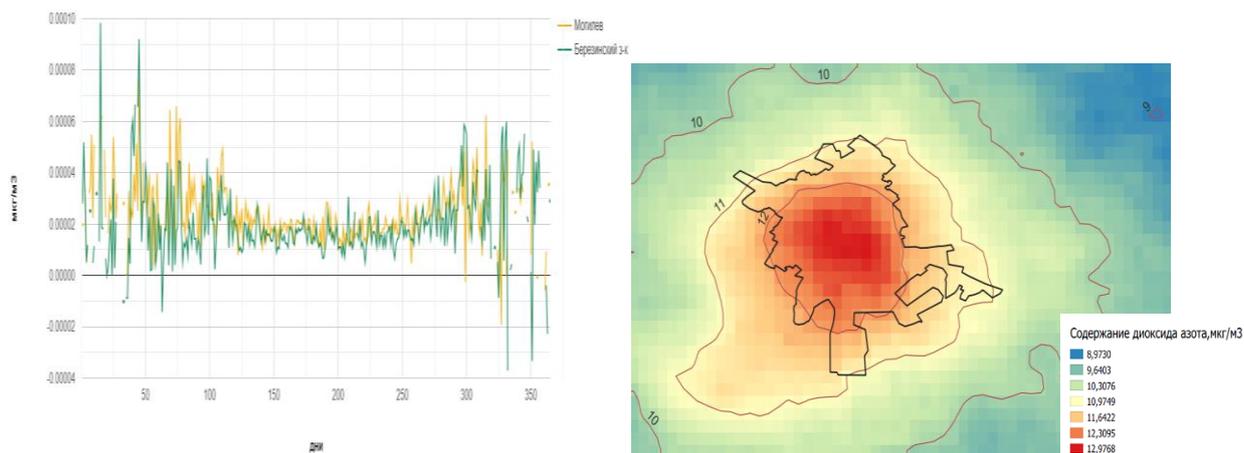


Рис. 1. Концентрации диоксида азота (сост. по [4])

Наибольшие показатели загрязнения диоксидом азота распространяются от центра к периферии города, что связано с плотностью автомобильных дорог и промышленными предприятиями. Целесообразно проводить ежедневный мониторинг концентрации диоксида азота, поскольку из-за атмосферных условий содержание этого соединения может резко колебаться. Выполнение осреднения по времени (неделя, месяц, сезон и т. д.) поможет избежать влияния облачности, которая снижает точность измерения концентрации загрязнителя в тропосфере или делает ее невозможной.

Основными антропогенными источниками угарного газа (рис.2) в атмосфере являются автотранспорт, тяжелая промышленность, ТЭЦ, химическая промышленность. В естественных условиях соединение угарного газа образуется при разложении биоты в результате жизнедеятельности организмов, при извержениях вулканов. Огромное количество CO падает в атмосферу во время природных пожаров. В общем случае угарный газ образуется при неполном сгорании органического топлива. Анализируя полученные графические материалы, можно заметить сезонность распределения количества газа, в летний период всплески концентрации угарного газа могут быть связаны с учащением лесных пожаров. Анализируя картосхему Могилева, можно заметить повышение уровня угарного газа на юге города, что коррелирует с нахождением промышленной зоны.

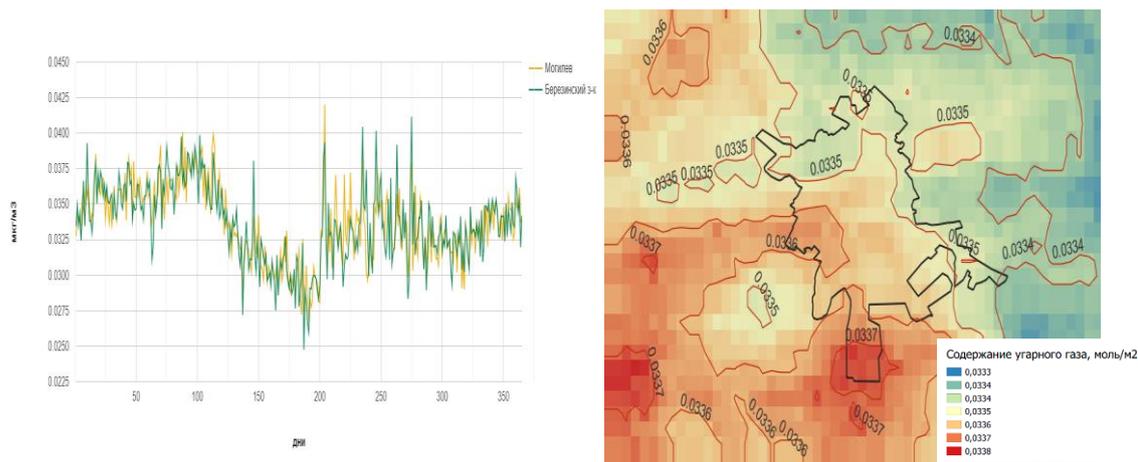


Рис.2. Концентрация угарного газа в Могилеве (сост. по [4])

Диоксид серы (рис.3) является одним из основных и опасных загрязнителей атмосферы. Соединение SO_2 попадает в атмосферу как естественным образом, так и в результате деятельности человека. К природным источникам поступления диоксида серы, прежде всего, относятся извержения вулканов и пожары. Превышение концентрации диоксида серы на территории Могилева связано с антропогенными источниками поступления диоксида серы в атмосферу: металлургическими предприятиями, ТЭЦ на угле, химическими и иными промышленными предприятиями.

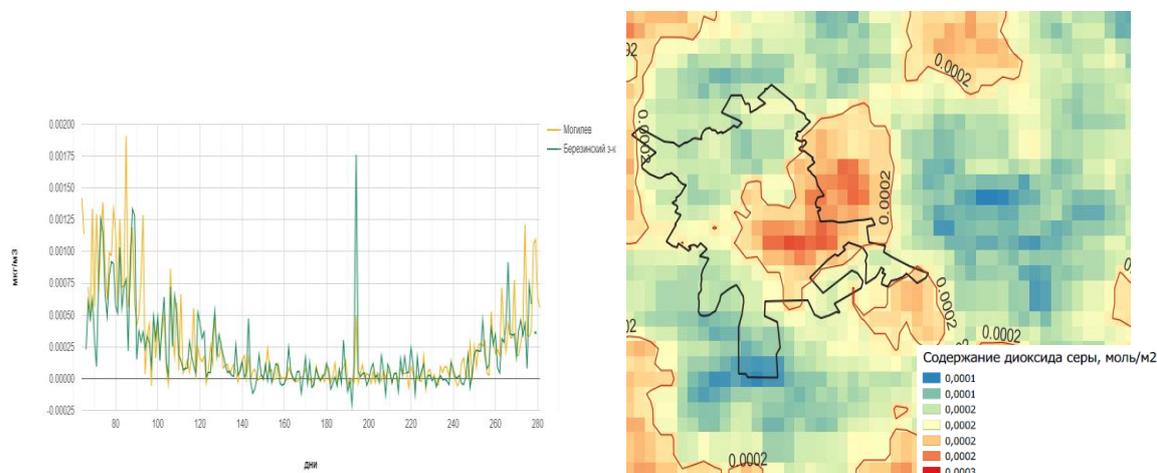


Рис.3. Концентрация диоксида серы в Могилеве (сост. по [4])

Данное исследование показывает динамику загрязнения газами, основанную на больших объемах обработки данных спутника Sentinel-5P. Оно является примером инструмента для мониторинга загрязнителей воздуха и принятия решений на региональном, национальном и даже местном уровнях в соответствии с ограничениями стандартов. Целесооб-

разно выполнять ежедневный мониторинг, а также осреднения по времени. Это снизит влияние атмосферных условий на замеры. Возможен мониторинг крупных чрезвычайных ситуаций. Возможно построение анимации с временным шагом в 1 день для изучения динамики распространения загрязнений.

Библиографические ссылки

1. Бугудис И., Демерцис К., Илиадис Л., Анезакис В. Д., Папалеонидас А. Полуконтролируемое гибридное моделирование загрязнения атмосферы в городских центрах. На Международной конференции по инженерным применениям нейронных сетей; Springer: Чам, Швейцария. 2016. С. 51-63.

2. Попп Т., Хегглин М., Холлманн Р., Ардуин Ф., Барч А., Бастос, Беннетт А., Бутин Дж., Брокманн К., Бухвиц М. и др. Согласованность записей спутниковых климатических данных для мониторинга системы Земли. Бык. Являюсь. Метеорол. Соц. 2020. С. 1-68.

3. European Space Agency / Sentinel online [Электронный ресурс]: – URL: <https://sentinels.copernicus.eu/> Дата доступа: 04.06.2023

4. Google Earth Engine Datasets [Электронный ресурс]: – URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> Дата доступа: 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 [Электронный ресурс]: – URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US – Дата доступа: 04.06.2023

7. Загрязнение воздуха Беларуси. Исследование из Космоса. Под ред. Ян Лабоги. Прага-Минск., 2020. 32 с.