

УДК 551.584.5

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ГОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Шлендер^{1,2)}, М. В. Бируков¹⁾

¹⁾Факультет географии и геоинформатики БГУ,

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

Рассмотрена проблема загрязнения воздуха городов диоксидом азота с помощью данных спутника SENTINEL-5P, проанализированы данные других газов в масштабе республики. 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.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, выбросы диоксида азота, спутниковые снимки, Sentinel-5P, MODIS, QGIS, Google Earth Engine, предельно допустимая концентрация.

ASSESSMENT OF URBAN AIR POLLUTION USING REMOTE SENSING DATA AND GIS TECHNOLOGIES

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

¹⁾Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus, timajaya@mail.ru

The problem of urban air pollution with nitrogen dioxide using SENTINEL-5P satellite data is considered, data from other gases on the scale of the republic are analyzed. The pollution features are provided through the analysis of cartographs 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.

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

Загрязнение окружающей среды стоит в центре внимания как в промышленно развитых, так и в развивающихся странах по всему миру. Производство энергии с использованием ископаемых топлив и транспортное движение играют ключевую роль в этой проблеме, оказывая серьезное воздействие на общественное здравоохранение как на местном, так и национальном уровнях.

Исследований подтверждают прямую связь между заболеваниями и загрязнением окружающей среды, особенно в больших городах. Где такие вещества, как диоксид азота (NO₂), угарный газ (CO), озон, метан и другие

газы, способствуют ухудшению здоровья населения и вызывают заболевания различных систем организма [1]. Диоксид азота, который является одним из основных загрязнителей воздуха, представляет собой красновато-коричневый газ, образующийся при конверсии NO в присутствии летучих органических соединений.

Эффективная борьба с загрязнением атмосферы требует не только детальных точечных наземных измерений, но также надежного пространственного и временного моделирования. Это позволит выявить наиболее затронутые районы в различные временные периоды (например, дни, месяцы, сезоны) и помочь принимающим решения лицам выявить причины загрязнения и разработать устойчивые решения для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [2]

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 [3] в различных пространственных масштабах, от локального к глобальному. В данном исследовании были использованы снимки спутников Sentinel-5P.

Спутниковая миссия Sentinel-5P (S5P) была запущена в октябре 2017 г. 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 геопропространственного 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 геопропространственных данных [5].

С помощью скрипта формировался файл в формате GeoTIFF для средних значений тропосферного столба диоксида азота и формальдегида (изменялись только пути к библиотекам данных и диапазон измерений) за период 2019-2023 гг. над территорией Беларуси. Полученное изображение в формате GeoTIFF по умолчанию является черно-белым, поэтому преобразования в итоговые цветные картосхемы производились в ГИС QGIS. Пересчет единиц $\text{моль}/\text{м}^2$ общего содержания диоксида азота в концентрацию в приземном слое ppb осуществлялся для стометрового приземного слоя с использованием функции «калькулятор растров».

Значения ПДК для NO_2 были взяты из гигиенических нормативов РБ для атмосферного воздуха населенных пунктов за 2021 г. И являются: максимальная разовая $250 \text{ мкг}/\text{м}^3$, среднесуточная $100 \text{ мкг}/\text{м}^3$, среднегодовая $40 \text{ мкг}/\text{м}^3$ [6]. Было также принято во внимание ПДК по ВОЗ, что имеет максимальную среднесуточную концентрацию в $25 \text{ мкг}/\text{м}^3$, и максимальную годовую в $10 \text{ мкг}/\text{м}^3$ [7]. для анализа антропогенной активности использовались данные о величинах ПДК ($\text{мкг}/\text{м}^3$) для диоксида азота, а в качестве фоновой концентрации принимались значения для Березинского заповедника.

Построение картосхем спутниковых снимков производилось в ГИС QGIS, где осуществлялись преобразования единиц сначала в ppb , а затем в $\text{мкг}/\text{м}^3$ для соотношения с ПДК. Анализ средненедельных многолетних значений тропосферных концентраций NO_2 за период 2019-2023 гг. выявил территорию загрязнений вокруг областных центров, что соотносится с данными из [8]. Измерения позволяют выявить повышенную концентрацию NO_2 , что превышает ПДК по ВОЗ, однако превышения ПДК по РБ отсутствуют (рис. 1).

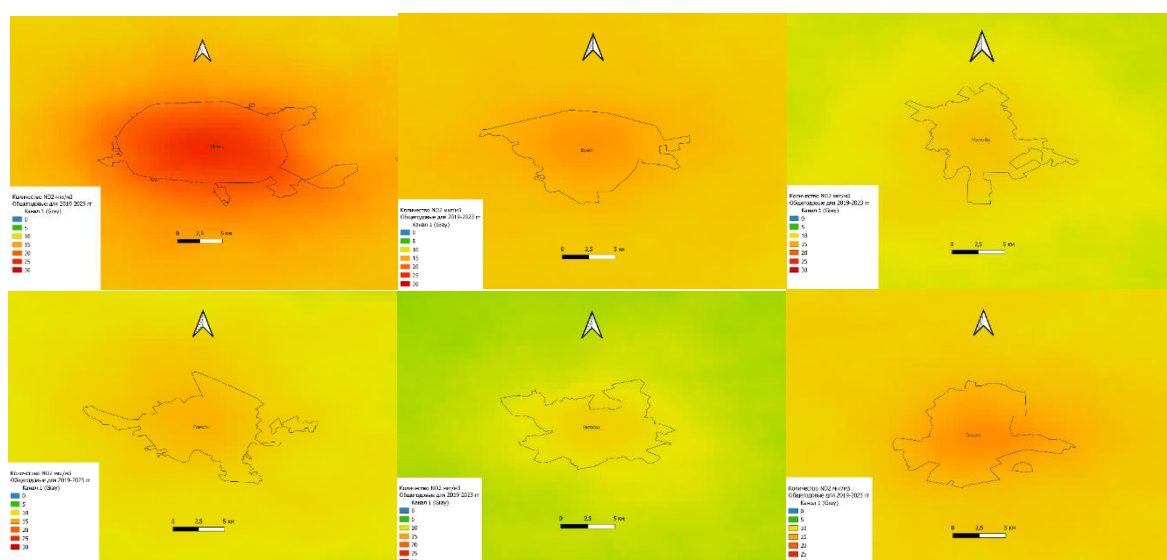


Рис. 1. Среднее значение тропосферной концентраций NO_2 по данным Sentinel-5P г. Минска, областных городов за период 2019-2023 гг. (сост. по [5])

Касательно других газов можно выделить некоторые закономерности. Баланс SO_2 в атмосфере имеет сильный разброс и не имеет серьезной связи с антропогенной активностью. И оно связано с отдельными предприятиями или с ветровым переносом. Касательно CH_4 можно отметить интересную зависимость, где пониженная концентрация метана находится над национальными парками и заповедниками (рисунок 2). Стоит отметить, что данные на рисунке 2 показаны для всей тропосферы в значениях ppb, в связи с чем представленные картограммы не стоит соотносить с ПДК.

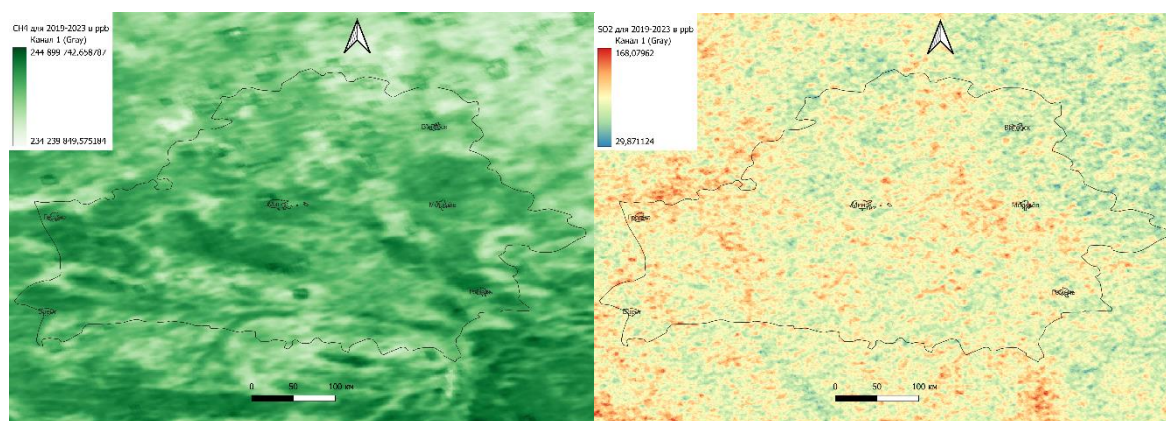


Рис. 2. Среднее значение тропосферной концентраций газов SO_2 , CH_4 по данным Sentinel-5P для всей Беларуси 2019-2023 гг. (сост. по [5])

Данное исследование демонстрирует ситуацию загрязнения оксидом азота (NO_2), опираясь на обширный объем данных, полученных из спутниковых данных Sentinel-5P. Оно является примером эффективного инструмента для наблюдения за уровнем загрязнения воздуха. Представленное исследование также подчеркивает увеличенные уровни загрязнения вблизи городов, что связано с антропогенной активностью человека. Эти результаты могут служить основой для разработки стратегий по снижению загрязнения воздуха и улучшению качества окружающей среды в населенных пунктах.

Библиографические ссылки

1. Раашу-Нильсен, О.; Андерсен, З.Дж.; Билен, Р.; Самоли, Э.; Стафоджа, М.; Вайнмайр, Г.; Хоффманн, Б.; Фишер, П.; Ньювенхейсен, М.И.; Брунекриф, Б.; и другие. Загрязнение воздуха и заболеваемость раком легких в 17 европейских когортах: проспективный анализ Европейского исследования когорт последствий загрязнения воздуха (ESCAPE). Ланцет Онкол. 2013, 14, 813–822.
2. 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 г.; стр. 51–63.

3. *Попп, Т.; Хегглин, Мичиган; Холлманн, Р.; Ардуин, Ф.; Барч, А.; Бастос, А.; Беннетт, В.; Бутин Дж.; Брокманн, К.; Бухвиц, М.; и другие.* Согласованность записей спутниковых климатических данных для мониторинга системы Земли. Бык. Являюсь. Метеорол. Соц. 2020, 1–68.

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

5. Google Earth Engine Datasets [Электронный ресурс]: – URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> – Дата доступа: 04.06.2023

6. 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

7. WHO [Электронный ресурс]: – URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US – Дата доступа: 04.06.2023

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