

РАЗДЕЛ 3. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 911.2+504.54

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ (TROPOMI AIR QUALITY INDEX) ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Гусев А. П.¹, Флерко Т. Г.²

^{1,2}Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Республика Беларусь
E-mail: ¹andi_gusev@mail.ru, ²tflerco@mail.ru

Работа посвящена апробации комплексного индикатора риска загрязнения атмосферы TAQI (TROPOMI Air Quality Index). TAQI рассчитывается по 5 компонентам (CO, NO₂, SO₂, HCHO, аэрозоли), которые определяются спутником Sentinel-5P TROPOMI. На примере восточной части Белорусского Полесья определены пространственно-временные колебания тропосферных содержаний CO, NO₂, SO₂, HCHO и аэрозолей. Обнаружены существенные изменения TAQI, обусловленные трансграничными воздействиями. В апреле 2024 г. зафиксированы две аномалии резкого роста значений TAQI (высокий риск загрязнения), вызванные пыльной бурей в северной Африке и техногенными выбросами NO₂ и SO₂. Колебания TAQI неоднородны в пространстве и зависят от особенностей движения воздушных масс и поллютантов. Зоны высокого риска загрязнения атмосферы, возникающие в периоды трансграничных воздействий, могут охватывать значительные площади (более половины территории региона).

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, индикатор риска, Sentinel-5P TROPOMI, TAQI.

ВВЕДЕНИЕ

Активно развивающиеся космические методы предоставляют новые широкие возможности для мониторинга окружающей среды. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса при изучении загрязнения атмосферы обладает рядом преимуществ: оперативная оценка загрязнения; пространственный анализ загрязнения; обнаружение реальных (в том числе несанкционированных) источников выбросов; определение направлений трансграничного переноса поллютантов; анализ временной изменчивости местных и трансграничных загрязнений. Недостаток дистанционного мониторинга: полученные тропосферные концентрации веществ-загрязнителей не могут оцениваться с помощью системы предельно-допустимых концентрации (ПДК). Регистрируемые с помощью ДЗЗ концентрации поллютантов следует рассматривать как индикаторы загрязнения [1, 2, 3].

В ряде исследований установлена тесная корреляционная связь между концентрациями, измеряемыми с помощью космической съемки, с их концентрациями, регистрируемыми в приземном слое атмосферы [4, 5]. Космическая съемка фиксирует как антропогенные [6, 7, 8, 9], так и природные [10] загрязнения атмосферы. Актуальной задачей является оперативное обнаружение трансграничных загрязнений, которые могут резко ухудшать экологическое

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ (TROPOMI AIR QUALITY INDEX) ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

состояния окружающей среды на территории целых регионов и даже отдельных стран.

Для оценки интегрального загрязнения воздуха предложен нормализованный индекс загрязнения TAQI (TROPOMI Air Quality Index) [1].

Целью работы — оценка риска загрязнения атмосферы с помощью TAQI (TROPOMI Air Quality Index) на примере восточной части Белорусского Полесья. Задачи исследований: 1) изучение фоновые содержания поллютантов, изменяемых спутником Sentinel-5P TROPOMI (CO, NO₂, SO₂, HCHO, aerosol index) для восточной части Полесья и Беларуси в целом; 2) изучение многолетних и сезонных изменений концентраций поллютантов; 3) апробация TAQI как комплексного индикатора риска загрязнения атмосферы; 4) оценка влияния трансграничных и местных источников на риск загрязнения атмосферы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования загрязнения атмосферы с помощью ДЗЗ проводились на территории восточной части Белорусского Полесья (Гомельская область Беларуси).

В работе использованы данные съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), измеряющего атмосферные концентрации (общее содержание в вертикальном столбе тропосферы) озона, метана, формальдегида, угарного газа, диоксида серы, диоксида азота, аэрозоля. Съемка ведется ежедневно с октября 2017 г. Пространственное разрешение 5,5x3,5 км (7x5,5 км — до августа 2019 г.). Содержание диоксида серы, монооксида углерода, диоксида азота измеряются и предоставляются в единицах моль/м². Аэрозольный индекс (AI) определяется в относительных единицах. Данные находятся в свободном доступе на сайте NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov/>) и представлены в виде архива (xxx.nc). Архив преобразовывался нами с помощью модуля Sentinel-5P data explorer для QGIS в векторные слои точечного типа.

Комплексный индикатор риска загрязнения атмосферы — Tropomi Air Quality Index (TAQI) рассчитывали по формуле: $TAQI = \sum(q_i/q_0) \cdot C_i$, где q_i — средняя концентрация i -го компонента за рассматриваемый временной период; q_0 — фоновая концентрация i -го компонента за рассматриваемый временной период; C_i — коэффициент, учитывающий класс опасности компонента. При расчетах учитывали 5 компонентов (CO, NO₂, SO₂, HCHO, AI). Предложены следующие градации TAQI, которые соответствуют категориям риска загрязнения атмосферы: менее 5 (очень низкий риск); 5–7,5 (низкий риск); 7,5–10 (средний риск), более 10 (высокий риск).

Операционными территориальными единицами (ОТЕ) исследований являлись: район в целом, выделы родов ландшафтов; города; особо охраняемые природные территории (ООПТ).

Для обработки данных Sentinel-5P TROPOMI, растровых операций, построения картосхем использована геоинформационная система QGIS. Для группировки суточных содержаний поллютантов в ареалах ОТЕ использована программа MS Excel. Статистическая обработка данных (определение среднего, медианного,

минимального, максимального значений, стандартного отклонения, среднеквадратичной ошибки) проведена в MS Excel и STATISTICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований по данным съемки в 2022–2024 гг. нами были рассчитаны фоновые содержания NO_2 , SO_2 , CO , НСНО и АІ над ландшафтами района исследований в летний и зимний периоды, а также средние концентрации этих компонентов над городами и ООПТ. Анализ показал, что концентрация NO_2 испытывает сезонные изменения: рост зимой и снижение летом. Среднее содержание NO_2 над городами выше, чем над ООПТ — в 1,3 раза летом и в 1,4 раза зимой. Над городами содержание NO_2 статистически достоверно превышает фон как зимой, так и летом. Выявленные различия объясняются тем, что источниками выбросов NO_2 являются энергетика на углеводородном топливе, автотранспорт, химическая и нефтехимическая промышленность, которые концентрируются в городах. Значительные сезонные колебания характерны для SO_2 : в зимний период его концентрация увеличивается на порядок. В летний период над городами и ООПТ среднее содержание SO_2 примерно одинаково. В зимний период концентрация SO_2 над городами выше, чем над ООПТ в 1,07 раза, но данные отличия статистически недостоверны. Для CO характерно повышение концентрации в зимний период в 1,2 раза. Средняя и медианная величина как для городов, так и для ООПТ статистически достоверно не отличается от фоновых значений. Для формальдегида (НСНО) установлено, что усредненное за летний период содержание над территорией региона статистически достоверно не отличается от содержания этого компонента как над городами, так и над ООПТ. В зимний период имеет место снижение концентрации НСНО примерно в 1,5 раза, различия между городами и ООПТ также недостоверны. По величине аэрозольного индекса в условиях региона статистически значимые различия между городами и ООПТ отсутствуют.

Величина ТАQІ на территории восточной части Белорусского Полесья изменяется от 4,50 до 6,64 (среднее значение — 5,22) летом и от 4,43 до 6,08 (среднее значение — 5,11) зимой. Летом 30,2% территории имеет $\text{ТАQІ} < 5,0$ (очень низкий риск загрязнения), а 69,8% территории $\text{ТАQІ} = 5,0-6,64$ (низкий риск загрязнения). Значения $\text{ТАQІ} > 6,0$ характерны только для 0,4% территории. Зимой 40,0% территории характеризовались $\text{ТАQІ} < 5,0$, а на 60,0% территории — от 5,0 до 6,08. Значения $\text{ТАQІ} > 6,0$ были характерны для 4,0% территории.

Над городами региона величина ТАQІ в летний период составляла от 4,62 (Добруш) до 5,84 (Жлобин); в зимний период — от 4,88 (Жлобин) до 8,25 (Речица). Средние значения для городов: лето – 5,54; зима — 5,87. На ООПТ величина ТАQІ летом изменялась от 4,22 до 6,18 (среднее — 5,40), зимой — от 4,84–6,43 (среднее — 5,48).

Весной 2024 г. мониторинг состояния атмосферы региона на основе данных съемки Sentinel-5P TROPOMI позволил выявить два крупных трансграничных воздействия — 9 апреля и 24 апреля. Трансграничное происхождение резкого

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
(TROPOMI AIR QUALITY INDEX) ПРИ МОНИТОРИНГЕ
ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

повышения значений T AQI четко прослеживается при сравнении городов (табл. 1) и ООПТ (табл. 2).

Таблица 1.

Оценка риска трансграничного загрязнения атмосферы над городами восточной части Полесья в 2024 году

Город	$(q_i/q_0) \cdot C_i$					T AQI
	NO ₂	SO ₂	CO	НСНО	AI	
Гомель	1,22*	0,91	0,91	1,18	1,25	5,47
	0,99**	1,90	0,88	1,63	3,90	9,30
	2,84***	0,80	0,91	0,39	1,25	6,19
Жлобин	1,18	1,17	0,88	1,42	1,69	6,34
	1,11	3,21	0,88	1,18	3,50	9,88
	3,47	1,39	0,88	0,64	0,27	6,65
Светлогорск	1,06	0,95	0,90	1,61	1,68	6,20
	0,82	1,58	0,93	2,68	4,80	10,81
	3,80	0,80	0,90	0,30	1,68	7,48
Мозырь	1,09	1,17	0,90	1,22	0,67	5,05
	0,89	0,99	0,93	0,78	2,34	5,93
	3,88	13,95	0,90	0,74	0,30	19,77

* – апрель-май; ** – 9 апреля; *** – 24 апреля

Источник: составлено авторами.

Событие 9 апреля 2024 г. характеризуется резким ростом T AQI по сравнению с усредненным за апрель-май значением в 1,5 раза (с 5,16 до 7,58). Рост величины T AQI зафиксирован в Гомеле (9,30), Жлобине (9,88), Светлогорске (10,81), в заказнике «Выдрица» (13,41). Увеличение индекса T AQI обусловлено ростом значений AI (во всех случаях) и, отчасти, содержания SO₂ (Гомель, Жлобин, Светлогорск). Показатель AI вырос в 3,5–4,8 раза, содержание SO₂ в 1,6–3,2 раза по сравнению с фоном. Содержание НСНО увеличилось в Гомеле и Светлогорске, уменьшилось в Жлобине и заказнике «Выдрица». Концентрации NO₂ и CO закономерных изменений не показали и были близки к фону. Вне ареала воздействия оказались Мозырь, Полесский радиэкологический заповедник, национальный парк «Припятский», заказники «Днепро-Сожский», «Старый Жаден».

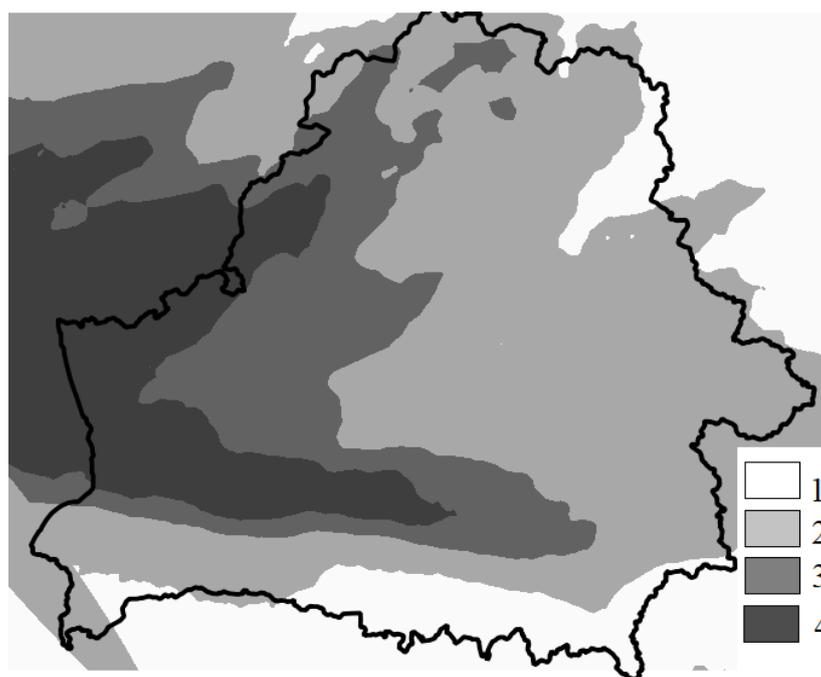
Данное событие обусловлено трансграничным воздействием пыльной бури, имевшей место в указанный период времени в Сахаре. Воздействие пыльной бури выразилось в увеличении концентрации аэрозоля в тропосфере с запада на восток, что видно по пространственной структуре распределения величин AI и резкому росту этого показателя в геосистемах локального уровня (города и ООПТ), оказавшихся в ареале воздействия (рис. 1).

Таблица 2.

Оценка риска трансграничного загрязнения атмосферы над ООПТ восточной части Полесья в 2024 году

ООПТ	$(q_i/q_0) \cdot C_i$					TAQI
	NO ₂	SO ₂	CO	HCHO	AI	
Национальный парк «Припятский»	0,97	1,08	0,90	1,43	0,76	5,14
	1,01	1,16	0,93	0,85	1,34	5,29
	5,06	4,38	0,90	0,66	0,92	11,92
Полесский радиозоологический заповедник	1,02	0,99	0,90	1,30	0,92	5,13
	0,79	1,24	0,91	1,04	0,83	4,81
	4,46	3,64	0,90	1,14	1,62	11,76
Республиканский заказник «Днепро-Сожский»	0,93	0,88	0,91	1,25	1,60	5,57
	0,75	1,44	0,86	0,73	1,37	5,15
	2,75	0,64	0,91	0,57	1,18	6,05
Республиканский заказник «Выдрица»	1,05	0,97	0,89	1,35	1,66	5,92
	0,72	0,82	0,79	1,07	4,12	7,52
	4,52	5,81	0,82	0,60	1,66	13,41
Республиканский заказник «Старый Жаден»	0,84	1,18	0,93	1,69	0,94	5,58
	0,89	1,19	0,90	1,11	0,97	5,06
	5,12	2,09	0,93	0,51	0,75	9,40

Источник: составлено авторами.



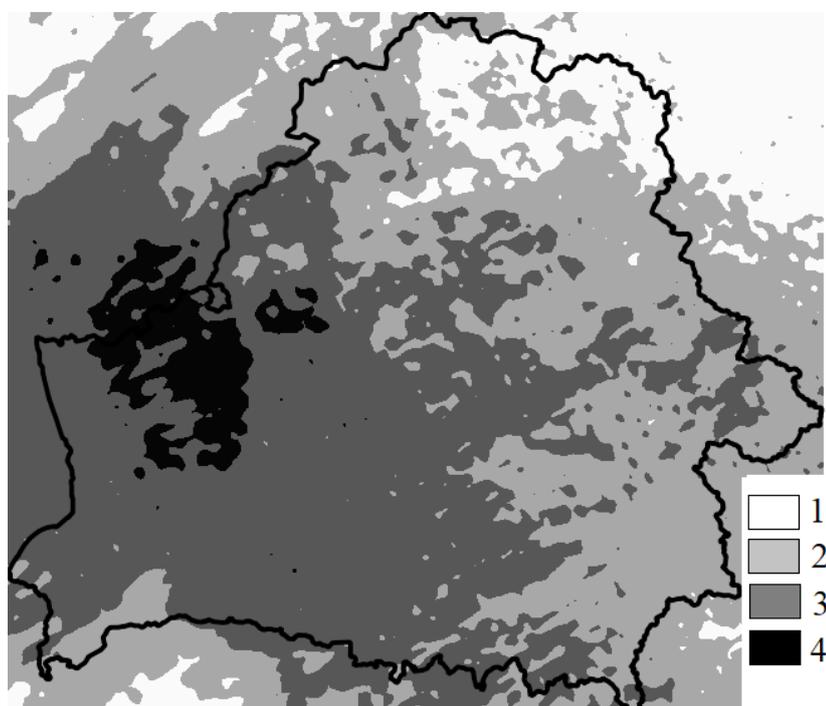
Aerosol Index (отн. ед.): 1 — <0,5; 2 — 0,5–1,5; 3 — 1,5–2,0; 4 — >2,0

Рис. 1. Аэрозольное загрязнения атмосферы 9 апреля 2024 г. на территории Беларуси (интерполяция методом естественного соседа)

Источник: составлено авторами.

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
(TROPOMI AIR QUALITY INDEX) ПРИ МОНИТОРИНГЕ
ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

24 апреля зафиксировано еще более мощное трансграничное воздействие. Наибольший рост TAQI наблюдался на западе и в центре региона: Мозырь (19,77), национальный парк «Припятский» (11,92), Полесский радиоэкологический заповедник (11,76), заказник «Выдрица» (13,41). В наименьшей степени — на востоке (Гомель, заказник «Днепро-Сожский»). Эти изменения TAQI были обусловлены увеличением концентраций NO_2 (в 2,75-5,12 раза по сравнению с фоном) и отчасти SO_2 (кроме Гомеля, Светлогорска и заказника «Днепро-Сожский»). Наибольший рост концентрации NO_2 имел место над национальным парком «Припятский» (в 5,05 раза выше фона) и заказником «Старый Жаден» (в 5,12 раза выше фона). Концентрации SO_2 — над Мозырем (в 13,95 раза выше фона), заказником «Выдрица» (в 5,81 раза) и национальным парком «Припятский» (в 4,38 раза). Источник выбросов находится северо-западнее региона (предположительно в Польше), что прослеживается по пространственной структуре загрязнения (рис. 2).



Содержание NO_2 (моль/ м^3): 1 — $<0,001$; 2 — $0,001-0,0025$; 3 — $0,0025-0,005$;
4 — $>0,005$

Рис. 2. Загрязнения диоксидом азота 24 апреля 2024 г. на территории Беларуси (интерполяция методом естественного соседа)

Источник: составлено авторами.

Индикатор TAQI позволяет проследить трансграничные воздействия и оценить их площадное распространение (табл. 3). Видно, что в течение апреля-мая (фон) риск загрязнения атмосферы был очень низкий (31,3% площади региона) и низкий

(68,7%). Воздействие пыльной бури 9 апреля вызвало сильное загрязнение на 15,8% и среднее — на 40,9% площади.

24 апреля 2024 г. загрязнение атмосферы распространилось на еще более значительные площади. Зона с высоким риском загрязнения заняла 59,2% площади региона (в его западной и юго-западной частях). Средним уровнем отмечен на 24,5% площади региона. В наименьшей степени был затронут крайний восток — низкий уровень риска (16,3%). Ландшафты с очень низким уровнем риска в этот день вообще отсутствовали.

Таблица 3

Изменения индикатора риска загрязнения атмосферы при трансграничных воздействиях (% от общей площади региона)

Временной срез	TAQI			
	<5,00	5,01-7,50	7,51-10,00	>10,01
Апрель-май 2024	31,3	68,7	0,0	0,0
9 апреля 2024	8,3	35,0	40,9	15,8
24 апреля 2024	0,0	16,3	24,5	59,2

Источник: составлено авторами.

Рассмотренные трансграничные перемещения NO₂, SO₂ и аэрозоля оказали значительное воздействие на состояние атмосферы как локальных объектов, так и всего региона. Величина индикатора риска загрязнения TAQI в отдельные дни как над городами, так и над ООПТ увеличивалась с 5–6 до 10–20 баллов. Колебания TAQI неоднородны в пространстве и зависят от особенностей движения загрязненных воздушных масс. Зона высокого риска загрязнения атмосферы, формируемая трансграничными воздействиями, может охватывать более половины территории региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполненных исследований:

- на территории восточной части Белорусского Полесья проведена апробация TAQI как комплексного индикатора риска загрязнения атмосферы;
- установлена фоновые для региона величины TAQI и их сезонные колебания над городами и ООПТ;
- мониторинг состояния атмосферы региона весной 2024 г. выявил два крупных трансграничных воздействия (9 апреля и 24 апреля), которые вызваны трансграничным переносом загрязнителей от удаленных источников и выразались в значительном росте величины TAQI;
- высокий риск загрязнения атмосферы в периоды трансграничных воздействий охватывал от 15,8% (9 апреля) до 59,2% (24 апреля) площади региона.

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
(TROPOMI AIR QUALITY INDEX) ПРИ МОНИТОРИНГЕ
ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект №X25УЗБ-079).

Список литературы

1. Морозова А.Э., Сизов О.С., Елагин П.О., Агзамов Н.А. Интегральная оценка качества атмосферного воздуха в крупнейших городах России на основе данных TROPOMI (Sentinel-5P) за 2019-2020 гг. // Современные проблемы дистанционных зондирований Земли из космоса. 2022. т. 19 (4). С. 23–39.
2. Гусев А.П. Оценка риска деградации лесных геосистем на основе съемки сенсора TROPOMI спутника Sentinel-5P (на примере восточной части Белорусского Полесья) // Российский журнал прикладной экологии. 2023. №1. С. 10–15.
3. Гусев А.П., Флерко Т.Г. Оценка риска загрязнения атмосферы на основе космической съемки Sentinel-5P TROPOMI (на примере восточной части Белорусского Полесья) // Российский журнал прикладной экологии. 2024. №4. С.4–9.
4. Ialongo I., Virta H., Eskes H., Hovila J., Douros J. Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO₂ observation with ground-based measurements in Helsinki // Atmospheric Measurement Techniques. 2019. V. 13. P. 205–218.
5. Cersosimo A., Serio C., Masiello G. TROPOMI NO₂ Tropospheric Column Data: Regridding to 1 km Grid-Resolution and Assessment of their Consistency with In Situ Surface Observation // Remote Sensing. 2020. V.12 (14). P. 2212–2235.
6. Filonchik M., Hurynovich V., Yan H., Gusev A., Shpilevskaya N. Impact Assessment of COVID-19 on Variations of SO₂, NO₂, CO and AOD over East Chin // Aerosol and Air Quality Research. 2020. V. 20. P. 1530–1540.
7. Khan R., Kumar K. R., Zhao T. Assessment of variations of air pollutant concentrations during the COVID-19 lockdown and impact on urban air quality in South Asia // Urban Climate. 2021. V. 38. P. 100908.
8. Shen L., Gautam R., Omara M., Zavala-Araiza D., Maasackers J., Scarpelli T., Lorente A., Lyon D., Sheng J., Varon D., Nesser H., Qu Z., Lu X., Sulprizio M., Hamburg S., Jacob D. Satellite quantification of oil and natural gas methane emissions in the US and Canada including contributions from individual basins // Atmospheric Chemistry and Physics. 2022. V. 22. P. 11203–11215.
9. Zhu Z., Chen B., Zhao Y., Ji Y. Multi-sensing paradigm based urban air quality monitoring and hazardous gas source analyzing: a review // J. Safety Science and Resilience. 2021. V. 2. P. 131–145.
10. Filonchik M., Peterson M.P., Gusev A., Hu F., Yan H., Zhou L. Measuring air pollution from the 2021 Canary Islands volcanic eruption // Science of the Total Environment. 2022. V. 849. P. 1–12.

**REMOTE AIR POLLUTION RISK INDICATOR (TROPOMI AIR QUALITY
INDEX) FOR MONITORING TRANSBOUNDARY IMPACTS**

Gusev A. P.¹, Flerko T. G.²

*^{1,2}Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus
E-mail: ¹gusev@gsu.by, ²flerco@mail.ru*

The aim of the work is to assess the risk of air pollution using TAQI (TROPOMI Air Quality Index) using the eastern part of Belarusian Polesie as an example. Research objectives: 1) study of background contents of pollutants measured by the Sentinel-5P TROPOMI satellite (CO, NO₂, SO₂, HCHO, aerosol index) for the eastern part of Polesie and Belarus as a whole; 2) study of long-term and seasonal changes in pollutant

concentrations; 3) testing of TAQI as a comprehensive indicator of air pollution risk; 4) assessment of the impact of transboundary and local sources on the risk of air pollution.

The following results were obtained. Based on the survey data from 2022-2024, we calculated the background contents of NO₂, SO₂, CO, HCHO and AI over the landscapes of the study area in summer and winter, as well as the average concentrations of these components over cities and protected areas. The TAQI value varies from 4,50 to 6,64 (average 5,22) in summer and from 4,43 to 6,08 (average 5,11) in winter.

Over the cities of the region, the TAQI value in the summer period ranged from 4,62 to 5,84; in the winter period – from 4,88 to 8,25. Average values for the cities: summer – 5,54; winter — 5,87. In the protected areas, the TAQI value in the summer varied from 4,22 to 6,18 (average — 5,40), in the winter — 4,84–6,43 (average — 5,48).

In the spring of 2024, monitoring of the regional atmosphere revealed two major transboundary impacts — April 9 and April 24. The event of April 9, 2024 is characterized by a sharp increase in TAQI compared to the average value for April-May by 1,5 times (from 5,16 to 7,58). An increase in TAQI was recorded in Gomel (9,30), Zhlobin (9,88), Svetlogorsk (10,81), the Vydritsa nature reserve (13,41). The increase in the TAQI index is due to the increase in AI values (in all cases) and, in part, in the SO₂ content. This event was caused by the transboundary impact of a dust storm that occurred during the specified period in the Sahara.

On April 24, an even more powerful transboundary impact was recorded. The greatest increase in TAQI was observed in the west and center of the region: Mozyr (19,77), Pripyatsky National Park (11,92), Polesie Radioecological Reserve (11,76), Vydritsa Nature Reserve (13,41). These TAQI changes were due to an increase in NO₂ concentrations (2,5-5,12 times compared to the background) and, partly, SO₂. The greatest increase in NO₂ concentrations took place over Pripyatsky National Park (5,05 times above the background) and Stary Zhaden Nature Reserve (5,12 times above the background). SO₂ concentrations were over Mozyr (13,95 times above the background), Vydritsa Nature Reserve (5,81 times) and Pripyatsky National Park (4,38 times). The source of emissions is located northwest of the region (presumably in Poland).

Thus, monitoring of the regional atmosphere in spring 2024 revealed two major transboundary impacts (April 9 and April 24), which were caused by the transboundary transfer of pollutants from remote sources and were expressed in a significant increase in the TAQI value. The high risk of air pollution during periods of transboundary impacts covered from 15,8% (April 9) to 59,2% (April 24) of the region's area.

Keywords: air pollution, risk indicator, Sentinel-5P TROPOMI, TAQI.

References

1. Morozova A.E., Sizov O.S., Elagin P.O., Agzamov N.A. Integral'naya otsenka kachestva atmosfernogo vozdukh v krupneyshikh gorodakh Rossii na osnove dannykh TROPOMI (Sentinel-5P) za 2019-2020 gg. (Integral assessment of atmospheric air quality in the largest cities of Russia based on TROPOMI (Sentinel-5P) data for 2019–2020.). *Sovremennyye problemy distantsionnykh zondirovaniy Zemli iz kosmosa*. 2022, t. 19 (4), pp. 23–39 (in Russian).
2. Gusev A.P. Otsenka riska degradatsii lesnykh geosistem pod vozdeystviyem zagryazneniya atmosfery na osnove s"yemki sensora TROPOMI sputnika Sentinel-5P (na primere vostochnoy chasti Belorusskogo Poles'ya) (Assessment of the risk of degradation of forest geosystems under the influence of atmospheric

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
(TROPOMI AIR QUALITY INDEX) ПРИ МОНИТОРИНГЕ
ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

- pollution based on imaging from the TROPOMI sensor of the Sentinel-5P satellite (using the example of the eastern part of Belarusian Polesie)). *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2023, no 1, pp. 10–15 (in Russian).
3. Gusev A.P., Flerko T.G. Otsenka riska zagryazneniya atmosfery na osnove kosmicheskoy s"yemki Sentinel-5P TROPOMI (na primere vostochnoy chasti Belorusskogo Poles'ya) (Assessment of the risk of atmospheric pollution based on the Sentinel-5P TROPOMI space imagery (using the eastern part of the Belarusian Polesie as an example)). *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2024. no 4, pp. 4–9. 15 (in Russian).
 4. Ialongo I., Virta H., Eskes H., Hovila J., Douros J. Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO₂ observation with ground-based measurements in Helsinki. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2019, V. 13, pp. 205–218.
 5. Cersosimo A., Serio C., Masiello G. TROPOMI NO₂ Tropospheric Column Data: Regridding to 1 km Grid-Resolution and Assessment of their Consistency with In Situ Surface Observation. *Remote Sensing*. 2020, V.12 (14), pp. 2212–2235.
 6. Filonchik M., Hurynovich V., Yan H., Gusev A., Shpilevskaya N. Impact Assessment of COVID-19 on Variations of SO₂, NO₂, CO and AOD over East China. *Aerosol and Air Quality Research*. 2020, V. 20, pp. 1530–1540.
 7. Khan R., Kumar K. R., Zhao T. Assessment of variations of air pollutant concentrations during the COVID-19 lockdown and impact on urban air quality in South Asia. *Urban Climate*. 2021, V. 38, pp. 100908.
 8. Shen L., Gautam R., Omara M., Zavala-Araiza D., Maasackers J., Scarpelli T., Lorente A., Lyon D., Sheng J., Varon D., Nesser H., Qu Z., Lu X., Sulprizio M., Hamburg S., Jacob D. Satellite quantification of oil and natural gas methane emissions in the US and Canada including contributions from individual basins. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022, V. 22, pp. 11203–11215.
 9. Zhu Z., Chen B., Zhao Y., Ji Y. Multi-sensing paradigm based urban air quality monitoring and hazardous gas source analyzing: a review. *J. Safety Science and Resilience*. 2021, V. 2, pp. 131–145.
 10. Filonchik M., Peterson M.P., Gusev A., Hu F., Yan H., Zhou L. Measuring air pollution from the 2021 Canary Islands volcanic eruption. *Science of the Total Environment*. 2022, V. 849, pp. 1–12.

Поступила в редакцию 26.03.2025 г.