УДК 911.5+504.54 DOI 10.63874/2218-0311-2026-1-83-90

Андрей Петрович Гусев[1], Татьяна Григорьевна Флерко[2]
[1]канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины
[2]канд. геогр. наук, доц., доц. каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины
Andrei Gusev[1], Tatyana Flerko[2]
[1]Candidate of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor,
Head of the Department of Geology and Geography of Francisk Skorina Gomel State University
[2]Candidate of Geographical Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Geology and Geography
of Francisk Skorina Gomel State University
e-mail: [1]gusev@gsu.by; [2]tflerco@mail.ru

АЭРОЗОЛЬНЫЙ ИНДЕКС КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В ГОРОДАХ

Рассмотрены результаты анализа аэрозольного загрязнения в городах Евразии и Северной Африки на основе съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI. Решаемые задачи: 1) оценка средних величин аэрозольного индекса и их динамики в изучаемых городах в апреле – августе 2024 г.; 2) изучение динамики аэрозольного индекса в пустынях в апреле – августе 2024 г.; 3) анализ корреляции между изменениями аэрозольного индекса в городах и пустынях; 4) изучение взаимосвязи между аэрозольным индексом и загрязнением PM2.5 атмосферного воздуха городов. Объектами исследований являлись 132 города и 9 пустынь. В ходе работы установлено, что максимальные значения аэрозольного индекса приурочены к пустынным регионам, характеризующимся активным проявлением пыльных и песчаных бурь; наибольшая величина индекса отмечена в таких городах, как Доха (1,656), Эль-Кувейт (1,523), Басра (1,486), Кабул (1,471), Эр-Рияд (1,451), Тунис (1,389). Обнаружена статистически значимая корреляционная связь динамики аэрозольного индекса в городах с близлежащими пустынями. Установлено, что между аэрозольным индексом и величиной содержания PM2.5 в атмосфере городов имеется достоверная корреляционная зависимость (коэффициент детерминации для лета 2024 г. составил 0,82).

Ключевые слова: *аэрозольный индекс, Sentinel-5P TROPOMI, города, пустыни, PM2.5.*

Aerosol Index as an Indicator of the State of the Atmosphere in Cities

The article considers the results of the analysis of aerosol pollution in the cities of Eurasia and North Africa based on the imagery of the Sentinel-5P TROPOMI satellite. The tasks are as follows: 1) assessment of the average values of the aerosol index and their dynamics in the studied cities in April – August 2024; 2) study of the dynamics of the aerosol index in deserts in April – August 2024; 3) analysis of the correlation between changes in the aerosol index in cities and deserts; 4) study of the relationship between the aerosol index and PM2.5 pollution of the atmospheric air of cities. The objects of the study were 132 cities and 9 deserts. During the work it was established that the maximum values of the aerosol index are confined to desert regions characterized by active manifestation of dust and sandstorms; The highest index values were recorded in cities such as Doha (1,656), Kuwait City (1,523), Basra (1,486), Kabul (1,471), Riyadh (1,451), and Tunis (1,389). A statistically significant correlation was found between the dynamics of the aerosol index in cities and nearby deserts. A reliable correlation was found between the aerosol index and the PM2.5 content in the atmosphere of cities (the determination coefficient for the summer of 2024 was 0,82).

Key words: *aerosol index, Sentinel-5P TROPOMI, cities, deserts, PM2.5.*

Введение

Одним из опасных для здоровья человека загрязнителей атмосферы являются аэрозоли – взвешенные в воздухе мелкие частицы [1]. Наибольший вред наносят частицы размером до 2,5 микрон (PM2.5). Эти поллютанты способны проникать в кровоток через дыхательную систему и распространяться по всему организму, вызывая такие негативные для здоровья последствия, как астма, рак легких и болезни сердца [2–5]. Загрязнение частицами PM2.5 имеет различное происхождение: как антропогенное

(двигатели внутреннего сгорания, промышленные выбросы, сжигание угля), так и природное (песчаные и пыльные бури, лесные пожары, извержения вулканов). По некоторым оценкам на природные источники приходится до 90 % аэрозольных выбросов [6]. Одним из мощных источников аэрозольного загрязнения атмосферы являются пыльные и песчаные бури [7].

Мониторинг аэрозольного загрязнения атмосферы – одна из важнейших экологических задач мирового уровня. Современные методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предоставляют новые возможности для ее решения. Так, спутниковые методы используются для мониторинга пыльных бурь и их последствий [8–10], степных пожаров [11], опустынивания [12–14], трансграничных воздействий [15; 16].

Цель исследований – изучение аэрозольного загрязнения в городах Евразии и Северной Африки на основе съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI.

Решаемые задачи:

1) оценка средних величин аэрозольного индекса и их динамики в изучаемых городах в апреле – августе 2024 г.;

2) изучение динамики аэрозольного индекса в пустынях в апреле – августе 2024 г.;

3) анализ корреляции между изменениями аэрозольного индекса в городах и пустынях;

4) изучение взаимосвязи между аэрозольным индексом и загрязнением PM2.5 атмосферного воздуха городов.

Материалы и методика исследований

В работе использованы данные съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), который ежедневно измеряет содержание аэрозоля (аэрозольный индекс в относительных единицах) в тропосфере. Аэрозольный индекс определяется независимо от наличия облаков, что позволяет проводить ежедневные наблюдения, представляет собой широко используемый и апробированный на практике показатель. Пространственное разрешение съемки – 7 × 5,5 км. Измерения осуществляются ежедневно с октября 2017 г.

Продукт съемки Sentinel-5P TROPOMI в виде архива находится в свободном доступе на сайте NASA (https://search.earthdata.nasa.gov/). Для выделения регулярной составляющей потоков аэрозоля применялся метод осреднения значений аэрозольного индекса в течение определенного временного интервала (месяц, сезон). Аэрозольный индекс предлагается рассматривать как дистанционный индикатор аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха.

Используемые в работе данные по PM2.5 находятся в свободном доступе (https://www.iqair.com/).

Объектами исследований являлись 132 города и 9 пустынь, расположенные в Центральной, Южной и Восточной Европе, в Юго-Западной и Средней Азии, в Северной Африке. Для каждого города в пределах его ареала определялись величины аэрозольного индекса за период апрель – август 2024 года. Средние значения аэрозольного индекса определялись в целом за весь период, за апрель – май, за июнь – август. Для 26 городов были рассчитаны среднемесячные значения аэрозольного индекса.

Изучаемые пустыни: Аравийская, Нубийская, Ливийская, Руб-Эль-Хали, Сирийская, Большой Нефуд, Кызылкум, Каракумы, Аралкум. Для пустынь определялись среднемесячные величины аэрозольного индекса, средняя величина за май – апрель, средняя величина за июнь – август.

Для обработки данных Sentinel-5P TROPOMI, растровых операций, построения картосхем использовалась геоинформационная система QGIS.

Группировка значений аэрозольного индекса в пределах ареалов изучаемых городов и пустынь проводилась в MC Excel, для статистической обработки (определение среднего, медианного значения, среднеквадратичной ошибки, стандартного отклонения, минимального, максимального значений) использованы MC Excel и специализированная программа STATISTICA.

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки аэрозольного загрязнения атмосферы в городах были подсчитаны средние значения аэрозольного индекса в период июнь – август 2024 г. Наибольшая величина индекса отмечена таких городах, как Доха (1,656), Эль-Кувейт (1,523), Басра (1,486), Кабул (1,471), Эр-Рияд (1,451), Тунис (1,389). В Средней Азии наибольшая величина аэрозольного индекса наблюдалась в городах Туркменбаши (1,005), Балканабат (0,985), Мары (0,966). В Европе наибольшая величина аэрозольного индекса летом 2024 г. была характерна для Афин (0,660), Палермо (0,633), Рима (0,564). На территории Беларуси изучены 14 городов, из которых наибольшие значения аэрозольного индекса наблюдались в Светлогорске (0,294), Гомеле (0,268), Могилеве (0,244) и Жлобине (0,241), а наименьшие – в Барановичах (0,171), Минске (0,167) и Мозыре (0,140).

На примере 26 городов были изучены сезонные изменения величины аэрозольного индекса. Для них были рассчитаны средние значения аэрозольного индекса за апрель, май, июнь, июль и август. Различия между городами, находящимися в разных типах ландшафтов, прослеживаются и по среднемесячным значениям аэрозольного индекса (рисунок 1).

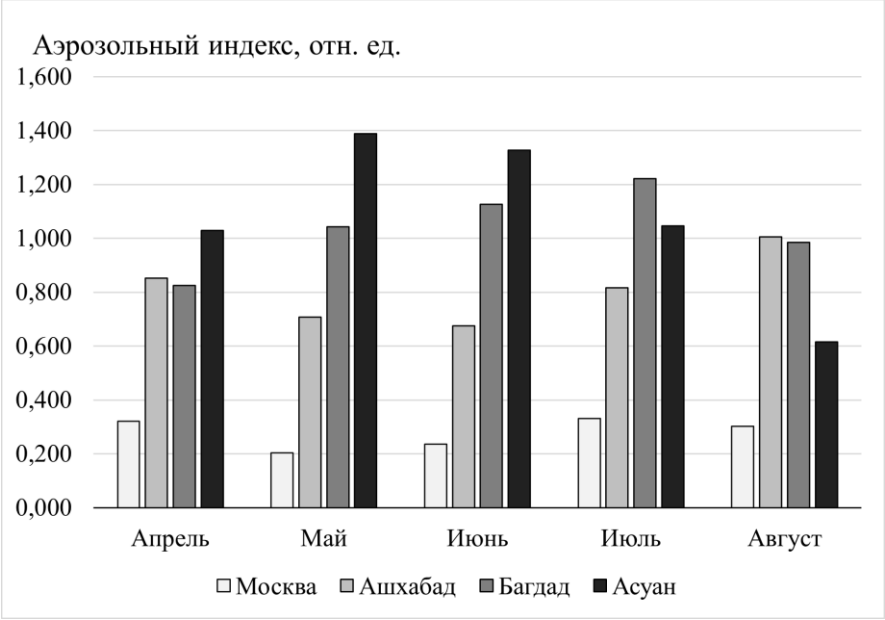


Рисунок 1 – Динамика аэрозольного индекса в городах, расположенных в разных типах ландшафтов

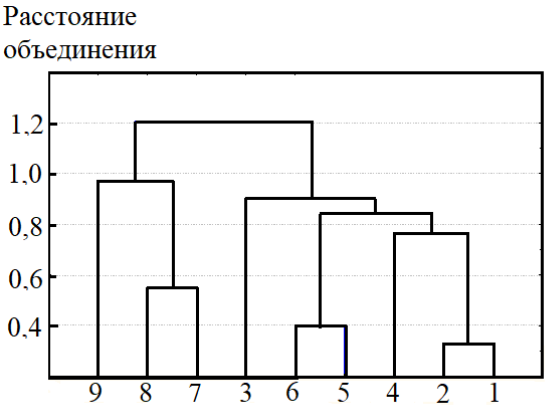
Для ряда городов установлены существенные различия между весенними и летними значениями аэрозольного индекса. Так, в апреле – мае величина индекса была существенно выше, чем в летний период, в таких городах, как Берлин, Минск, Варшава, Ставрополь, Неаполь, Афины, Стамбул, Каир, Асуан. Наоборот, величина индекса была существенно выше летом в таких городах, как Рим, Тегеран, Карачи, Амман, Багдад, Дамаск, Дубай, Триполи. Слабо отличались весенние и летние значения индекса в таких городах, как Санкт-Петербург, Москва, Нукус.

Изучена динамика аэрозольного индекса в пустынях (рисунок 2). Наибольшая величина аэрозольного индекса характерна для Ливийской (весна – 1,528; лето – 1,252) и Нубийской (весна – 1,169; лето – 1,250) пустынь. В пустыне Руб-Эль-Хали средняя величина аэрозольного индекса несколько меньше (весна – 1,120; лето – 1,207). Пустыни Средней Азии по сравнению с пустынями Африки и Аравийского полуострова характеризуются более низкими значениями аэрозольного индекса. Величины аэрозольного индекса отличаются весьма значительной пространственно-временной изменчивостью и, вероятно, сезонностью. В ряде пустынь максимальные значения приурочены к весне (Ливийская и Аравийская пустыни, Аралкум). В большинстве пустынь максимальная величина аэрозольного индекса наблюдается в летний период.



Рисунок 2 – Средняя величина аэрозольного индекса в пустынях в апреле – мае и июне – августе 2024 г.

Для изучения схожести пустынь по динамике аэрозольного индекса был выполнен кластерный анализ (рисунок 3). В качестве расстояния объединения использована величина 1-r Пирсона. Видно, что изученные пустыни по динамике разделись на два кластера – пустыни Средней Азии и все остальные. Наибольшее сходство динамики аэрозольного индекса характерно для таких пар пустынь, как Аравийская и Нубийская, Большой Нефуд и Сирийская, Каракумы и Кызылкум.



1 – Аравийская; 2 – Нубийская; 3 – Ливийская; 4 – Руб-Эль-Хали; 5 – Большой Нефуд; 6 – Сирийская; 7 – Кызылкум; 8 – Каракумы; 9 – Аралкум

Рисунок 3 – Кластерная диаграмма пустынь по динамике аэрозольного индекса в период апрель – август 2024 г.

Для изучения влияния изменений аэрозольного индекса в пустынях на динамику этого показателя в городах был выполнен корреляционный анализ. Рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена между средними значениями индекса для пустынь и для городов. Статистически достоверная корреляция с динамикой аэрозоля в пустынях отсутствует для таких городов, как Москва, Санкт-Петербург, Минск, Варшава, Берлин, Рим, Неаполь. Для Афин и Стамбула установлена статистически достоверная корреляция с Аравийской пустыней (коэффициенты корреляции составили 0,32 и 0,47 соответственно), Нубийской пустыней (0,44 и 0,38), Ливийской пустыней (0,33 и 0,30) и пустыней Большой Нефуд (0,40 и 0,33). Для Ашхабада, Нукуса и Бухары установлена достоверная корреляция с Кызылкумом и Каракумами. Так, изменения аэрозольного индекса в Бухаре коррелируют с Кызылкумом (0,66) и Каракумами (0,38). Для Аммана, Багдада и Дамаска установлена достоверная корреляции с Сирийской пустыней и пустыней Большой Нефуд. Так, колебания аэрозольного индекса в Дамаске тесно скоррелированы с Сирийской пустыней (коэффициент корреляции составил 0,75) и пустыней Большой Нефуд (0,46). Для Каира прослеживается корреляция с Аравийской пустыней (0,42), Ливийской пустыней (0,50), Сирийской пустыней (0,35) и пустыней Большой Нефуд (0,33). Колебания аэрозольного индекса в Асуане достоверно коррелируют с Аравийской пустыней (0,76), Нубийской (0,49), Ливийской (0,38) и пустыней Большой Нефуд (0,32). Таким образом, статистически значима корреляционная связь динамики аэрозольного индекса в городах с близлежащими пустынями. Отсутствие достоверной корреляции с удаленными пустынями объясняется временным лагом, необходимым для движения аэрозолей в атмосфере на сравнительно большие расстояния.

Важный вопрос: как взаимосвязаны дистанционный показатель – аэрозольный индекс и наземный показатель – содержание PM2.5? Для выяснения их взаимосвязи был отобран 21 город, по которым имеются данные как по аэрозольному индексу, так и по PM2.5. Изучались среднемесячные значения (интервал апрель – август) и средние величины за летний период. Наибольший уровень загрязнения атмосферы по PM2.5 отмечен в таких городах, как Доха (среднее значение за летний период 37,2 мкг/м^3), Эль-Кувейт (30,8), Бенгази (25,5), Ашхабад (25,7). Установлено, что существует тесная взаимосвязь (коэффициент детерминации составил 0,82) между аэрозольным индексом и величиной содержания PM2.5, описываемая линейным уравнением (рисунок 4).

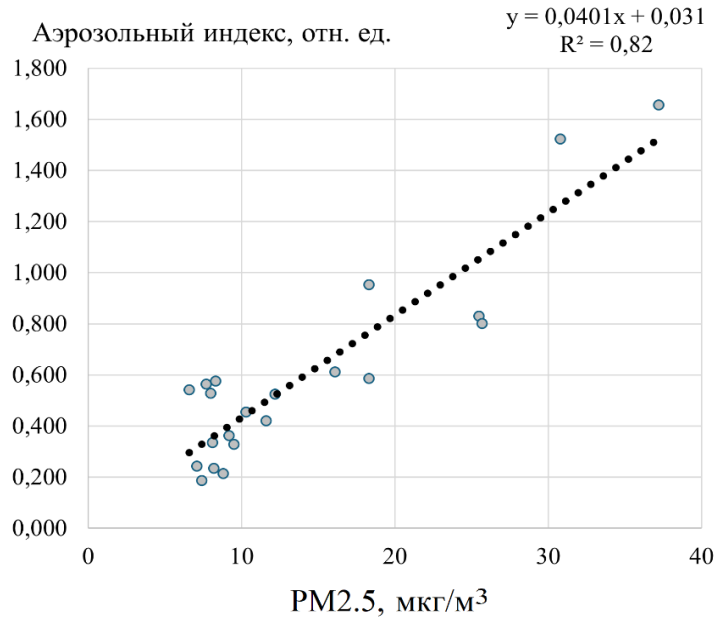


Рисунок 4 – Взаимосвязь аэрозольного индекса и содержания PM2.5 (лето 2024 г.)

При сравнении среднемесячных значений аэрозольного индекса и PM2.5 в 14 городах (Доха, Эль-Кувейт, Бенгази, Ашхабад, Баку, Актау, Стамбул, Варшава, Рим, Москва, Киев, Анкара, Краснодар, Вена) также установлена положительная взаимосвязь, характеризуемая линейным уравнением регрессии (коэффициент детерминации составил 0,66). Полученные результаты показывают, что аэрозольный индекс, определяемый по данным спутниковых наблюдений, может выступать в качестве индикатора аэрозольного загрязнения атмосферы городов.

Заключение

Таким образом, в ходе исследований установлено:

1) максимальные значения аэрозольного индекса, определяемого по данным съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI, приурочены к пустынным регионам, характеризующимся активным проявлением пыльных и песчаных бурь; наибольшая величина индекса отмечена в таких городах, как Доха (1,656), Эль-Кувейт (1,523), Басра (1,486), Кабул (1,471), Эр-Рияд (1,451), Тунис (1,389);

2) имеется статистически значимая корреляционная связь динамики аэрозольного индекса в городах с близлежащими пустынями;

3) наблюдается тесная взаимосвязь между аэрозольным индексом и величиной содержания PM2.5 в атмосфере городов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аэрозольное загрязнение городов и его эффекты на прогноз погоды, региональный климат и геохимические процессы / Чубарова Н. Е. [и др.]. – М. : MAKS Press, 2020. – 339 с.

2. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2.5 and PM10 pollution in the Chinese population / F. Lu, D. Xu [et al.] // Environmental research. – 2015. – Vol. 136. – P. 196–204. – URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029 (дата обращения: 22.01.2026).

3. Short-term effects of PM2. 5, PM10 and PM2. 5–10 on daily mortality in the Netherlands / N. A. H. Janssen [et al.] // Science of the Total Environment. – 2013. – Vol. 463. – P. 20–26. – URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.062 (дата обращения: 25.01.2026).

4. Пожитков, Р. Ю. Разовые концентрации взвешенных частиц PM2.5 и PM10 в приземных слоях атмосферы г. Тобольск / Р. Ю. Пожитков // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2021. – № 2 (54). – С. 119–126.

5. Елагина, Д. Д. Загрязнение атмосферы аэрозольными частицами и обусловленные этим социально-экономические последствия / Д. Д. Елагина, А. В. Матешева, А. Д. Тужиков // Проблемы безопасности российского общества. – 2023. – № 2. – С. 52–57.

6. Адушкин, В. В. Литосферные источники аэрозольного загрязнения атмосферы / В. В. Адушкин, С. П. Соловьев, В. А. Будников // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 8. – С. 103–110.

7. Трансграничный перенос пылевых бурь в пылевом поясе (обзор) / С. Ф. Абдуллозода [и др.] // Светоч науки. – 2024. – № 3. – С. 81–89.

8. Шинкаренко, С. С. Последствия пыльных бурь 2020 года на юге европейской части России / С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 7. – С. 270–275. – URL: https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275 (дата обращения: 02.02.2026).

9. Шинкаренко, С. С. Спутниковые наблюдения пыльных бурь на юге России в 2022 году / С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 6. – С. 293–300.

10. Агаев, Т. Д. Исследования трансграничного загрязнения атмосферы Кавказско-Каспийского региона пыльными бурями на основе спутниковых данных / Т. Д. Агаев // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – № 3. – С. 27–31.

11. Анализ площадей степных пожаров в западном Казахстане по данным дистанционного зондирования Земли / С. С. Шинкаренко [и др.] // Аридные экосистемы. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 25–35.

12. Юферев, В. Г. Дистанционный мониторинг опустынивания территории Калмыкии / В. Г. Юферев, В. А. Силова, Н. А. Ткаченко // Аридные экосистемы. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 46–52.

13. Тлеумуратова, Б. С. Конвективный вынос аэрозоля в пустынных зонах как фактор повышения температуры воздуха / Б. С. Тлеумуратова, Б. Ж. Нарымбетов // Аридные экосистемы. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 11–19.

14. Корнеева, Е. А. Оценка экологического ущерба от опустынивания аридных территорий на юге европейской части России / Е. А. Корнеева // Аридные экосистемы. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 70–76.

15. Гусев, А. П. Оценка загрязнения атмосферы на территории Беларуси летом 2022 года на основе съемки спутника Sentinel-5P TROPOMI // А. П. Гусев, Т. Г. Флерко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 78–86.

16. Гусев, А. П. Дистанционный индикатор риска загрязнения атмосферы (TROPOMI AIR QUALITY INDEX) при мониторинге трансграничных воздействий / А. П. Гусев, Т. Г. Флерко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2025. – Т. 11 (77), № 2. – С. 120–129.

REFERENCES

1. Aerozol’noye zagryazneniye gorodov i yego effekty na prognoz pogody, regional’nyi klimat i geokhimicheskiye protsessy / Chubarova N. E. [i dr.]. – M. : MAKS Press, 2020. – 339 s.

2. Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2.5 and PM10 pollution in the Chinese population / F. Lu, D. Xu [et al.] // Environmental research. – 2015. – Vol. 136. – P. 196–204. – URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.029 (data obrashcheniya: 22.01.2026).

3. Short-term effects of PM2. 5, PM10 and PM2. 5–10 on daily mortality in the Netherlands / N. A. H. Janssen [et al.] // Science of the Total Environment. – 2013. – Vol. 463. – P. 20–26. – URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.062 (data obrashcheniya: 25.01.2026).

4. Pozhitkov, R. Yu. Razovyye kontsentratsii vzveshennykh chastits RM2.5 i RM10 v prizemnykh sloyakh atmosfery g. Tobol’sk / R. Yu. Pozhitkov // Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2021. – № 2 (54). – S. 119–126.

5. Yelagina, D. D. Zagryazneniye atmosfery aerozol’nymi chastitsami i obuslovlennyye etim sotsial’no-ekonomicheskiye posledstviya / D. D. Yelagina, A. V. Matesheva, A. D. Tuzhikov // Problemy bezopasnosti rossiyskogo obshchestva. – 2023. – № 2. – S. 52–57.

6. Adushkin, V. V. Litosfernyye istochniki aerozol’nogo zagryazneniya atmosfery / V. V. Adushkin, S. P. Soloviev, V. A. Budnikov // Geologiya i geofizika. – 1995. – T. 36, № 8. – S. 103–110.

7. Transgranichnyi perenos pylevykh bur’ v pylevom poyase (obzor) / S. F. Abdullozoda [i dr.] // Svetoch nauki. – 2024. – № 3. – S. 81–89.

8. Shinkarenko, S. S. Posledstviya pyl’nykh bur’ 2020 goda na yuge yevropeyskoi chasti Rossii / S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev // Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2020. – T. 17, № 7. – S. 270–275. – URL: https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275 (data obrashcheniya: 02.02.2026).

9. Shinkarenko, S. S. Sputnikovyye nablyudeniya pyl’nykh bur’ na yuge Rossii v 2022 godu / S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev // Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2022. – T. 19, № 6. – S. 293–300.

10. Agaev, T. D. Issledovaniya transgranichnogo zagryazneniya atmosfery Kavkazsko-Kaspiyskogo regiona pyl’nymi buryami na osnove sputnikovykh dannykh / T. D. Agaev // Bezopasnost’ zhiznedeyatel’nosti. – 2022. – № 3. – S. 27–31.

11. Analiz ploshchadei stepnykh pozharov v zapadnom Kazakhstane po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli / S. S. Shinkarenko [i dr.] // Aridnyye ekosistemy. – 2023. – T. 29, № 1. – S. 25–35.

12. Yuferev, V. G. Distantsionnyi monitoring opustynivaniya territorii Kalmykii / V. G. Yuferev, V. A. Silova, N. A. Tkachenko // Aridnyye ekosistemy. – 2023. – T. 29, № 1. – S. 46–52.

13. Tleumuratova, B. S. Konvektivnyi vynos aerozolya v pustynnykh zonakh kak faktor povysheniya temperatury vozdukha / B. S. Tleumuratova, B. Zh. Narymbetov // Aridnyye ekosistemy. – 2022. – T. 28, № 1. – S. 11–19.

14. Korneeva, Ye. A. Otsenka ekologicheskogo ushcherba ot opustynivaniya aridnykh territoriy na yuge yevropeyskoy chasti Rossii / Ye. A. Korneeva // Aridnyye ekosistemy. – 2023. – T. 29, № 1. – S. 70–76.

15. Gusev, A. P. Otsenka zagryazneniya atmosfery na territorii Belarusi letom 2022 goda na osnove s’yemki sputnika Sentinel-5P TROPOMI // A. P. Gusev, T. G. Flerko // Uchenyye zapiski Krymskogo federal’nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. – 2024. – T. 10, № 1. – S. 78–86.

16. Gusev, A. P. Distantsionnyi indikator riska zagryazneniya atmosfery (TROPOMI AIR QUALITY INDEX) pri monitoringe transgranichnykh vozdeystviy / A. P. Gusev, T. G. Flerko // Uchenyye zapiski Krymskogo federal’nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. – 2025. – T. 11 (77), № 2. – S. 120–129.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.03.2026