



ОЦЕНИВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРУ НАД КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ

А.А. Егоркин, В.Ю. Журавский

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: egorkin1974@yandex.ru

В работе исследуются данные ре-анализа по распространению аэрозольных частиц PM_{2.5}, соответственно метеорологическим условиям за период с 2003 по 2022 гг. Представлен анализ среднесуточного изменения тренда массовой пропорции смешивания аэрозоля PM_{2.5}, характеризующего выбранный интервал. Внимание сосредоточено на эпизодах повышения значений массовой пропорции смешивания аэрозоля в атмосфере и их отклонения от 95-перцентиля. Предполагаемые случаи переноса атмосферного загрязнителя на территорию Крымского полуострова объясняются данными кластерного анализа обратных траекторий переноса воздушных масс (модель HYSPLIT 4).

Ключевые слова: атмосфера, качество атмосферного воздуха, перенос на большие расстояния.

Поступила в редакцию: 24.08.2023. После доработки: 31.08.2023.

Введение. Наиболее актуальной задачей в области охраны окружающей среды в последние годы является изучение состава атмосферного воздуха и контроль его качества [1]. Аэрозоль (наиболее активный и динамичный компонент атмосферы) служит индикатором состояния экосистемы, а также указывает на возможные источники загрязнения.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) акцентирует своё внимание на аэрозольных частицах размером 2,5 мкм (PM_{2.5}), поскольку нахождение их в атмосферном воздухе связано с более обширными и серьезными проблемами в области здоровья человека и воздействия на окружающую среду.

В большинстве случаев местные антропогенные источники должны создавать более или менее стабильный средний уровень загрязнения атмосферы («фон», который может отличаться для разных сезонов).

Выбросы загрязняющих веществ могут переноситься в атмосфере на расстояния до нескольких тысяч километров [2–4] и могут вносить вклад в местное загрязнение, что также характерно для Крымского полуострова.

Цель и постановка задач. Цель данной работы – оценка изменчивости концентраций PM_{2.5} и определение основных предполагаемых источников поступления их в атмосферу от источников, расположенных за пределами Крымского полуострова.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд задач:

1. Собрать данные об потенциальных источниках выбросов PM_{2.5}, которые могут оказывать негативное воздействие на атмосферный воздух Крымского полуострова.

2. Оценить тренд изменения массовой пропорции смешивания аэрозоля PM_{2.5}, сезонную изменчивость, а также частоту превышения массовой пропорции смешивания загрязняющих веществ в атмосфере Крымского полуострова, значение которой отклоняется от 95-перцентиля.

3. Определить возможные источники негативного воздействия, а также связь с метеорологическими параметрами, предположительно являющиеся причиной такой изменчивости.

Материалы и методы. В рамках данной работы в качестве объекта исследования выбрана территория Крымского по-

луострова и окружающий её пространственный домен: от 20° з.д. до 50° в.д. и от 30° с.ш. до 70° с.ш.

В качестве материала для исследования информации об источниках выбросов PM_{2.5} использовались наборы данных региональных кадастров с привязкой к сетке – включая данные Европейской программы мониторинга и оценки (EMEP), Нидерландской организации прикладных научных исследований (TNO) для Европы, база данных о выбросах для глобальных атмосферных исследований (EDGAR) за период с 2003 по 2022 гг. [5, 6]. Эти данные содержат информацию о выбросах как результата антропогенной деятельности (энергетика, промышленность, жилищное строительство, сельское хозяйство, наземный транспорт, авиация и перевозки).

Известно, что предприятия энергетики являются одними из основных источников негативного воздействия на окружающую среду. В работе с применением геоинформационного анализа исследовалось возможное влияние данных объектов на загрязнение атмосферного воздуха над территорией исследования. В качестве исходных данных применялись данные базы электростанций по всему миру [7]. Для анализа были выбраны только станции, использующие в качестве топлива нефть и уголь.

Для оценки сезонной изменчивости, и частоты превышения массовой пропорции смешивания аэрозольных частиц PM_{2.5}, значение которых превышает 95-перцентиль в атмосфере Крымского полуострова, использовались наборы данных повторного анализа CAMS, который охватывает период с 2003 по 2022 гг. [8].

Чтобы определить возможные районы источников негативного воздействия на атмосферный воздух Крымского полуострова, проводился кластерный анализ с использованием алгоритма SCA (пошаговый кластерный анализ) для кластеризации обратных траекторий с использованием модели HYSPLIT 4 [9]. Модель HYSPLIT использует несколько итераций для создания кластеров траекторий путем вычисления общей пространственной дисперсии (TSV) между траекториями.

На первой итерации TSV равна нулю, и каждая траектория рассматривается на данном этапе как автономный кластер (т.е. N траекторий = N кластеров). Далее две траектории соединяются в пару, и вычисляется пространственная дисперсия кластера (SPVAR), которая представляет собой сумму квадратов расстояний между конечными точками спаренных кластеров. Затем вычисляется TSV, которая является суммой всех пространственных отклонений кластеров, и объединяются пары кластеров с наименьшим увеличением TSV.

Для второй итерации число кластеров равно N-1, поскольку были сгруппированы две траектории, объединенные на первой итерации, в результате чего на один автономный кластер становится меньше. Выполняются те же расчеты и сравнения, в результате чего получается комбинация двух кластеров с наименьшим увеличением TSV. Итерации продолжаются до тех пор, пока не будут объединены самые последние два кластера.

После нескольких итераций в ходе кластерного анализа значение TSV быстро увеличивается, указывая на то, что траектории, объединяемые в пределах одного кластера, не очень похожи.

На этом этапе кластеризация прекращается.

Полученные результаты. По результатам геоинформационного анализа определено, что потенциальные источники выбросов PM_{2.5} (рис. 1), которые могут оказывать негативное воздействие на атмосферный воздух Крымского полуострова, представлены двумя видами. К первому виду относятся источники выбросов при производстве энергии, ко второму – все остальные индустриальные выбросы. На рис. 1 такие источники обозначены светло- и темно-синими треугольниками. Как видно из рис. 1, основное количество небольших по мощности источников сосредоточено на территории северо-запада и юго-запада Европы. Более крупные источники выбросов находятся на территории центральной части Европы, в новых регионах России и на северном побережье Турции. Относительно

объектов энергетики по данным анализа замечено, что угольные электростанции в наибольшей степени сконцентрированы на новых Российских территориях.

Электростанции, использующие в качестве топлива нефть, практически отсутствуют на исследуемой территории.

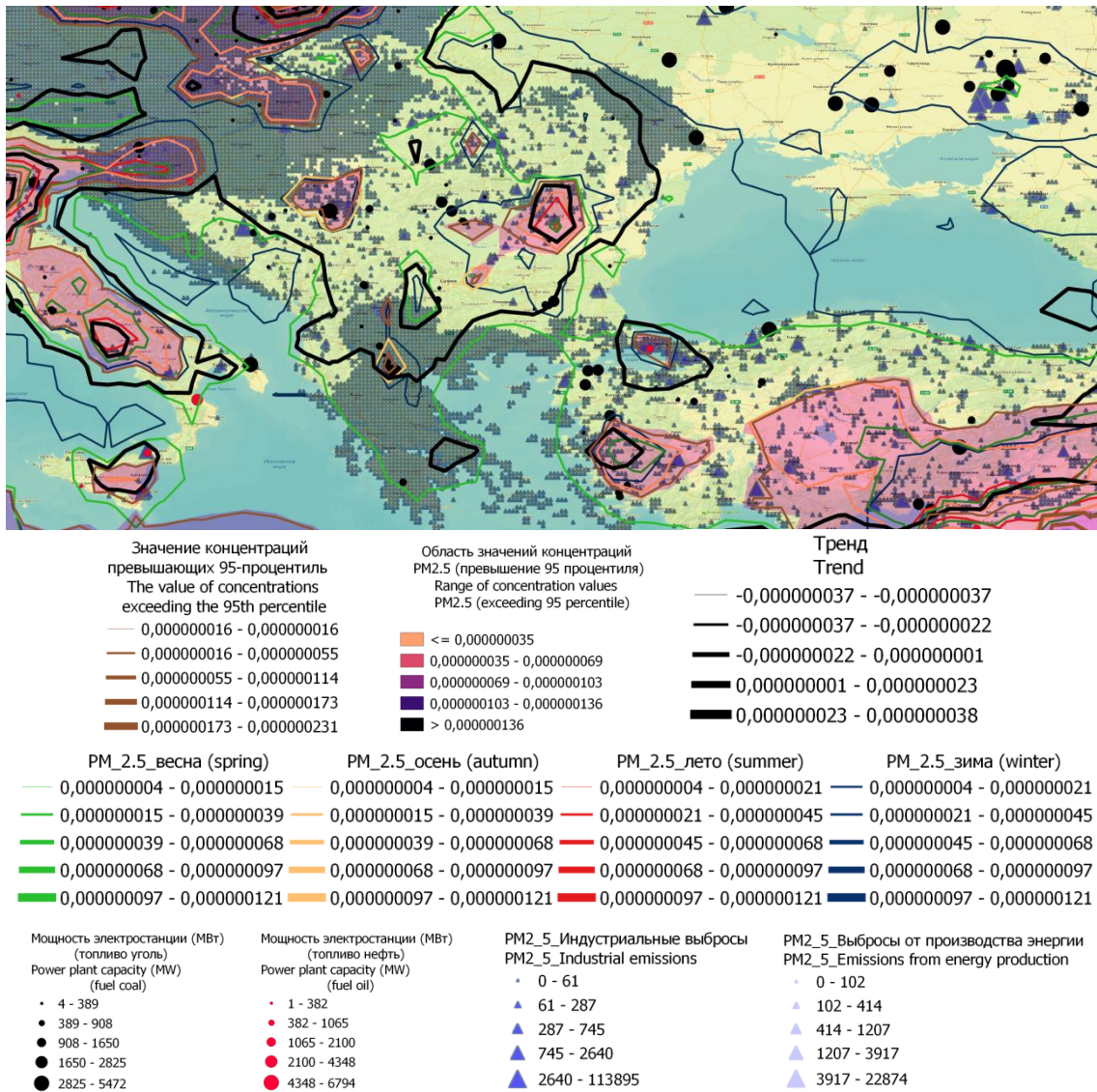


Рис. 1. Геоинформационный анализ: источников выбросов аэрозольных частиц PM2.5, электростанций в зависимости от типа и мощности, сезонной изменчивости концентраций выбросов, пространственной характеристики тренда, массовой пропорции смешивания загрязняющих веществ в атмосфере Крымского полуострова, значение которой превышает 95-процентиль

Fig. 1. Geoinformation analysis: sources of emissions of aerosol particles PM2.5, power plants depending on the type and capacity, seasonal variability of emission concentrations, spatial characteristics of the trend, the mass proportion of pollutants mixing in the atmosphere of the Crimean Peninsula, the value of which exceeds the 95th percentile

Анализ изменчивости массовой пропорции смешивания частиц PM_{2.5} показывает, что над территорией северо-западной и юго-западной частей Европы наблюдается слабовыраженный нисходящий тренд. Данное обстоятельство видимо, в основном, связано с политикой Европейского союза к сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Также возможно влияние метеорологических условий в данном районе. Вся остальная исследуемая территория и, в частности, Крымский полуостров, наоборот, характеризуются восходящим трендом массовой пропорции смешивания частиц PM_{2.5}.

Результатом исследования сезонной изменчивости массовой пропорции смешивания частиц PM_{2.5} является то, что области, подверженные воздействию частиц, намного больше в зимний и весенний периоды и имеют гораздо меньшие значения и пространственное распределение летом и осенью. Над территорией Крымского полуострова в зимний период наблюдается выше рассмотренная тенденция.

Анализ пространственного распределения частоты превышения массовой

пропорции смешивания загрязняющих веществ в атмосфере Крымского полуострова, значение которой превышает 95-перцентиль, не имеет ярко выраженных повышенных значений и в среднем не отличается от региональных значений.

Результаты кластерного анализа по определению возможных источников, а также связь с метеорологическими параметрами, предположительно являющаяся причиной такой изменчивости, представлены в (табл. 1). Из них видно, что преобладающим направлением поступления воздушных масс является Южное. Если сопоставить данное направление с картой основных источников и анализом изменчивости концентраций массовой пропорции смешивания загрязняющих веществ в атмосфере, то возможно предположить ведущее влияние этого направления в формировании негативного воздействия на атмосферный воздух Крымского полуострова. В свою очередь перемещение воздушных масс с Северного направления, особенно в зимнее время, также может оказывать негативное влияние на загрязнение воздуха, что подтверждается анализом сезонной изменчивости концентраций.

Таблица 1. Результат кластерного анализа обратных траекторий за период с 2003 по 2022 гг.

Направление ветра	Север	Юг	Запад	Восток
Процентное отношение	23,55	40,5	13,95	22,05

Заключение. В работе оценка изменчивости и определение основных источников поступления загрязняющих веществ в атмосферу над Крымским полуостровом были проведены по результатам анализа данных CAMS за период с 2003 по 2022 гг.

Было установлено, что в течение этого периода среднесуточная массовая пропорция смешивания загрязняющих веществ в атмосфере демонстрирует незначительные колебания, зависящие от

сезона (с небольшим максимумом зимой).

Анализ выявил следующие возможные источники повышенной концентрации над территорией Крымского полуострова:

- региональный перенос частиц из районов с многочисленными источниками негативного воздействия, расположенными в центральной части Европейского континента;

- перенос пылевого аэрозоля на большие расстояния из засушливых районов

юга с интенсивными пылевыми и песчаными бурями;

– смешанный перенос аэрозолей частиц от антропогенных источников из Европы и источников пыли при определенных погодных условиях.

Эпизоды чрезвычайно высоких концентраций аэрозолей, связанных с атмосферным переносом загрязняющих веществ из других регионов в данных исследованиях не выявлены.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия» (№ госрегистрации 121122300072-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sokhi R.S., Singh V., Querol X., Fignardi S., Targino A.C., de Fatima Andrade M., Zavala M. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions // *Environment international*. 2021. Vol. 157. P. 106818.

2. Schepanski K. Transport of mineral dust and its impact on climate // *Geosciences*. 2018. Vol 8. P. 151.

3. Targino A.C., Krecl P., Johansson C., Swietlicki E., Massling A., Coraiola G.C., Lihavainen H. Deterioration of air quality across Sweden due to transboundary agricultural burning emissions // *Boreal. Environ. Res.* 2013. Vol. 18. P. 19–36.

4. Bergin M.S., West J.J.J., Keating T.J., Russell A.G. Regional Atmospheric Pollution and Transboundary Air Quality Management // *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2005. Vol. 30. P. 1–37.

5. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/dataset_ghg70_nuts2 (дата обращения: 18.08.2023).

6. <https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions> (дата обращения: 18.08.2023).

7. Global Energy Observatory, Google, KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, Enipedia, World Resources Institute. 2018. Global Power Plant Database. Published on Resource Watch and Google Earth Engine; <https://earthengine.google.com/>.

8. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/CAMS%3A+Reanalysis+data+documentation> (дата обращения: 18.08.2023).

9. <https://www.ready.noaa.gov/hysplitusersguide/S255.htm> (дата обращения: 18.08.2023).

ASSESSMENT OF CONCENTRATION VARIABILITY AND DETERMINATION OF THE MAIN SOURCES OF AEROSOL PARTICLES ENTERING THE ATMOSPHERE OVER THE CRIMEAN PENINSULA

A.A. Egorkin, V.F. Zhuravsky

Institute of Natural and Technical Systems,
RF, Sevastopol, Lenin St., 28

The paper examines reanalysis data on the spread of aerosol particles PM_{2.5}, according to meteorological conditions for the period from 2003 to 2022. The analysis of the average daily trend change in the mass mixing ratio of the PM_{2.5} aerosol characterizing the selected interval is presented. Attention is focused on episodes of increasing the values of the aerosol mixing mass ratio in the atmosphere and their deviation from the 95th percentile. The alleged cases of atmospheric pollutant transfer to the territory of the Crimean Peninsula are explained by the data of cluster analysis of reverse trajectories of air mass transfer (HYSPLIT 4 model).

Keywords: atmosphere, atmospheric air quality, long distance transport.

REFERENCES

1. Sokhi R.S., Singh V., Querol X., Finardi S., Targino A.C., de Fatima Andrade M., and Zavala M. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. *Environment international*, 2021, Vol. 157, pp.106818.
2. Schepanski K. Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 2018, Vol. 8, No. 5, pp. 151.
3. Targino A.C., Krecl P., Johansson C., Swietlicki E., Massling A., Coraiola G.C., and Lihavainen H. Deterioration of air quality across Sweden due to transboundary agricultural burning emissions. *Boreal Environ. Res.*, 2013, Vol. 18, pp. 19–36.
4. Bergin M.S., West J.J.J., Keating T.J., and Russell A.G. Regional Atmospheric Pollution and Transboundary Air Quality Management. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 2005, Vol. 30, pp. 1–37.
5. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/dataset_ghg70_nuts2 (date of application: 18.08.2023).
6. <https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions> (date of application: 18.08.2023).
7. Global Energy Observatory, Google, KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, Enipedia, World Resources Institute. 2018. Global Power Plant Database. Published on Resource Watch and Google Earth Engine; <https://earthengine.google.com/>.
8. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/CAMS%3A+Reanalysis+data+documentation> (date of application: 18.08.2023).
9. <https://www.ready.noaa.gov/hysplitusersguide/S255.htm> (date of application: 18.08.2023).