

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ЕВРОПЫ

А.А. Егоркин

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: egorkin1974@yandex.ru

Представлены методологические подходы к оценке возможного негативного воздействия источников выбросов из Европы, содержащих взвешенные частицы, на экологическую обстановку Крыма. Методология исследования основана на совместном использовании траекторной модели переноса и анализа данных спутниковых наблюдений. Для анализа был взят случай превышения предельно-допустимой концентрации взвешенных частиц, зарегистрированный на посту наблюдения в Крыму. Исследованы пятидневные обратные траектории, заканчивающиеся в пункте наблюдения. Проведен анализ данных спутниковых наблюдений за движением аэрозоля над исследуемой территорией. Определены основные типы аэрозолей с помощью алгоритма CALIPSO.

Ключевые слова: взвешенные частицы, аэрозоли, аэрозольный индекс, модели переноса частиц, спутниковые наблюдения, HYSPLIT, CALIPSO, TROPOMI

Поступила в редакцию: 11.08.2022. После доработки: 19.08.2022.

Введение. Взвешенные частицы – это тип загрязнения воздуха, который образуется в результате различных видов человеческой деятельности, может перемещаться в атмосфере на большие расстояния и вызывать широкий спектр заболеваний и значительное сокращение продолжительности жизни у населения.

Частицы согласно нормативным документам различаются по размеру (PM10 (частицы диаметром <10 мкм) и PM2.5 (диаметр которых <2,5 мкм)) и химическому составу. Наибольшую опасность представляют частицы до 2,5 мкм, которые могут оставаться в атмосфере в течение нескольких дней или недель и, таким образом, могут переноситься в атмосфере на большие расстояния (до тысяч километров).

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы определить возможную взаимосвязь между выбросами взвешенных частиц в Европе, констатации превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК) взвешенных частиц на посту мониторинга в Крыму и связь с метеорологией.

Материалы и методы. В качестве факта превышения ПДК взвешенных

частиц были выбраны данные мониторинга состояния загрязнения атмосферного воздуха в Крыму, проводившегося на одном из стационарных постов Государственной наблюдательной сети Федерального государственного бюджетного учреждения «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». По данным наблюдений 26.12.2020 г. в 19:00 наблюдалось превышение ПДК по взвешенным веществам в 3,2 раза.

Для оценки возможного переноса частиц аэрозоля применялся ряд взаимодополняющих подходов. К таким подходам относятся:

– использование обратных траекторий движения воздушных масс для установления взаимосвязи источник-рецептор;

– комплексный анализ спутниковых наблюдений за параметрами аэрозолей.

Выявление зон с повышенной концентрацией взвешенных частиц, как источника возможного негативного воздействия, проводилось по данным отчета «Качество воздуха в Европе к 2021 году» (рис. 1) [1].

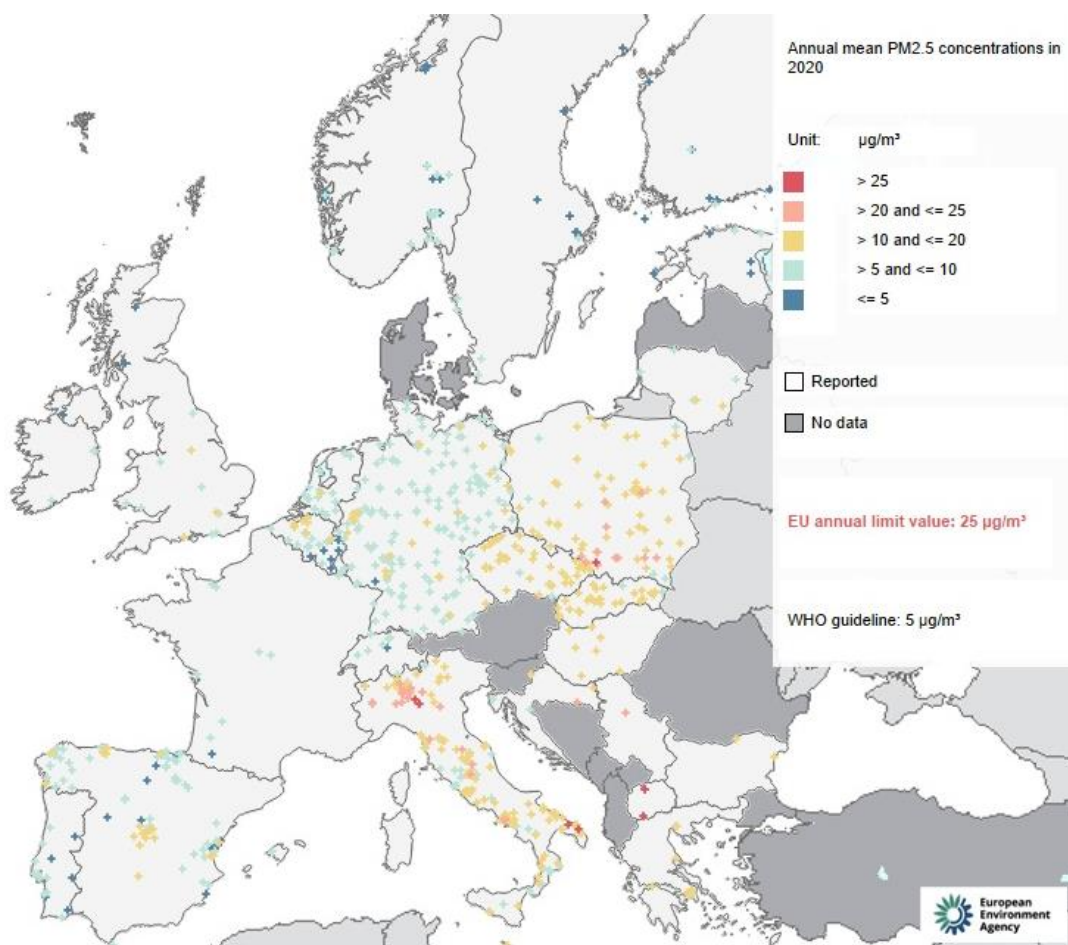


Рис. 1. Концентрации PM_{2,5} в 2020 году по отношению к годовому предельному значению ЕС
Fig. 1. Concentrations of PM_{2.5} in 2020 relative to the EU annual limit value

Из отчета следует, что все 27 стран, представивших отчеты о концентрации PM_{2,5} в 2020 г., зарегистрировали концентрации, превышающие требования Всемирной организации здравоохранения в 25 мг/м³. Самые высокие концентрации были обнаружены в центральной, восточной Европе и северной Италии, которые обозначены на рис. 1 преимущественно красным и желтым цветом точек. Данные территории были выбраны в качестве источника выбросов для исследования.

Для оценки переноса воздушных масс обычно используется ряд моделей, прогнозирующих возможные траектории движения воздушных масс, как в прямом, так и в обратном направлении относительно исследуемого временного интервала, соответственно метеорологи-

ческим данным, например, модель HYSPLIT [2].

С целью проведения исследований событий, которые уже произошли, модель HYSPLIT зарекомендовала себя наилучшим образом. Модель была разработана Лабораторией воздушных ресурсов NOAA (Национального Управления океанических и атмосферных исследований). Для проведения вычислений с помощью модели HYSPLIT используются данные метеорологических наблюдений, ассимилированные для получения наборов данных ре-анализа. Набор таких данных включен в программный комплекс модели HYSPLIT.

При проведении анализа спутниковых данных использовались данные Национального управления по аэронавтике и исследованию космического про-

странства (NASA). NASA и его международные партнеры управляют несколькими спутниками (Aqua, CloudSat, CALIPSO и Aura) наблюдения Земли, которые следуют один за другим по одной и той же орбитальной «траектории». Это скоординированная группа спутников, составляющая значительную часть действующих в настоящее время крупных спутниковых миссий NASA. Спутники находятся на полярной орбите. Трасса орбиты полярного спутника проходит над всеми широтами Земли, что дает неоспоримое преимущество для исследований и возможность проводить почти одновременные наблюдения за широким спектром параметров. Приборы на спутниках производят почти одновременные измерения облаков, аэрозолей, химического состава атмосферы Земли.

К данным, которые необходимы для проведения исследования, предоставляемые с приборов, установленных на спутниках, относится индекс поглощающих аэрозолей (AAI). Он указывает на присутствие повышенных концентраций поглощающих аэрозолей в атмосфере Земли. Типы аэрозолей, которые в основном наблюдаются в AAI, представляют собой пустынную пыль и аэрозоли, образовавшиеся после сжигания биомассы. AAI получают из коэффициентов отражения, измеренных прибором GOME-2 и прибором OMI [3].

Для исследования были выбраны данные об аэрозольном индексе спутниковых наблюдений OMI (Ozone Monitoring Instrument) – спектрометра, предназначенного для измерения размеров отражённого и рассеянного в атмосфере солнечного излучения, установленном на научно-исследовательском спутнике Aura. Ключевой особенностью OMI является использование ультрафиолетового и видимого канала для определения аэрозолей, способного различать пыль, дым и сульфаты.

Также исследовались данные об аэрозольном индексе, полученные по результатам измерений прибора

GOME-2, расположенного на платформе MetOp-A [4].

Еще одним инструментом для исследования были выбраны данные спутника Европейского космического агентства Copernicus Sentinel-5 Precursor. Миссия состоит из одного спутника с прибором для мониторинга тропосферы (TROPOMI). Основная цель миссии – выполнение атмосферных измерений с высоким пространственно-временным разрешением, которые используются для контроля качества воздуха, озона и ультрафиолетового излучения, а также для мониторинга и прогнозирования климата.

В данном исследовании используется результат спутниковых наблюдений – аэрозольный индекс TROPOMI (UVAI). Этот индекс может быть рассчитан при наличии облаков, чтобы обеспечить ежедневный глобальный охват. UVAI идеально подходит для отслеживания эволюции эпизодических аэрозольных шлейфов от вспышек пыли, вулканического пепла и сжигания биомассы. Положительные значения UVAI, как правило, означают наличие в атмосфере поглощающих аэрозолей, таких как дым, минеральная пыль или вулканические аэрозоли. Отрицательные значения означают присутствие непоглощающих аэрозолей (например, сульфатов и частиц морской соли) из природных и антропогенных источников, нулевые значения характерны для облачности [5].

При работе с данными TROPOMI использовалось интерактивное приложение, разработанное специалистами Google, которое позволяет просматривать изменения концентрации загрязняющих веществ с течением времени, используя визуализацию в виде сдвоенных карт или карты-шторки, а также графики временных изменений [6].

Для определения типа аэрозоля над исследуемым регионом были проанализированы спутниковые данные CALIPSO. Миссия CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation) – американо-французский исследовательский спутник, запущенный в рамках программы

NASA EOS (Earth Observing System) и предназначенный для изучения облачного покрова Земли. Основной целью CALIPSO является проведение глобальных измерений аэрозолей и облаков. CALIPSO работает в паре с американской системой CLOUDSAT (Cloud Satellite), представляющей собой направленный в надир радар, который измеряет коэффициент обратного рассеивания от облаков в виде функции расстояния [7].

Алгоритм CALIPSO основан на моделях аэрозолей с распределением размеров в зависимости от типа и показателя преломления и может классифицировать/выбирать различные типы аэрозолей: пыль пустыни, сжигание биомассы, фоновый (чистый континентальный), загрязненный континентальный, морской, загрязненная пыль. Выбор типов аэрозолей выполняется на основе типа подстилающей поверхности (снег/лед или тундра, суша или вода), высоты идентифицированного слоя аэрозоля и измеренных значений коэффициента деполяризации линейного объема, а также интегрального ослабленного коэффициента обратного рассеяния. После выбора типа аэрозоля для оценки данных используется соответствующее, заранее определенное, лидарное соотношение.

Продукты спутниковых данных об аэрозолях в сочетании с использованием траекторной модели для изучения возможного переноса аэрозолей и реанализом метеорологических данных могут являться важной информацией, позволяющей понять пространственные масштабы переноса аэрозолей и их возможные негативные воздействия.

Несмотря на возможность негативно воздействия аэрозолей от промышленных выбросов в Европе, в литературе по-прежнему мало свидетельств о возможном их переносе в район Крымского полуострова, что обуславливает необходимость более подробных исследований по совместному использованию спутниковых наблюдений вместе с моделями переноса.

Полученные результаты. На рис. 2 показана 120-часовая обратная траекто-

рия, заканчивающаяся в 19:00 UTC для воздушных масс с начальными высотами 1000, 1500 и 2000 м. Обратные траектории начинают свое движение с северо-запада 22.12.2020 на высоте от 2000 м, проходят по территории исследования (центральная, восточная Европа) над полем выбросов взвешенных частиц. Начиная с 23 декабря, происходит закономерное снижение высоты движения воздушных масс до 500 м, фиксированное 24 декабря. В итоге воздушные массы на высоте 100, 500 и 1000 м прибывают на место наблюдения в Крыму.

Для подтверждения возможности переноса взвешенных частиц проведено исследование изменения аэрозольного индекса (UVAI), полученного по данным TROPOMI (Sentinel-5P) за период с 24.12.2020 по 27.12.2020 (рис. 3). Значение UVAI за исследуемый период изменяется в малых пределах как видно из анализа изображений (см. рис. 3) согласно размерам светло-фиолетовой области на панели измерения интерактивного приложения (от 0,05 до 0,1). Из вышеописанного можно сделать вывод о положительном значении индекса, что свидетельствует о присутствии аэрозолей над исследуемой областью, и соответствует картине передвижения воздушных масс (см. рис. 2).

На рис. 4 представлены данные об аэрозольном индексе поглощения по результатам измерений приборами OMI и GOME-2. Положительные значения индекса указывают на присутствие поглощающих аэрозолей над исследуемой областью.

Для подтверждения гипотезы, что взвешенные частицы в виде аэрозоля, образующиеся в результате выбросов над территорией Европы, могли послужить причиной превышения ПДК, были проанализированы данные миссии CALIPSO о типах аэрозоля над исследуемой территорией предполагаемого движения воздушных масс согласно даты и направлений, исследованных обратных траекторий (рис. 5). Синие и красные линии показывают отрезки траекторий пролета спутника над исследуемой территорией со сносками, указывающими время и дату пролета.

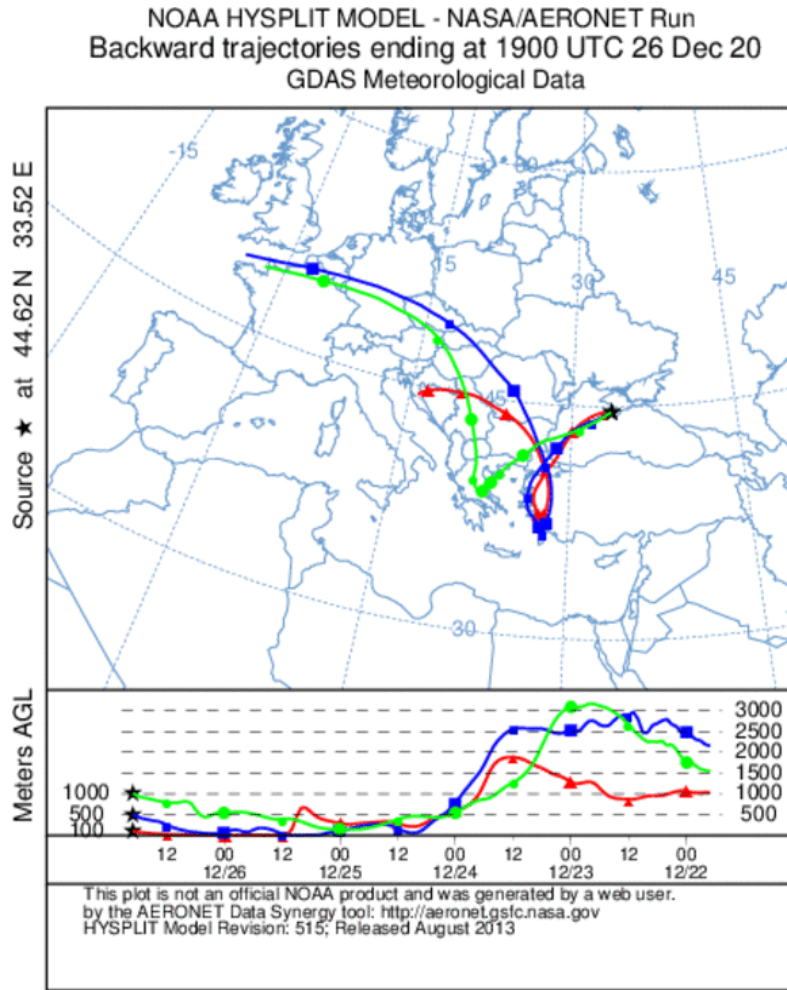


Рис. 2. Обратные пятидневные траектории движения воздушных масс по результатам моделирования HYSPLIT, заканчивающиеся в 19:00 UTC 26 декабря 2020 г.
Fig. 2. Reverse five-day trajectories of the movement of air masses according to the results of the HYSPLIT simulation, ending at 19:00 UTC on December 26, 2020

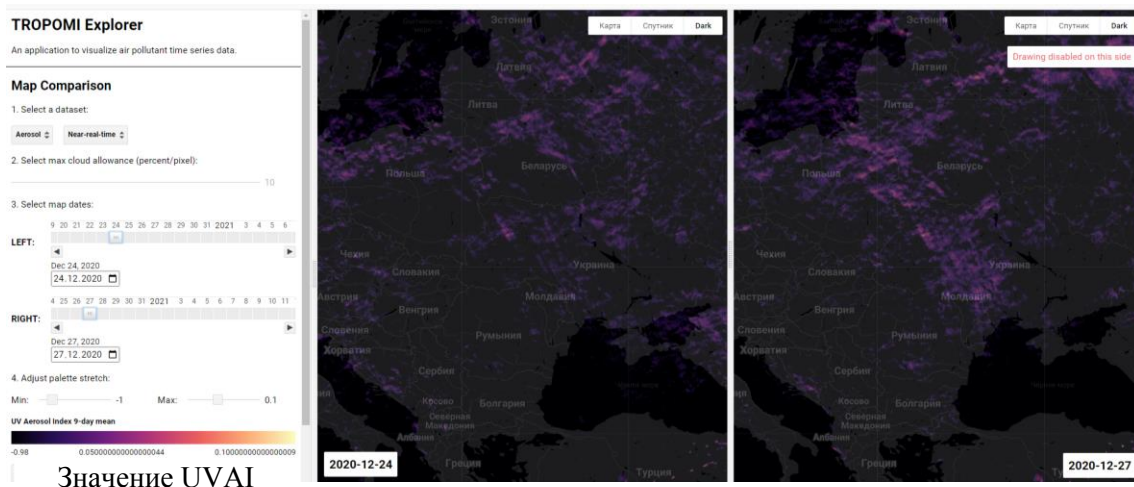


Рис. 3. Усредненные за 4 дня значения аэрозольного индекса (UVAI), полученные по данным TROPOMI (Sentinel-5P)
Fig. 3. 4-day averaged Aerosol Index (UAI) values obtained from TROPOMI (Sentinel-5P) data

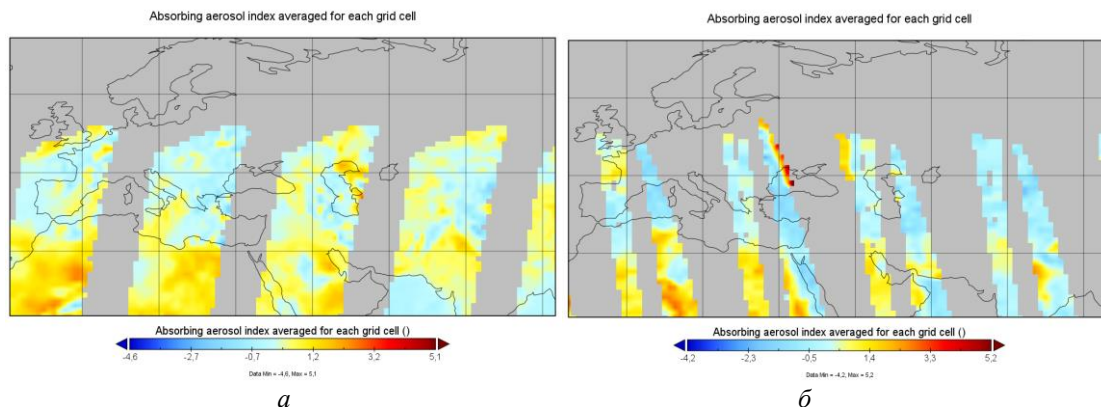


Рис. 4. Рассчитанный аэрозольный индекс по результатам прибора GOME-2 на борту спутниковой платформы MetOp-C 26.12.2020 (а), аэрозольный индекс поглощения по результатам прибора OMI 23.12.2020 (б)

Fig. 4. Calculated aerosol index based on the results of the GOME-2 instrument on board the MetOp-C satellite platform on 12/26/2020 (a), aerosol absorption index based on the results of the OMI instrument on 12/23/2020 (b)

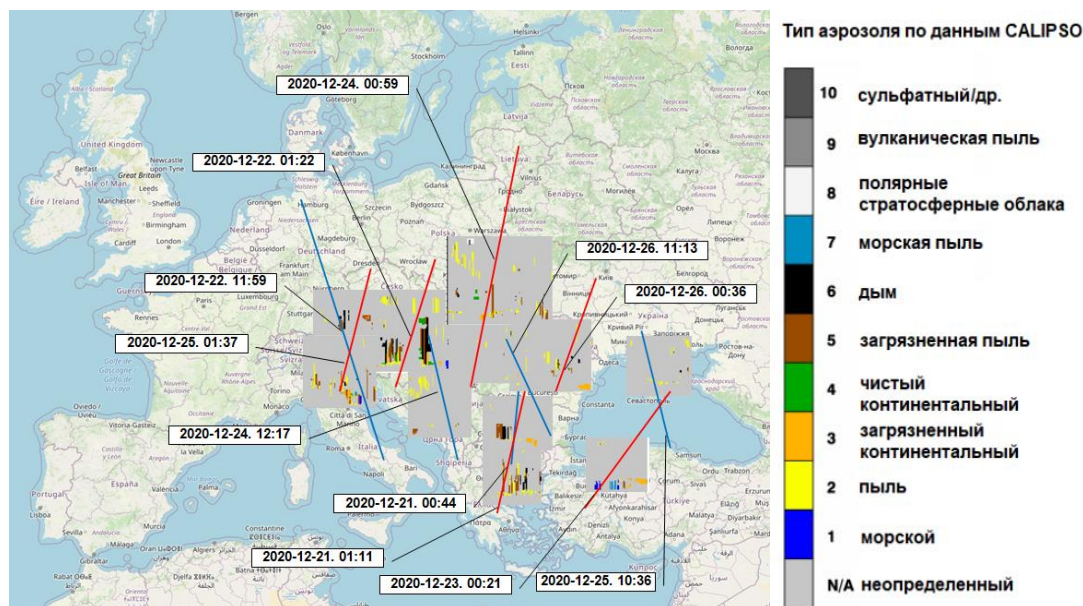


Рис. 5. Анализ переноса и типизация аэрозоля с использованием спутниковых данных и алгоритма CALIPSO

Fig. 5. Aerosol transfer analysis and typing using Satellite data and the CALYPSO algorithm

На рис. 5 выделены серые зоны с нанесенными на них цветовыми полосами, характеризующими вид аэрозоля. Цветовая характеристика аэрозоля с её расшифровкой представлена в правой части (см. рис. 5). Как видно из расшифровки цветовой типизации аэрозолей, преимущественным типом аэрозоля за исследуемый период времени является загрязненная пыль, перемещающаяся соответственно направлениям исследуемых обратных траекторий.

Заключение. Оценка негативного воздействия на экологическую обстановку от источников, расположенных на больших расстояниях, требует учета большого количества параметров атмосферы и поверхности. Поэтому разработка методологических подходов к указанной оценке является важной научной задачей.

Из проведенного исследования можно сформулировать некоторые из методологических подходов:

1. Для оценки необходимо использование различных типов наблюдений как наземных, так и дистанционных, различных носителей информации.

2. Необходимо осуществлять постоянный анализ и контроль качества измерений многообразия параметров с целью получения согласованных по различным характеристикам длительных рядов наблюдений.

3. Применять для исследования различные типы приборов, использующих различные принципы измерений.

4. Стремиться к получению синергетического комплексного эффекта при использовании различных систем и методов наблюдений для измерений конкретного параметра.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0012-2021-0007 «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процес-

сов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021> / (дата обращения: 09.08.2022).

2. Draxler R.R., Hess G. Description of the HYSPLIT4 modeling system, 1997.

3. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/aeolus> / (дата обращения: 09.08.2022).

4. <https://www.temis.nl/airpollution/absaai> / (дата обращения: 09.08.2022).

5. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p> (дата обращения: 09.08.2022).

6. <https://www.earthengine.app/> (дата обращения: 09.08.2022).

7. The CALIPSO automated aerosol classification and lidar ratio selection algorithm / A.H. Omar [et al.] // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2009. Vol. 26, iss. 10. P. 1994–2014. doi:10.1175/2009JTECHA1231.1.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING A POSSIBLE NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENTAL SITUATION OF POLLUTION SOURCES FROM EUROPE

A.A. Egorkin

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

The paper presents methodological approaches to assessing a possible negative impact of emission sources from Europe containing suspended particles on the ecological situation of the city of Sevastopol. The research methodology is based on the joint use of a trajectory model of transfer and analysis of satellite observations. For the analysis, a case of exceeding the maximum permissible concentration of suspended particles is taken, registered at the observation post in the city of Sevastopol. Five-day reverse trajectories ending at the observation point are studied. The analysis of the data of satellite observations of the aerosol movement over the studied area is carried out. The main types of aerosols are determined using the CALIPSO algorithm.

Keywords: suspended particles, aerosols, aerosol index, particle transport models, satellite observations, HYSPLIT, CALIPSO, TROPOMI

REFERENCES

1. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021> / (August 09, 2022).
2. Draxler R.R. and Hess G. Description of the HYSPLIT4 modeling system, 1997.
3. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/aeolus> / (August 09, 2022).
4. <https://www.temis.nl/airpollution/absaai> / (August 09, 2022).
5. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p> (August 09, 2022).
6. <https://www.earthengine.app/> (August 09, 2022).
7. Omar A.H., David M.W., Chieko K., Mark A.V., Zhaoyan Liu., Charles R.T., Raymond R.R., Richard A.F., Kam-Pui Lee, Ralph E.K., and Chris A.H. The CALIPSO automated aerosol classification and lidar ratio selection algorithm. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2009, Vol. 26, Iss. 10, pp. 1994–2014. doi:10.1175/2009JTECHA1231.1.