

Исследование взвешенных микрочастиц в атмосфере береговой зоны Черного моря по натурным и спутниковым данным

А. В. Вареник [✉], Д. В. Калининская, М. А. Мыслина

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

[✉] alla.varenik@mhi-ras.ru

Поступила в редакцию 03.09.2020 г., после доработки – 27.10.2020 г.

Цель. Одной из наиболее актуальных проблем крупных городов является загрязнение атмосферы, вызванное нахождением в воздухе различных крупно- и мелкодисперсных частиц. Эти микрочастицы могут переноситься на значительные расстояния воздушными потоками, а также коагулировать различные вещества, также находящиеся в атмосфере. Цель данной работы – изучить содержание взвешенных частиц размером 2,5 и 10 мкм ($PM_{2.5}$ и PM_{10}) в атмосфере г. Севастополя, а также процессы, влияющие на их концентрацию.

Методы и результаты. В период с февраля по июнь 2020 г. сотрудниками Морского гидрофизического института измерялась массовая концентрация частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} в г. Севастополе с использованием анализатора пыли «Атмас». Всего проведено 180 измерений концентрации микрочастиц в воздухе г. Севастополя, получено 60 значений среднесуточной концентрации $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Для анализа преимущественного типа аэрозоля проанализированы спутниковые данные *CALIPSO*, полученные в дни с повышенным содержанием взвешенных частиц в воздухе. Показано, что 19.02.2020 г. зафиксирован дым в атмосфере г. Севастополя, который мог привести к повышению концентрации частиц PM_{10} . Спутниковые данные *CALIPSO* о типах аэрозоля над Черным морем за сутки до выявления повышенных концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе г. Севастополя показали преобладание именно дыма в атмосфере над исследуемым регионом.

Выводы. В атмосфере г. Севастополя выявлены случаи содержания частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} , превышающего предельно допустимые среднесуточные концентрации более чем в три раза. Показано, что основной причиной загрязнения воздуха г. Севастополя микрочастицами является перенос воздушных масс со стороны пустынь Африканского континента и Азии, а также перенос аэрозоля (дыма). Менее значительное загрязнение воздуха частицами PM_{10} было вызвано поступлением их в атмосферу от местного источника при земляных работах в непосредственной близости от точки отбора проб воздуха.

Ключевые слова: атмосфера, микрочастицы, $PM_{2.5}$, PM_{10} , ПДК

Благодарности: работа выполнена в рамках тем госзадания № 0555-2021-0005 и № 0555-2021-0003, проектов РФФИ № 19-05-50023 Микромир и № 18-05-80028.

Для цитирования: Вареник А. В., Калининская Д. В., Мыслина М. А. Исследование взвешенных микрочастиц в атмосфере береговой зоны Черного моря по натурным и спутниковым данным // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 3. С. 350–361. doi:10.22449/0233-7584-2021-3-350-361

Investigation of Airborne Particulate Matter in the Atmosphere of the Black Sea Coastal Zone Based on the Measured and Satellite Data

A. V. Varenik ✉, D. V. Kalinskaya, M. A. Myslina

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
✉ alla.varenik@mhi-ras.ru

Purpose. One of the most pressing problems of large cities is air pollution resulting from presence of various large and fine particles in the air. These micro-particles can be transported by the air currents over considerable distances, as well as coagulate various substances also present in the atmosphere. The purpose of the work is to study the content of particulate matter of 2.5 and 10 microns (*PM*_{2.5} and *PM*₁₀) in the atmosphere of Sevastopol, as well as the processes affecting their concentration.

Methods and Results. During the period from February to June, 2020, the scientists of Marine Hydrophysical Institute (MHI), RAS measured mass concentration of *PM*_{2.5} and *PM*₁₀ in Sevastopol using the “Atmas” dust analyzer. A total of 180 measurements of the micro-particle concentrations in the air of Sevastopol were done, and 60 values of the *PM*_{2.5} and *PM*₁₀ daily average concentrations were obtained. To analyze the preferred aerosol type for the dates with high content of suspended particles in the air, the *CALIPSO* satellite data were used. It is shown that the smoke recorded in the Sevastopol atmosphere on 19.02.2020 could lead to increase of the *PM*₁₀ particles concentration. A day before the increased concentrations of suspended particles were revealed in the Sevastopol atmospheric air, the *CALIPSO* satellite data on aerosol typing over the Black Sea had shown predominance of the smoke aerosol in the atmosphere over the region under study.

Conclusions. The results of the investigation show that in the atmosphere of Sevastopol, the cases when the *PM*_{2.5} and *PM*₁₀ particles contents exceeded the maximum permissible daily average concentration by up to 3.4 times were detected. It was found that the main cause of air pollution with micro-particles in Sevastopol was the transfer both of the air masses from the deserts in the African continent and Asia, and the burning biomass aerosol (smoke). Air pollution with the *PM*₁₀ particles caused by the local source, namely soil excavation in immediate proximity to the air sampling point, was less significant.

Keywords: atmosphere, micro-particles, *PM*₁₀, *PM*_{2.5}, MPC

Acknowledgements: the investigation was carried out within the framework of the state task on themes No. 0827-2020-0004 and No. 0827-2020-0002, and the RFBR projects No. 19-05-50023 Mikromir and No. 18-05-80028.

For citation: Varenik, A.V., Kalinskaya, D.V. and Myslina, M.A., 2021. Investigation of Airborne Particulate Matter in the Atmosphere of the Black Sea Coastal Zone Based on the Measured and Satellite Data. *Physical Oceanography*, [e-journal] 28(3), pp. 326-337. doi:10.22449/1573-160X-2021-3-326-337

Введение

Взвешенные частицы (англ. *particulate matter*, сокр. *PM*) являются распространенным загрязнителем атмосферы, концентрация которого в последнее время существенно возросла [1, 2]. Взвешенные атмосферные частицы – это смесь органических и неорганических веществ с широкой пространственно-временной вариативностью физических и химических характеристик [3]. К наиболее распространенным химическим компонентам *PM* относятся сульфаты, нитраты, аммиак, другие неорганические ионы (ионы натрия, калия, кальция, магния и хлорид-ионы), органический и элементарный углерод, минералы земной коры, связанная частицами вода, металлы и полициклические ароматические углеводороды. В составе *PM* встречаются также биологические компоненты, такие как аллергены и микроорганизмы. Микрочастицы могут

иметь природное (пылевой перенос, эрозия почвы) и антропогенное происхождение (сажа, пыль, микрофрагменты асфальта и резины, минеральных солей (сульфаты, нитраты), соединения тяжелых металлов) [4–8].

Работа двигателей внутреннего сгорания, сжигание различных видов топлива (уголь, бурый уголь, тяжелая нефть, биомасса) в котельных, строительство, многие виды производства (особенно производство цемента, керамики, кирпича, плавильное производство), перевалка сыпучих грузов (например, зерна) – основные источники поступления взвешенных частиц в городскую атмосферу [3]. Наиболее важной особенностью загрязнения атмосферы современных городов является почти полное доминирование в нем выбросов от автотранспорта и энергетических установок. При неблагоприятных метеорологических условиях (штиль, туман, задерживающие слои, высокая температура воздуха), способствующих накоплению вредных примесей, концентрации вредных веществ могут увеличиться в 2–3 раза [9, 10]. Изменчивость содержания взвешенных частиц в атмосферном воздухе также может иметь сезонный и суточный характер [11].

К показателям, которые чаще всего используются для характеристики *PM*, относятся массовые концентрации частиц диаметром менее 10 мкм (*PM10*) и менее 2,5 мкм (*PM2.5*) [1, 2]. Для сравнения: диаметр человеческого волоса составляет около 100 мкм.

К *PM2.5*, которые часто называют мелкодисперсными взвешенными частицами, также относятся ультрамелкодисперсные частицы диаметром менее 0,1 мкм. На большей части территории Европы *PM2.5* составляют 50–70 % от общего объема *PM10* [3]. *PM* диаметром от 0,1 до 1 мкм могут находиться в атмосферном воздухе в течение многих дней и недель и, соответственно, подвергаться трансграничному переносу на большие расстояния.

Количество микрочастиц (*PM2.5* и *PM10*) в атмосфере и их характеристики могут служить важным индикатором экологического состояния природной среды при воздействии на нее деятельности человека. Качество воздушной среды в городах в настоящее время является одной из острейших экологических проблем. В большинстве городов мира загрязнение воздуха достигает критических уровней. По оценкам ВОЗ, показатели качества воздуха в 20 крупнейших городах мира в несколько раз превышают установленные этой организацией нормативы. В Российской Федерации около половины населения страны живет в городах, в которых превышены нормы загрязненности атмосферного воздуха [12].

В мае 2008 г. была принята Директива 2008/50/ЕС «О качестве атмосферного воздуха и о более чистом воздухе для Европы»¹, в которой приведены значения предельных уровней (концентраций) загрязняющих веществ, в том числе *PM10*, *PM2.5*, с целью предотвращения или сокращения негативного воздействия на здоровье человека и (или) на состояние окружающей среды в целом.

Массовая концентрация *PM2.5* является ключевым параметром для оценки качества воздуха и последствий его загрязнения для здоровья человека.

¹ Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe // Official Journal of the European Union. 11.6.2008. L 152/1. Vol. 51. P. 1–44. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> (дата обращения: 10.05.2021).

Согласно нормам ВОЗ², среднегодовой уровень *PM2.5* должен составлять не более 0,01 мг/м³, а среднесуточный уровень – не более 0,025 мг/м³. Содержание *PM10* в атмосфере городов не должно превышать: среднегодовое – 0,025 мг/м³, а среднесуточное – 0,050 мг/м³.

В России в 2021 г. приняты более мягкие нормативные значения по сравнению с Директивой ЕС: годовая ПДК *PM10* равна 0,040, *PM2.5* – 0,025 мг/м³; среднесуточная – соответственно 0,060 мг/м³ и 0,035 мг/м³ (СанПиН 1.2.3685-21). Согласно нормативному документу³, нормируются и разовые концентрации. Максимальные разовые концентрации частиц составляют 0,300 мг/м³ (*PM10*) и 0,160 мг/м³ (*PM2.5*).

При этом регулярный мониторинг запыленности воздуха ведется только в крупных городах и на территории заповедников [13]. Относительно точная оценка *PM10* возможна только в трех крупных городах – Москве, Санкт-Петербурге и Красноярске, где ведется постоянный мониторинг этих частиц в атмосферном воздухе городскими и краевыми экологическими организациями [2]. По сравнению с другими странами, в России сеть наблюдения недостаточно развита и информативна⁴.

В 2016 г. ВОЗ опубликовала доклад о содержании *PM10* и *PM2.5* в атмосферном воздухе 2975 городов мира⁵. В этом докладе указано, что качество атмосферного воздуха в определенной степени зависит от социально-экономического состояния страны. Концентрации взвешенных частиц выше в городах азиатских стран (Индия, Пакистан, Афганистан, Китай, Монголия) и Восточного Средиземноморья. Однако в докладе не учитывались такие существенные факторы, как близость городов к аридным территориям и транспортная нагрузка. Засухи и интенсивная эксплуатация пастбищ приводят к сокращению растительного покрова на значительных площадях аридных зон Азии и Африки и выносу с них пылевых частиц [2]. В результате песчаных и пылевых бурь пыль может подниматься высоко в атмосферу и разноситься на большие расстояния, часто перемещаясь через океаны [14–17]. Ежегодно такие бури переносят в океаны в среднем полмиллиарда тонн минералов и биогенных веществ, которые, поступая из атмосферы, могут оказывать влияние на первичную продукцию океана, включая и прибрежные его районы. Этот процесс запускает в океанах биогеохимические циклы, включая круговорот углерода, азота, серы, фосфора и кремния⁶.

² URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/data-and-maps/figures/air-quality-standards-under-the> (дата обращения: 10.05.2021).

³ Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 12.05.2021)

⁴ URL: <http://aqicn.org/city/beijing/> (дата обращения: 12.05.2021).

⁵ URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf (дата обращения: 12.05.2021).

⁶ Impacts of Sand and Dust Storms on Oceans: A Scientific Environmental Assessment for Policy Makers : report / UNEP. Nairobi, Kenya : United Nations Environment Programme, 2020. URL: <https://www.unep.org/resources/report/impacts-sand-and-dust-storms-oceans> (date of access: 13.05.2021).

Севастополь – город, расположенный на берегу Черного моря. На 1 января 2020 г., по данным Управления Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю (Крымстат), население города составляло около 500 тыс. человек; на середину марта 2020 г., по данным Правительства Севастополя, – более 700 тыс. Деятельность предприятий, базирование Черноморского флота, а также работа различных видов транспорта (наземного, водного и воздушного) оказывают существенное влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха города.

В Севастополе работы по измерению гранулометрического состава атмосферы проводились сотрудниками Севастопольского отделения ГОИН в 2015–2016 гг. Как следует из опубликованных данных, наиболее высокие значения концентрации взвешенных частиц размерной группы *PM2.5* в атмосферном воздухе наблюдались при ветрах восточных румбов, что свидетельствует о терригенном источнике их поступления. Превышение среднесуточных значений ПДК *PM10* и *PM2.5* наблюдалось вблизи автодороги [18, 19].

Цель данной работы – изучить содержание взвешенных частиц *PM2.5* и *PM10* в атмосфере г. Севастополя, а также процессы, влияющие на их концентрацию.

Методы и материалы

В период с середины февраля по конец июня 2020 г. массовая концентрация частиц *PM2.5* и *PM10* измерялась с помощью пылемера «Атмас» (производство Россия).

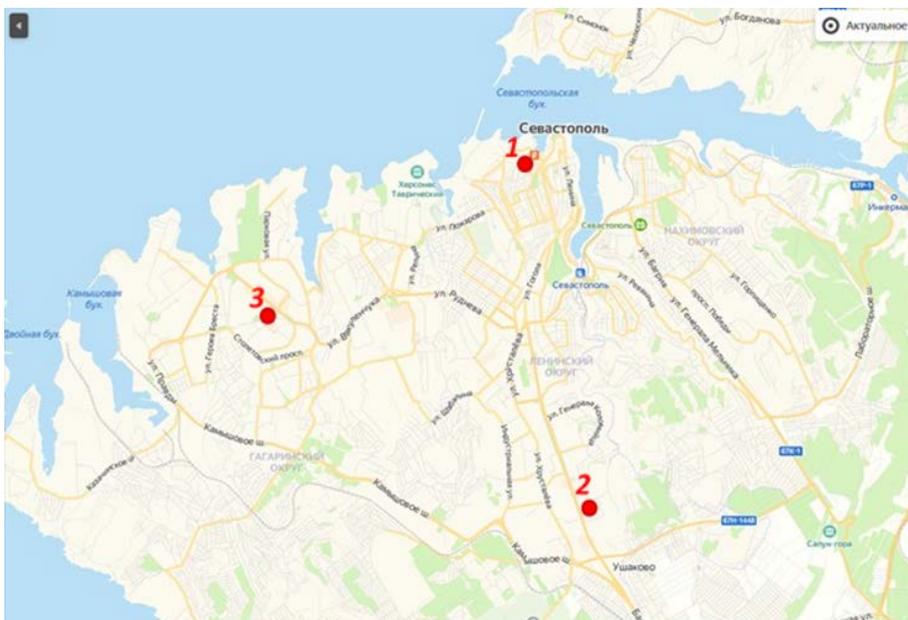
Принцип работы пылемера основан на заряде частиц пыли в поле коронного разряда, создаваемого высоковольтным электродом, и последующем их осаждении на поверхности датчика пыли, в качестве которого используется кварцевый пьезоэлемент. Пылемер измеряет непосредственно массовую концентрацию. Анализатор позволяет проводить измерения в различном режиме (например, экспресс-измерения (30 с)) или выбрать время экспозиции. Диапазон измерения массовой концентрации пыли составляет 0,1–150 мг/м³. Предел допускаемой погрешности в диапазоне концентраций от 0,1 до 20 мг/м³ равен ±20 %. При концентрации пыли в воздухе более 20 мг/м³ необходимо использовать специальный патрон-разбавитель, при этом погрешность составляет ±25 % (URL: <https://ntm.ru/products/150/8342>).

Концентрации микрочастиц в атмосферном воздухе г. Севастополя измерялись три раза в день, продолжительность экспозиции и период осреднения концентраций *PM2.5* и *PM10* составляли 20 мин. Каждые 5 секунд происходила регистрация единичных значений концентрации микрочастиц.

Основная точка отбора проб воздуха находилась в Морском гидрофизическом институте (МГИ) в г. Севастополе (рис. 1) на высоте 40 м над уровнем подстилающей поверхности. С двух сторон МГИ окружает Севастопольская бухта. Благодаря этому можно использовать данную точку в качестве реперной для выявления случаев поступления микрочастиц в атмосферу как от локального источника, так и от удаленного в результате их трансграничного переноса.

Измерения проводились также в двух других точках города – в районе проспекта Ген. Острякова, а также проспекта Октябрьской революции (рис. 1). Обе эти улицы характеризуются значительным автомобильным трафиком, однако в период действия карантинных мер движение автомобилей было не

столь интенсивным, что позволило избежать дополнительного загрязнения атмосферного воздуха. Высота точки отбора проб воздуха на проспекте Октябрьской революции составляла 35 м над подстилающей поверхностью, что соответствовало высоте точки отбора проб в МГИ. Пробы атмосферного воздуха в точке на проспекте Острякова отбирались на высоте 10 м.



Р и с. 1. Схема точек отбора проб атмосферного воздуха: 1 – на крыше Морского гидрофизического института; 2 – на просп. Ген. Острякова; 3 – на просп. Октябрьской Революции

Fig. 1. Scheme of atmospheric air sampling points: 1 – at the roof of Marine Hydrophysical Institute, 2 – in Ostryakova Avenue, 3 – in Oktyabrskoy Revolyutsii Avenue

Для более полной интерпретации полученных данных целесообразно использовать информацию, поступающую от таких оптических инструментов, как *MODIS*, *CALIPSO* и др. [20]. В нашей работе для анализа преимущественного типа аэрозоля в дни с повышенным содержанием взвешенных частиц в воздухе были проанализированы спутниковые данные *CALIPSO*. Основной целью *CALIPSO* является проведение глобальных измерений аэрозолей и облаков. Такие измерения необходимы, чтобы лучше понимать степень влияния аэрозолей и облаков на климатическую систему, а также улучшить возможность предсказания долгосрочных, сезонных и межгодовых изменений климата. *CALIPSO* работает в паре с американской системой *CloudSat* (*Cloud Satellite*), представляющей собой направленный в надир радар (94 ГГц), который измеряет обратно рассеянную от облаков энергию в виде функции расстояния. В *CALIPSO* тип аэрозолей определяется на основе идентификации методом кластерного анализа *AERONET*: дым (сгоревшая биомасса), пыль, загрязненная пыль (смеси пыли и дыма), загрязненный континентальный и чистый континентальный аэрозоль [21, 22].

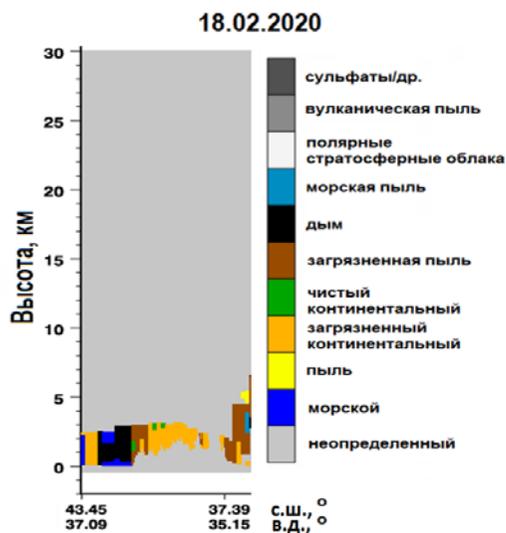
Результаты и обсуждение

Всего было проведено 180 измерений концентрации микрочастиц в воздухе г. Севастополя, получено 60 значений среднесуточной концентрации $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Средние за исследуемый период концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе в точках отбора проб представлены в таблице.

Средняя концентрация частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе г. Севастополя Average concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the atmospheric air of Sevastopol

Место отбора проб воздуха / Point of air sampling	$PM_{2.5}$, мг/м ³ / $PM_{2.5}$, mg/m ³	PM_{10} , мг/м ³ / PM_{10} , mg/m ³
МГИ / МНИ	0,016	0,024
Проспект Октябрьской революции / Oktyabrskoy Revolyutsii Avenue	0,016	0,024
Проспект Ген. Острякова / Ostryakova Avenue	0,016	0,030

За время проведения измерений максимальная разовая концентрация частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ (концентрация, полученная при отборе проб в течение 20 мин) не превышала установленных значений ПДК. При этом среднесуточная концентрация частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ лишь в единичных случаях превышала предельно допустимую концентрацию. Например, 19.02.2020 г. концентрация частиц PM_{10} составила 0,104 мг/м³, 26.03.2020 – 0,202 мг/м³, что в 1,7 и 3,4 раза соответственно превышает ПДК_{с.с.}



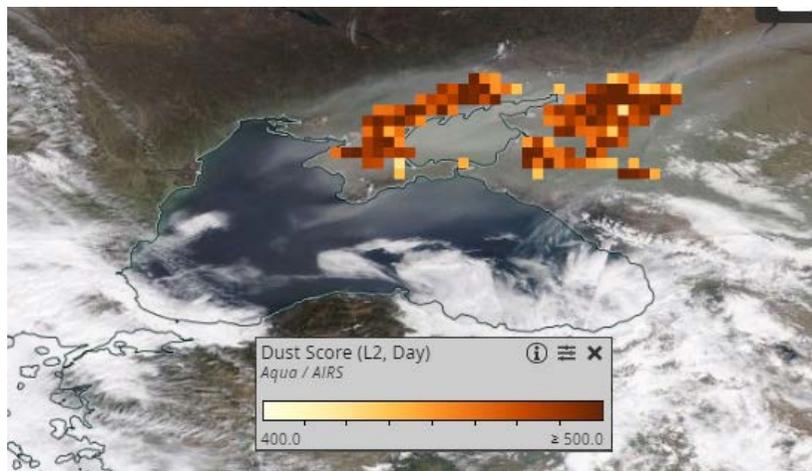
Р и с. 2. Типизация аэрозоля над Черным морем по спутниковым данным CALIPSO за 18.02.2020 г.

Fig. 2. CALIPSO satellite data on the aerosol typing over the Black Sea for February 18, 2020

При анализе спутниковых данных CALIPSO за 2020 г., полученных в дни с повышенными концентрациями взвешенных частиц, выявлено, что 19.02.2020 г. в атмосфере Севастополя зафиксирован дым, который и мог привести к повышению концентрации частиц PM_{10} . Спутниковые данные CALIPSO о типах аэрозоля над Черным морем за сутки до выявления повышенных концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе г. Севастополя показали преобладание дыма в атмосфере над исследуемым регионом (рис. 2).

По данным приложения *Ventusky* (URL: <https://www.ventusky.com>), интенсивный источник переноса частиц PM_{10} за 19.02.2020 г. находился в Азербайджане (район Каспийского моря), что подтверждается обратными траекториями по данным *AERONET* (перенос на трех высотах с востока). Спутниковые данные *MODIS* о термоаномалиях в причерноморской области не выявили интенсивного источника дыма. Таким образом, подтверждается перенос этого типа аэрозоля с территорий, более удаленных от исследуемого региона.

При анализе данных о траекториях воздушных масс за 26.03.2020 г. был выявлен интенсивный перенос пылевого аэрозоля со стороны Капланкырского заповедника (Туркменистан) (рис. 3).



Р и с. 3. Перенос пылевого аэрозоля над Черноморским регионом по спутниковым данным *MODIS*

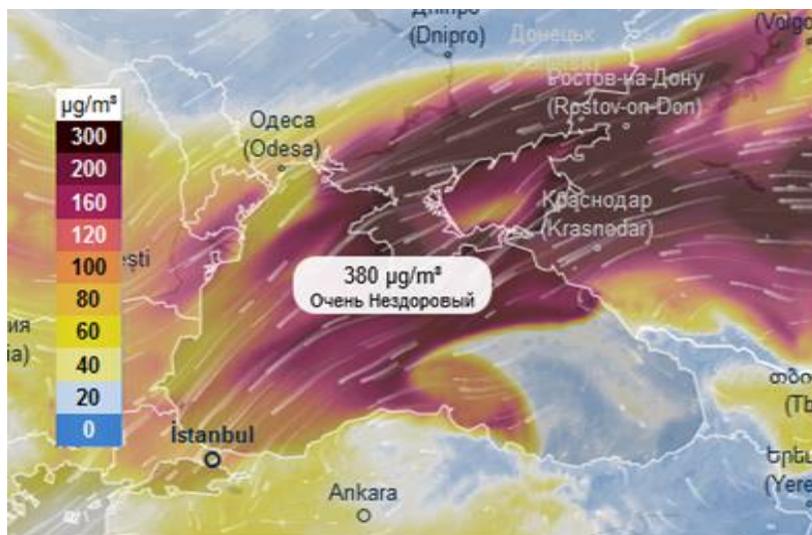
F i g. 3. Dust aerosol transport over the Black Sea region according to the *MODIS* satellite data

Концентрации частиц PM_{10} также были проанализированы по данным приложения *Ventusky*. Основными поставщиками метеорологических данных для приложения *Ventusky* являются *DWD* и *NOAA*. Как видно из рис. 4, 26.03.2020 г. в атмосферном воздухе Севастополя была зафиксирована аномально высокая концентрация частиц PM_{10} , которые были перенесены посредством приземного ветра восточного направления.

Этот перенос, по всей видимости, и стал причиной насыщения атмосферного воздуха г. Севастополя пылевыми частицами размером 10 мкм.

В некоторых случаях в результате измерения было получено, что среднесуточная концентрация микрочастиц превышала ПДК_{с.с.} не столь существенно – концентрация $PM_{2.5}$ достигала 0,048 мг/м³, а PM_{10} – 0,094 мг/м³ (что выше значений ПДК в 1,5 и 1,6 раза соответственно).

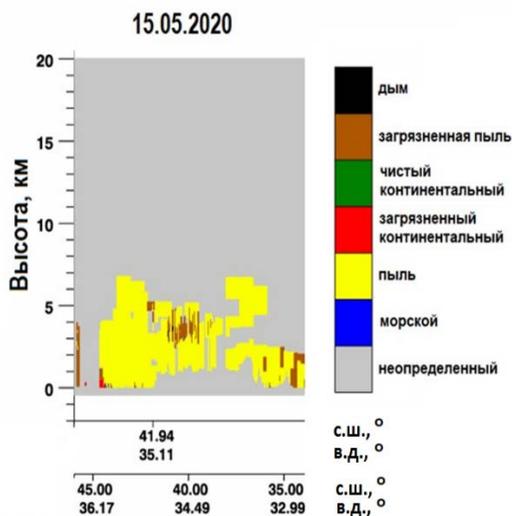
Аттестованный нижний предел измерения используемого прибора для данных частиц составляет 0,1 мг/м³, однако в свидетельстве о поверке данных приборов указано, что поверка проводилась в полном диапазоне с применением государственного рабочего эталона массовой концентрации частиц в диапазоне значений от 0,01 до 10000 мг/м³. Исходя из этого, полученные значения концентраций могут служить в качестве индикационной характеристики загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами.



Р и с. 4. Перенос пылевого аэрозоля над Черноморским регионом по данным приложения *Ventusky* за 26.03.2020 г.

Fig. 4. Dust aerosol transport over the Black Sea region according to the *Ventusky* data for March 26, 2020

Эти данные показывают, что при определенном характере изменчивости метеорологических параметров складываются благоприятные условия для повышения концентрации исследуемых частиц атмосферного аэрозоля. Почти все случаи увеличения концентраций частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} были выявлены при ветре со скоростью 4–7 м/с.



Р и с. 5. Типизация аэрозоля над Черным морем по спутниковым данным *CALIPSO* за 15.05.2020 г.
Fig. 5. *CALIPSO* satellite data on the aerosol typing over the Black Sea for May 15, 2020

Для определения источников атмосферного аэрозоля были проанализированы обратные траектории переноса воздушных масс по данным двух моделей *AERONET* и *HYSPLIT*. Было выявлено, что даты, когда регистрировались повышенные концентрации взвешенных частиц в воздухе, совпадают с периодами выносов пылевого аэрозоля со стороны пустынь Африканского континента и Азии в направлении Черноморского региона. Так, например, 15.05.2020 г. (рис. 5), 28.05.2020 г. и с 04.06 по 05.06 2020 г. был определен пылевой перенос, при этом среднесуточные концентрации $PM_{2.5}$ составляли 0,037–0,048 мг/м³, PM_{10} – 0,069–0,094 мг/м³.

Повышенные концентрации частиц PM_{10} также отмечались 27.02.2020 г., среднесуточная концентрация составила $0,075 \text{ мг/м}^3$, что превышает ПДК_{с.с.} в 1,25 раза. Преимущественным направлением ветра в этот день было юго-западное со скоростью 5 м/с. Направление ветра указывает на возможный источник пыли – строительные работы рядом с МГИ, связанные с извлечением грунта (рис. 6), что и могло привести к повышению уровня содержания взвешенных частиц PM_{10} в атмосферном воздухе.



Р и с. 6. Строительная площадка рядом с МГИ
F i g. 6. Construction site near Marine Hydrophysical Institute

Согласно анализу обратных траекторий переноса воздушных масс, в этот и несколько предшествующих дней ни со стороны пустыни Сахары, ни со стороны Азии выносов пыли зафиксировано не было. Таким образом подтверждается локальное происхождение источника загрязнения атмосферного воздуха в точке отбора проб.

В предшествующие и последующие дни ветер при отборе проб был преимущественно западного или восточного направления, скорость ветра составляла 2–3 м/с. В результате микрочастицы, попадающие в атмосферный воздух со строительной площадки, не достигали точки отбора проб. Концентрации PM_{10} в эти дни составляли в среднем $0,01–0,03 \text{ мг/м}^3$. Можно сделать вывод, что влияние локального источника загрязнения атмосферного воздуха в значительной степени зависит от местных метеоусловий, а именно от направления ветра.

Стоит отметить, что в случае выпадения атмосферных осадков в дни с высокими концентрациями взвешенных частиц в воздухе, в этих осадках определялось повышенное содержание биогенных элементов (неорганического азота, фосфатов и кремния). Значительное превышение фоновых концентраций таких биогенных элементов наблюдалось и в поверхностном слое вод Севастопольской бухты. Подобная ситуация при определенных условиях (например, в случае устойчивой летней стратификации) может приводить к вспышкам цветения фитопланктона и возможному снижению содержания кислорода в морской воде.

Выводы

На протяжении февраля – июня 2020 г. анализировалось содержание взвешенных частиц (*PM2.5* и *PM10*) в атмосферном воздухе г. Севастополя. Были выявлены особенности изменчивости загрязнения воздуха частицами *PM10* и *PM2.5*, обусловленные как дальним переносом воздушных масс, так и местными метеоусловиями.

В результате были определены даты, в которые массовая концентрация *PM10* превышала ПДК_{с.с.} более чем в три раза. В ходе комплексного анализа полученных данных выявлено, что большинство случаев превышения ПДК обусловлено дальним переносом воздушных масс со стороны пустынь Африканского континента и Азии, а также переносом дыма.

В то же время были выявлены случаи менее значительной концентрации *PM10* и *PM2.5*, причиной которых были местные источники запыленности атмосферы. Направление ветра в эти дни указывает на возможный источник пыли – земляные работы в непосредственной близости от МГИ. При смене направления ветра на западное или восточное концентрации микрочастиц в атмосферном воздухе в районе отбора проб снижались. Сделано предположение о том, что интенсивность и продолжительность влияния локального источника загрязнения атмосферного воздуха в значительной степени определяется метеоусловиями в точке отбора проб, в основном скоростью и направлением ветра.

Результаты исследования являются предварительными, и работу в данном направлении планируется продолжать в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макоско А. А., Матешева А. В.* Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы. М. : Российская академия наук, 2020. 258 с.
2. *Ревич Б. А.* Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. 29, № 3. С. 53–78. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2018-3-53-78>
3. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека / С. З. Калаева [и др.] // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 40–63.
4. *Лисицын А. П.* Процессы океанской седиментации: Литология и геохимия. М. : Наука, 1978. 392 с.
5. Гранулометрический анализ взвешенных микрочастиц в атмосферных осадках г. Хабаровск / К. С. Голохваст [и др.] // Вода: химия и экология. 2012. № 6. С. 117–122.
6. *Симонова И. Н., Антониук М. В.* Роль техногенного загрязнения воздушной среды в развитии бронхолегочной патологии // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. № 1(59). С. 14–20. URL: <https://yadi.sk/i/KGO65DKmciVGN> (дата обращения: 08.05.2021).
7. Traffic and nucleation events as main sources of ultrafine particles in high-insolation developed world cities / M. Brines [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics. 2015. Vol. 15, iss. 10. P. 5929–5945. <https://doi.org/10.5194/acp-15-5929-2015>
8. *Vu T. V., Delgado-Saborit J. M., Harrison R. M.* Review: Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies // Atmospheric Environment. 2015. Vol. 122. P. 114–132. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.027>
9. *Гаргер Е. К.* К оценке скорости и направления переноса примеси в пограничном слое атмосферы // Труды Института экспериментальной метеорологии. 1986. Вып. 37 (120). С. 55–65.

10. Wang W. Progress in the impact of polluted meteorological conditions on the incidence of asthma // *Journal of Thoracic Disease*. 2016. Vol. 8, no. 1. E57–E61. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2015.12.64
11. Сезонная и суточная изменчивость концентраций взвешенных частиц в приземном воздухе жилых районов Москвы / И. Н. Кузнецова [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27, № 6. С. 473–482.
12. *Мальшиев В. П.* Основные угрозы и опасности для жителей крупных городов // *Проблемы анализа риска*. 2006. Т. 3, № 4. С. 338–345.
13. Data on microscale atmospheric pollution of Bolshoy Kamen town (Primorsky region, Russia) / A. Kholodov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 90. 012023. doi:10.1088/1755-1315/90/1/012023
14. Свойства и происхождение мелкомасштабных частиц в атмосфере Центральной Азии / В. В. Адушкин [и др.] // *Доклады Академии наук*. 2016. Т. 466, № 5. С. 592–597. doi:10.7868/S0869565216050169
15. *Griffin D. W., Kellogg C. A.* Dust Storms and Their Impact on Ocean and Human Health: Dust in Earth's Atmosphere // *EcoHealth*. 2004. Vol. 1, iss. 3. P. 284–295. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0120-8>
16. PM₁₀ and PM_{2.5} composition over the Central Black Sea: origin and seasonal variability / М. Коçак [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22, iss. 22. P. 18076–18092. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4928-2>
17. *Middleton N., Kang U.* Sand and Dust Storms: Impact Mitigation // *Sustainability*. 2017. Vol. 9, iss. 6. 1053. <https://doi.org/10.3390/su9061053>
18. Особенности поступления биогенных и загрязняющих веществ и радионуклидов с атмосферными осадками и аэрозолями в районе г. Севастополя и крымского побережья / А. В. Вареник [и др.] // *Труды государственного океанографического института*. 2016. Вып. 217. С. 209–221.
19. Использование малоуглового измерителя дисперсности в автоматизированных системах непрерывного мониторинга гранулометрического состава аэрозолей / Н. Н. Дьяков [и др.] // *Системы контроля окружающей среды*. 2017. Вып. 7. С. 24–30.
20. *Суетин В. С., Королев С. Н., Кучерявый А. А.* Проявление эффектов солнечного блика при определении оптических параметров воды в Черном море по спутниковым измерениям // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 3. P. 52–62. doi:10.22449/0233-7584-2016-3-52-62
21. Comparison of CALIOP level 2 aerosol subtypes to aerosol types derived from AERONET inversion data / Т. Mielonen [et al.] // *Geophysical Research Letters*. 2009. Vol. 36, iss. 18. L18804. <https://doi.org/10.1029/2009GL039609>
22. Fully automated detection of cloud and aerosol layers in the CALIPSO lidar measurements / М. А. Vaughan [et al.] // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2009. Vol. 26, iss. 10. P. 2034–2050. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHNA1228.1>

Об авторах:

Вареник Алла Валерьевна, старший научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, ФГБУН МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **SPIN-код: 3277-7914, ORCID ID: 0000-0001-5033-4576, ResearcherID: H-1880-2014**, alla.varenik@mhi-ras.ru

Калинская Дарья Владимировна, младший научный сотрудник, отдел оптики и биофизики моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **Scopus Author ID: 56380591500**, kalinskaya@mhi-ras.ru

Мыслина Мария Андреевна – младший научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), 569455@mail.ru