

ОПТИКА КЛАСТЕРОВ, АЭРОЗОЛЕЙ И ГИДРОЗОЛЕЙ

УДК 504.3.054

Влияние атмосферного переноса взвешенных частиц PM_{10} на оптические характеристики поверхностного слоя Черного моря

Д.В. Калининская, О.Б. Кудинов*

Морской гидрофизический институт РАН
299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Поступила в редакцию 21.12.2020 г.

Проведен анализ события осеннего переноса частиц PM_{10} с востока в акваторию и прибрежные районы Черного моря, а также значений оптических характеристик взвешенных частиц по натурным и спутниковым данным. Показана взаимосвязь между изменчивостью оптических характеристик частиц PM_{10} и увеличением интенсивности флюоресценции растворенного органического вещества в поверхностном слое моря, изменения которой были проведены у северо-восточного побережья Черного моря с борта НИС «Профессор Водяницкий».

Ключевые слова: атмосфера, аэрозоль, микрочастицы, концентрация, MODIS, AERONET, HYSPLIT, CALIPSO, $PM_{2,5}$, PM_{10} , ПДК; *atmosphere, aerosol, microparticles, concentration, MODIS, AERONET, HYSPLIT, CALIPSO, $PM_{2,5}$, PM_{10} , MPC.*

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха является важной эколого-климатической проблемой для большинства регионов. Показатели загрязнения воздушной среды определяются интенсивностью и длительностью выбросов промышленных предприятий, транспортной инфраструктуры, а также индивидуальными метеорологическими условиями, уникальными для каждого региона, которые тоже обладают значительной временной изменчивостью. Помимо этого, длительное нахождение микрочастиц в атмосфере может способствовать их переносу воздушными потоками на значительные расстояния, а также увеличению гигроскопичности частиц и осаждению на их поверхность различных веществ, также находящихся в атмосфере.

Одним из основных показателей качества атмосферного воздуха является содержание в нем взвешенных частиц. Взвешенные частицы (PM – particulate matter) относятся к загрязнителям атмосферы, которые чаще всего анализируют по массовым концентрациям частиц. Особое внимание необходимо уделять концентрации переносимых в воздухе веществ с диаметрами частиц меньше 2,5 ($PM_{2,5}$) и 10 мкм (PM_{10}) [1–3].

Взвешенные атмосферные частицы – это смесь, физические и химические характеристики которой меняются в зависимости от источника их происхождения и различных метеорологических факторов,

влияющих на перемещение и взаимодействие частиц друг с другом. В $PM_{2,5}$, которые часто называют мелкодисперсными взвешенными частицами, также входят ультрамелкодисперсные частицы диаметром менее 0,1 мкм. На большей части территории Европы $PM_{2,5}$ составляют 50–70% PM_{10} [3].

В конце сентября, по данным приложения Ventusky (<https://www.ventusky.com>), основными поставщиками метеорологических данных для которого являются DWD (Deutscher Wetterdienst) и NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), над акваторией Азовского моря и Керченским проливом было обнаружено аномальное как по масштабам, так и по концентрации облако частиц PM_{10} , источник зарождения которого находился на границе Узбекистана и Казахстана.

Известно, что поверхностный слой, будь то почва, снег или вода, часто подвержен вторичным загрязнениям, особенно если в нем уже содержится пыль или песок [4–7]. В настоящей работе исследуется перенос со стороны Азии, а как известно, на протяжении многих лет в Китае и Казахстане проводились испытания ядерного оружия. Морская вода аккумулирует большую часть попавших во внешнюю среду веществ независимо от природы их источника. Значительная доля веществ, включая радионуклиды, находится в водорастворимых формах и поэтому быстро вовлекается в гидрологические и гидрохимические процессы, происходящие в океане или море [8]. Поверхностный слой почвы, в том числе и на значительных расстояниях от полигонов, содержит повышенные концентрации долгоживущих техногенных радионуклидов [9]. За десятилетия пыль неоднократно может переноситься на значительные

* Дарья Владимировна Калининская (kalinskaya_d_v@mail.ru); Олег Борисович Кудинов (kudinov_ob@mhi-gas.ru).

расстояния от мест первоначального загрязнения, поэтому необходимо учитывать различные типы загрязняющих веществ, которые могли переместиться с пылевым аэрозолем в исследуемый регион. Отдельные компоненты морской среды (планктон, донные отложения) обладают высокой аккумулярующей способностью по отношению к попавшим во внешнюю среду и осаждаемым на поверхностный слой веществам (в частности, радионуклидам), что может приводить к резким локальным повышениям уровня радиоактивности, изменению оптических свойств и прозрачности морской воды [10–14].

Цели настоящей работы состоят в следующем: 1) исследовать пространственно-временные характеристики взвешенных частиц PM_{10} в атмосфере по ходу перемещения облака в северо-западном направлении с 25 сентября по 1 октября, а также процессы, влияющие на их концентрацию; 2) оценить влияние осаднения частиц PM_{10} на гидрооптические характеристики поверхностного слоя вод северо-восточной части Черного моря и Керченского пролива по результатам измерений флюоресценции спектрофлуориметром в 114 рейсе НИС «Профессор Водяницкий».

Приборы, методы и материалы

Загрязнение атмосферы взвешенными частицами PM в приложении Ventusky рассчитывается по модели SILAM (System for Integrated modeling of Atmospheric composition). Компьютерный пакет программ SILAM [15] широко используется для исследования влияния лесных пожаров, извержений вулканов, пылевых переносов, а также иных природных и техногенных катастроф на загрязнение атмосферы. Расчетная схема основана на модели Лагранжа–Эйлера [16]. Система компьютерного моделирования распространения атмосферных примесей SILAM, разработанная Финским метеорологическим институтом, представляет собой современный мощный инструмент моделирования распространения в атмосфере аэрозолей, газовых примесей, пыли, радионуклидов и природных аллергенов. Дисперсность аэрозольных частиц может варьироваться в широких диапазонах. Система SILAM позволяет моделировать распространение значительного количества химических веществ и их смесей с различными типами взаимодействий между ними.

Исследования воздействия поглощающего аэрозоля на оптические характеристики атмосферы и поверхностного слоя Черного моря были начаты в начале 2000-х гг. [17] и до сих пор остаются актуальными. Благодаря появлению новых приборов и спутниковой информации в более высоком разрешении можно точнее описать события и явления, происходящие в атмосфере над исследуемым регионом. Различные научные задачи могут быть решены с помощью информации, получаемой такими оптическими инструментами, как MODIS, CALIPSO и т.п. [18, 19].

Событие переноса пылевого аэрозоля было проанализировано по спутниковым данным MODIS

Aqua, а именно по значениям параметра ADS (AIRS Dust Score), вычисленным на основе результатов зондирования атмосферы в инфракрасном и микроволновом диапазонах. Атмосферный инфракрасный зонд (AIRS) – это прибор на борту второй полярно-орбитальной платформы системы наблюдения за Землей EOS Aqua. В сочетании с усовершенствованным устройством микроволнового зондирования (AMSU) AIRS представляет собой инновационную группу датчиков видимого, инфракрасного и микроволнового диапазона для зондирования атмосферы. На платформе EOSDIS представлены спутниковые изображения по слоям. Слой спутникового изображения, полученный с учетом параметра ADS, достоверно показывает наличие аэрозолей в атмосфере Земли над океаном. Для оценки концентрации пылевого аэрозоля в атмосфере были проанализированы различия между несколькими парами спутниковых оптических каналов. Более высокие значения параметра ADS указывают на большую вероятность присутствия пылевого аэрозоля в атмосфере. Если ADS выше 380, то вероятность наличия в атмосфере пылевого аэрозоля близка к 100%. По данным MODIS, высокие значения этого параметра также могут указывать на присутствие вулканического пепла, однако наличие этого типа аэрозоля зачастую носит региональный характер. На снимках MODIS цветные точки отображают присутствие взвешенных частиц в атмосфере и указывают на то, где могут образоваться крупные пылевые бури, пожары или иные события, способствующие возникновению крупных частиц, и какие районы могут быть ими затронуты.

В настоящей работе для определения преимущественного типа аэрозоля в исследуемые дни были проанализированы спутниковые данные CALIPSO. Этот спутник работает в паре с американской системой CLOUDSAT (Cloud Satellite), представляющей собой направленный в надира радар (94 ГГц), который измеряет обратнорассеянную от облаков энергию в виде функции расстояния. Несмотря на то, что лидарные измерения обратного рассеяния не зависят от поверхностных эффектов, чтобы рассчитать ослабление по лидарным сигналам обратного рассеяния, необходимо знать отношение аэрозольного ослабления к обратному рассеянию, называемое лидарным отношением S_a . В зависимости от значения S_a на разных длинах волн (532 и 1064 нм) аэрозоль разделяют на следующие типы: пыль (в основном пыль пустынь), загрязненный континентальный аэрозоль, загрязненная пыль (комбинация пыли пустынь и дыма от лесных пожаров), дым (выбросы от лесных пожаров), чистый континентальный аэрозоль (так называемый фоновый аэрозоль), чистый морской аэрозоль [17–20].

Значения аэрозольной оптической толщины на длине волны $\lambda = 500$ нм ($\tau(500)$), а также вклад мелкодисперсной (субмикронной) (τ_f) и грубодисперсной (τ_c) фракций аэрозоля были получены по измерениям фотометром SPM [21–23]. Известно, что $\tau(\lambda) \approx \tau_f + \tau_c$ и вклад мелкодисперсной (субмикронной) фракции аэрозоля в общее значение $\tau(\lambda)$

на длинах волн более 1 мкм практически исчезает, т.е. можно оценивать только вклад грубодисперсного аэрозоля. По значениям $\tau(\lambda)$ в канале 2134 нм фотометра SPM в настоящей работе был произведен расчет вклада грубодисперсной фракции в общее значение $\tau(500)$ за исследуемый период [22, 23].

Взаимосвязь между событиями переноса взвешенных частиц PM_{10} и изменчивостью свойств морской воды может быть определена по оценке изменчивости концентрации и флюоресценции фитопланктона или различных пигментов в поверхностном слое моря. В отделе оптики и биофизики моря МГИ РАН разработан спектральный флюориметр (спекрофлюориметр), который позволяет одновременно измерять флюоресценцию различных пигментов фитопланктона, растворенного органического вещества и рассеяние света в морской воде в спектральном диапазоне, охватывающем область от ближнего ультрафиолета до красной границы видимого спектра, в одном и том же экспериментальном приборном объеме. Спектрофлюориметр работает по классической схеме регистрации флюоресценции под углом 90° . Источником возбуждающего излучения флюоресценции фитопланктона является четырехцветный светодиод (RGBA LED) со спектральными интервалами (450–460, 525–535, 585–595 и 620–630 нм), которые соответствуют локальным максимумам спектров возбуждения четырех групп микроводорослей. Для исследования флюоресценции растворенного органического вещества (РОВ) используется UV LED (рабочая длина волны 365 нм), расположенный перпендикулярно к RGBA LED. Светодиоды установлены в фокусе объективов, которые преобразуют излучение в параллельный пучок и направляют его в исследуемый объем. Излучение экспериментального объема проходит через объектив, направляющий его на фотокатод высокочувствительного фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Перед окном ФЭУ размещен диск со сменными цветными светофильтрами. Регистрация флюоресценции и рассеяния происходит в спектральных каналах 360, 460, 530, 570, 625 и 685 нм.

Для определения источника взвешенных частиц были проанализированы обратные траектории по модели HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model) (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). Данные HYSPLIT также используются в различных моделях, описывающих атмосферный перенос, диспергирование и осаждение загрязняющих веществ и опасных материалов.

Результаты и обсуждение

По данным Ventusky, с 25 сентября по 1 октября 2020 г. была зафиксирована аномально высокая концентрация частиц PM_{10} . За двое суток (29–30 сентября) концентрации PM_{10} на территории Узбекистана, Казахстана и Туркмении превысили 500 мкг/м^3 , а в юго-восточной части России – 330 мкг/м^3 (рис. 1, а, б, цв. вкладка). Жители Ростовской обл. вследствие аномального переноса

воздушных масс в этот регион 29 и 30 сентября отмечали резкое ухудшение видимости и изменение цвета горизонта (рис. 1, в).

Согласно спутниковым данным MODIS (рис. 2, а, цв. вкладка) и данным приложения Ventusky (рис. 2, б) за 29 сентября, облако взвешенных частиц PM_{10} находилось на территории, через которую проходят траектории переноса воздушных масс в приземном слое атмосферы (до 1 км) по данным модели HYSPLIT (рис. 2, в).

Были проанализированы спутниковые данные MODIS и CALIPSO с 25 сентября по 1 октября 2020 г. для определения масштабов переноса и типизации взвешенных частиц PM_{10} . По данным типизации аэрозольных частиц CALIPSO, в районе Ростовской и Донецкой обл. находился загрязненный пылевой аэрозоль.

Согласно метеорологическим данным [<https://gr5.ru>] за 30 сентября 2020 г., в Ростовской и Донецкой обл. наблюдалась дымка, затем умеренная пылевая буря с последующими осадками над исследуемыми областями. В различных информационных источниках было много фотоматериалов о содержании аномальной взвеси кирпичного цвета в каплях выпавшего дождя. Известно, что на поверхности взвешенных частиц PM конденсируется влага, что приводит к их осаждению на подстилающую поверхность. Это означает, что PM могут влиять на оптические характеристики подстилающей поверхности в области их потенциального осаждения. Анализ данных приложения Ventusky за 30 сентября (рис. 2, б) показал наличие облака частиц PM_{10} в северо-западной части Черного моря, что затрагивает и акваторию Керченского пролива, в котором проводились измерения оптических характеристик морских вод и атмосферы с борта НИС «Профессор Водяницкий».

По данным измерений фотометром SPM с борта НИС «Профессор Водяницкий», 29 сентября $\tau(500) = 0,27$, 30 сентября $\tau(500) = 0,26$, что более чем в 1,5 раза превышает среднемесячное значение $\tau(500) = 0,156$. Анализ вкладов мелкодисперсной и грубодисперсной фракций в общую величину τ_λ за исследуемые дни показал, что в основном (более 70%) в эти дни атмосферный аэрозоль состоял из частиц мелкодисперсной фракции. Среднедневные значения влагосодержания за 29 и 30 сентября превышали среднемесячные значения более чем в полтора раза, и это подтверждает, что указанные частицы конденсировали влагу. По мере развития и движения облака они выпали с осадками на подстилающую поверхность в регионе исследования.

На рис. 3 черной кривой показан средний профиль интенсивности флюоресценции (ИФ) растворенного органического вещества за две недели до выпадения осадков, содержащих взвешенные частицы PM_{10} ; пунктирной кривой – средний профиль ИФ РОВ за два дня до 30 сентября, в течение которых частицы PM_{10} предположительно уже могли осаждаться на поверхностный слой в районе северо-западного шельфа, так как уже наблюдался интенсивный перенос частиц в этом направлении; серая

кривая — средний профиль ИФ РОВ через два дня после 30 сентября, т.е. во время осаждения и заглубления осажденных взвешенных частиц в исследуемом регионе.

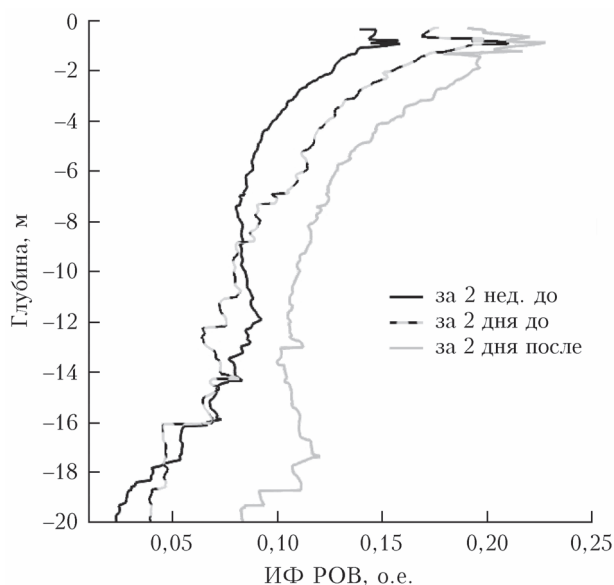


Рис. 3. Изменчивость вертикального профиля ИФ РОВ

Как видно из рис. 3, ИФ РОВ в поверхностном слое до 5 м за две недели до переноса взвешенных частиц отличается от ИФ РОВ за 2 октября в 1,5 раза. Анализ данных о направлении приземного ветра за 1 и 2 октября показал совпадение с данными за 30 сентября. Различие в ИФ РОВ в поверхностном слое до 2 м за два дня до и два дня после выпадения осадков со значениями ИФ за две недели до переноса доказывает, что осаждение PM_{10} не ограничивается лишь попаданием частиц в поверхностный слой с дождем, их осаждение также происходит в сухом виде на протяжении всего переноса.

Заключение

В результате обработки спутниковых данных с 25 сентября по 1 октября 2020 г. был зафиксирован аномальный перенос аэрозольных частиц в сторону Ростовской и Донецкой обл., а также северо-восточного побережья Черного моря.

За исследуемый период по данным приложения Ventusky были получены концентрации взвешенных частиц PM_{10} в воздухе, которые являются опасными загрязнителями атмосферы. Направления переноса частиц PM_{10} по модели SILAM (Ventusky) совпали с направлениями переноса облака пылевых частиц по спутниковым данным. Концентрация PM_{10} 30 сентября 2020 г. превысила 300 мг/м^3 (максимальное значение шкалы), что является критическим для здоровья человека и всей живой природы.

Анализ оптических характеристик аэрозоля, полученных в Керченском проливе с борта НИС «Профессор Водяницкий», для периода переноса

взвешенных частиц показал повышенные $\tau(500)$ более чем в 1,5 раза.

Анализ данных интенсивности флуоресценции растворенного органического вещества в поверхностном морском слое, полученных у северо-восточного побережья Черного моря, показал увеличение значений ИФ РОВ после выпадения осадков, содержащих частицы PM_{10} , в 1,5 раза.

Авторы благодарят: С.М. Сакерина, Д.М. Кабанова за предоставленный фотометр SPM и программное обеспечение к нему, Ю.С. Куринную за фотоматериалы и оперативную информацию о событии выпадения аномальных осадков над Ростовской обл.

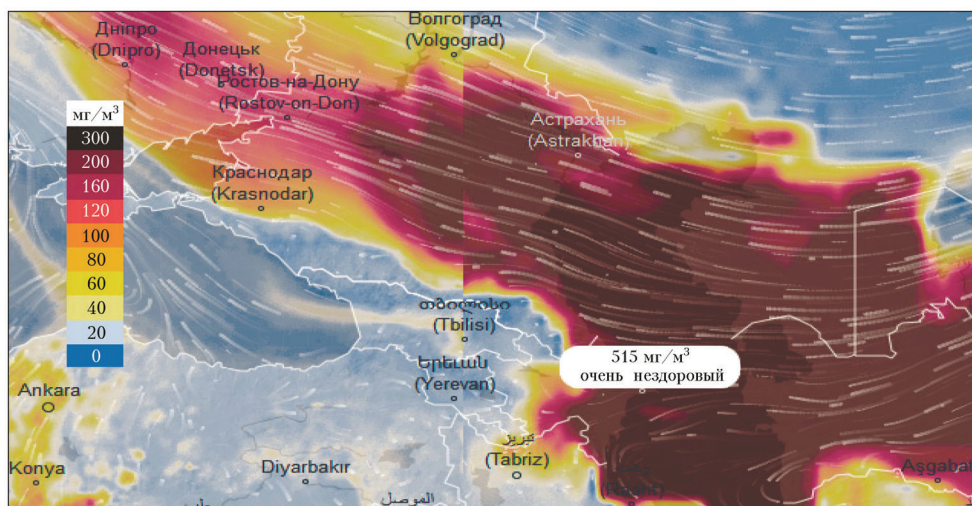
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00140) и в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ РАН № 0827-2020-0002.

1. *Воздействие* взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf (last access: 21.11.2020).
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. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78.
3. Кузнецова И.Н., Глазкова А.А., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Архангельская А.А., Звягинцев А.М., Семутникова Е.Г., Захарова П.В., Лезина Е.А. Сезонная и суточная изменчивость концентраций взвешенных частиц в приземном воздухе жилых районов Москвы // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 6. С. 473–482.
4. Lim J-Y., Chun Y. The characteristics of Asian dust events in Northeast Asia during the springtime from 1993 to 2004 // Global Planet. Change. 2006. V. 52, iss. 1–4. P. 231–247.
5. Kim J. Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965–2004) // Atmos. Environ. 2008. V. 42, iss. 19. P. 4778–4789.
6. Калаева С.З., Чистяков Я.В., Муратова К.М., Чеботарев П.В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 40–63.
7. Виноградова А.А., Васильев А.В., Иванова Ю.А. Загрязнение воздуха черным углеродом в районе о-ва Врангеля: сравнение источников и вкладов территорий Евразии и Северной Америки // Оптика атмосф. и океана. 2020. Т. 33, № 12. С. 907–912. DOI: 10.15372/AOO20201201.
8. Матишов Г.Г., Польшин В.В., Кириллова Е.Э., Ильин Г.В., Усягина И.С. Современные тенденции в накоплении искусственных радионуклидов в Азовском и Арктических морях // Наука юга России. 2020. Т. 16, № 2. С. 17–26. DOI: 10.7868/S25000640200203.
9. Akata N., Hasegawa H., Kawabata H., Chikuchi Y., Sato T., Ohtsuka Y., Kondo K., Hisamatsu S. Deposition of ^{137}Cs in Rokkasho, Japan and its relation to Asian dust // J. Environ. Radioact. 2007. V. 95, iss. 1. P. 1–9.
10. Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // Рос. хим. журн. 2008. Т. 52, № 5. С. 112–119.
11. Аникиев В.В., Колесов Г.М. Природные факторы, определяющие временную изменчивость основного хими-

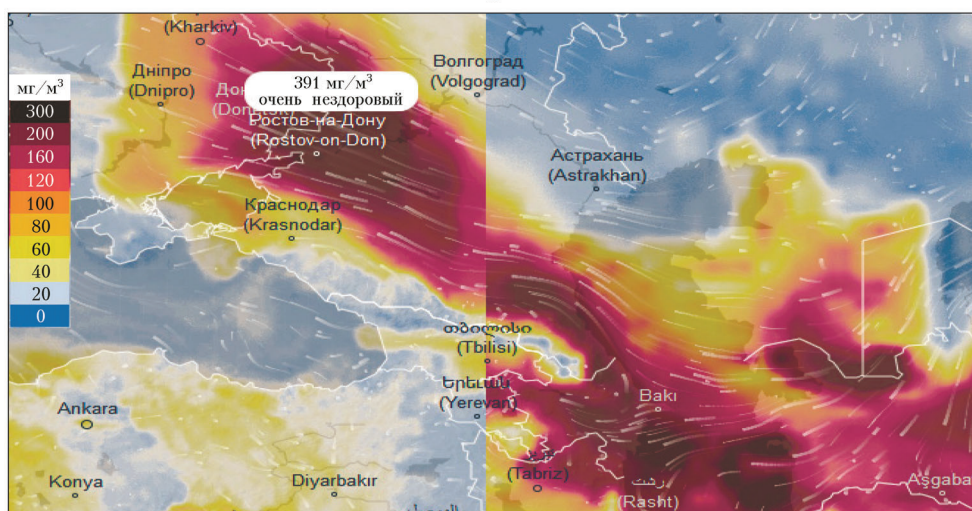
- ческого состава минеральных аэрозолей над северным Каспием // Геохимия. 2008. № 12. С. 1304–1321.
12. Чен Б.Б., Попель С.И., Адушкин В.В., Стрижанцева О.М., Голоуб Ф., Вайдлер П.Г. Слон мелкомасштабных частиц аэрозоля и перенос радиации в атмосфере региона. Часть 2. Влияние слоев на перенос радиации и их вклад в региональные климатические изменения // Вестн. Кыргызско-Российского Славянского университета. 2018. Т. 18, № 12. С. 174–183.
 13. Вареник А.В., Калинин Д.В., Мыслина М.А., Хоружий Д.С. Изменение содержания биогенных элементов в поверхностном слое морской воды после выпадения атмосферных осадков // Моря России: фундаментальные и прикладные исследования: тез. докл. всерос. науч. конф. 2019. С. 51–52.
 14. Адушкин В.В., Чен Б.Б., Попель С.И., Вайдлер П.Г., Фридрих Ф., Извекова Ю.Н. Свойства и происхождение мелкомасштабных частиц в атмосфере Центральной Азии // Докл. АН. 2016. Т. 446, № 5. С. 592–597.
 15. Sofiev M. System for integrated modelling of atmospheric composition // FMI. URL: <http://silam.fmi.fi> (last access: 21.11.2020).
 16. Белихов А.Б., Леготин Д.Л., Сухов А.К. Современные компьютерные модели распространения загрязняющих веществ в атмосфере // Вестн. Костром. гос. ун-та им. Н.А. Некрасова. 2013. Т. 19. С. 14–28.
 17. Kim Man-Hae, Omar A.H., Tackett J.L., Vaughan M.A., Winker D.M., Trepte Ch.R., Hu Yongxiang, Liu Zhaoyan, Poole L.R., Pitts M.C., Kar J., Magill B.E. The CALIPSO version 4 automated aerosol classification and lidar ratio selection algorithm // Atmos. Meas. Tech. 2018. N 11. P. 6107–6135.
 18. Suetin V.S., Korolev S.N., Kucheryaviy A.A. Sun glint manifestation at evaluating the Black Sea water optical parameters using satellite measurements // Phys. Oceanogr. 2016. N 3. P. 52–62. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-3-47-56.
 19. Mielonen T., Arola A., Komppula M., Kukkonen J., Koskinen J., de Leeuw G., Lehtinen K.E.J. Comparison of CALIOP level 2 aerosol subtypes to aerosol types derived from AERONET inversion data // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36. P. L18804. DOI: 10.1029/2009GL039609.
 20. Vaughan M.A., Powell K.A., Kuehn R.E., Young S.A., Winker D.M., Hostetler C.A., Hunt W.H., Liu Z., McGill M.J., Getzewich B.J. Fully automated detection of cloud and aerosol layers in the CALIPSO lidar measurements // J. Atmos. Oceanic Technol. 2009. V. 26. P. 2034–2050. DOI: 10.1175/2009JTECH1228.1.
 21. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1112–1117; Sakerin S.M., Kabanov D.M., Rostov A.P., Turchinovich S.A., Knyazev V.V. Sun photometers for measuring spectral air transparency in stationary and mobile conditions // Atmos. Ocean. Opt. 2013. V. 26, N 4. P. 352–356.
 22. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Мелко- и грубодисперсные компоненты аэрозольной оптической толщи атмосферы в морских и полярных районах // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 8. С. 690–697; Sakerin S.M., Kabanov D.M. Fine and coarse components of atmospheric aerosol optical depth in maritime and Polar Regions // Atmos. Ocean. Opt. 2015. V. 28, N 6. P. 510–517.
 23. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. О взаимосвязях параметров формулы ангстрема и аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 1–4 мкм // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 3. С. 222–228.

D.V. Kalinskaya, O.B. Kudinov. Influence of the atmospheric transport of suspended particles PM₁₀ on the optical characteristics of the Black Sea surface layer.

The event of the autumn transport of PM₁₀ from the east to the Black Sea water area and coastal zone is studied. Optical characteristics of the suspended particles are analyzed based on field and satellite data. A correlation is shown between the variability of optical characteristics of PM₁₀ and an increase in the fluorescence intensity of dissolved organic matter in the sea surface layer, measured at the northeastern coast of the Black Sea from the “Professor Vodyanitsky” research vessel.



a

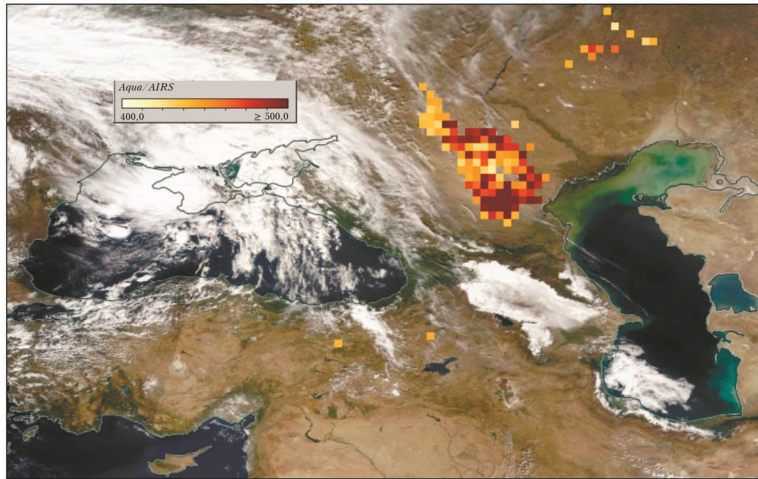


б

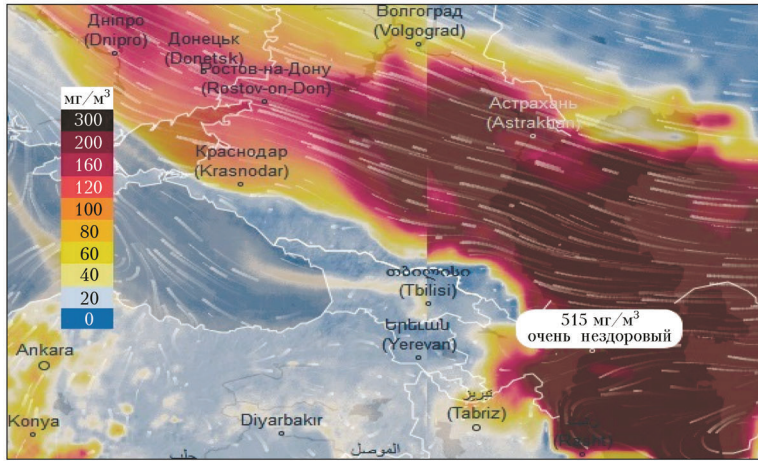


в

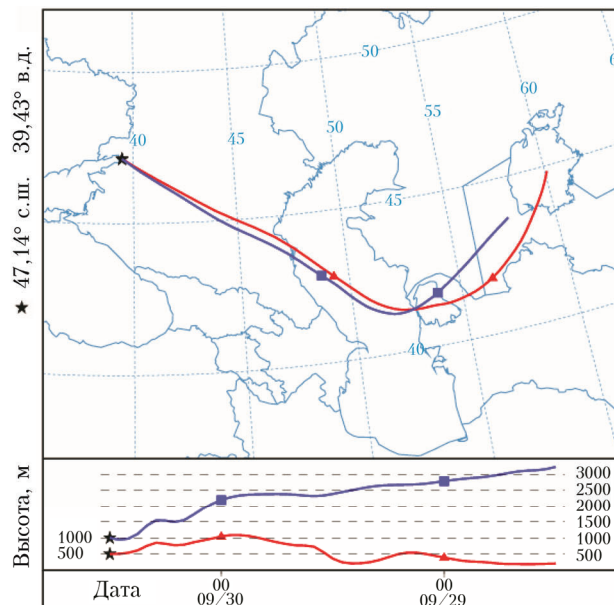
Рис. 1. Перенос пылевого аэрозоля над Черноморским регионом по данным приложения Ventusky: *a* – 29 сентября, *б* – 30 сентября 2020 г.; *в* – фотоматериалы из Ростова-на-Дону за 30 сентября 2020 г. и в безоблачный день 4 октября 2020 г.



a



b



в

Рис. 2. Перенос пылевого аэрозоля по спутниковым данным: *a* – MODIS, *b* – Ventusky; *в* – обратные траектории переноса воздушных масс по результатам моделирования HYSPLIT за 29 сентября 2020 г.