

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЫЛЕВОГО ПЕРЕНОСА НА ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЧЕРНОГО МОРЯ

А.В. Вареник<sup>1</sup>, канд.геогр.наук, Д.В. Калининская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

## IMPACT OF DUST TRANSPORT ON THE NUTRIENTS INPUT ON THE BLACK SEA SURFACE

A.V. Varenik<sup>1</sup>, Cand.Sc., D.V. Kalinskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

*Пустыни Африки и Сирии можно рассматривать как источник минеральной пыли над Черным морем, что проявляется в значительном превышении содержания биогенных элементов в атмосфере и атмосферных осадках.*

*Deserts of Africa and Syria can be considered as a source of mineral dust over the Black Sea that is manifested in a significant excess of nutrients in the atmosphere and precipitation.*

### **Введение.**

Засушливые районы, такие как пустыни Сахары и Сирии, можно рассматривать как важный источник минеральной пыли в атмосфере не только вблизи этих пустынь, но и на расстоянии тысяч километров. Даже в Европе и Америке можно проследить влияние пылевого переноса [1, 2]. Однако случаи пылевого переноса или переноса поглощающего аэрозоля аридного происхождения имеют значительную пространственную и временную изменчивость, поэтому существуют некоторые неопределенности и недооценки или переоценки в их значимости.

Одной из причин увеличения концентрации различных микроэлементов в атмосфере является перенос аридного типа аэрозоля в Черноморский регион. Так в [3] было показано, что случаи такого переноса над Черным морем характеризуются повышением концентраций фосфора и кремния в пробах осадков в течение всего года. Даже невысокие превышения концентрации биогенных элементов в атмосферных осадках дают возможность показать влияние пылевого переноса на изменчивость оптических свойств атмосферы над исследуемым регионом. Роль переносов такого типа аэрозоля может быть весьма важной, однако вопрос количественных оценок влияния пылевого аэрозоля в исследуемом районе остается практически не изученным.

Азот, фосфор и кремний являются наиболее важными биогенными элементами для морской первичной продукции и динамики концентрации хлорофилла-а. Как показано в работе [4], связь между годовыми циклами хлорофилла-а и осаднением пыли может в среднем объяснить 11.5% вариации хлорофилла в значительной части Средиземного моря. При этом анализ модели SeaWIFS и BSC-DREAM8b за восемь лет (2000-2007 гг.) показывает, что осаднение минеральной пыли из источников пыли пустынь Северной Африки и Ближнего Востока коррелирует с концентрацией хлорофилла-а в довольно больших районах Средиземного моря.

Для Черного моря количественные оценки такого поступления и его влияния практически отсутствуют, что подтверждает актуальность представленного исследования.

### **Методы.**

Мониторинг содержания неорганического азота в атмосферных осадках в г. Севастополь осуществляется с 2004 г., неорганических соединений фосфора (фосфатов) и кремния (силикатов) – с 2012. Пробы отбираются на метеостанции Севастополь сотрудниками МГС в осадкосборник, открывающийся только в момент выпадения осадков. Для изучения вклада сухих выпадений в поступление биогенных элементов на МГС «Севастополь» в 2015 г. был установлен постоянно открытый осадкосборник. Пробы атмосферных осадков анализировались в Отделе биогеохимии моря МГИ РАН.

Для анализа источника аэрозоля, который мог бы повлиять на повышение концентрации микроэлементов в пробах осадков, были проанализированы спутниковые данные, предоставляемые на платформе EASDIS за исследуемый период. Т.к. натурное исследование атмосферы над Черным морем осуществляется в основном с помощью солнечных фотометров (CIMEL и SPM), которые осуществляют измерения в солнечную погоду, были

проанализированы дни, предшествующие осадкам, в которых концентрация фосфатов и силикатов превышала норму (среднюю концентрацию) в несколько раз. Для анализа масштабов события переноса пылевого аэрозоля (пылевой бури) был использован инструмент Worldview от EASDIS. Worldview использует NASA Global Imagery Browse Services (GIBS) и был разработан таким образом, чтобы обеспечить его глобализацию для предоставления возможности анализировать информацию «прямо сейчас». Это позволяет анализировать в кратчайшие сроки критически важную информацию, такую как распространение лесных пожаров, измерение качества воздуха и мониторинг наводнений. Также для анализа географии источников аэрозоля в исследуемый регион были проанализированы данные моделирования обратных траекторий переносов аэрозоля по результатам двух моделей: AERONET (<https://tropo.gsfc.nasa.gov>) и HYSPLIT (<https://ready.arl.noaa.gov>), достоверность информации которых для исследуемого региона была изучена ранее [5].

С 2016 года на Worldview для спутниковых данных MODIS Aqua предоставляется информация об атмосферной загрузке пылевым аэрозолем. Анализ дат, за которые были обнаружены превышения концентрации фосфатов и силикатов, дал совпадение с данными спутниковых изображений MODIS Aqua за весенний период 2018 года. Загрузка аридным аэрозолем в исследуемый период была аномально высокой. Ранее [6] было показано, что именно весной наблюдаются самые длительные и интенсивные события переноса Сахарской пыли в Черноморский регион.

В данной работе представлен анализ содержания фосфатов и силикатов в атмосферных осадках, т.к. именно их концентрация в пробах в большей степени (по сравнению с неорганическим азотом) подвержена изменчивости вследствие события пылевого переноса.

#### **Результаты и обсуждение.**

За время проведения мониторинга в 2015-2018 гг. было обработано более 520 проб осадков, отобранных в два осадкосборника. При анализе результатов выяснилось, что средняя концентрация фосфатов и силикатов в открытом осадкосборнике превышала концентрацию в закрытом в среднем в 2,1 и 1,9 раз соответственно. При этом были выявлены случаи значительного превышения концентрации исследуемых биогенных элементов в открытом осадкосборнике: максимальная концентрация фосфатов (37 мкмоль/л) в 42 раза превышала среднюю концентрацию в закрытом осадкосборнике, силикатов (35,08 мкмоль/л) – в 18 раз.

В данной работе проанализированы случаи выпадения осадков 22 марта и 2 апреля 2018г. Концентрация фосфатов и силикатов в осадках, отобранных в эти дни, составила 4,73 и 14,69 мкмоль/л (22 марта) и 2,28 и 8,22 мкмоль/л (2 апреля), что превышает среднюю концентрацию исследуемых биогенных элементов в 5 и 7 раз, а также в 2,5 и 4 раза соответственно.

С 21 марта по 4 апреля над станцией Sevastopol наблюдалась облачность, не позволяющая произвести измерения AOT, однако на соседней Черноморской станции сети AERONET Gloria (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>) измерения ослабления прямого солнечного излучения за этот период были произведены. Анализ данных аэрозольной оптической толщины на длине 500 нм (AOT(500)) на ближайшей к Крыму станции Gloria показал преимущество крупных аэрозольных частиц и их основной вклад в общее распределение AOT(500) за 22 марта 2018 года (рис. 1а). Данные моделирования переноса атмосферного аэрозоля на различных высотах показали перенос аридного типа аэрозоля на высоте от 3 до 5 км для станции Gloria со стороны пустыни Сахара как по результатам сети AERONET, так и по модели HYSPLIT (рис. 1б,в).

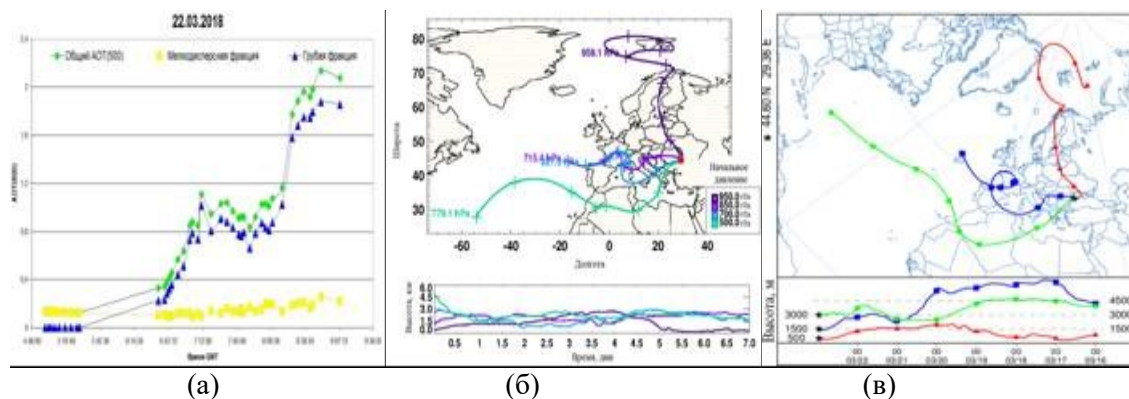


Рис. 1. Общее распределение АОТ(500) (а); результаты моделирования обратных траекторий переноса аэрозоля AERONET (б); результаты моделирования обратных траекторий переноса аэрозоля HYSPLIT (в) для станции AERONET Gloria за 22 марта 2018 г.

По данным о загрузке атмосферы пылевым аэрозолем за 22 марта практически все восточное побережье Средиземного моря имеет максимальную загрузку аридным аэрозолем (рис. 2а). По данным MODIS за 2 апреля также был зафиксирован случай выноса пылевого аэрозоля со стороны пустыни Сахара, однако его интенсивность меньше, чем вынос, регистрируемый 22 марта 2018 года (рис. 2б), что подтверждается и меньшими величинами концентраций исследуемых биогенных элементов.

Как видно из представленных рисунков и 22 марта, и 2 апреля 2018 г. регистрируется перенос пылевого аэрозоля со стороны пустыни Сахара для двух Черноморских станций (Gloria и Sevastopol) как по данным моделирования обратных траекторий сети AERONET, так и по данным моделирования переносов HYSPLIT.

#### Выводы.

Комплексный анализ данных по содержанию  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{SiO}_2$  в пробах атмосферных осадков, отобранных в районе Севастополя, а также АОТ и данных обратных траекторий по результатам моделей AERONET и HYSPLIT подтвердил, что в дни, когда наблюдались повышенные концентрации  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{SiO}_2$  в атмосферных осадках, совпадают с датами переноса пылевого аэрозоля со стороны пустыни Сахара. При этом концентрация неорганического фосфора и кремния при регистрации переноса пылевого аэрозоля в исследуемый регион может повышаться в несколько раз по сравнению с их средневзвешенным содержанием в осадках.

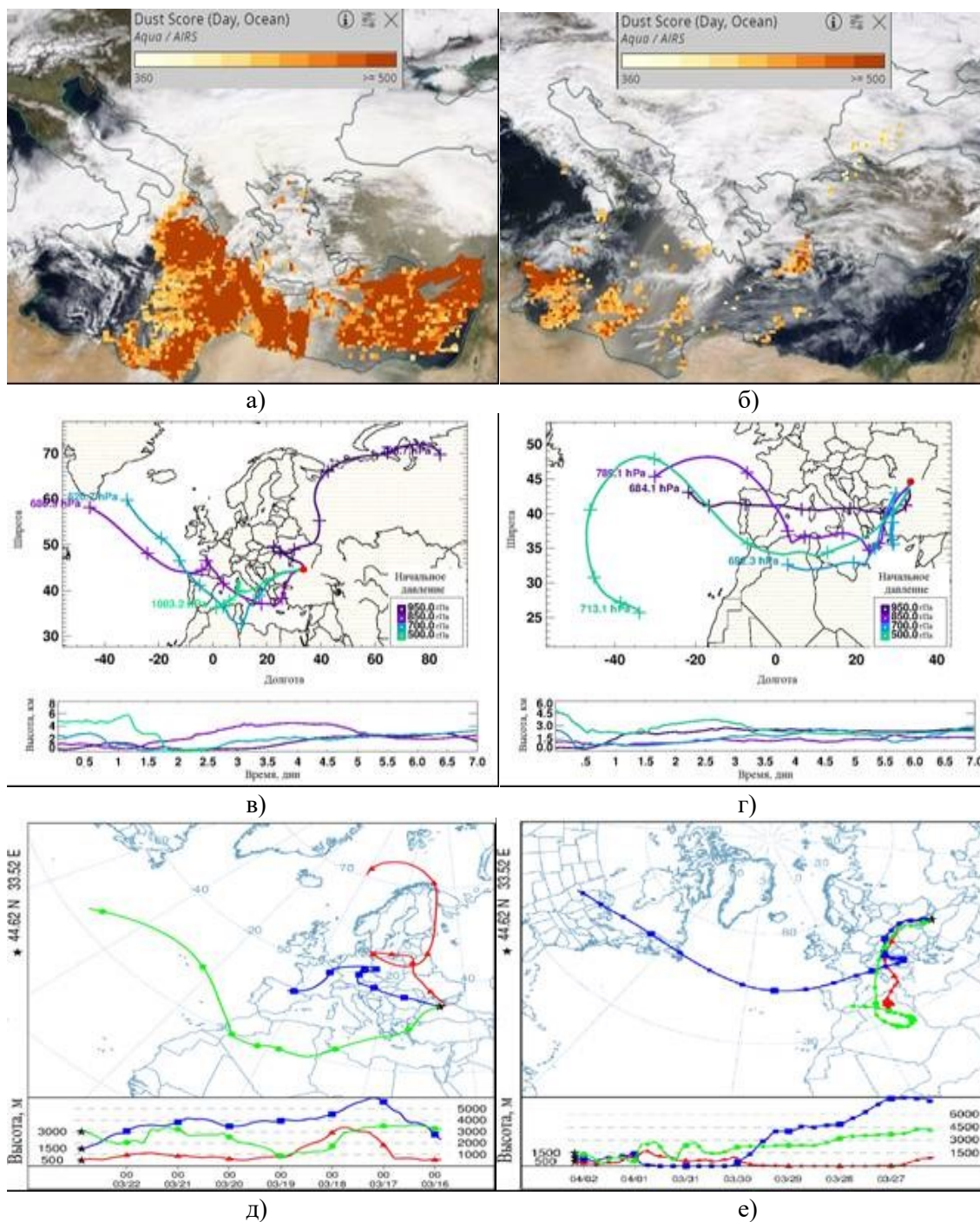


Рис. 2. Аэрозольная загрузка пылевым аэрозолем за 22 марта 2018 г. (а) и за 2 апреля 2018 г. (б); результаты данных обратных траекторий по результатам моделирования AERONET за 22 марта 2018 г. (в) и за 2 апреля 2018 г. (г); результаты данных обратных траекторий по результатам моделирования HYSPLIT за 22 марта 2018 г. (д) за 2 апреля 2018 г. (е).

### Литература

1. Swap R, Garstang M, Greco S, Talbot R, Kallberg P. (1992). Saharan dust in the Amazon basin. *Tellus B Chem Phys Meteorol* 44:133–1149.
2. Ávila A., Penuelas J. 1999. Increasing frequency of Saharian rains over NE Spain and its ecological consequences. *The Science of Total Environment* 228: 153-156.

3. Д.В. Калинская, А.В. Вареник, А.С. Папкина Фосфор и кремний как маркеры переноса пылевого аэрозоля над Черноморским регионом // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т. 15, № 3, С. 217-225, 2018, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-217-225.
4. Gallisai, R., Peters, F., Basart, S., and Baldasano, J. M.: Mediterranean basin-wide correlations between Saharan dust deposition and ocean chlorophyll concentration, Biogeosciences Discuss., 9, 8611-8639, <https://doi.org/10.5194/bgd-9-8611-2012>, 2012.
5. Kalinskaya D.V., Kudinov O.B. Methodology of ground aerosol sources determination based on AERONET and HYSPLIT models data results // Proceedings of SPIE , 2017, doi: 10.1117/12.2287744.
6. Калинская Д.В. Исследование особенностей оптических характеристик пылевого аэрозоля над Чёрным морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. № 26. С. 151.

*Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН МГИ РАН по теме № 0827-2018-0002, а также частично при поддержке РФФИ, грант № 17-05-00113. Авторы благодарят Тома Кушера (Tom Kussera), Брента Холбена (Brent Holben), Джузеппе Зиборди (Giuseppe Zibordi) и группу Жене Фельдмана (Gene Feldman) из НАСА за предоставление данных АОТ, расчеты данных ВТА, обработку измерений, полученных на севастопольской станции AERONET и за возможность использования качественных данных фотометрических измерений.*

*The work was performed within the framework of the state assignment of FGBUN MGI RAS on the subject No. 0827-2018-0002, and also partly with the support of the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 17-05-00113. The authors thank Tom Kussera, Brent Holben, Giuseppe Zibordi and the Gene Feldman group from NASA for providing AOT data, calculating the BTA data, processing the measurements obtained at AERONET Sevastopol and for the possibility of using qualitative data of photometric measurements.*