Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 г.

С.С. Шинкаренко^{1,2}, Н.А. Ткаченко², С.А. Барталев¹, В.Г. Юферев², К. Н. Кулик²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия ² Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, 400062, Россия E-mail: shinkarenkos@vfanc

В сообщении представлены результаты спутникового мониторинга пыльных бурь, происходивших на юго-востоке европейской части России с 26 сентября по 1 октября и 9–11 октября 2020 г. Причинами бурь стала атмосферная и почвенная засуха, чрезмерные пастбищные нагрузки, нашествие саранчи и устойчивые восточные и юго-восточные ветры скоростью более 20 м/с. По данным среднего пространственного разрешения MODIS, VIIRS и JPSS1 определена динамика пылевого шлейфа в рассматриваемый период. Наибольшая площадь пыльной бури отмечается в середине дня при максимальных скоростях ветра. Из-за динамичности пыльных бурь и облачности при спутниковом мониторинге существенным преимуществом обладают данные более высокого временного разрешения и с большей полосой съёмки. На спутниковых изображениях Landsat, Sentinel-2A и «Метеор», полученных в 10:00–11:00 по местному времени, зафиксированы только начальные фазы развития пыльной бури. Максимальная площадь, накрытая бурей, зафиксирована радиометром MODIS Aqua 30 сентября и 1 октября, её протяжённость превысила 700 км, а площадь — 11 млн га.

Ключевые слова: юг России, MODIS, VIIRS, пыльные бури, засушливая зона, дефляция

Одобрена к печати: 29.10.2020 DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296

Нерациональное природопользование на территориях России, расположенных в полупустынной и пустынной зонах, привело к снижению природно-ресурсного потенциала земель, связанному с истощением почв и снижением качества пастбищной растительности. На фоне преобладания почв, подверженных дефляции, и больших по площади песчаных массивов активно проявляются процессы деградации, в том числе и в результате воздействия неблагоприятных природных факторов. Одним из катастрофических проявлений дефляции стали пыльные бури. На юге Русской равнины наиболее сильные пыльные бури отмечались в 1892, 1928, 1960, 1969, 1972, 1984 и 2015 гг. Например, в 2015 г. потери почв достигали 50 т/га, а в 1969 г. только в Волгоградской обл. на площади 0,55 млн га от выдувания и вымерзания погибло 97 % посевов озимых культур (Кулик, Дубенок, 2016; Пыльные..., 1963; Belyakov et al., 2019). Наибольшая повторяемость и интенсивность в регионе характерна для весенних пыльных бурь после засушливых осеней и малоснежных зим. При этом наибольшие негативные последствия были характерны для пахотных земель. После создания в середине прошлого века системы ветроломных полезащитных лесных полос дефляционный вынос мелкозёма с обрабатываемых полей существенно снизился, а территориями с наибольшей частотой пыльных бурь остаются Прикаспийская полупустыня и Нижнее Поволжье, подверженные дефляции из-за лёгких почвообразующих пород, разреженной растительности и нерационального выпаса (Кулик и др., 2018; Пыльные..., 1963; Шинкаренко, 2019а, б). Поскольку максимальная повторяемость пыльных бурь характерна именно для весенних месяцев, то спутниковый мониторинг распространения пылевых шлейфов затруднён из-за плотной облачности, как было в конце марта 2015 г. в Волгоградской обл.

В 2020 г. в результате неблагоприятных гидротермических условий (атмосферная и почвенная засуха), обусловивших низкую продуктивность растительности на пастбищах, чрезмерных пастбищных нагрузок и нашествия саранчи в Северном Прикаспии к осени практически не осталось естественной растительности. В связи с этим сильные и устойчивые ветры восточного и юго-восточного направлений в период с 26 сентября по 2 октября и с 9 по 11 октября, достигавшие скорости более 20 м/с, привели к образованию пыльных бурь, интенсификации эоловых процессов и переносу песчано-пылевых масс. Пыльные и песчаные бури в эти дни наблюдались в Республиках Калмыкия и Дагестан, Ставропольском крае и Ростовской обл., а также на крайнем востоке Украины. Несмотря на облачность в 20-40 %, спутниковые данные среднего разрешения MODIS (англ. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), VIIRS (англ. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) Soumi NPP и JPSS1 (NOAA 20) позволили получить изображения пылевых шлейфов (puc. 1). При этом использование значений нормализованного дифференциального пылевого индекса NDDI (англ. Normalized Difference Dust Index), определяемого как нормализованная разность 7-го (2130 нм) и 3-го (469 нм) каналов MODIS (Qu et al., 2006), не позволило уверенно идентифицировать пылевой шлейф. Покрытые пыльной бурей области идентифицировались экспертным методом по цветовым композитам оптического диапазона, а также с помощью информационного сервиса ВЕГА по разнице значений радиояркостной температуры на длине волны 11 и 12 мкм (см. *рис. 1*) прибора MODIS (каналы 31 и 32). Значения разницы до 0,5 соответствуют пылевым шлейфам (Zhang et al., 2006).



Рис. 1. Спутниковые изображения оптического диапазона: 01.10.2020 (вверху слева) и 09.10.2020 (внизу слева); разница каналов 11 и 12 мкм MODIS Aqua (вверху справа); оценка пыльной бури AIRS Dust score от 30.09.2020 (внизу справа)

Спутниковые изображения получены с помощью сервисов центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015). В работе использовались цветовые композиты в комбинации «естественные цвета». Кроме этого, использовался информационный продукт AIRS (*англ*. Atmospheric Infrared Sounder) Dust score (airs.jpl.nasa.gov), позволяющий дать оценку пыльной бури (см. *рис. 1*). Значения показателя более 380 свидетельствуют о пыльной буре. Анализ значений оценки пыльных бурь AIRS и визуальная интерпретация спутниковых изображений MODIS (спутник Aqua, так как на нём установлена аппаратура проекта AIRS) показали существенное влияние облачности на оценку пыльных бурь данным продуктом: вдоль границы облаков не зафиксировано запыление нижних слоёв атмосферы, в то время как визуально пыльный шлейф здесь определяется достаточно ясно. Это может быть связано с более низким разрешением сенсора AIRS (2000 м) по сравнению с MODIS (500 м), разрешение же продукта Dust score составляет 13,5 км/пиксель.



Рис. 2. Пылевой шлейф в окрестностях Южно-Сухокумска (Республика Дагестан, Sentinel-2A, 1 октября 2020 г.) (вверху слева); динамика скорости ветра по метеостанции Элиста и покрытой пыльной бурей площади (вверху справа); изменения покрытой пыльной бурей площади 30 сентября (внизу слева) и 1 октября (внизу справа)

Наибольшая площадь, покрытая пыльной бурей, фиксируется в середине дня (*puc. 2*), когда отмечена наибольшая скорость ветра. По этой причине на спутниковых снимках Landsat, Sentine-2A и «Метеор», сеансы съёмки которых приходятся на время 10:00–11:00, зафиксировано только начало пыльных бурь. Максимумы площади пыльного шлейфа отмечены 30 сентября (11,5 млн га) и 1 октября (11,8 млн га), когда порывы ветра превышали 20-22 м/с (*puc. 3*, см. с. 294), в эти же дни отмечена максимальная покрытая пыльной бурей площадь — 13,2 и 13,4 млн га соответственно, а протяжённость пылевого шлейфа превысила 700 км. В реальности площадь должна быть ещё больше, так как из-за облачности на юго-западе и западе исследуемой территории было невозможно определить распространение пыльной бури. В период 9–11 октября пыльной бурей было покрыто около 7 млн га. Анализ распространения пыльной бури по данным наблюдения на метеостанциях (http://www.po-godaiklimat.ru/archive.php) показал, что пылевое облако 30 сентября и 1 октября отмечалось даже на востоке Украины. Тем не менее зона наиболее интенсивных пыльных бурь с количеством дней с бурей от 4 до 7 в период 26 сентября – 2 октября и тремя днями с пыльной

бурей 9—11 октября расположена в районе Чёрных земель в Калмыкии и Кизлярских пастбищ в Дагестане. Именно эта территория становится источником вынесенного ветром песка и мелкозёма (см. *puc. 3*).



Рис. 3. Схема изменения покрытой пыльной бурей области 26 сентября – 1 октября 2020 г.

Среднее значение максимальной за сутки скорости ветра в дни пыльных бурь изменялось от 5 м/с в Невинномысске до 18–20 м/с в аэропорту Платов, на севере Дагестана и юге Калмыкии. Направление ветра было преимущественно с востока и юго-востока. На северовостоке Калмыкии также были зафиксированы пыльные бури в рассматриваемый период (метеостанция Юста), но из-за низкой плотности пылевого шлейфа на спутниковых снимках они практически незаметны. Это связано с тем, что указанная территория расположена пре-имущественно на суглинистых почвах, относительно устойчивых против дефляции.

Для мониторинга пыльных бурь в исследуемом регионе необходимы данные высокого временного разрешения и послеполуденной съёмки (после 12:00–14:00). Из доступных в открытых источниках данных предпочтительно использование спутниковых изображений MODIS (Aqua), VIIRS (Suomi NPP) и JPSS1 (NOAA 20). MODIS Terra подходит хуже, так как сеансы происходят в 10:00–11:00. Информационный продукт AIRS Dust score достаточно адекватно даёт представление о распространении и силе пыльной бури при безоблачных условиях.

Работа выполнена в рамках темы Института космических исследований Российской академии наук «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164), а также по теме научно-исследовательской работы Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № АААА-А16-116122010038-9 с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015) и возможностей информационного сервиса Вега (Барталев и др., 2012).

Литература

- 1. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Лупян Е.А., Толпин В.А.* Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
- 2. *Кулик К. Н., Дубенок Н. Н.* Пыльные бури на Нижней Волге весной 2015 года // Вестн. Российской с.-х. науки. 2016. № 1. С. 4–7.
- 3. *Кулик К. Н., Петров В. И., Рулев А. С., Кошелева О. Ю., Шинкаренко С. С.* К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. 2018. № 1. С. 5–12.
- 4. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
- 5. Пыльные бури и их предотвращение / под ред. Д.Л. Арманда. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.
- 6. Шинкаренко С. С. (2019а) Пожарный режим ландшафтов Северного Прикаспия по данным очагов активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 121–133.
- 7. Шинкаренко С. С. (2019б) Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168.
- 8. *Belyakov A. M., Vasiliev Yu. I., Turco S. Yu., Nazarova M. V.* Dust storms in the Volgograd region, their manifestation and prevention // Volga region farmland. 2019. No. 2. P. 2–6.
- 9. *Qu J., Hao X., Kafatos M., Wang L.* Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurement // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2006. V. 3. No. 4. P. 284–486.
- 10. *Zhang P., Lu N., Hu X., Dong C.* Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels // Global and Planetary Change. 2006. V. 52. Iss. 1–4. P. 197–206.

Dust storms in the south of the European part of Russia in September-October 2020

S. S. Shinkarenko^{1,2}, N.A. Tkachenko², S.A. Bartalev¹, V.G. Yuferev², K.N. Kulik²

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia ² Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Meliorations and Agroforestry RAS Volgograd 400062, Russia E-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

The report presents the results of satellite monitoring of dust storms recorded in the southeast of the European part of Russia during the periods from September 26 to October 1 and from October 9 to October 11, 2020. The storms were caused by atmospheric and soil drought, excessive pasture loads, locust infestations and persistent east and southeast winds with a speed of more than 20 m/s. The dynamics of the dust plume over the period under consideration has been determined using the data of the average spatial resolution of MODIS, VIIRS and JPSS1. The largest dust storm area is observed in the middle of the day at maximum wind speeds. Data with a higher temporal resolution and a larger survey swath have a significant advantage during satellite monitoring due to the dynamism of dust storms and cloudiness. The satellite images of Landsat, Sentinel-2A and Meteor, received at 10–11 a.m. local time, recorded only the initial phases of a dust storm development. The maximum area covered by the storm was recorded by the MODIS Aqua radiometer on September 30 and October 1. Its length exceeded 700 km, and the area was equal to 11 million hectares.

Keywords: south of Russia, MODIS, VIIRS, dust storms, arid zone, deflation

Accepted: 29.10.2020 DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296

References

- Bartalev S.A., Ershov D.V., Loupian E.A., Tolpin V.A., Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnykh zadach monitoringa nazemnykh ekosistem (Possibilities of Satellite Service VEGA Using for Different Tasks of Land Ecosystems Monitoring), *Sovremennye problemy distantsi-onnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 49–56.
- 2. Kulik K. N., Dubenok N. N., Pyl'nye buri na Nizhnei Volge vesnoi 2015 goda (Dust storms at the Low Volga in spring of 2015), *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2016, No. 1, pp. 4–7.
- 3. Kulik K. N., Petrov V. I., Rulev A. S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S. S., K 30-letiyu "General'noi skhemy po bor'be s opustynivaniem Chernykh zemel' i Kizlyarskikh pastbishch" (On the 30th Anniversary of the "General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures"), *Aridnye ekosistemy*, 2018, No. 1, pp. 5–12.
- 4. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
- 5. *Pyl'nye buri i ikh predotvrashchenie* (Dust storms and their prevention), D. L. Armand (ed.), Moscow, 1963, 172 p.
- 6. Shinkarenko S. S. (2019a), Pozharnyi rezhim landshaftov Severnogo Prikaspiya po dannym ochagov aktivnogo goreniya (Fire regime of North Caspian landscapes according to the data of active burning centres), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 121–133.
- 7. Shinkarenko S. S. (2019b), Prostranstvenno-vremennaya dinamika opustynivaniya na Chernykh zemlyakh (Spatial-temporal dynamics of desertification in Black Lands), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 155–168.
- 8. Belyakov A. M., Vasiliev Yu. I., Turco S. Yu., Nazarova M. V., Dust storms in the Volgograd region, their manifestation and prevention, *Volga region farmland*, 2019, No. 2, pp. 2–6.
- 9. Qu J., Hao X., Kafatos M., Wang L., Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurement, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2006, Vol. 3, No. 4, pp. 284–486.
- 10. Zhang P., Lu N., Hu X., Dong C., Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels, *Global and Planetary Change*, 2006, Vol. 52, Issue 1–4, pp. 197–206.