Спутниковые наблюдения пыльных бурь на юге России в 2022 году

С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: bartalev@d902.iki.rssi.ru

Пыльные бури на юге европейской части России отмечаются ежегодно с осени 2020 г. Предпосылками интенсификации процессов дефляции послужили засуха 2020 г., нерегулируемый выпас домашнего скота, которые привели к уничтожению растительного покрова на значительных площадях пастбищ Калмыкии, Дагестана, Ставропольского края и Астраханской обл. В результате при увеличении скорости ветра усиливаются эоловые процессы, вплоть до возникновения масштабных песчано-пылевых шлейфов, достигавших центральной части Украины и юга Беларуси. В 2022 г. пыльные бури отмечались практически ежемесячно с марта по август. В сообщении представлены результаты картографирования песчано-пылевых шлейфов на основе разницы каналов 11 и 12 мкм MODIS (Aqua) (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) в указанных регионах, а также на юге Западной Сибири. Показано, что повышению риска возникновения пыльных бурь способствует атмосферная и почвенная засуха. Отклонение влажности поверхности почвы в период наиболее частых пыльных бурь на юге Европейской России в августе достигало 2,3 % (0,023 м^3/м^3) и 5 % (0,05 м^3/м^3) — в апреле перед майскими пыльными бурями на юге Западной Сибири. Полученные результаты могут использоваться при разработке системы прогнозирования рисков возникновения пыльных бурь.

Ключевые слова: Калмыкия, Дагестан, Омская область, пыльные бури, дистанционное зондирование, опустынивание, дефляция

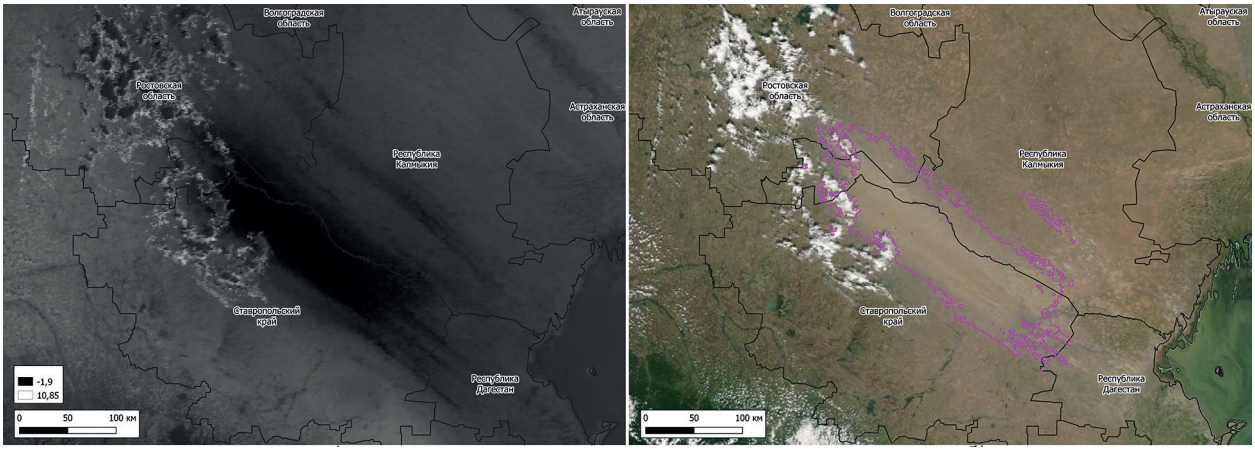
Одобрена к печати: 04.11.2022
DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300

Интенсификация пыльных бурь на юге европейской части России была отмечена осенью 2020 г. после продолжительной засухи (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко и др., 2020), что привело к резкому росту площадей открытых песков и дефлированных территорий (Шинкаренко, Барталев, 2020, 2021; Kulik et al., 2020). В результате с 2020 г. пыльные бури на юге Калмыкии, севере Дагестана и северо-востоке Ставропольского края стали регулярным явлением, также отмечались пыльные бури на границе Астраханской обл. и Калмыкии (Шинкаренко, Барталев, 2021). В 2022 г. пыльные бури фиксировались ежемесячно с марта по август. В августе они имели наибольшую продолжительность: с 11 по 29 августа, согласно метеостанции пос. Комсомольский. Как и в предыдущие годы, пыльные бури были вызваны сильными ветрами восточного и юго-восточного направления на периферии блокирующего антициклона над Центральной Россией. Цель работы — анализ распространения пыльных бурь и предпосылок их возникновения методами дистанционного зондирования Земли из космоса.

Источниками данных для работы послужили спутниковые изображения MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), в том числе значения радиояркостной температуры, измеренные с использованием спектральных каналов на длинах волн 11 и 12 мкм, применяемые для картографирования пепловых шлейфов (Гирина и др., 2019) и выявления песчано-пылевых облаков (Шинкаренко и др., 2020). Метеоданные получены с помощью сервиса «Погода и климат» (pogodaiklimat.ru). Для анализа месячных аномалий влажности почвы использовался информационный продукт реанализа климатических данных FLDAS (*англ.* Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System) Noah Land Surface Model (MERRA-2 (*англ.* Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications) и CHIRPS (*англ.* Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station)) разрешения 0,1° (McNally, 2018). Указанный продукт содержит сведения о влажности поверхности

и разных глубин почв до 2 м. В настоящей работе использовались данные о влажности поверхностного слоя почвы (0–10 см), так как он оказывает большее влияние на противодефляционную устойчивость по сравнению с более глубокими горизонтами (Алахвердиев, Набиев, 2017). Спутниковые изображения получены с помощью сервиса «Вега-Science» (Loupian et al., 2022). Геоинформационная обработка данных выполнена в программе QGIS.

Спутниковые данные, в том числе разница значений радиояркостной температуры, измеренной в 31-м и 32-м каналах MODIS (11 и 12 мкм), достаточно широко используются для мониторинга пепловых шлейфов при извержениях вулканов. При этом выделение пепла проводится на основе задания экспертного порога, классификации двухканального изображения либо путём визуального дешифрирования. Поскольку спектрально-отражательные характеристики пепловых облаков могут сильно различаться в зависимости от их плотности, то, соответственно, изменяются и пороговые значения разности температуры и выборки для классификации изображений (Гирина и др., 2019). Идентификация шлейфов пыльных бурь по спутниковым данным осложняется этими же факторами. Величина разницы значений радиояркостной температуры для исследованных пыльных бурь в указанных каналах изменялась от –2 до 0,6 К, при этом в ряде случаев близкий диапазон разницы была характерен и для облаков. Поэтому после выделения изображений пыльных бурь проводилась фильтрация облачности без заполнения полученных пропусков (*рис. 1*).

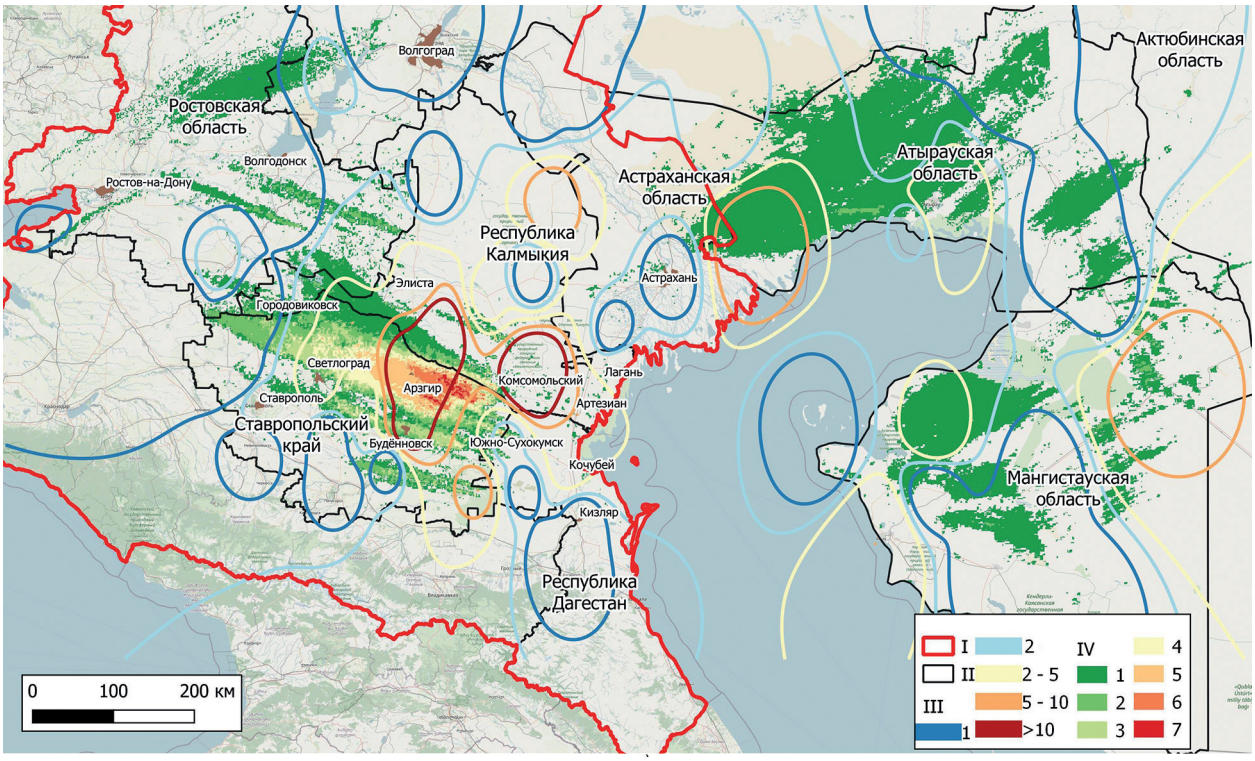


а *б*

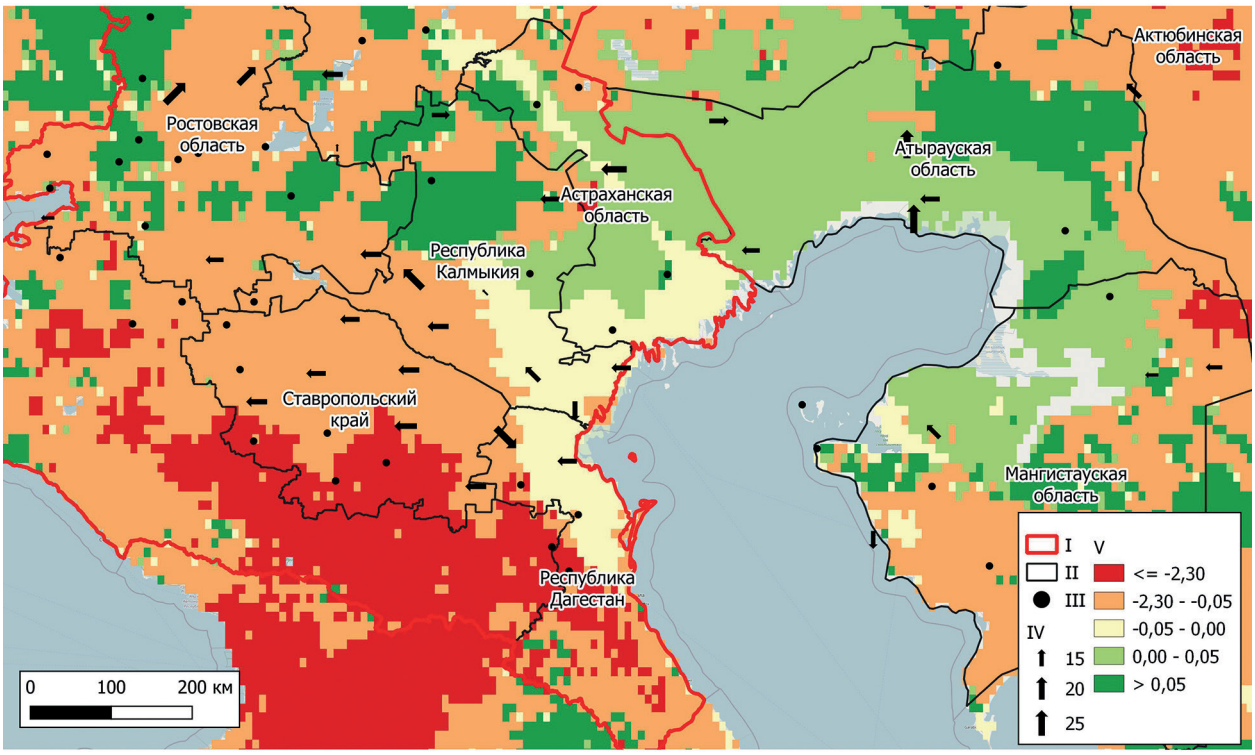
Рис. 1. Картографирование песчано-пылевого облака на основе разницы каналов 11 и 12 мкм MODIS 28 августа 2022 г.: *а* — разница величин радиояркостной температуры в каналах 11 и 12 мкм MODIS; *б* — векторный контур песчано-пылевого облака и RGB-синтез (R — *англ.* red, красный; G — *англ.* green, зелёный; B — *англ.* blue, синий) изображения MODIS

Пыльные бури 2022 г. характеризуются меньшей протяжённостью по сравнению с 2020 и 2021 гг.: около 300–400 км в 2022 г. против 500–700 км в предыдущие годы (Шинкаренко и др., 2020). Доступные данные высокого пространственного разрешения, например Sentinel-2 или Landsat, позволяют более детально оценить структуру пыльной бури и определить места выноса мелкозёма и пыли. Недостатком указанных спутниковых данных является время суток получения изображений: 10:00–11:00 местного времени, в то время как наибольшей интенсивности пыльные бури достигают после 13:00–14:00 (Шинкаренко и др., 2020). По этой причине изображения песчано-пылевых шлейфов на спутниковых снимках Sentinel-2, Landsat и MODIS (Terra) существенно меньше их размера по данным MODIS (Aqua) или VIIRS (*англ.* Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), время съёмки которых на 2–3 ч позднее.

В 2022 г. мелкозём выдувался преимущественно не только с пастбищ и солончаков, но и с пахотных земель. При этом интенсивность дефляции была наиболее сильной на северо-востоке Ставропольского края. В 2020 и 2021 гг. очаги выноса песка и пыли располагались главным образом на пастбищах севера Дагестана и юга Калмыкии, а также на границе Калмыкии и Астраханской обл. (Шинкаренко, Барталев, 2021; Шинкаренко и др., 2020).



а



б

Рис. 2. Результат определения количества дней с пыльными бурями по данным метеостанций и MODIS Aqua в 2022 г. (*а*); среднемесячные аномалии влажности верхнего слоя почвы августа 2022 г. (*б*). I — государственная граница РФ; II — границы регионов; III — изолинии количества дней с пыльными бурями по данным метеостанций (*а*), пыльные бури не зафиксированы (*б*); IV — количество дней с наблюдениями пыльных бурь системой MODIS Aqua (*а*), преобладающие направления и средние максимальные скорости ветра при пыльных бурях, м/с (*б*); V — отклонение объёмной влажности почвы (%)

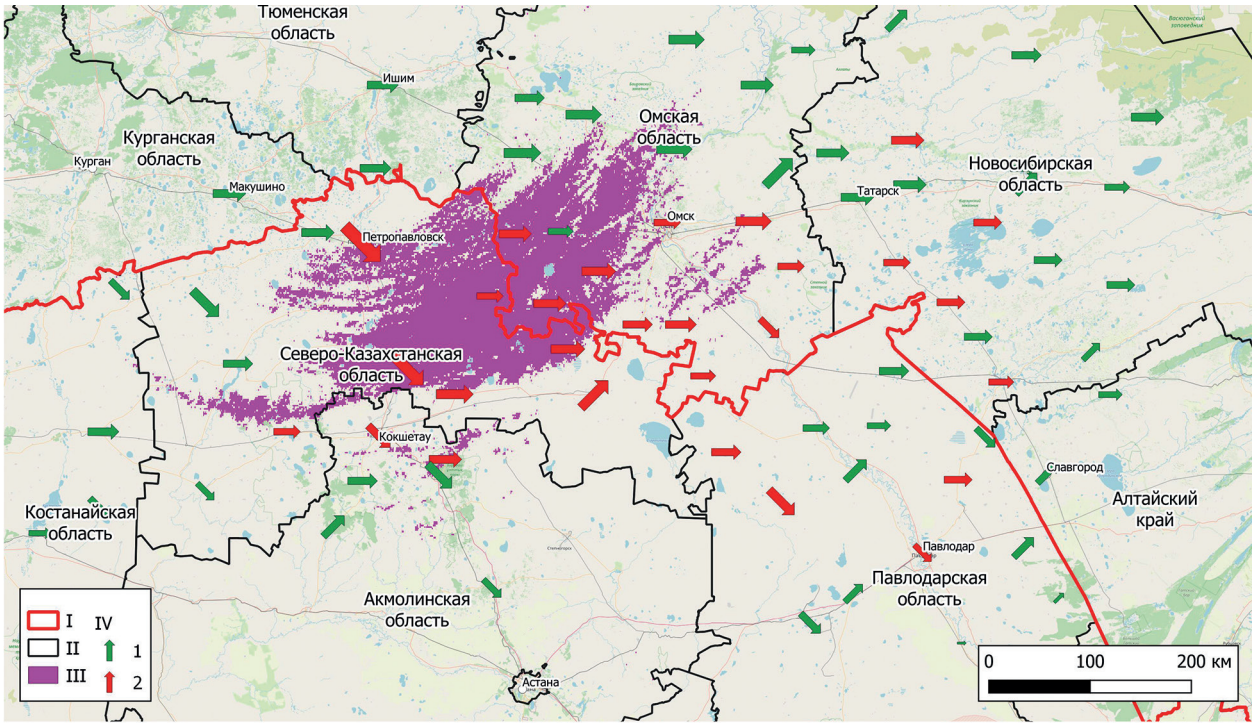
Смещение областей выдувания мелкозёма в Ставропольский край подтверждается и данными метеостанций (*рис. 2а*, см. с. 295). Например, в Южно-Сухокумске на севере Дагестана зафиксирован только один день с пыльной бурей при северо-западном ветре 5 марта. Начавшаяся здесь в 2021 г. тенденция зарастания перевеянных песков (Шинкаренко, Барталев, 2021) продолжилась и в 2022 г., что привело к ослаблению эоловых процессов. Соответственно, песчано-пылевой шлейф был принесён с территории Ставропольского края. В пос. Кочубей в 2022 г. отмечено семь дней с пыльными бурями при восточном ветре, источником выноса могли послужить пересыхающие солончаки на месте отступающего Каспийского моря. Таким образом, на севере Дагестана в 2022 г. интенсивность дефляции существенно снизилась по сравнению с 2020 и 2021 гг.

Сложной остаётся ситуация с опустыниванием и дефляцией на юге Калмыкии (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко, Барталев, 2020, 2021). В посёлках Комсомольский и Ики-Бурул зафиксировано 22 и 17 дней с пыльными бурями в 2022 г. соответственно. Таким образом, в настоящее время очагом пыльных бурь стала территория между г. Будённовском, с. Арзгир Ставропольского края и посёлками Ики-Бурул и Комсомольский в Калмыкии. Здесь зафиксировано семь дней с пыльными бурями по данным MODIS (см. *рис. 2а*). Разница между количеством дней с пыльными бурями по данным метеостанций и по результатам анализа спутниковых изображений вызвана большим количеством облачных дней. Наибольшая площадь, накрытая пыльной бурей, отмечена 29 марта при юго-западном ветре. При этом был интенсивный вынос мелкозёма и пыли с пашни в Ростовской и Волгоградской областях, а также с прибрежных солончаков Казахстана в северной и восточной частях Каспийского моря.

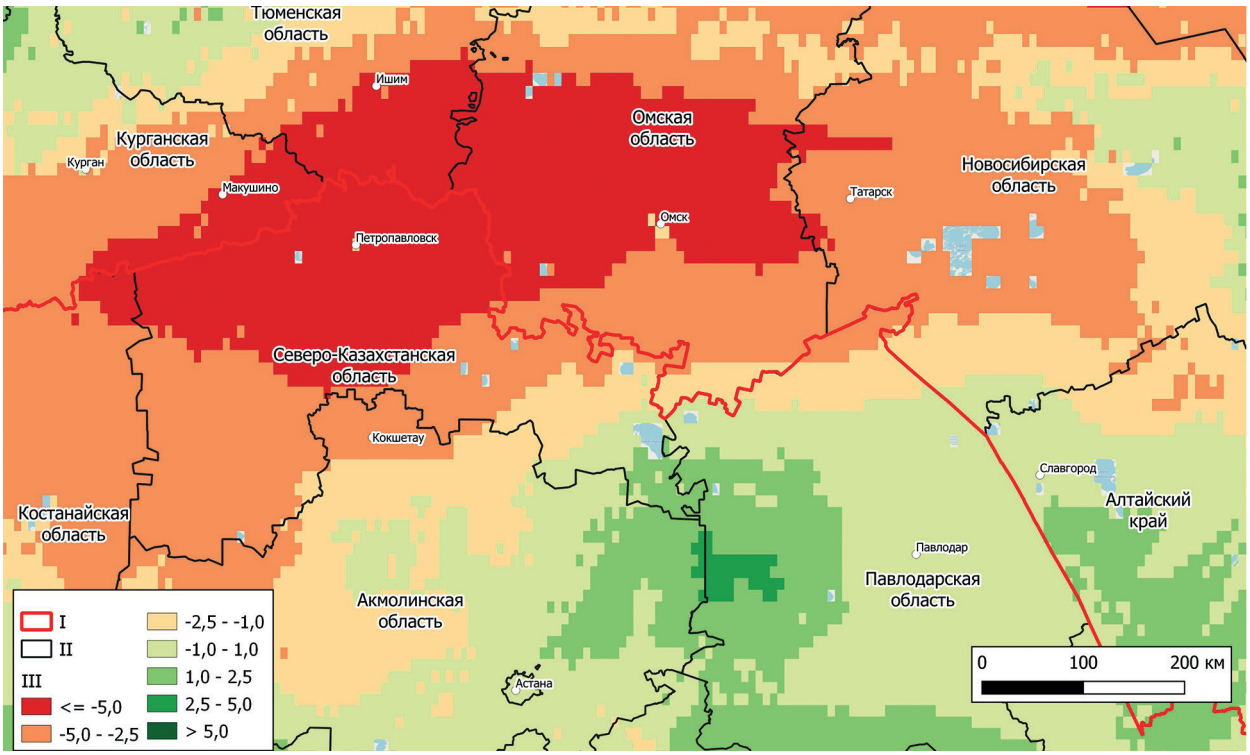
Спутниковое картографирование песчано-пылевых шлейфов осложняется облачностью, поэтому количество наблюдений при этом методе существенно меньше по сравнению с данными метеостанций. Тем не менее ряд электронных карт пыльных бурь по спутниковым данным позволяет выявить участки с их большей интенсивностью. В нашем случае территория максимального количества пыльных бурь и по данным метеостанций, и по данным спутникового мониторинга совпадает. При этом спутниковые изображения позволяют более точно локализовать дефляционно-опасный участок.

Карта среднемесячных аномалий влажности поверхности почвы в августе даёт объяснение смещению областей выдувания мелкозёма на запад по сравнению с 2020 и 2021 гг. (*рис. 2б*). На севере Дагестана, юго-востоке Калмыкии разница влажности поверхности почвы по сравнению с нормой не превысила 0,05 % (или 5×10^{-4} м^3/м^3). В Астраханской обл. и центральной части Калмыкии влажность почвы оказалась выше нормы. Более высокая влажность почвы является одним из факторов, противодействующим дефляции (Алахвердиев, Набиев, 2017), поэтому интенсивные эоловые процессы и пыльные бури стали возможны только в условиях почвенной засухи в Ставропольском крае и прилегающей южной части Калмыкии. Причиной снижения влажности почв была летняя засуха. Например, в Южно-Сухокумске в летние месяцы выпадало на 17–24 мм осадков ниже нормы при более высоких по сравнению со среднемноголетними значениями температурах августа (*таблица*). Территория дефицита влажности поверхности почвы в августе захватывала почти весь юг Европейской России. В результате локальные пыльные бури отмечались и в Ростовской обл. (Маргаритово, Ремонтное), и в Краснодарском крае (Белая Глина, Ейск), но они имели недостаточные размеры для обнаружения по используемым данным спутниковой съёмки.

В 2022 г. пыльные бури были отмечены не только на европейской части России, но и в Западной Сибири, например 6 мая в Омской и Новосибирской областях (*рис. 3*, см. с. 297) и 7 мая в Красноярском крае. Из-за облачности определение пылевого шлейфа 7 мая в Красноярском крае по спутниковым данным затруднено, поэтому была проанализирована только пыльная буря 6 мая на севере Казахстана, в Омской и Новосибирской областях. Пыльная буря началась в Северо-Казахстанской обл. при западном и северо-западном ветре, скорость которого, по данным метеостанции в Петропавловске, достигала 30–34 м/с. Источником выноса мелкозёма послужили пахотные земли. Протяжённость песчано-пылевого шлейфа составила 500–600 км, а площадь на момент съёмки была около 7 млн га (см. *рис. 3а*).



а



б

Рис. 3. Пыльная буря на юге Западной Сибири по данным MODIS Aqua от 06.05.2022: *а* — результат картографирования, 1 — пыльная буря не зафиксирована, 2 — пыльная буря зафиксирована; *б* — среднемесячная аномалия влажности почвы апреля. I — государственная граница РФ; II — границы регионов; III — песчано-пылевое облако (*а*), отклонение объёмной влажности почвы, % (*б*); IV — скорость и направление ветра по метеостанциям

По данным метеостанций, область, накрытая пыльной бурей, имела размеры примерно 350×700 км. Как и для европейской части, в Западной Сибири предпосылкой для пыльных

бурь кроме синоптических условий послужила почвенная засуха (см. *рис. 3б*). Отклонение влажности поверхностного слоя почвы от нормы достигало 5 % (или 5×10^{-2} м^3/м^3), что стало причиной резкого усиления дефляции при достижении скоростей ветра в 15–25 м/с.

Отклонение месячной суммы осадков и среднемесячной температуры от нормы

Месяц	Отклонение суммы осадков, мм/отклонение температуры, °C								
	Комсомольский			Арзгир			Южно-Сухокумск		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Январь	2/3,4	–9/2,9	6/2,5	7/3,6	–3/2,4	2/2,7	–5/3,1	–12/2,3	–4/2,1
Февраль	–5/4	20/–0,4	–8/5,6	–3/4,1	25/–0,2	–6/5,5	3/3,4	23/–0,3	–11/5,1
Март	10/4,3	–5/–0,1	1/–1,7	–19/4,2	–7/–0,4	–1/–2	1/3,8	–7/0	–2/–1,9
Апрель	–10/–1,1	–1/1,6	–9/2,4	–18/–1,3	6/0,9	–11/2,2	–9/–1,3	–3/1,8	–22/2,3
Май	1/0,5	–17/2,3	1/–1,1	17/0,2	–7/1,9	22/–1,6	28/0,5	–16/2,3	1/–1
Июнь	–8/2,8	19/1,7	–22/1,9	–36/2,9	65/1,4	–37/2,3	–18/2,7	14/1,8	–22/1,7
Июль	–2/2,5	–15/2,3	–4/–0,2	–44/2,9	–32/2,4	16/–0,8	–16/2,3	–9/1,6	–17/–0,2
Август	8/–0,5	63/3,3	–17/3	–18/0,2	–13/3,2	–27/3,1	0/–0,6	19/3,4	–24/2,7
Сентябрь	–17/1,6	19/–1,3	–14/1,9	–26/2,2	39/–1,3	–20/1,7	–22/1,8	46/–1,6	–5/1,9
Октябрь	–16/3,1	2/–1,8	–	–21/3,4	–15/–1,7	–	–18/3,6	3/–1,9	–
Ноябрь	6/–0,2	–6/1,2	–	18/–0,3	–14/1,9	–	–1/0,4	–12/1,1	–
Декабрь	–14/–2	–7/2,4	–	–12/–1,8	–6/2,5	–	–11/–0,6	–9/2,2	–

Данные о влажности поверхности почвы могут использоваться для прогнозирования условий возникновения пыльных бурь. Существуют технологии определения влажности верхнего почвенного горизонта на основе спутниковых данных оптического и теплового диапазонов, пассивной и активной микроволновой радиометрии (Wang, Qu, 2009), поэтому в совокупности с прогнозом по синоптической обстановке и ветровому режиму может быть построена соответствующая автоматизированная система мониторинга и прогноза пыльных бурь. Учитывая ущерб, который наносят пыльные бури (Кулик, Дубенок, 2016), разработка подобной системы становится актуальной. Сопоставление разновременных электронных карт шлейфов пыльных бурь позволяет выделить наиболее подверженные этому явлению территории и выявить причины дефляционной опасности.

Работа выполнена в рамках темы Института космических исследований РАН (регистрац. № 122100700008-5) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 2515-р от 2 сентября 2022 г. в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ с использованием сервиса «Вега-Science» (Loupian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015).

Литература

1. *Алахвердиев Ф. Д.*, *Набиев О. С.* Исследование механизмов дефляции в Северо-Западном Прикаспии индикационными методами для целей охраны и оптимизации почвенных ресурсов // Изв. Дагестанского гос. педагог. ун-та. Естественные и точные науки. 2017. Т. 11. № 3. С. 90–95.
2. *Гирина О. А.*, *Лупян Е. А.*, *Мельников Д. В.*, *Кашницкий А. В.*, *Уваров И. А.*, *Бриль А. А.*, *Константинова А. М.*, *Бурцев М. А.*, *Маневич А. Г.*, *Гордеев Е. И.*, *Крамарева Л. С.*, *Сорокин А. А.*, *Мальковский С. И.*, *Королев С. П.* Создание и развитие информационной системы «Дистанционный мониторинг ак-

тивности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 249–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265.
3. *Кулик К. Н.*, *Дубенок Н. Н.* Пыльные бури на Нижней Волге весной 2015 года // Вестн. Российской с.-х. науки. 2016. № 1. С. 4–7.
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. *Титкова Т. Б.*, *Золотокрылин А. Н.* Мониторинг подверженных опустыниванию земель Республики Калмыкия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 130–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
6. *Шинкаренко С. С.*, *Барталев С. А.* Последствия пыльных бурь 2020 года на юге европейской части России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 270–275. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
7. *Шинкаренко С. С.*, *Барталев С. А.* Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 291–297. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.
8. *Шинкаренко С. С.*, *Ткаченко Н. А.*, *Барталев С. А.*, *Юферев В. Г.*, *Кулик К. Н.* Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре – октябре 2020 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 291–296. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296.
9. *Kulik K. N.*, *Petrov V. I.*, *Yuferev V. G.*, *Tkachenko N. A.*, *Shinkarenko S. S.* Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian // Arid Ecosystems. 2020. V. 10. No. 2. P. 98–105. DOI: 10.1134/S2079096120020080.
10. *Loupian E.*, *Burtsev M.*, *Proshin A.*, *Kashnitskii A.*, *Balashov I.*, *Bartalev S.*, *Konstantinova A.*, *Kobets D.*, *Radchenko M.*, *Tolpin V.*, *Uvarov I.* Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Art. No. 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
11. *McNally A.* FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly Anomaly 0.1×0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) / Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). Greenbelt, Maryland, USA, 2018. DOI: 10.5067/GNKZZBAYDF4W.
12. *Wang L.*, *Qu J. J.* Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review // Frontiers of Earth Science in China. 2009. V. 3. P. 237–247. DOI: 10.1007/s11707-009-0023-7.

Satellite observations of dust storms in southern Russia in 2022

S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: bartalev@d902.iki.rssi.ru

Dust storms in the south of the European part of Russia have been observed annually since the autumn of 2020. The drought of 2020 and the unregulated grazing of livestock served as the preconditions for intensification of deflation processes. They led to the destruction of the vegetation cover on large areas of pastures in the Republics of Kalmykia and Dagestan, the Stavropol Krai and the Astrakhan Region. As a result, an increase in wind speed intensify aeolian processes up to the appearance of large-scale sand and dust plumes that reach the central part of Ukraine and southern Belarus. In 2022, dust storms were observed almost monthly from March to August. The report shows the results of mapping the sand and dust plumes based on the difference of 11 and 12 μm MODIS (Aqua) (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) channels in these regions, as well as in the south of Western Siberia. It is shown that atmospheric and soil drought contributes to the increased risk of dust storms. Deviation of soil surface moisture during the period of the most frequent dust storms in the south of European Russia reached 2.3 % (0.023 m^3/m^3) in August and 5 % (0.05 m^3/m^3) in April before the May dust storms in the south of Western Siberia. The results obtained can be used to develop a system for predicting the risk of dust storms.

Keywords: Kalmykia, Dagestan, Omsk Region, dust storms, remote sensing, desertification, deflation

Accepted: 04.11.2022
DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300

References

1. Alakhverdiev F. D., Nabiev O. S., Analysis of Deflation Mechanisms in the North-Western Caspian Sea Region by Means of Indicating Methods of Protection and Optimization Soil Resources, *Dagestan State Pedagogical University*. *J. Natural and Exact Sciences*, 2017, Vol. 11, No. 3, pp. 90–95 (in Russian).
2. Girina O. A., Loupian E. A., Melnikov D. V., Kashnitskii A. V., Uvarov I. A., Bril A. A., Konstantinova A. M., Burtsev M. A., Manevich A. G., Gordeev E. I., Kramareva L. S., Sorokin A. A., Malkovsky S. I., Korolev S. P., Creation and development of the information system "Remote Monitoring of Kamchatka and Kuril Islands Volcanic Activity", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 249–265 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265.
3. Kulik K. N., Dubenok N. N., Dust storms at the Low Volga in spring of 2015, *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2016, No. 1, pp. 4–7 (in Russian).
4. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskiy A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., 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 (in Russian).
5. Titkova T. B., Zolotokrylin A. N., Monitoring of lands affected by desertification in the Republic of Kalmykia, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 2, pp. 130–141 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
6. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September – October 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 270–275 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
7. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Assessment of desertification area in the south of the European part of Russia in 2021, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 291–297 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.
8. Shinkarenko S. S., Tkachenko N. A., Bartalev S. A., Yuferev V. G., Kulik K. N., Dust storms in the south of the European part of Russia in September – October 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 5, pp. 291–296 (in Russian), DOI: 10.1134/S2079096118010067.
9. Kulik K. N., Petrov V. I., Yuferev V. G., Tkachenko N. A., Shinkarenko S. S., Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian, *Arid Ecosystems*, 2020, Vol. 10, No. 2, pp. 98–105, DOI: 10.1134/S2079096120020080.
10. Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I., Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System, *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14, No. 1, Art. No. 77, DOI: 10.3390/rs14010077.
11. McNally A., *FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly Anomaly 0.1×0.1 degree* (*MERRA-2 and CHIRPS*), Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Greenbelt, Maryland, USA, 2018, DOI: 10.5067/GNKZZBAYDF4W.
12. Wang L., Qu J. J., Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review, *Frontiers of Earth Science in China*, 2009, Vol. 3, pp. 237–247, DOI: 10.1007/s11707-009-0023-7.