

Изменения площадей открытых песков и дефлированных пастбищ на юго-востоке европейской части России в 2023 году

С. С. Шинкаренко¹, С. А. Барталев¹, А. Б. Биарсланов²

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*

² *Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН
Махачкала, 367000, Россия*

E-mail: shrinkarenko@mail.smislab.ru

Представлены результаты мониторинга изменений площадей открытых песков и дефлированных территорий с использованием методов дистанционного зондирования Земли на юго-востоке европейской части России в 2023 г. Территория исследований включает естественные зональные пастбища в Астраханской обл., республиках Дагестан и Калмыкия, Ставропольском крае. В конце весны 2023 г. отмечена стабилизация площадей открытых песков и дефлированных территорий в сравнении с 2020–2021 гг. на общей площади около 250 тыс. га, что соответствует их состоянию в период до интенсификации процессов дефляции в регионе. Только на севере Дагестана и северо-востоке Ставропольского края отмечен прирост площадей дефлированных пастбищ весной 2023 г. по сравнению с предыдущим периодом, что связано с засушливыми условиями 2022 г. Также в 2023 г. значительно сократилось количество и интенсивность пыльных бурь в регионе. Наибольшее число дней с пыльными бурями (шесть дней) зафиксировано в Лаганском р-не Калмыкии, где они носили локальный характер и имели низкую интенсивность. К концу сентября 2023 г. площадь дефлированных пастбищ сократилась до 160 тыс. га, это связано с повышенным количеством осадков в конце весны и летом. Наземные обследования показали, что восстановление растительности произошло за счёт сорных однолетних растений, из-за чего остаётся высоким риск нарастания процессов дефляции при неблагоприятных гидротермических условиях в следующие годы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Landsat, дефляция, опустынивание, Калмыкия, Прикаспий

Одобрена к печати: 13.05.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-321-330

В настоящее время продолжают процессы деградации почвенного и растительного покрова зональных пастбищных ландшафтов на юго-востоке европейской части РФ: в Астраханской обл., республиках Дагестан и Калмыкия, а также в Ставропольском крае (Дорошенко, 2023б; Титкова, Золотокрылин, 2022; Yuferev et al., 2023). Поэтому требуется регулярная оценка изменений площадей открытых песков. Засуха и неконтролируемый выпас скота вызвали утрату растительного покрова на значительных площадях в 2020 г. (Шинкаренко и др., 2022а), что привело к масштабным пыльным бурям (Шинкаренко и др., 2020) и последующему многократному росту площадей подвижных песков и дефлированных территорий (Шинкаренко, Барталев, 2021). В период 2020–2022 гг. пыльные бури отмечались ежегодно, зона их максимальной интенсивности расположена на границе трёх субъектов: Ставропольского края, республик Калмыкия и Дагестан (Шинкаренко, Барталев, 2022). Существенная межгодовая и внутрисезонная динамика площадей песчаных массивов, вызванная эоловым переносом и пастбищными нагрузками, визуально заметна на разновременных спутниковых изображениях (рис. 1, см. с. 322). Данное исследование стало продолжением мониторинга изменений площадей открытых песков и пыльных бурь на юге европейской части России. Цель работы заключается в определении площадей дефлированных пастбищ, лишённых растительного покрова в 2023 г., и анализ их изменений по сравнению с периодом 2019–2022 гг. на юге европейской части России с использованием данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения.

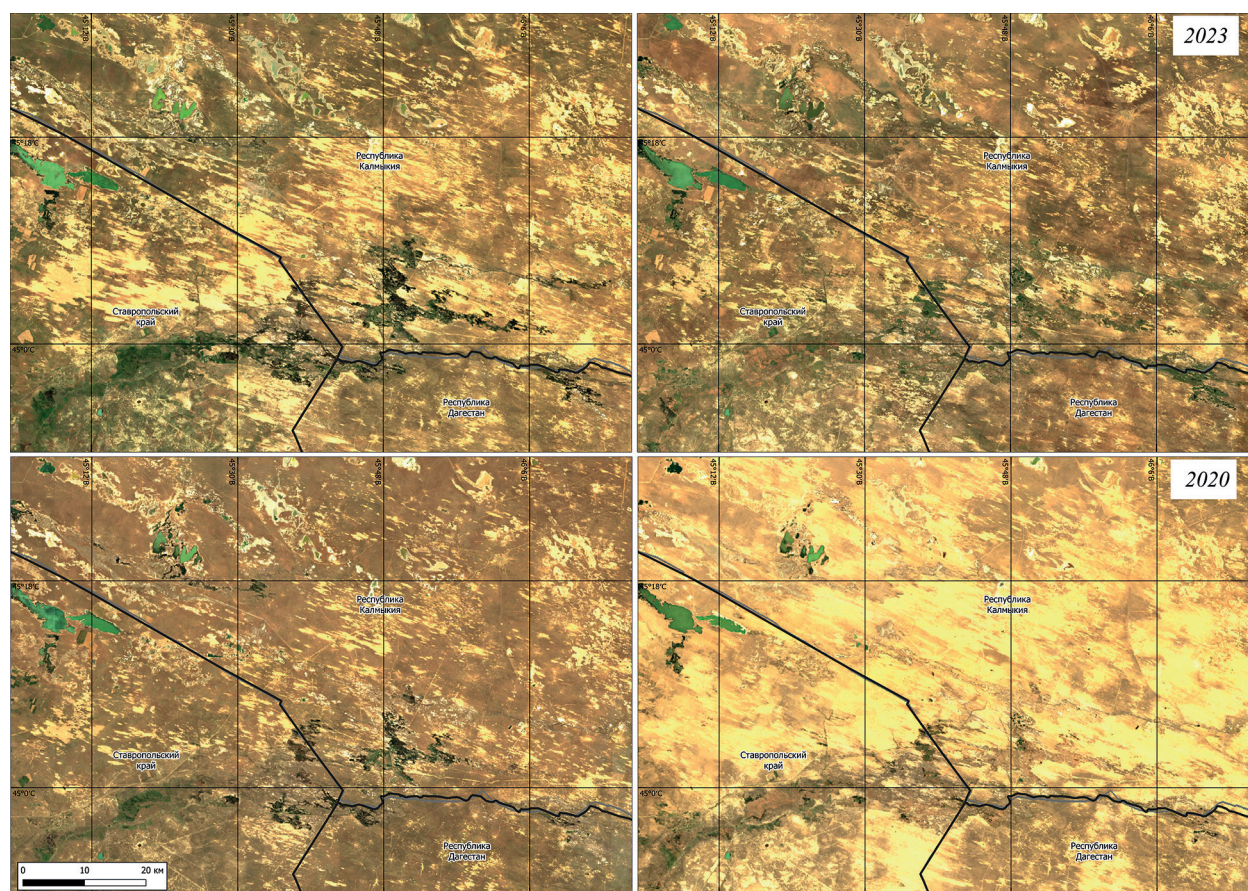


Рис. 1. Спутниковые трёхмесячные композитные изображения Sentinel-2 массивов подвижных песков на пастбищах в весенний (слева) и осенний (справа) периоды 2020 и 2023 гг.

Исследование основывается на классификации спутниковых изображений Landsat и Sentinel-2, прошедших процедуры коррекции атмосферных искажений и радиометрической калибровки, доступных в системе «Vegetation Science» (Loupian et al., 2022). Выбирались даты съёмки по возможности близкие к максимуму вегетации в мае и первой половине июня, когда покрытые фотосинтезирующей растительностью участки максимально контрастируют с открытыми песками. В 2023 г. из-за повышенной облачности весной не было возможности использовать свободные от облаков данные Landsat, полученные на весь регион исследований в близкие даты съёмки, а также данные Sentinel-2 и формируемые на их основе ежемесячные композитные изображения. Поэтому примерно 30 % площади покрытия региона спутниковыми изображениями составили данные Sentinel-2, приведённые к пространственному разрешению 30 м, соответствующему данным спутниковой системы Landsat-8/9 OLI (англ. Operational Land Imager). Выбранные данные имеют достаточно высокое пространственное разрешение для выделения границ участков подвижных песков относительно небольшой площади.

Каждый тайл спутниковых изображений классифицировался отдельно из-за различий в датах и характеристиках используемых сенсоров, после чего все данные объединялись в результирующий растровый файл. Применялся метод классификации изображений, включающих нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index) и коэффициент спектральной яркости (КСЯ) в красном диапазоне длин волн. Использование NDVI необходимо для отделения вегетирующей растительности, КСЯ в красном диапазоне спектра наиболее информативен при низких значениях проективного покрытия и при значительном вкладе нефотосинтезирующей растительности (Шинкаренко, Барталев, 2023а); это важно для выделения сообществ эфемероидов, которые

после окончания вегетации могут быть ошибочно отнесены к участкам без растительного покрова. Применение вегетационного индекса NDVI и альбедо распространено при картографировании участков без растительного покрова и позволяет получить достаточную точность (Титкова, Золотокрылин, 2022). Результат представлен на *рис. 2*.

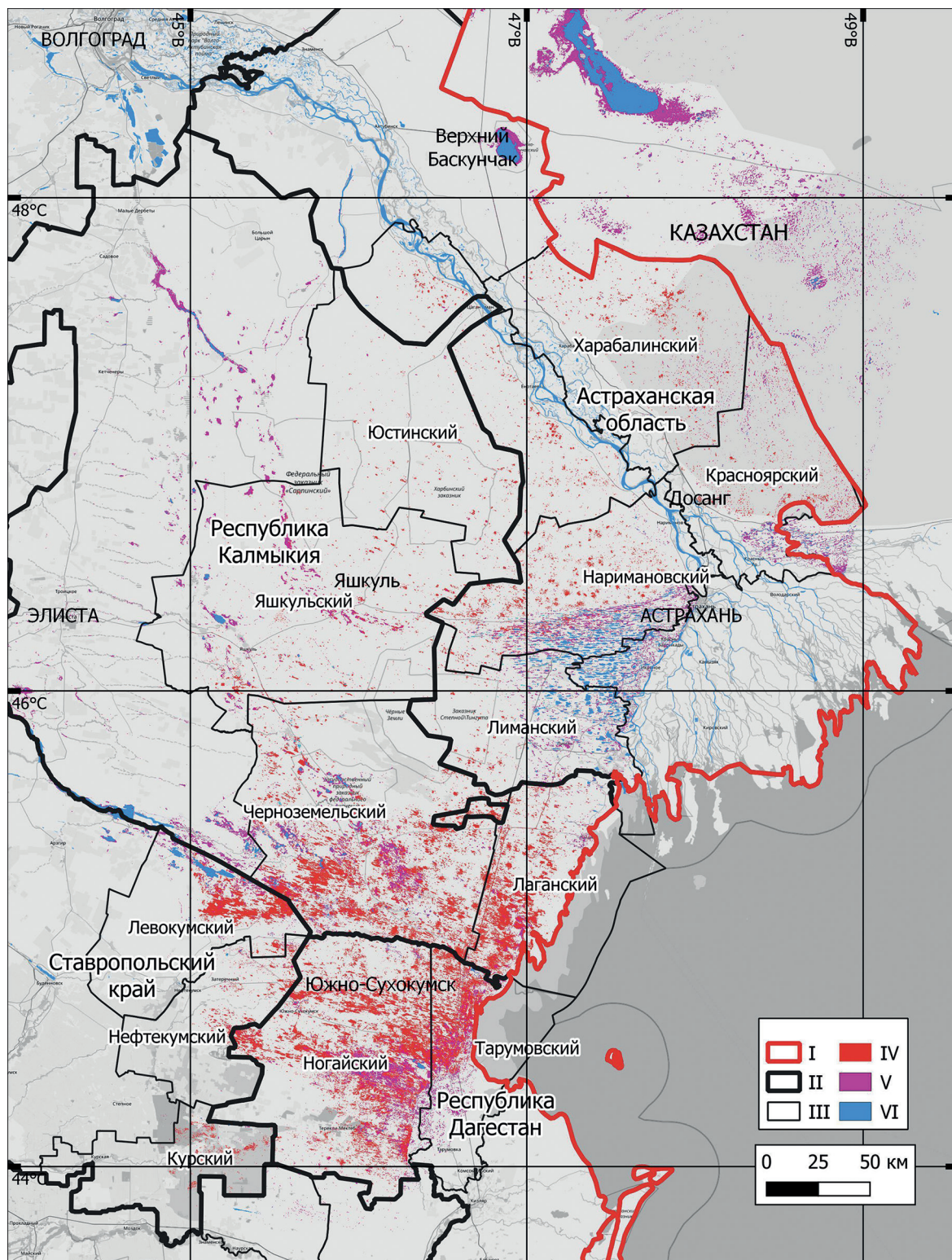


Рис. 2. Площади открытых песков и дефлированных земель по состоянию на весну 2023 г. (I — государственная граница РФ, II — границы регионов, III — границы районов, IV — участки без растительного покрова, V — соры и солончаки, VI — водоёмы)

Из анализа исключались населённые пункты, пахотные земли, а также многочисленные природные солончаки и соровые понижения, которые были предварительно картографированы отдельно (Шинкаренко, Барталев, 2023б). Их площадь составила около 245 тыс. га, что практически совпадает с данными, полученными методом экспертного дешифрирования — 249,5 тыс. га (Берденгалиева и др., 2023). Карты распределения открытых песков за период 2019–2022 гг. были сформированы по результатам ранее проведённого исследования (Шинкаренко и др., 2022а). Дополнительно было включено Заволжье Астраханской обл. — граничащие с Казахстаном Харабалинский и Красноярский районы, большую часть территории которых занимают пастбища на песчаных почвах и песках, где также отмечены процессы роста площадей дефлированных территорий (Дорошенко, Мелихова, 2023; Tyutyuma et al., 2023).

По состоянию на май 2023 г. зафиксировано 244 тыс. га открытых песков и дефлированных участков без растительного покрова (рис. 3), что практически соответствует их площадям в 2019 г. и на 25 тыс. га больше по сравнению с весной 2022 г. Площадь стабильных массивов открытых песков и дефлированных территорий, переходящих из года в год, составляет 61 тыс. га, если за начальный период считать 2019 г., и 85,1 тыс. га относительно 2020 г. Рост площадей, лишённых растительного покрова в 2023 г., пришёлся главным образом на север Дагестана (+40,2 тыс. га) и северо-восток Ставропольского края (+2,6 тыс. га). В Калмыкии и Астраханской обл. отмечено снижение площадей дефлированных пастбищ на 7,6 и 9,9 тыс. га соответственно. Период 2022–2023 гг. в Астраханской обл. характеризовался нормальным увлажнением (см. рис. 3б), а конец весны и начало лета 2023 г. в Калмыкии были самыми влажными за последние годы (см. рис. 3а).

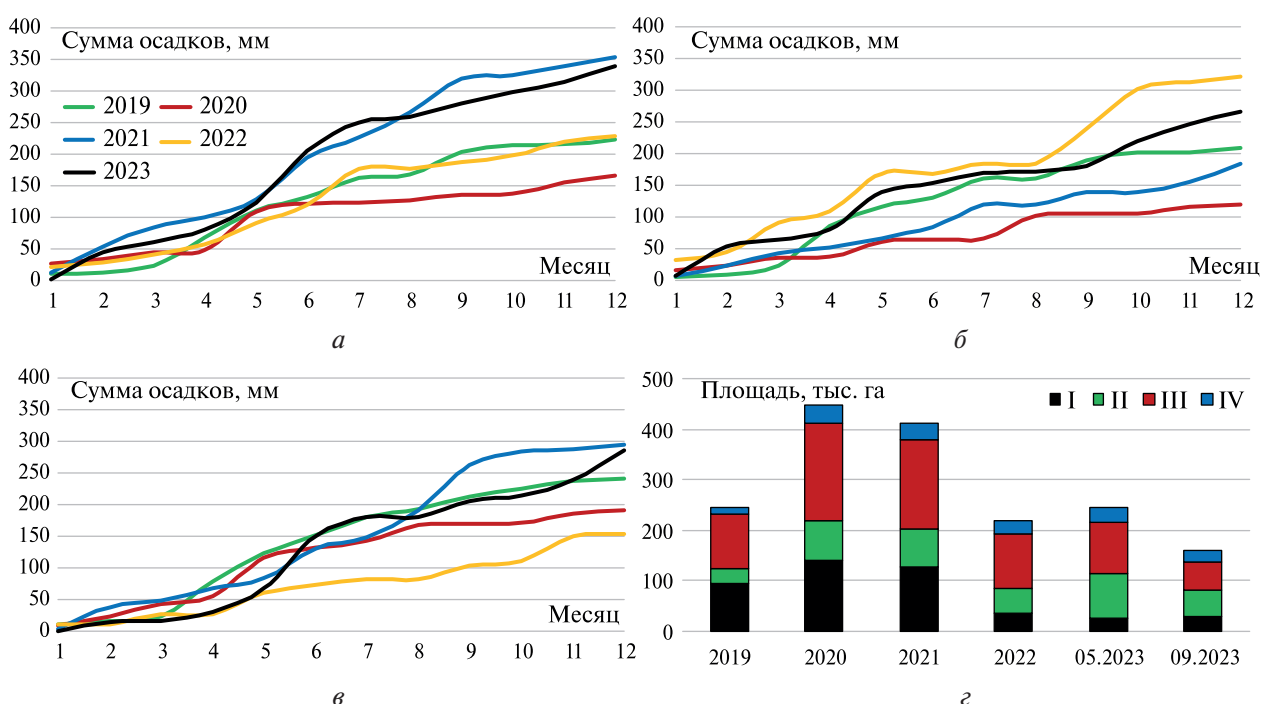


Рис. 3. Динамика накопленных месячных сумм осадков в 2019–2023 гг. по данным метеостанций Яшкуль (а), Досанг (б) и Южно-Сухокумск (в) и динамика площадей открытых песков и дефлированных территорий (г) (I — Астраханская обл., II — Республика Дагестан, III — Республика Калмыкия, IV — Ставропольский край)

Согласно Базе данных показателей муниципальных образований (https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm) поголовье домашнего скота на начало 2023 г. практически не изменилось в сравнении с 2022 г., оставаясь на уровне примерно 2,6 млн голов овец и коз, что составляет минимальную величину за последние 10–15 лет. Снижение пого-

ловья после 2020 г. и достаточное увлажнение в 2023 г. способствовали восстановлению растительного покрова на значительных площадях в Калмыкии и Астраханской обл. На севере Дагестана, наоборот, 2022 г. был самым сухим, даже в сравнении с чрезвычайно засушливым 2020 г. (см. *рис. 3в*), что привело к практически ежемесячным пыльным бурям, а в августе 2022 г. количество дней с пыльными бурями превысило 18 (Шинкаренко, Барталев, 2022). Таким образом, к росту площадей открытых песков к маю 2023 г. на севере Дагестана и северо-востоке Ставропольского края привели засушливый 2022 г. с интенсивными дефляционными процессами и сухое начало весны 2023 г.

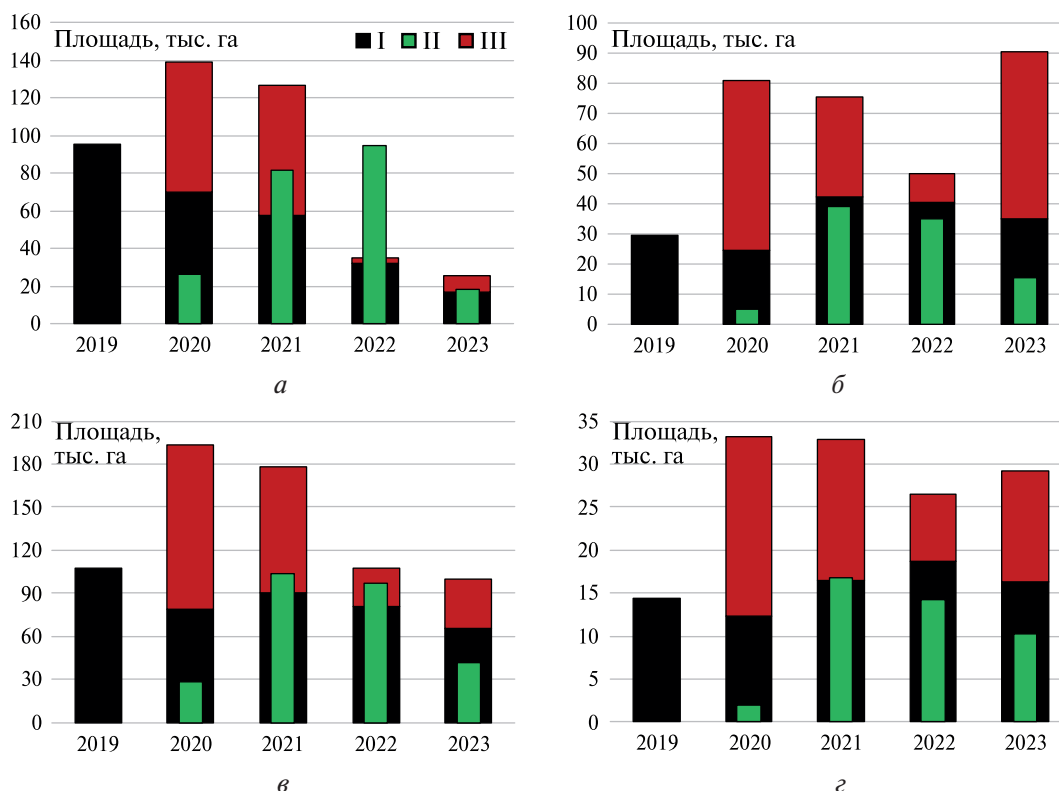


Рис. 4. Изменение площадей опустынивания в 2019–2023 гг. (по отношению к предыдущему году: I — переходящая площадь опустынивания, II — уменьшение, III — прирост): а — Астраханская обл.; б — Республика Дагестан; в — Республика Калмыкия; г — Ставропольский край

В Астраханской обл. после 2020 г. отмечается устойчивое снижение площадей пастбищ, лишённых растительного покрова. Отчасти это происходит из-за восстановления значительных по площади выгоревших территорий в Красноярском р-не на границе с Казахстаном. В 2019 и 2020 гг. здесь выгорело более 100 тыс. га (Шинкаренко и др., 2022б). На песчаных почвах в результате пожаров резко увеличивается альбедо из-за сгорания растительной ветоши и напочвенного покрова, при этом данный эффект сохраняется в течение нескольких лет (Шинкаренко, 2021). Таким образом, прирост площадей без растительного покрова весной 2021 г. в Астраханской обл. вызван не только засухой 2020 г., но и масштабными степными пожарами. В пользу этого факта свидетельствует и резкое снижение площади открытых песков в 2022 г. (*рис. 4а*) из-за восстановления растительности на ранее пройденных огнем территориях. По данным В. В. Дорошенко и А. В. Мелиховой (2023) площадь открытых песков, картографированная методом экспертного дешифрирования спутниковых изображений, в левобережных районах Астраханской обл. изменялась от 55 тыс. га в сентябре 2019 г. и 323 тыс. га в сентябре 2020 г. до 260 тыс. га осенью 2022 г. На 2022 г. такая оценка представляется существенно завышенной, возможно, из-за перепутывания открытых песков с участками зарастающих гарей от пожаров 2019–2020 гг., которые характеризуются более

ярким тоном в сравнении с негоревшими участками. Также зарастающие гари на следующий год после пожара, как правило, имеют более высокие значения NDVI весной по сравнению с открытыми песками (0,2 и выше), что не даёт оснований для отнесения их к территориям без растительного покрова. При этом развитие новых очагов открытых песков редко связано с пожарами (Дорошенко, 2023а), несмотря на возможное кратковременное усиление процессов дефляции на песчаных почвах при отсутствии растительности после пирогенного воздействия.

В 2023 г. по данным всех метеостанций региона исследований наблюдалось достаточно высокое увлажнение в осенний период. В результате к концу сентября площадь участков без растительного покрова сократилась на 85 тыс. га по сравнению с маем, достигнув 159 тыс. га. Как показали наземные обследования, площадь открытых песков сократилась преимущественно за счёт зарастания периферии и аккумулятивных областей песчаных массивов однолетниками, в первую очередь солянкой сорной *Salsola tragus* (рис. 5). Однолетние растения не в состоянии надёжно зафиксировать подвижные пески на продолжительный период (Dedova et al., 2020), поэтому риск роста их площади в следующие годы остаётся высоким.

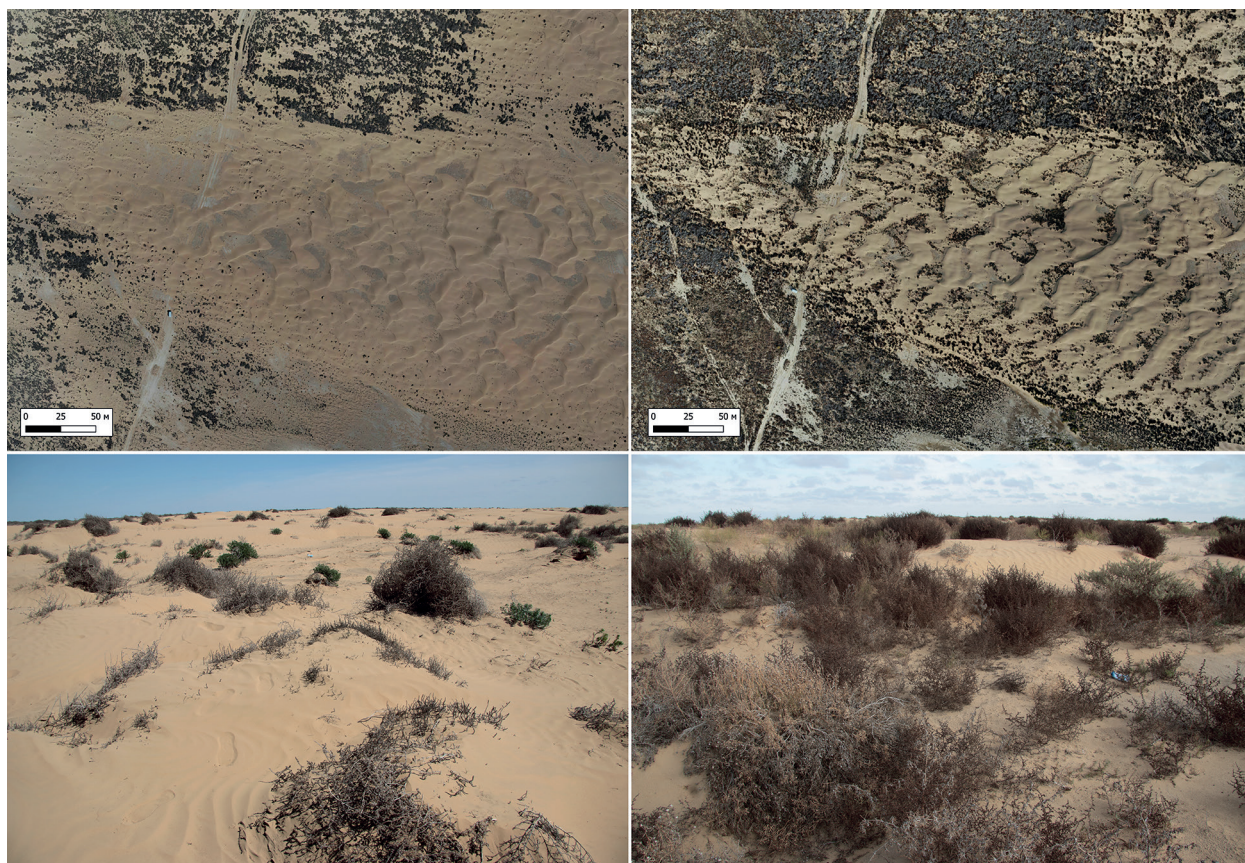


Рис. 5. Ортофотопланы и наземные фотографии песчаного массива в Ногайском р-не Дагестана в апреле (слева) и в октябре 2023 г. (справа)

В 2023 г. заметно снизилось количество пыльных бурь, особенно сильно уменьшилась их площадь в сравнении с периодом 2020–2022 гг. По данным Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных (<http://aisori-m.meteo.ru>) метеостанциями в Южно-Сухокумске, Яшкуле и Астрахани не зарегистрировано ни одного дня с пыльной бурей, в Элисте и Будённовске было три дня с этим явлением преимущественно слабой интенсивности. Только в Лагани было шесть дней с пыльными бурями слабой интенсивности, что соответствует среднемуголетнему значению

и в значительной степени может быть связано с выдуванием материала с обсыхающего дна отступающего Каспийского моря при преобладающих здесь восточных ветрах. Ни одна из этих локальных пыльных бурь не была зафиксирована средствами дистанционного зондирования из космоса.

В результате проведённого исследования установлено, что ситуация с ростом площадей подвижных песков и дефлированных территорий на юге европейской части России в 2022–2023 гг. стабилизировалась относительно периода 2020–2021 гг. В 2023 г. отмечены только единичные локальные пыльные бури слабой интенсивности, в то время как в период 2020–2022 гг. эти явления разной силы были регулярными. Площадь лишённых растительного покрова пастбищ на конец весны 2023 г. составляла 244 тыс. га, к концу сентября в результате восстановления растительного покрова она снизилась до 159 тыс. га. Растительность на зарастающих переветренных песках представлена сорными однолетними видами, из-за чего при неблагоприятных гидротермических условиях сохраняется высокий риск повторения резкого увеличения площадей открытых песков и пыльных бурь подобно 2020–2021 гг.

Отсутствие достаточного количества безоблачных изображений высокого пространственного разрешения в течение вегетационного сезона 2023 г. (в том числе ежемесячных композитных изображений Sentinel-2) не позволило в полной мере оценить внутригодовую динамику площадей дефлированных пастбищ. Для дальнейшего мониторинга изменений площадей открытых песков целесообразно использовать трёхмесячные композитные изображения, доступные в системе «Вега-Science» (Кашницкий и др., 2022) и соответствующие временам года: весна (1 марта – 31 мая), лето (1 июня – 31 августа) и осень (1 сентября – 30 ноября).

Работа выполнена в рамках темы Института космических исследований РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) в части обработки данных ДЗЗ с использованием сервиса «Вега-Science» (Loupian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015), а также по теме Научно-исследовательской работы Дагестанского федерального исследовательского центра № 122032200273-6 в части наземного обследования пастбищ в течение 2023 г.

Литература

1. Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В., Мелихова А. В. Анализ пространственного распределения сорных понижений в Северном Прикаспии // Научно-агрон. журн. 2023. № 4. С. 41–50. DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.006.41-45.
2. Дорошенко В. В. (2023а) Влияние развития процессов опустынивания на распространение ландшафтных пожаров в Ставропольском крае // Ученые записки Казанского ун-та. Сер.: Естествен. науки. 2023. Т. 165. № 3. С. 486–498. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
3. Дорошенко В. В. (2023б) Динамика площади открытых песков на северо-востоке Ставропольского края в 2022 г. // Геогр. вестн. 2023. № 4(67). С. 127–136. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-127-136.
4. Дорошенко В. В., Мелихова А. В. Оценка проявлений опустынивания в Астраханском Заволжье по данным дистанционного зондирования Земли // Изв. НВ АУК. 2023. № 2(70). С. 239–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-27.
5. Кашницкий А. В., Бурцев М. А., Прошин А. А. Технология создания безоблачных композитных изображений по данным спутников серии Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 76–85. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
6. 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., Сычуглов 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.
7. 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.
8. Шинкаренко С. С. Изменение спектрально-отражательных характеристик зональных ландшафтов Северного Прикаспия при пирогенном воздействии // Современные проблемы

- дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 192–206. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-192-206.
9. 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.
 10. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Спутниковые наблюдения пыльных бурь на юге России в 2022 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 6. С. 293–300. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300.
 11. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. (2023а) Анализ влияния видового состава, проективно-го покрытия и фитомассы растительности аридных пастбищных ландшафтов на их спектрально-отражательные свойства по данным наземных измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 176–192. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.
 12. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. (2023б) Картографирование сорových понижений и солончаков в Северном Прикаспии на основе многолетних данных Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 5. С. 153–165. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-153-165.
 13. Шинкаренко С. С., Ткаченко Н. А., Барталев С. А. и др. 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.
 14. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. (2022а) Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге европейской России в 2019–2022 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319–327. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.
 15. Шинкаренко С. С., Дорошенко В. В., Берденгалиева А. Н. (2022б) Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Изв. Российской акад. наук. Сер. географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 122–133. DOI: 10.31857/S2587556622010113.
 16. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Land Degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and Reclamation Methods // Arid Ecosystems. 2020. V. 10. No. 2. P. 140–147. DOI: 10.1134/S2079096120020043.
 17. Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Article 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
 18. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Tyutyuma N. A. Anthropogenic Factors of Desertification of Arid Territories of the Astrakhan Region // Arid Ecosystems. 2023. V. 13. No. 1. P. 45–49. DOI: 10.1134/S207909612301016X.
 19. Yuferev V. G., Silova V. A., Tkachenko N. A. Remote Monitoring of Desertification in Kalmykia // Arid Ecosystems. 2023. V. 13. No. 1. P. 39–44. DOI: 10.1134/S2079096123010171.

Changes in the areas of open sands and deflated pastures in the southeastern part of European Russia in 2023

S. S. Shinkarenko¹, S. A. Bartalev¹, A. B. Biarslanov²

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

² Dagestan Federal Research Centre RAS, Makhachkala 367000, Russia

E-mail: shinkarenko@mail.smlslab.ru

The brief communication presents the ongoing monitoring results of changes in open sand areas and deflated territories obtained using remote sensing technologies in the southeastern part of European Russia in 2023. The study area encompasses natural zonal pastures in Astrakhan Region, republics of Dagestan and Kalmykia, and Stavropol Krai. By late spring 2023, stabilization of open sand areas and deflated territories was observed over a total area of about 250,000 hectares, corresponding to the situation in 2019 — a period before the intensification of deflation processes in the region. Only in the north of Dagestan and the northeast of Stavropol Krai was there an increase in deflated pasture areas in spring 2023 compared to 2022, which is attributed to the dry conditions in 2022. Additionally, in

2023, the number and intensity of dust storms in the region significantly decreased. The highest number of days with dust storms (6 days) was recorded in the Lagan district of Kalmykia; they were localized and had low intensity. By the end of September 2023, the area of deflated pastures had decreased to 160,000 hectares due to increased precipitation at the end of spring and during the summer. Ground surveys showed that recovery occurred through the growth of annual weed plants, which poses a high risk of deflation intensification under unfavorable hydrometeorological conditions.

Keywords: remote sensing, Landsat, deflation, desertification, Kalmykia, Caspian region

Accepted: 13.05.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-321-330

References

1. Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V., Melikhova A. V., Sor depressions spatial distribution analysis in the northern Near-Caspian Region, *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*, 2023, No. 4, pp. 41–50 (in Russian), DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.006.41-45.
2. Doroshenko V. V. (2023a), Understanding the impact of desertification progress on the spread of landscape fires in The Stavropol region, *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2023, Vol. 165, No. 3, pp. 486–498 (in Russian), DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
3. Doroshenko V. V. (2023b), Dynamics of the area of open sands in The Stavropol region in 2022, *Geograficheskii vestnik*, 2023, No. 4(67), pp. 127–136 (in Russian), DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-127-136.
4. Doroshenko V. V., Melikhova A. V., Assessment of desertification manifestations in the Astrakhan Volga region according to remote sensing data, *Izvestiya NV AUK*, 2023, No. 2(70), pp. 239–246 (in Russian), DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-27.
5. Kashnitskii A. V., Burtsev M. A., Proshin A. A., Technology to create cloud-free composites from Sentinel-2 satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 5, pp. 76–85 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
6. 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).
7. 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.
8. Shinkarenko S. S., Changes in spectral reflectance characteristics of the Northern Caspian zonal landscapes under pyrogenic influence, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 3, pp. 192–206 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-192-206.
9. 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.
10. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Satellite observations of dust storms in southern Russia in 2022, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 6, pp. 293–300 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300.
11. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2023a), Analysis of the influence of species composition, projective cover and phytomass of arid landscape pasture vegetation on spectral reflectance properties based on ground measurements, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 176–192 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.
12. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2023b), Mapping of sor depressions and solonchaks in the Northern Caspian region based on long-term Landsat data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 5, pp. 153–165 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-153-165.
13. Shinkarenko S. S., Tkachenko N. A., Bartalev S. A. et al., 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: DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296.
14. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V. (2022a), Satellite monitoring of desertification processes in the south of European Russia in 2019–2022, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 5, pp. 319–327 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.

15. Shinkarenko S. S., Doroshenko V. V., Berdengalieva A. N. (2022b), Burned areas dynamics in zonal landscapes of the South-East of The European part of Russia, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2022, Vol. 86, No. 1, pp. 122–133 (in Russian), DOI: 10.31857/S2587556622010113.
16. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L., Land Degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and Reclamation Methods, *Arid Ecosystems*, 2020, Vol. 10, No. 2, pp. 140–147. DOI: 10.1134/S2079096120020043.
17. Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al., Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System, *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14, No. 1, Article 77, DOI: 10.3390/rs14010077.
18. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Tyutyuma N. A., Anthropogenic Factors of Desertification of Arid Territories of the Astrakhan Region, *Arid Ecosystems*, 2023, Vol. 13, No. 1, pp. 45–49. DOI: 10.1134/S207909612301016X.
19. Yuferev V. G., Silova V. A., Tkachenko N. A., Remote Monitoring of Desertification in Kalmykia, *Arid Ecosystems*, 2023, Vol. 13, No. 1, pp. 39–44, DOI: 10.1134/S2079096123010171.