

Мониторинг сезонных и межгодовых изменений площади открытых песков и дефлированных пастбищ на юго-востоке европейской части России в 2019–2025 гг. по данным Sentinel-2

С. С. Шинкаренко¹, С. А. Барталев¹, А. Б. Биарсланов²,
А. В. Кашницкий¹, Е. А. Лупян¹, В. С. Полтарин¹

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: shinkarenko@d902.iki.rssi.ru*

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

В кратком сообщении представлены результаты картографирования открытых песков и дефлированных пастбищ в российской части Прикаспийской низменности (Астраханская область, Ставропольский край, республики Дагестан, Калмыкия и Чечня) в период 2019–2025 гг. по данным Sentinel-2. В работе использовались трёхмесячные композитные изображения с устранённым влиянием облачности, что позволило проанализировать не только межгодовые, но и сезонные изменения площади дефлированных пастбищ. Наибольшая площадь открытых песков и дефлированных территорий отмечена в 2020–2021 гг., когда эта величина достигла 1,5 млн га (около 15 % территории исследований). После 2021 г. наблюдается устойчивое зарастание очагов дефляции растительностью из-за снижения поголовья скота и улучшения условий увлажнения. На 2025 г. их площадь достигла минимума за весь изученный период на уровне около 120 тыс. га. Наземные исследования, проведённые в период 2021–2025 гг., свидетельствуют о восстановлении растительного покрова на дефлированных пастбищах преимущественно за счёт однолетних растений и эфемероидов. Из-за этого сохраняется высокий риск интенсификации процессов дефляции при неблагоприятных гидротермических условиях и росте пастбишных нагрузок.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Sentinel-2, дефляция, опустынивание, Калмыкия, Прикаспий, Чёрные земли

Одобрена к печати: 03.02.2026
DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-1-365-372

После катастрофической засухи и масштабных пыльных бурь 2020 г. в регионах юго-востока Европейской России интенсифицировались процессы дефляции (Шинкаренко, Барталев, 2021; Tyutyuma et al., 2023; Yuferev et al., 2023), которые привели к росту площади деградированных пастбищ и подвижных песков (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко и др., 2025б). Наиболее сильно эти негативные процессы проявляются на песчаных и супесчаных почвах российской части Прикаспийской низменности (*рис. 1*, см. с. 366), куда входят: Астраханская область (Енотаевский, Красноярский, Лиманский, Наримановский, Харабалинский районы общей площадью 3,1 млн га), Ставропольский край (Курский, Северокумский, Нефтекумский, Степновский районы общей площадью 1,4 млн га), республики Дагестан (Ногайский и Тарумовский районы общей площадью 1,3 млн га), Калмыкия (Лаганский, Черноземельский, Юстинский и Яшкульский районы общей площадью 3,6 млн га) и Чечня (Наурский и Шелковской районы площадью 0,5 млн га). Таким образом, общая площадь территории исследований составила 9,9 млн га.

Цель данного исследования заключается в определении сезонных и многолетних изменений площади лишённого растительного покрова дефлированных пастбищ, в том числе с образованием массивов открытых песков. Для её достижения был разработан метод картографирования открытых песков и дефлированных территорий на основе композитных изображений с устранённым влиянием облачности по данным спутника Sentinel-2 (Кашницкий и др., 2022) пространственного разрешения 10 м (*рис. 1*) и машинного обучения (Шинкаренко и др., 2025а).

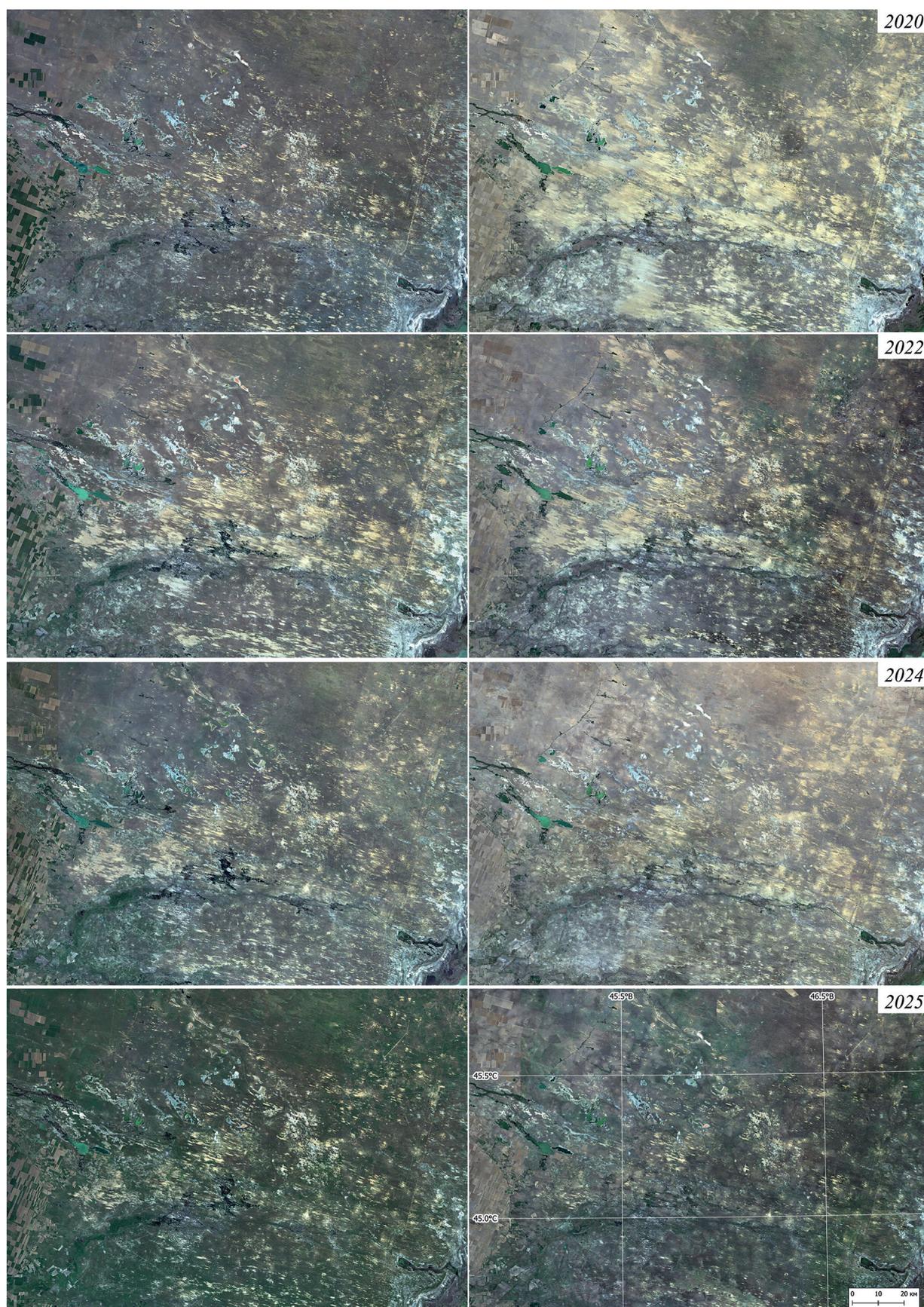


Рис. 1. Спутниковые композитные трёхмесячные изображения Sentinel-2 массивов открытых песков на пастбищах на границе Ставропольского края, республик Дагестан и Калмыкия весной (слева) и осенью (справа) в 2020–2025 гг.

В работе использовались трёхмесячные композитные изображения, полученные с применением сервиса «Вега-Science» (Lourian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015). Предварительно были картографированы и исключены из анализа солончаки, спектрально схожие с открытыми песками (Шинкаренко, Барталев, 2023).

Ранее исследования основывались на пороговой сегментации спутниковых данных Landsat-8, -9 пространственного разрешения 30 м, полученных в весенний период. Наибольшие детектированные с применением этого подхода площади открытых песков и дефлированных территорий отмечены в 2020 и 2021 гг.: 452 и 416 тыс. га соответственно (Шинкаренко и др., 2025б). Использование спутниковых изображений на отдельные даты в году не даёт достаточного представления о сезонных изменениях площади подвижных песков и лишённых растительности дефлированных территорий при их мониторинге на макрорегиональном уровне, поскольку из-за облачности редко удаётся получить сцены на близкие даты для всей исследуемой области (Юфев и др., 2022; Yuferev et al., 2023). В то же время площади открытых песков достаточно динамичны в течение года, что проявляется как в их росте под влиянием неблагоприятных факторов, так и в зарастании при снижении пастбищных нагрузок и улучшении гидротермических условий (Биарсланов и др., 2023; Дорошенко, 2024). Поэтому использование разносезонных спутниковых данных позволяет учитывать сезонные изменения площади дефлированных территорий и более точно анализировать их межгодовую динамику.

Стремительный рост площади открытых песков начался летом 2020 г. в результате воздействия комплекса негативных факторов: засух, чрезмерных пастбищных нагрузок и сильных продолжительных ветров, которые привели к пыльным бурям осенью этого года (рис. 2, см. с. 368). Летом и осенью 2020 г. гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) был примерно в пять раз ниже тридцатилетней нормы, при этом продолжительность дефляционно опасных ветров с максимальной скоростью более 15 м/с (около 10 м/с на уровне земли (Алахвердиев, Набиев, 2017)) превысила 100 ч. В результате осенью 2020 г. площадь лишённых растительного покрова пастбищ в изучаемых регионах по данным Sentinel-2 превысила 1,5 млн га (15,4 % исследуемой территории). Только в Чеченской Республике не отмечено существенного роста площади открытых песков, на протяжении всего анализируемого периода она не превысила 8,1 тыс. га (менее 1,5 % территории).

После 2020 г. масштабные пыльные бури стали достаточно регулярными, они отмечались в 2021, 2022 и 2024 гг. (Шинкаренко, Барталев, 2021, 2022, 2024). В 2023 и 2025 гг. пыльные бури были локальными и кратковременными, фиксировались только отдельными метеостанциями, поэтому не оказали существенного влияния на изменения площади открытых песков. В течение 2025 г. наблюдалось восстановление растительного покрова, а небольшой рост площади лишённых растительности пастбищ был связан с пожарами, которые фиксировались во всех исследованных регионах. Рост горимости может свидетельствовать о восстановительной динамике растительного покрова пастбищ, поскольку при его значительной деградации количество и площади пожаров сокращаются из-за недостатка горючих материалов (Дорошенко, 2023). Связь площади открытых песков и дефлированных пастбищ в Калмыкии с продолжительностью ветров с максимальной скоростью более 15 м/с по данным метеостанции Яшкуль характеризуется коэффициентом корреляции $R = 0,63$ ($p < 0,01$).

Во второй половине 2021 г. после июньских пыльных бурь наблюдалось улучшение гидротермических условий, ГТК летом и осенью был значительно выше многолетней нормы, в результате этого практически половина площади лишённых растительности из-за дефляции территорий восстановилась. Полученные величины достаточно точно согласуются с оценкой по данным MODIS (англ. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) на осень 2020 г. — 1,4 млн га, без учёта части Астраханской области, и существенно больше на весну 2021 г.: 1,2 млн га по данным Sentinel-2 против 0,3 млн га по данным MODIS пространственного разрешения 230 м (Шинкаренко, Барталев, 2021). Подобная разница может объясняться как большим охватом территории настоящего исследования, так и более высоким уровнем пространственной детальности используемых спутниковых данных. Перевеянные пески после

пыльных бурь осенью 2020 г. образовали значительные пространства из-за объединения разрозненных песчаных массивов, поэтому детектировались достаточно надёжно и по данным MODIS. Но по мере зарастания растительностью территории перевеянных песков фрагментировались и весной 2021 г. стали хуже детектироваться по данным более низкого пространственного разрешения.

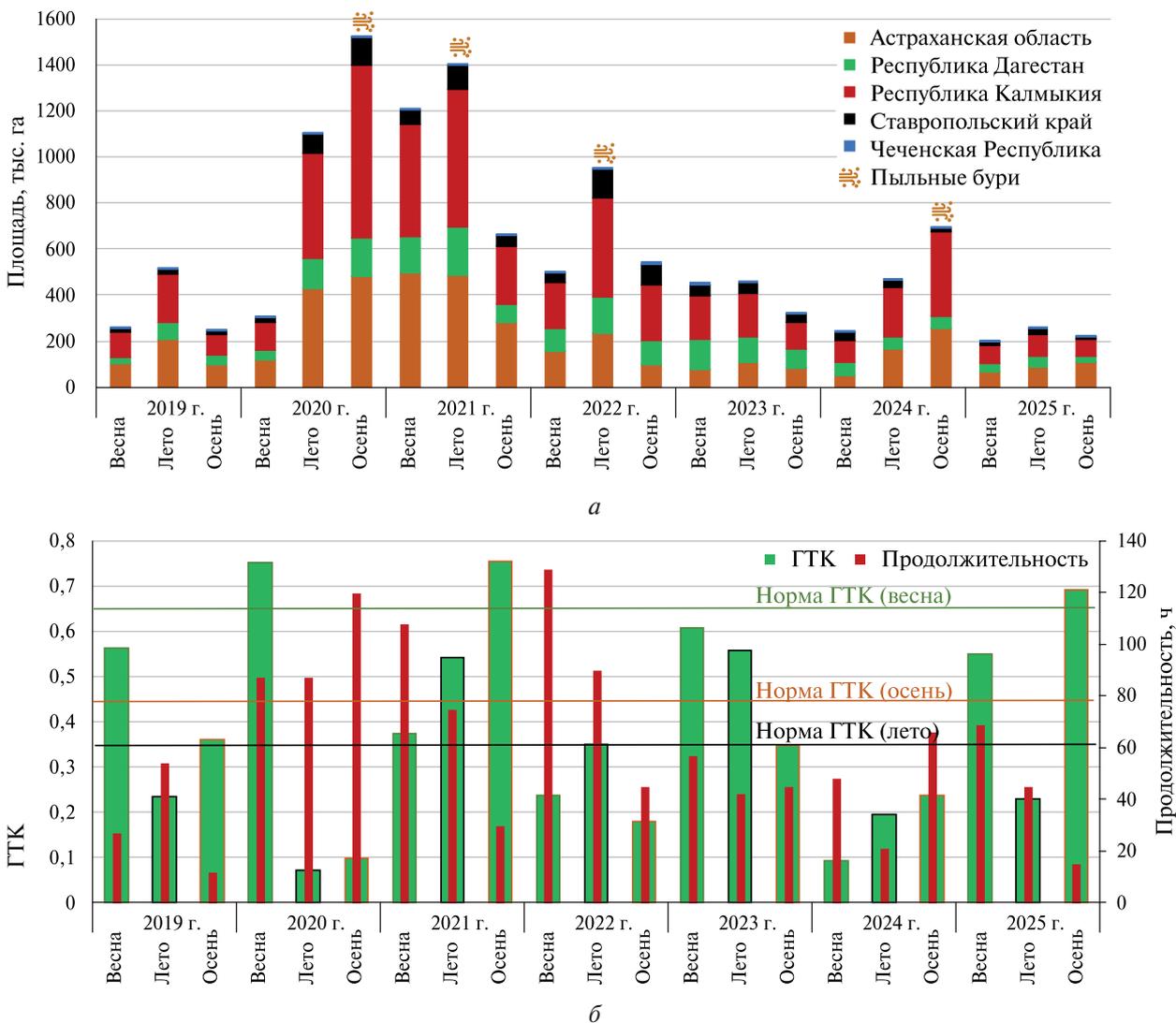


Рис. 2. Динамика площади открытых песков и дефлированных земель (а), гидротермического коэффициента Селянинова и продолжительности ветров с максимальной скоростью более 15 м/с (б) по метеостанции Яшкуль в 2019–2025 гг.

Полученные ранее результаты картографирования открытых песков и дефлированных территорий по данным Landsat пространственного разрешения 30 м на апрель–май (Шинкаренко и др., 2025б) недооценивают их площади на 60 % по сравнению с использованными весенними данными Sentinel-2. Отчасти это связано с применением метода пороговой сегментации изображений Landsat с экспертным определением пороговых значений коэффициентов спектральной яркости и вегетационных индексов. Для такого метода характерен более высокий уровень неопределённости получаемых результатов в сравнении с использованием методов машинного обучения, применяемых с данными Sentinel-2 пространственного разрешения 10 м. Повышение пространственной детальности используемых спутниковых данных позволило также более точно идентифицировать относительно небольшие участки

деградированных пастбищ, лишённые растительного покрова, в том числе в результате техногенного воздействия при добыче нефтепродуктов и строительстве сопутствующей инфраструктуры (Dedova et al., 2020), выдувании эолового материала с грунтовых дорог. Также существенные отличия при применении данных MODIS, Landsat на отдельные даты и композитных изображений Sentinel-2 могут быть обусловлены построением последних на основе медианы коэффициентов спектральной яркости по всем чистым наблюдениям за три месяца (Кашницкий и др., 2022). В весенний период благодаря влагозапасам в почве растительность развивается достаточно стремительно, поэтому спутниковые изображения второй половины весны фиксируют максимальное в году проективное покрытие. На весенних композитных изображениях, которые учитывают период, предшествующий началу вегетации, проективное покрытие неизбежно будет меньше, чем в период весеннего пика зелёной фитомассы. Сопоставление полученных данных с результатами картографирования площади открытых песков в летний и осенний период методом экспертного дешифрирования изображений Sentinel-2 (Дорошенко, 2024; Дорошенко, Мелихова, 2023) демонстрирует разницу не более 10–15 %.

На 2025 г. величина площади с восстановившимся растительным покровом впервые превысила сумму существующих открытых песков, где не менее одного раза в году фиксировалось отсутствие растительности. Заращение в первую очередь связано с улучшением гидро-термических условий (коэффициент корреляции с суммой осадков для Калмыкии по метеостанции Яшкуль $R = 0,64$, $p < 0,1$) и снижением поголовья домашнего скота после 2020 г. (Шинкаренко, Барталев, 2021), а образование новых перевейанных песков — с дефляционно опасными ветрами (коэффициент корреляции с продолжительностью ветров с максимальной скоростью более 15 м/с $R = 0,66$, $p < 0,1$) при усилении засушливости (связь новой площади с суммой осадков за гидрологический год отрицательная с $R = -0,74$, $p < 0,05$). Ежегодно фиксируемая в 2019–2025 гг. площадь дефлированных пастбищ составляет около 150 тыс. га, в том числе 50 тыс. га полностью деградированных пастбищ (примерно 0,5 % исследованной площади), которые представляли собой открытые пески или другие лишённые растительного покрова участки непрерывно в течение всего этого периода. На этих территориях должны в первую очередь быть проведены мероприятия по фитомелиорации, как правило они приурочены к животноводческим фермам, поилкам и другим местам концентрации скота (Shinkarenko et al., 2023).

Наземные исследования, которые осуществлялись на севере Дагестана в Терско-Кумском междуречье в период 2021–2025 гг. на пастбищах под перевейанными песками и на очагах дефляции, позволили определить особенности восстанавливающегося растительного покрова. В 2021–2022 гг. в зарастающих областях аккумуляции эолового материала преобладал эфемероид мятлик луковичный. В условиях благоприятного летнего увлажнения 2023 г. (ГТК выше нормы) значительные площади были покрыты однолетней солянкой сорной, в том числе фиксировалось заращение периферии массивов подвижных песков как этим видом, так и другими однолетниками (паслён рогатый, дурнишники колючий и обыкновенный и др.). В 2025 г. отмечена тенденция зарастания областей аккумуляции эолового материала не только сорными однолетниками, но и однолетними злаками, например рожью дикой с высокой степенью проективного покрытия.

В результате исследования на основе спутниковых изображений высокого пространственного разрешения получены наиболее точные и полные оценки изменений площади открытых песков и дефлированных пастбищ в российской части Прикаспийской низменности с учётом их сезонных изменений. Полученные данные демонстрируют преобладание процессов зарастания очагов дефляции после 2021 г., а в 2025 г. площадь открытых песков и дефлированных пастбищ впервые за исследуемый период стала меньше, чем в 2019 г. Несмотря на относительную стабилизацию процессов эолового переноса и продолжающееся заращение открытых песков, сохраняются высокие риски интенсификации дефляции в случае повторения засух подобно 2020 или 2024 гг., поскольку однолетние растения не могут обеспечить полноценное закрепление песков. По этим причинам необходимо продолжение мониторинга состояния пастбищ Прикаспия.

Работа выполнена в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) в части обработки данных дистанционного зондирования Земли с использованием сервиса «Veга-Science» и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», а также по теме НИР ДФИЦ № 125020501449-5 в части наземного обследования пастбищ.

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. Биарсланов А. Б., Шинкаренко С. С., Гаджиев И. Р. Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания на севере Дагестана по ежемесячным композитам Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 160–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175.
3. Дорошенко В. В. Влияние развития процессов опустынивания на распространение ландшафтных пожаров в Ставропольском крае // Ученые записки Казанского ун-та. Сер.: Естественные науки. 2023. Т. 165. № 3. С. 486–498. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
4. Дорошенко В. В. Оценка ежемесячной динамики площадей открытых песков на востоке Ставропольского края в 2023 г. // Геодезия и картография. 2024. Т. 85. № 4. С. 10–19. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1006-4-10-19.
5. 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.
6. Кашицкий А. В., Буцев 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.
7. Лупян Е. А., Прошин А. А., Буцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий 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.
8. 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.
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: 10.21046/2070-7401-2021-187-4-291-297.
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. 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.
12. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Пыльные бури на юге европейской части России осенью 2024 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 375–382. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-375-382.
13. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Биарсланов А. Б., Полтарин В. С. (2025а) Метод картографирования сезонной динамики площадей открытых песков и дефлированных территорий на основе спутниковых данных высокого разрешения и машинного обучения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 3. С. 207–221. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-207-221.
14. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Биарсланов А. Б., Чэн Д. (2025б) Мониторинг изменений площадей открытых песков и дефлированных пастбищ на юго-востоке европейской части России в 2024–2025 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 4. С. 387–396. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-387-396.

15. Юфереv В. Г., Беляев А. И., Синельникова К. П. Опустынивание земель сельскохозяйственного назначения в Черноземельском районе Калмыкии // Изв. НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 465–473. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
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. Shinkarenko S. S., Vypritskiy A. A., Vasilchenko A. A., Berdengalieva A. N. Analysis of anthropogenic influence on desertification processes in the Northern Caspian region according to satellite data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2023. V. 59. No. 9. P. 1115–1125. DOI: 10.1134/S0001433823090177.
19. 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.
20. 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.

Monitoring seasonal and interannual changes in the area of open sands and deflated pastures in southeastern European Russia from 2019 to 2025 using Sentinel-2 data

S. S. Shinkarenko¹, S. A. Bartalev¹, A. B. Biarslanov²,
A. V. Kashnitskii¹, E. A. Loupian¹, V. S. Poltarin¹

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: shinkarenko@d902.iki.rssi.ru

² Daghestan Federal Research Centre RAS, Makhachkala 367000, Russia

This brief communication presents the results of mapping open sands and deflated pastures in the Russian part of the Caspian Lowland (Astrakhan Region, Stavropol Krai, and the Republics of Dagestan, Kalmykia, and Chechnya) for the period 2019–2025 using Sentinel-2 data. The study employed three-month composite images with cloud cover influence removed, enabling the analysis of not only interannual but also seasonal changes in the area of deflated pastures. The largest area of open sands and deflated territories was recorded in 2020–2021, when it reached 1.5 million hectares (approximately 15 % of the study area). After 2021, a steady recovery of vegetation cover in deflation hotspots was observed, attributed to reduced livestock numbers and improved moisture conditions. By 2025, their area reached a minimum for the entire study period, at approximately 120,000 hectares. Field studies conducted between 2021 and 2025 indicate the recovery of vegetation on deflated pastures, primarily through annual plants and ephemeroiids. Consequently, a high risk of intensified deflation processes remains under unfavorable hydrothermal conditions and increased grazing pressure.

Keywords: remote sensing, Sentinel-2, deflation, desertification, Kalmykia, Caspian region, Black Lands

Accepted: 03.02.2026

DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-1-365-372

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, *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 2017, V. 11, No. 3, pp. 90–95 (in Russian).

2. Biarslanov A. B., Shinkarenko S. S., Gadzhiev I. R., Mapping and analysis of desertification areas seasonal dynamics in the north of Dagestan based on Sentinel-2 monthly composites, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, V. 20, No. 1, pp. 160–175 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175.
3. Doroshenko V. V., Understanding the impact of desertification progress on the spread of landscape fires in the Stavropol region, *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2023, V. 165, No. 3, pp. 486–498 (in Russian), DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
4. Doroshenko V. V., Assessing the open sand areas monthly dynamics in the east of the Stavropol Krai in 2023, *Geodeziya i kartografiya*, 2024, V. 85, No. 4, pp. 10–19 (in Russian), DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1006-4-10-19.
5. 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.
6. 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, V. 19, No. 5, pp. 76–85 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
7. 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, V. 12, No. 5, pp. 263–284 (in Russian).
8. 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, V. 19, No. 2, pp. 130–141 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
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, V. 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, V. 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., 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, V. 20, No. 5, pp. 153–165 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-153-165.
12. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Dust storms in the south of the European part of Russia in autumn 2024, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 6, pp. 375–382 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-375-382.
13. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Biarslanov A. B., Poltarin V. S. (2025a), A method of mapping seasonal dynamics of open sand areas and deflated territories based on high-resolution satellite data and machine learning, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 22, No. 3, pp. 207–221 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-207-221.
14. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Biarslanov A. B., Cheng D. (2025b), Monitoring changes in the areas of open sands and deflated pastures in the southeast of the European part of Russia in 2024–2025, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 22, No. 4, pp. 387–396 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-387-396.
15. Yuferev V. G., Belyaev A. I., Sinelnikova K. P., Desertification of agricultural lands in the Chernozemelsky district of Kalmykia, *Izvestiya NV AUK*, 2022, No. 4 (68), pp. 465–473 (in Russian), DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
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, 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, V. 14, No. 1, Article 77, DOI: 10.3390/rs14010077.
18. Shinkarenko S. S., Vypritskiy A. A., Vasilchenko A. A., Berdengalieva A. N., Analysis of anthropogenic influence on desertification processes in the Northern Caspian region according to satellite data, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2023, V. 59, No. 9, pp. 1115–1125, DOI: 10.1134/S0001433823090177.
19. 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, pp. 45–49, DOI: 10.1134/S207909612301016X.
20. Yuferev V. G., Silova V. A., Tkachenko N. A., Remote monitoring of desertification in Kalmykia, *Arid Ecosystems*, 2023, V. 13, No. 1, pp. 39–44, DOI: 10.1134/S2079096123010171.