

## Мониторинг изменений площадей открытых песков и дефлированных пастбищ на юго-востоке европейской части России в 2024–2025 гг.

С. С. Шинкаренко<sup>1</sup>, С. А. Барталев<sup>1</sup>, А. Б. Биарсланов<sup>2</sup>, Д. Чэн<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН  
Махачкала, 367000, Россия*

<sup>3</sup> *Китайский горно-технологический университет, Сюйчжоу, 221116, Китай*

В кратком сообщении представлены результаты продолжающегося мониторинга изменений площадей открытых песков и дефлированных территорий на юго-востоке европейской части РФ (Астраханская область, Ставропольский край, республики Дагестан и Калмыкия). Весной 2024 г. зафиксировано 190 тыс. га лишённых растительного покрова пастбищ. На большей части региона исследований летом и в начале осени 2024 г. наблюдались неблагоприятные гидротермические условия, которые привели к масштабной пыльной буре в конце сентября, увеличившей площадь перевеянных песков почти до 300 тыс. га. Весной 2025 г. зафиксировано около 115 тыс. га открытых песков и дефлированных территорий. Таким образом, примерно 230 тыс. га лишённых растительного покрова пастбищ по состоянию на осень 2024 г. в разной степени покрылись растительностью, ещё 32 тыс. га открытых песков образовалось вновь в 2025 г. Наземные обследования показали, что растительный покров на зарастающих песках представлен эфемероидами, эфемерами и другими однолетниками, что сохраняет риски интенсификации процессов дефляции при неблагоприятных гидротермических условиях и сильных ветрах.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, Landsat, дефляция, опустынивание, Калмыкия, Прикаспий, Чёрные земли

Одобрена к печати: 10.06.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-387-396

Исследование выполняется в рамках продолжающегося мониторинга изменений площадей лишённых растительного покрова пастбищ с образованием открытых (подвижных) песков на юго-востоке европейской части России после катастрофической засухи 2020 г. (Виноградова, Титкова, 2024; Титкова, Золотокрылин, 2022) в следующих регионах: Астраханской области (Енотаевский, Красноярский, Лиманский, Наримановский, Харабалинский районы общей площадью 3,1 млн га), Ставропольском крае (Курский, Левокумский, Нефтекумский районы общей площадью 1,2 млн га), республиках Дагестан (Ногайский и Тарумовский районы общей площадью 1,3 млн га) и Калмыкия (Лаганский, Черноземельский, Юстинский и Яшкульский районы общей площадью 3,6 млн га). Также наблюдения ведутся и в Чеченской Республике (Наурский и Шелковской районы площадью 0,5 млн га), где площадь территорий без растительного покрова относительно стабильна и не превышает 5–7 тыс. га (Шинкаренко и др., 2024), поэтому этот субъект в данном исследовании не анализируется.

Начиная с 2020 г. практически ежегодно на территории исследований фиксировались пыльные бури разной интенсивности и продолжительности (Шинкаренко, Барталев, 2022, 2024), которые играли значительную роль в увеличении площадей открытых песков (рис. 1, см. с. 388). Исключением стал только благоприятный по гидротермическим условиям 2023 г., когда масштабные пыльные бури отсутствовали, а по данным метеостанций в этот год отмечались только пылевые позёмки. В результате к концу 2023 г. площади открытых песков и дефлированных территорий стабилизировались (Дорошенко, 2024; Дорошенко, Мелихова, 2023).

В конце сентября – начале октября 2024 г. пыльные бури фиксировались метеостанциями региона в течение пяти дней подряд. По спутниковым данным песчано-пылевой шлейф

30 сентября 2024 г. имел протяжённость более 800 км, накрыв площадь около 19 млн га (Шинкаренко, Барталев, 2024). Тем не менее в 2024 г. вынос мелкозёма при пыльных бурях отмечался преимущественно с пахотных земель на границе Калмыкии, Ставропольского края, Волгоградской и Ростовской областей. Пастбищные земли были затронуты пыльными бурями преимущественно на юге Калмыкии и северо-востоке Ставропольского края, где наблюдался наибольший дефицит почвенной влаги. Вследствие этого изменения площадей открытых песков в 2024 г. на территории исследований происходили неравномерно.

Цель исследования заключается в определении изменений площадей открытых песков и дефлированных территорий на юго-востоке европейской части России в 2024 г. под влиянием пыльных бурь и оценке зарастания растительностью перевеянных песков в 2025 г.

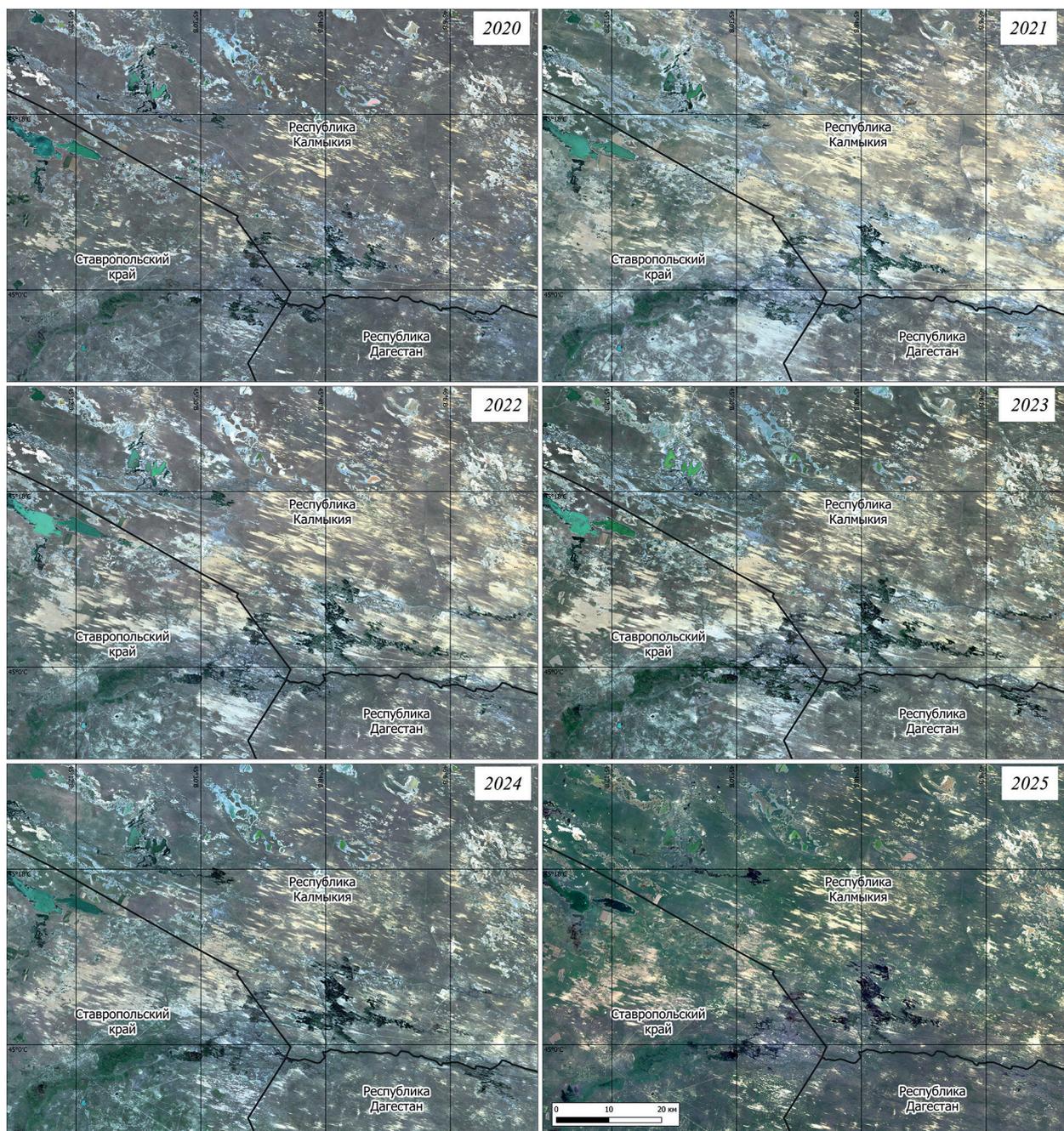
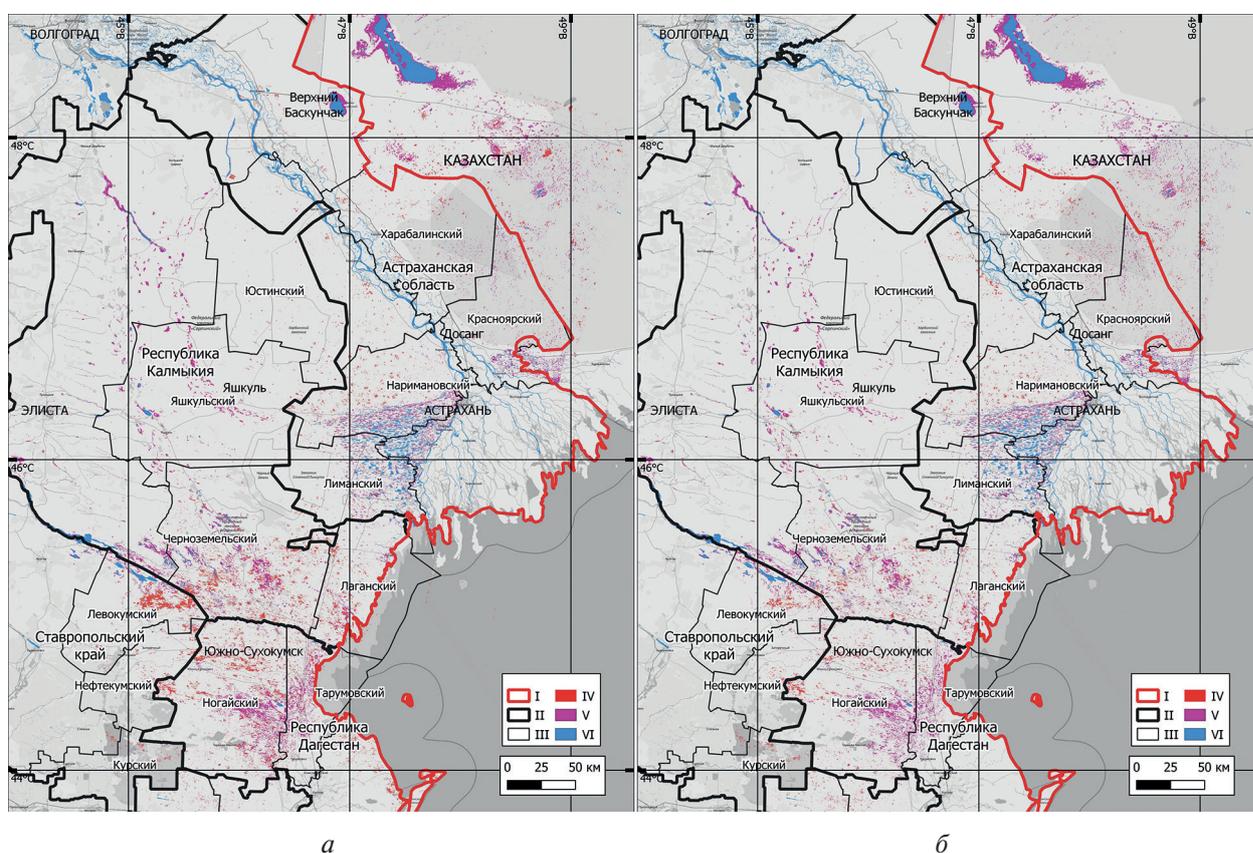


Рис. 1. Спутниковые изображения Sentinel-2 массивов подвижных песков на пастбищах на границе Ставропольского края, республик Дагестан и Калмыкия в весенний период 2020–2025 гг.

Исследование основано на классификации преимущественно спутниковых изображений Landsat-8, -9. Также использовались спутниковые данные Sentinel-2 (около 10 % данных), приведённые к пространственному разрешению 30 м и соответствию коэффициентам спектральной яркости (КСЯ) Landsat с разницей менее 4 % (данные HLS (*англ.* Harmonized Landsat and Sentinel-2) (Ju et al., 2025)). Получение и обработка спутниковых данных осуществлялись с задействованием сервиса «Вега-Science» (Lourian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015). Идентификация лишённых растительности пастбищ, включая открытые пески и дефлированные территории, проводилась на основе использования экспертных порогов NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index) и КСЯ красного диапазона, одних из наиболее чувствительных к отсутствию растительного покрова характеристик (Шинкаренко, 2021). Применялись спутниковые изображения весеннего периода, в 2024 г. также проанализированы данные на октябрь и ноябрь для оценки изменений площадей подвижных песков после пыльных бурь. Предварительно были картографированы сорные понижения и солончаки (Шинкаренко, Барталев, 2023) общей площадью около 200 тыс. га (2,1 % территории исследований), которые не учитывались в работе (*рис. 2*).



*Рис. 2.* Площади открытых песков и дефлированных земель по состоянию на весну: *а* — 2024 г.; *б* — 2025 г. I — государственная граница РФ, II — границы регионов, III — границы районов, IV — подвижные пески и дефлированные территории, V — соры и солончаки, VI — водоёмы

На апрель 2024 г. площадь открытых песков и дефлированных территорий составила около 190 тыс. га (2 % исследуемых районов) против примерно 250 тыс. га (2,7 %) на май 2023 г. и 160 тыс. га (1,7 %) — на сентябрь 2023 г. (*рис. 3*, см. с. 390). Это существенно меньше, чем в период 2020–2021 гг. с наименее благоприятными гидротермическими условиями, когда площадь лишённых растительности пастбищ в весенний период достигала 5 % исследуемой территории (450 тыс. га), а после пыльных бурь осенью 2020 г. по данным

MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) превысила 1,5 млн га (16,3 %) (Шинкаренко, Барталев, 2020). Сложившиеся в течение 2024 г. неблагоприятные гидро-термические условия привели к деградации растительности, почвенной засухе и пыльным бурям, вследствие чего площадь подвижных песков и дефлированных территорий к концу октября достигла почти 300 тыс. га (3,2 % площади исследованных районов). При этом в течение 2024 г. наблюдалось и частичное зарастание открытых песков на площади около 100 тыс. га, преимущественно в Дагестане и Ставропольском крае, в то время как на протяжении всего года без растительного покрова находилось 87 тыс. га пастбищ большей частью в Калмыкии. Таким образом, прирост площадей подвижных песков в результате пыльных бурь 2024 г. составил примерно 211 тыс. га. Многие исследования, посвящённые анализу многолетних изменений площадей подвижных песков, не учитывают их сезонную динамику при выборе дат спутниковых изображений, что может приводить к некорректным результатам (Юфев и др., 2022; Yuferev et al., 2023).

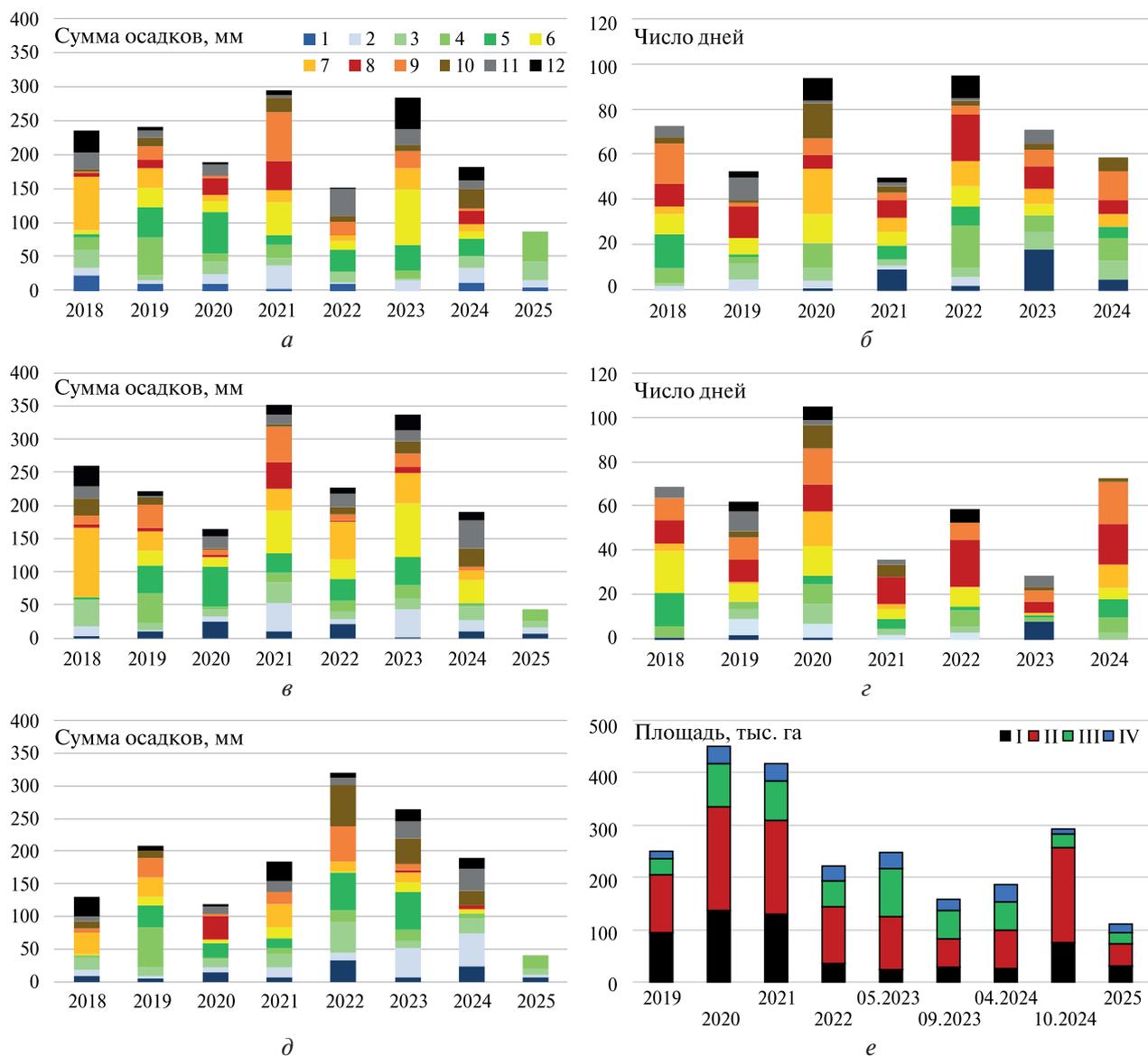


Рис. 3. Динамика суммы осадков в 2018–2025 гг. по данным метеостанций: а — Южно-Сухокумск (1–12 — номера месяцев в году); в — Яшкуль; д — Досанг. Динамика количества дней с максимальной скоростью ветра более 10 м/с при отсутствии осадков более декады: б — Южно-Сухокумск; г — Яшкуль. Динамика площади открытых песков и дефлированных территорий (е): I — Астраханская область, II — Республика Калмыкия, III — Республика Дагестан, IV — Ставропольский край

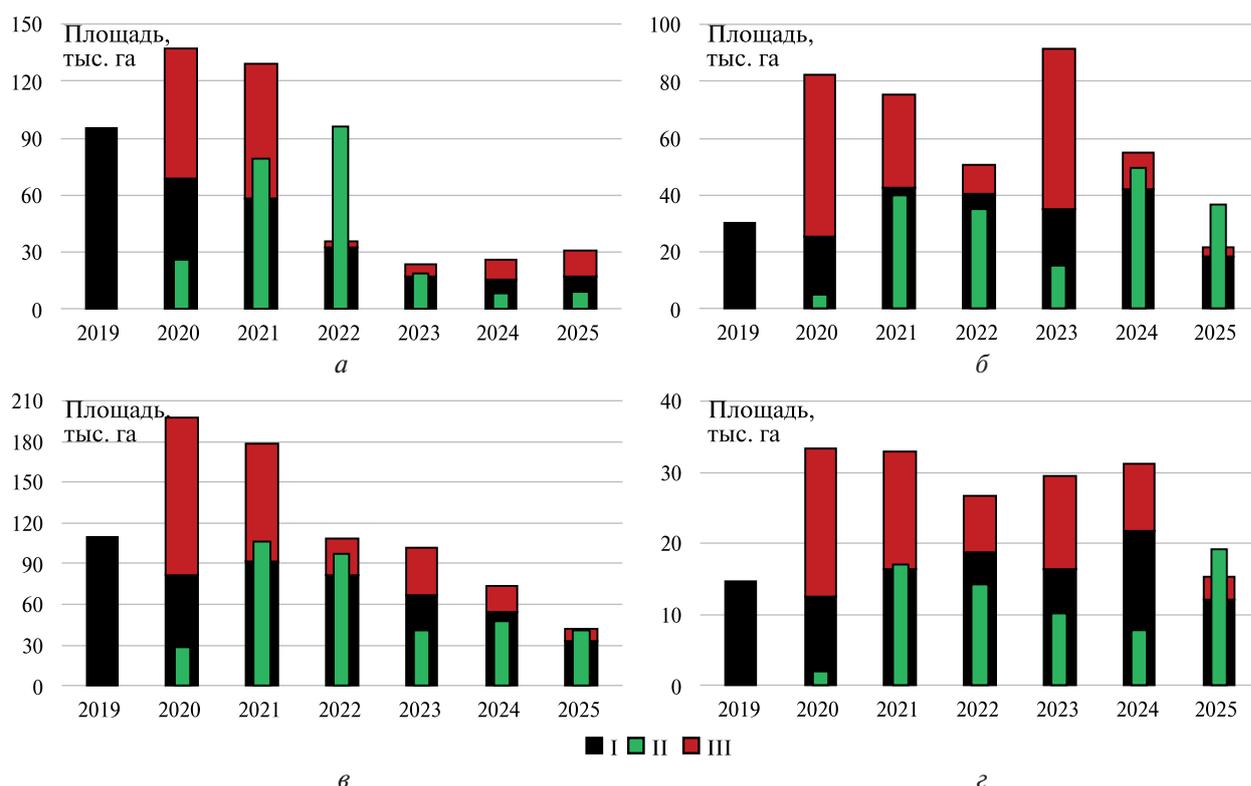


Рис. 4. Изменение площади открытых песков в 2019–2025 гг.: а — Астраханская область; б — Республика Дагестан; в — Республика Калмыкия; г — Ставропольский край (по отношению к предыдущему году: I — переходящая площадь, II — уменьшение, III — прирост)

Условия увлажнения 2024 г. на исследуемой территории были неоднородными, что и обусловило указанные отличия в направлении изменений площадей открытых песков. На севере Дагестана и северо-востоке Ставропольского края осадки были распределены в течение года более равномерно (метеостанция Южно-Сухокумск), чем в Калмыкии (Яшкуль) и Астраханской области (Досанг), что привело здесь к преобладанию процессов зарастания песков, в то время как почвенная засуха в Калмыкии и Астраханской области на фоне усиления ветров в августе и сентябре вызвала пыльные бури и рост площадей лишённых растительности пастбищ (см. рис. 3). Анализ состояния посевов яровых культур в европейской части России также показал подобные пространственные отличия гидротермических условий в исследуемых районах (Трошко и др., 2024).

Весной 2025 г. практически на всей исследуемой территории преобладали процессы восстановления (рис. 4): площадь открытых песков и дефлированных территорий сократилась до примерно 115 тыс. га в апреле, что является минимальной величиной за рассматриваемый период. Из этой площади лишённых растительности пастбищ 82 тыс. га существовало и весной 2024 г., а 32 тыс. га — образовалось вновь. Таким образом, около 230 тыс. га (77 %) перевейанных песков осени 2024 г. покрылись растительностью к апрелю 2025 г., в том числе 199 тыс. га, возникших вследствие осенних пыльных бурь. В результате натурных обследований установлено существенное увеличение зелёной фитомассы по сравнению с предыдущими годами. В растительном покрове на зарастающих песках так же, как и в предыдущие годы, доминируют эфемероиды, эфемеры и другие однолетники, что сохраняет риски усиления дефляционных процессов при неблагоприятных гидротермических условиях и сильных ветрах.

На весну 2025 г. небольшое увеличение площади открытых песков отмечается только в Астраханской области, где количество осадков с января по апрель было существенно ниже, чем в предыдущие годы (см. рис. 3д). Начиная с 2022 г. площадь лишённых растительного покрова пастбищ здесь стабилизировалась примерно на уровне 25–30 тыс. га (около 1 %

территории). Пик площадей открытых песков 2020–2021 гг. этой территории в первую очередь связан со степными пожарами в районах на левом берегу Волги (Шинкаренко и др., 2024), на месте которых усиливаются дефляционные процессы, вследствие чего зарастание гарей занимает несколько лет (Шинкаренко, 2021). В 2024 г. отмечены ландшафтные пожары на пастбищах всех исследованных регионов, что может свидетельствовать о процессах восстановления растительного покрова, поскольку при его деградации количество пожаров существенно сокращается из-за недостатка горючего материала (Дорошенко, 2023). В то же время относительно низкая сомкнутость растительности на восстанавливающихся гарях 2024 г. могла привести к их отнесению к открытым пескам.

Суммарная площадь территории, которая в какой-либо из годов исследования относилась по весенним спутниковым изображениям к категории лишённых растительности земель, составляет 832 тыс. га (8,6 % территории исследований), в том числе 244 тыс. га в Астраханской области (8 % площади рассматриваемых районов), 347 тыс. га в Калмыкии (9,6 %), 166,4 тыс. га в Дагестане (12,8 %) и 70 тыс. га в Ставропольском крае (5,7 %). Ещё 5 тыс. га обнаружено в Чеченской Республике (1 %). Доля же стабильно детектируемых открытых песков и дефлированных территорий, которые фиксировались не менее шести лет в 2019–2025 гг. составляет всего 0,5 % (49,9 тыс. га). Такая значительная разница может быть связана с граничными пикселями спутниковых изображений пространственного разрешения 30 м, а не только активным зарастанием песков и эоловым переносом. По нашей оценке, ошибка из-за контурного эффекта при определении площадей стабильных многолетних массивов открытых песков и дефлированных территорий (произведение периметра контуров на половину размера пикселя) может составлять около 20 тыс. га. Таким образом, при картографировании участков с долговременной потерей растительного покрова увеличение пространственного разрешения будет способствовать существенному росту точности получаемых оценок площадей. Поэтому дальнейшие исследования оптимально строить на данных Sentinel-2 пространственного разрешения 10 м.

На всей территории исследований наибольшие площади открытых песков отмечались в 2020 и 2021 гг., поэтому представляет интерес динамика их зарастания (рис. 5, см. с. 393). В эти годы появилось 277 тыс. га (33 % от всех идентифицированных подвижных песков и дефлированных территорий в 2019–2025 гг.) лишённых растительного покрова участков, которые не наблюдались в последующие годы. Эта тенденция характерна для всех изучаемых регионов кроме Дагестана, где наименее благоприятным годом оказался 2023-й, характеризовавшийся весенней засухой (см. рис. 3). Половина массивов открытых песков, которые зафиксированы весной 2025 г. (57,6 тыс. га), впервые были детектированы в 2019 г., следовательно, появились в тот же или более ранний период (см. рис. 5а).

Анализ влияния пастбищных нагрузок на динамику площадей открытых песков затруднён, поскольку отсутствует полная достоверная информация о поголовье скота на уровне муниципальных районов. В исследованных районах Астраханской области (кроме Красноярского, по которому нет данных за 2023–2024 гг.) поголовье овец и коз на конец 2024 г. составляло почти 915 тыс. голов, что меньше, чем было в конце 2019 г. (961 тыс. голов), но уже существенно больше, чем на конец самого неблагоприятного 2020 г. (846 тыс. голов), что предположительно способствует некоторому росту площадей открытых песков. В рассматриваемых районах Калмыкии (кроме Яшкульского) поголовье овец и коз на конец 2024 г. составляло 619 тыс. голов, что более чем вдвое ниже, чем на конец 2020 г. (1339 тыс. голов). Отчасти это может быть связано не только с сокращением количества скота, но и особенностями его учёта: после 2023 г. поголовье личных подсобных хозяйств не всегда учитывается в статистике (в исследуемых районах Калмыкии разница между 2022 и 2023 гг. составляет около 350 тыс. голов). Несмотря на снижение поголовья, согласно официальной статистике, в Калмыкии и Астраханской области пастбищные нагрузки всё равно превышают допустимые (Dedova et al., 2020; Tyutyuma et al., 2023). В Ногайском и Тарумовском районах Дагестана поголовье мелкого рогатого скота находится на уровне конца 2019 г. (650 тыс. голов), несмотря на это здесь после 2023 г. отмечается преимущественно зарастание открытых песков.

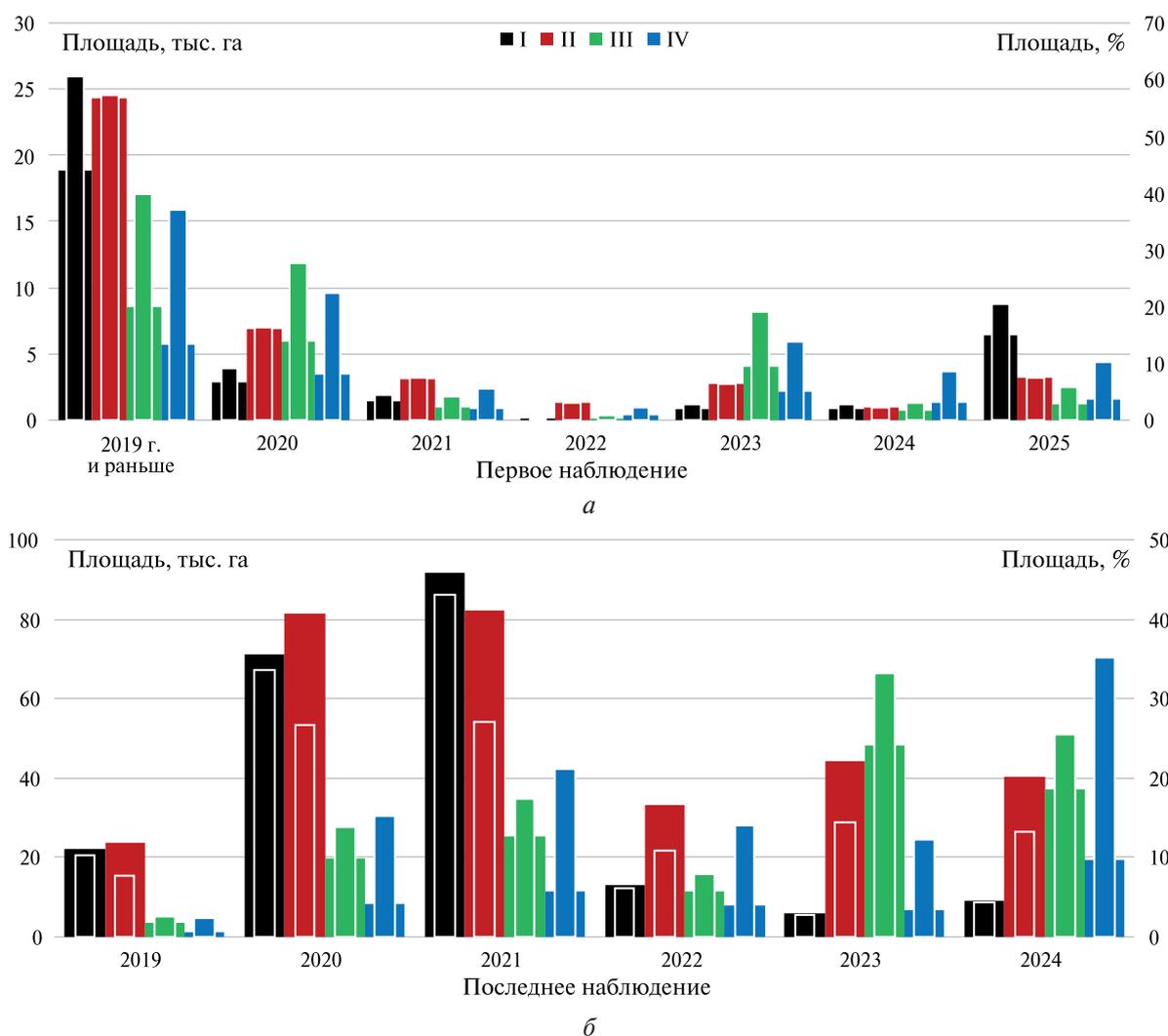


Рис. 5. Годы первого (а) и последнего (б) наблюдения открытых песков и дефлированных территорий, существующих и заросших к 2025 г. соответственно (широкие столбики — площадь в тыс. га, узкие — доля в %; I — Астраханская область, II — Республика Калмыкия, III — Республика Дагестан, IV — Ставропольский край)

В результате проведённых исследований установлено снижение площадей открытых песков и дефлированных территорий на юго-востоке европейской части России весной 2025 г. примерно до 115 тыс. га. При этом половина этой площади утратила растительный покров в 2019 г. или в более ранний период. Таким образом, большая часть подвижных песков, которые были образованы в самые неблагоприятные 2020–2021 гг., на весну 2025 г. в разной степени покрыты растительностью. Тем не менее восстановление поголовья домашнего скота в отдельных регионах, а также риск засух и высокие ветровые нагрузки сохраняют опасность интенсификации процессов деградации пастбищ с усилением дефляции и возникновения пыльных бурь аналогично условиям 2024 г. Поэтому требуется продолжение мониторинга площадей открытых песков и дефлированных территорий с идентификацией длительно незарастающих песков, на которых требуются фитомелиоративные мероприятия по их закреплению.

Работа выполнена в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) в части обработки данных ДЗЗ с использованием сервиса «Вега-Science» и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», а также по теме НИР ДФИЦ № 122032200273-6 в части наземного обследования пастбищ в 2024 и 2025 гг.

## Литература

1. *Виноградова В. В., Титкова Т. Б.* Устойчивость ландшафтов Калмыкии и Дагестана к долговременным изменениям климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 188–199. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-188-199.
2. *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.
3. *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.
4. *Дорошенко В. В., Мелихова А. В.* Оценка проявлений опустынивания в Астраханском Заволжье по данным дистанционного зондирования Земли // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2023. № 2(70). С. 239–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-27.
5. *Луян Е. А., Прошин А. А., Бурцев 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.
6. *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.
7. *Трошко К. А., Денисов П. В., Дунаева Е. А. и др.* Развитие сельскохозяйственных культур в России в 2024 году на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 4. С. 308–315. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-308-315.
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.* Последствия пыльных бурь 2020 года на юге европейской части России в сентябре–октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 270–275. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
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.* Изменения площадей открытых песков и дефлированных пастбищ на юго-востоке европейской части России в 2023 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 321–330. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-321-330.
14. *Юфеев В. Г., Беляев А. И., Синельникова К. П.* Опустынивание земель сельскохозяйственного назначения в Черноземельском районе Калмыкии // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 4(68). С. 465–473. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
15. *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.
16. *Ju J., Zhou Q., Freitag B. et al.* The Harmonized Landsat and Sentinel-2 version 2.0 surface reflectance dataset // Remote Sensing of Environment. 2025. V. 324. Article 114723. DOI: 10.1016/j.rse.2025.114723.
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.

## Monitoring changes in the areas of open sands and deflated pastures in the southeast of the European part of Russia in 2024–2025

S. S. Shinkarenko<sup>1</sup>, S. A. Bartalev<sup>1</sup>, A. B. Biarslanov<sup>2</sup>, D. Cheng<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Dagestan Federal Research Centre RAS, Makhachkala 367000, Russia*

<sup>3</sup> *China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China*

This brief communication presents the results of ongoing monitoring of changes in the areas of open sands and deflated territories in the southeast of the European part of the Russian Federation (Astrakhan Region, Stavropol Krai, and the Republics of Dagestan and Kalmykia). In spring 2024, 190,000 ha of vegetation-free pastures were recorded. During the summer and early autumn of 2024, unfavorable hydrothermal conditions were observed across most of the study region, which led to a massive dust storm at the end of September, increasing the area of blown sands to nearly 300,000 ha. By spring 2025, approximately 115,000 ha of open sands and deflated territories were recorded. Thus, about 230,000 ha of vegetation-deprived pastures as of autumn 2024 were partially revegetated to varying degrees, while an additional 32,000 ha of open sands formed anew in 2025. Ground surveys revealed that the vegetation cover on recovering sands consists of ephemerooids, ephemerals, and other annuals, which maintains the risk of intensified deflation processes under unfavorable hydrothermal conditions and strong winds.

**Keywords:** remote sensing, Landsat, deflation, desertification, Kalmykia, Caspian region, Black lands

Accepted: 10.06.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-387-396

## References

1. Vinogradova V.V., Titkova T.B., Resilience of the landscapes of Kalmykia and Dagestan to long-term climate changes, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 6, pp. 188–199 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-188-199.
2. Doroshenko V.V., Understanding the impact of desertification progress on the spread of landscape fires in the Stavropol region, *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2023, V. 165, No. 3, pp. 486–498 (in Russian), DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
3. 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.
4. Doroshenko V.V., Melikhova A.V., Assessment of desertification manifestations in the Astrakhan Volga region according to remote sensing data, *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2023, No. 2(70), pp. 239–246 (in Russian), DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-27.
5. 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).
6. 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.

7. Troshko K. A., Denisov P. V., Dunaieva Ie. A. et al., Development of agricultural crops in Russia in 2024 based on remote sensing data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 4, pp. 308–315 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-308-315.
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, V. 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., 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, V. 17, No. 7, pp. 270–275 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
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., Changes in the areas of open sands and deflated pastures in the southeastern part of European Russia in 2023, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 3, pp. 321–330 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-321-330.
14. Yuferev V. G., Belyaev A. I., Sinelnikova K. P., Desertification of agricultural lands in the Chernozemelsky district of Kalmykia, *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2022, No. 4(68), pp. 465–473 (in Russian), DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
15. 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.
16. Ju J., Zhou Q., Freitag B. et al., The Harmonized Landsat and Sentinel-2 version 2.0 surface reflectance dataset, *Remote Sensing of Environment*, 2025, V. 324, Article 114723, DOI: 10.1016/j.rse.2025.114723.
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, 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, V. 13, No. 1, pp. 39–44, DOI: 10.1134/S2079096123010171.