

Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019–2022 гг.

С. С. Шинкаренко^{1,2}, С. А. Барталев^{1,3}, А. Н. Берденгалиева², В. В. Дорошенко²

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

² *Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, 400062, Россия*
E-mail: shinkarenkos@vafanc.ru

³ *Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008, Россия*

Исследование является продолжением работы по мониторингу изменений площадей открытых песков и дефлированных территорий в Астраханской обл., республиках Дагестан и Калмыкия, Ставропольском крае с использованием технологий дистанционного зондирования Земли. Сильнейшая засуха 2020 г. в совокупности с неконтролируемым поголовьем домашнего скота привели к росту площадей подвижных песков. На май 2022 г. зафиксировано 181,3 тыс. га пастбищ без растительного покрова, что почти вдвое ниже, чем в 2021 г. Благоприятные гидротермические условия второй половины 2021 г. на фоне снижения поголовья скота на 30 % позволили растительности на песках восстановиться. Тем не менее из-за засушливого лета 2022 г. остаётся высоким риск увеличения площадей подвижных песков. Пыльные бури в период 18–28 августа 2022 г. это подтверждают. Необходимо продолжать наблюдения для своевременного регулирования численности скота и проведения фитомелиорации при усилении процессов опустынивания.

Ключевые слова: Калмыкия, Астраханская область, дистанционное зондирование, Landsat, опустынивание, пастбищные нагрузки, дефляция.

Одобрена к печати: 24.10.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327

В 2020 г. на юге европейской части России из-за засухи и неконтролируемого роста поголовья овец и коз катастрофически интенсифицировались процессы опустынивания пастбищ, что привело к росту площади подвижных песков и других земель, лишённых растительного покрова (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко, Барталев, 2020а, 2021). Следствием этого стали масштабные пыльные бури, наблюдавшиеся осенью 2020 г. (Шинкаренко и др., 2020), в результате которых в октябре 2020 г. площадь покрытых песком пастбищ в Астраханской обл., Калмыкии, Дагестане и Ставропольском крае превысила 1,5 млн га (Шинкаренко, Барталев, 2020а). В 2021 г. ситуация относительно стабилизировалась, тем не менее площади открытых песков и дефлированных территорий всё ещё превышали 250–300 тыс. га, также в первом полугодии отмечались и пыльные бури (Шинкаренко, Барталев, 2021). В 2022 г. сохранялся риск увеличения площадей лишённых растительного покрова пастбищных земель в регионе. Методы спутникового мониторинга растительного покрова фактически не имеют реальной альтернативы при оценке его динамики на больших территориях (Барталев и др., 2016). Настоящее исследование стало продолжением работ по спутниковому мониторингу процессов опустынивания на юге России. Цель работы состоит в определении закономерностей динамики площадей открытых песков и дефлированных территорий в период интенсификации процессов опустынивания 2019–2022 гг. в Северо-Западном Прикаспии под влиянием природных и антропогенных факторов с использованием данных Landsat.

В качестве источника данных выбраны спутниковые изображения с космических аппаратов Landsat-8, -9 за период 2019–2022 гг. (рис. 1, см. с. 320), когда площадь опустынивания резко увеличилась по сравнению с периодом до 2019 г. (Шинкаренко, 2019; Kulik et al., 2020). Данные Landsat имеют пространственное разрешение 30 м, что позволяет точнее определять

границы очагов подвижных песков по сравнению с использованием изображений, получаемых спутниковыми системами MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) и VIIRS (*англ.* Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Спутниковые изображения Landsat второго уровня обработки, прошедшие радиометрическую калибровку и коррекцию атмосферных искажений, использовались для расчёта нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index). Далее выполнялась совместная классификация изображений, включающих значения NDVI и коэффициента спектральной яркости в красном диапазоне длин волн. Подобный подход ранее уже показал достаточную точность выделения открытых песков (Шинкаренко, 2019; Kulik et al., 2018). Спутниковые данные получены с использованием сервиса «Beta-Science» (Loupian et al., 2022).

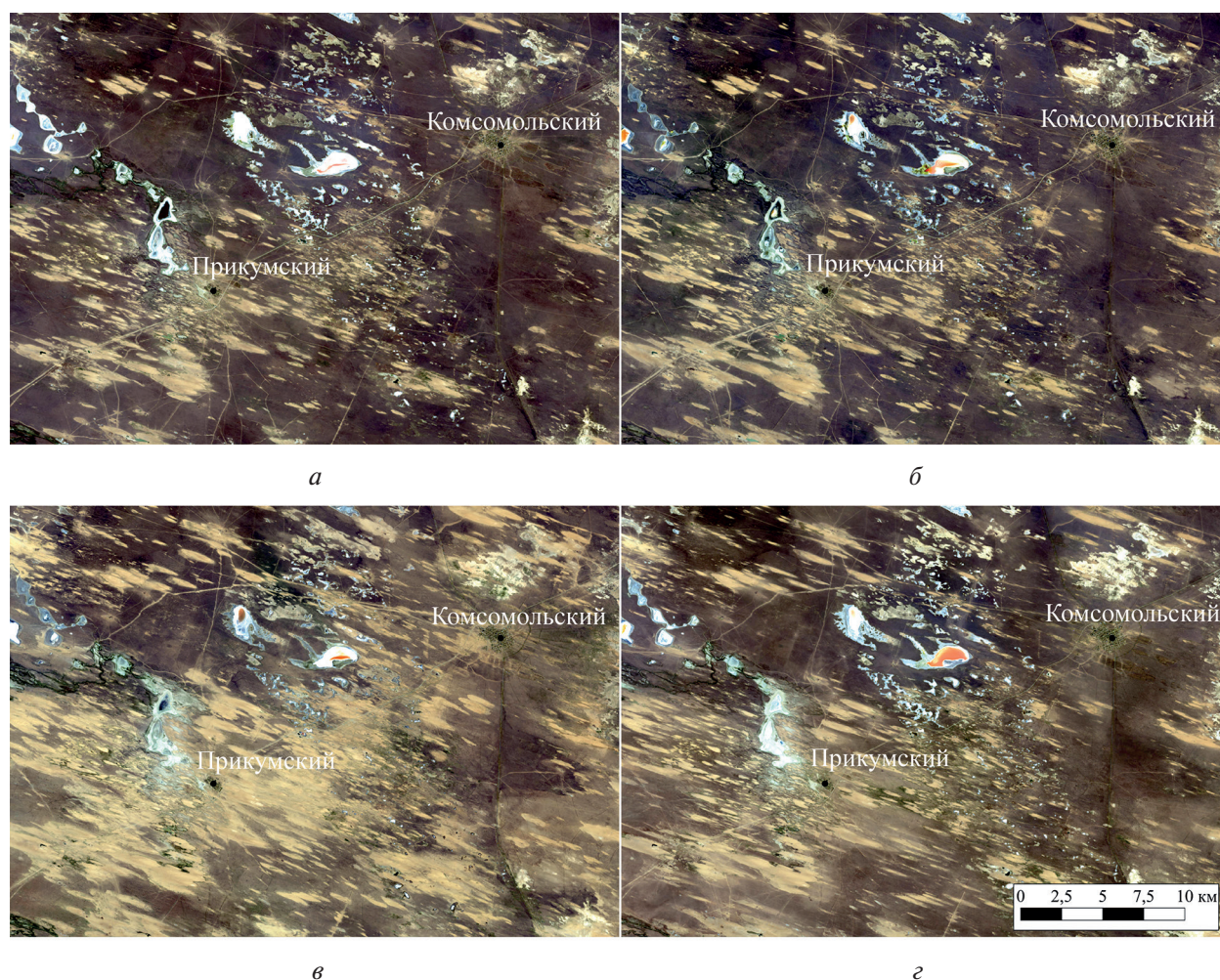


Рис. 1. Спутниковые изображения массивов подвижных песков на пастбищах Калмыкии:
а — 23.06.2019; б — 09.06.2020; в — 30.07.2021; з — 31.05.2022

Предварительно по спутниковым изображениям Sentinel-2 и данным сервиса Google Планета Земля (*англ.* Google Earth) были картографированы соровые понижения и солончаки, лишённые растительного покрова в силу естественных причин, с целью их исключения из категории опустыненных земель. Также не оценивалась территория вдоль побережья Каспийского моря, так как растительность здесь отсутствует вследствие падения уровня воды в последнее десятилетие и соответствующего обнажения морского дна. Были исключены и пахотные земли. Это позволило получить более точные оценки лишённых растительности площадей в результате процессов опустынивания по сравнению с ранее выполненными

работами (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко, Барталев, 2020а, 2021; Dedova et al., 2020). На каждый год использовалось пять спутниковых изображений (тайлы 169028, 169029, 170027, 170028, 170029). Выбирались даты снимков, по возможности близкие к максимуму вегетации в мае и первой половине июня (Шинкаренко, Барталев, 2020б). Поскольку даты спутниковой съёмки в пределах года могли различаться, то сначала выполнялась классификация каждого изображения по отдельности, а затем составлялся результирующий растр на всю территорию исследований. Полевая верификация в ходе экспедиций в мае 2021 г. и в июне 2022 г. показала достаточную точность результатов обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Площадь опустынивания в 2022 г. показана на *рис. 2*.

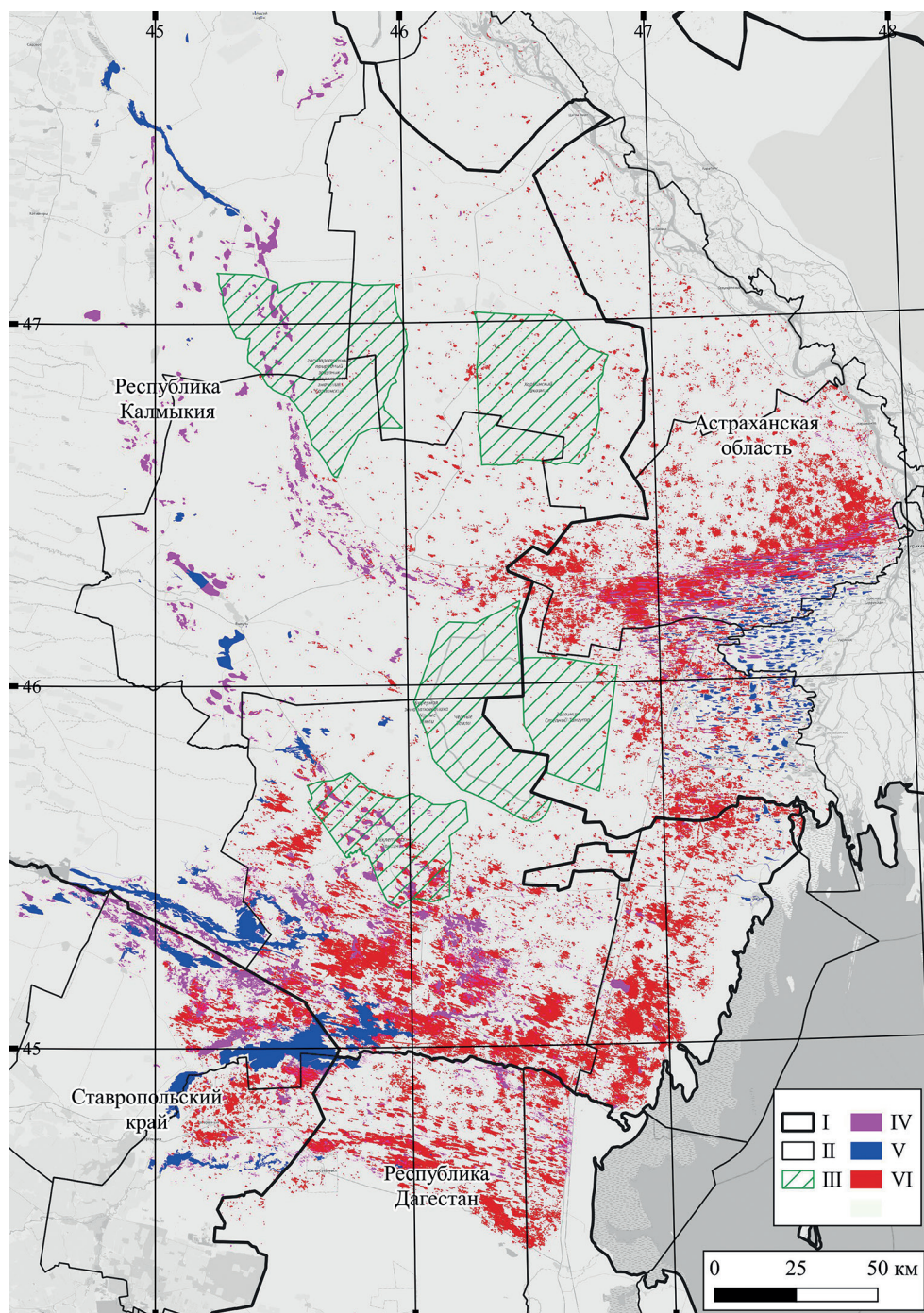


Рис. 2. Площади открытых песков и дефлированных земель на 2022 г.: I — границы регионов; II — границы районов; III — особо охраняемые природные территории; IV — соры и солончаки; V — водоёмы; VI — участки без растительного покрова

Динамика площадей открытых песков и дефлированных территорий в 2019–2022 гг.

Регион	Площадь, тыс. га/%			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Астраханская обл.	96,4/41,4	135,3/34,6	101,1/29,3	30,8 /17,0
Республика Дагестан	20,1/8,6	49,5/12,7	44,7/13,0	27,2/15,0
Республика Калмыкия	104,6/45,0	179,2/45,9	170/49,3	100,9/55,7
Ставропольский край	11,5/5,0	26,6/6,8	28,9/8,4	22,4/12,3
Всего:	232,6/100	390,6/100	344,6/100	181,3/100

В июне 2019 г. в регионе исследований отмечено 232,6 тыс. га опустыненных пастбищных земель (таблица). Из-за начавшегося осенью этого года и продолжающегося в 2020 г. засушливого периода самозаращение песков было незначительным. Весенняя засуха 2020 г. и чрезмерный выпас домашнего скота привели к росту площадей опустынивания примерно на 70 %. Наиболее сильный в относительном выражении рост опустынивания земель был характерен для Дагестана и Ставропольского края (на 46 и 31 % соответственно), при том что до 2019 г. ситуация с деградацией пастбищ здесь была благополучной (Шинкаренко, 2019; Kulik et al., 2020). В июне площадь открытых песков составляла 390 тыс. га, к концу сентября она увеличилась примерно до 700–800 тыс. га, а к середине октября масштабные пыльные бури привели к засыпанию пастбищ песком. В итоге на конец 2020 г. площадь открытых песков составляла не менее 1,4 млн га (Шинкаренко, Барталев, 2020а). По оценке авторов работы (Титкова, Золотокрылин, 2022), только в Калмыкии в июне 2020 г. сильному опустыниванию было подвержено примерно 150 тыс. га, а в сентябре — почти 500 тыс. га.

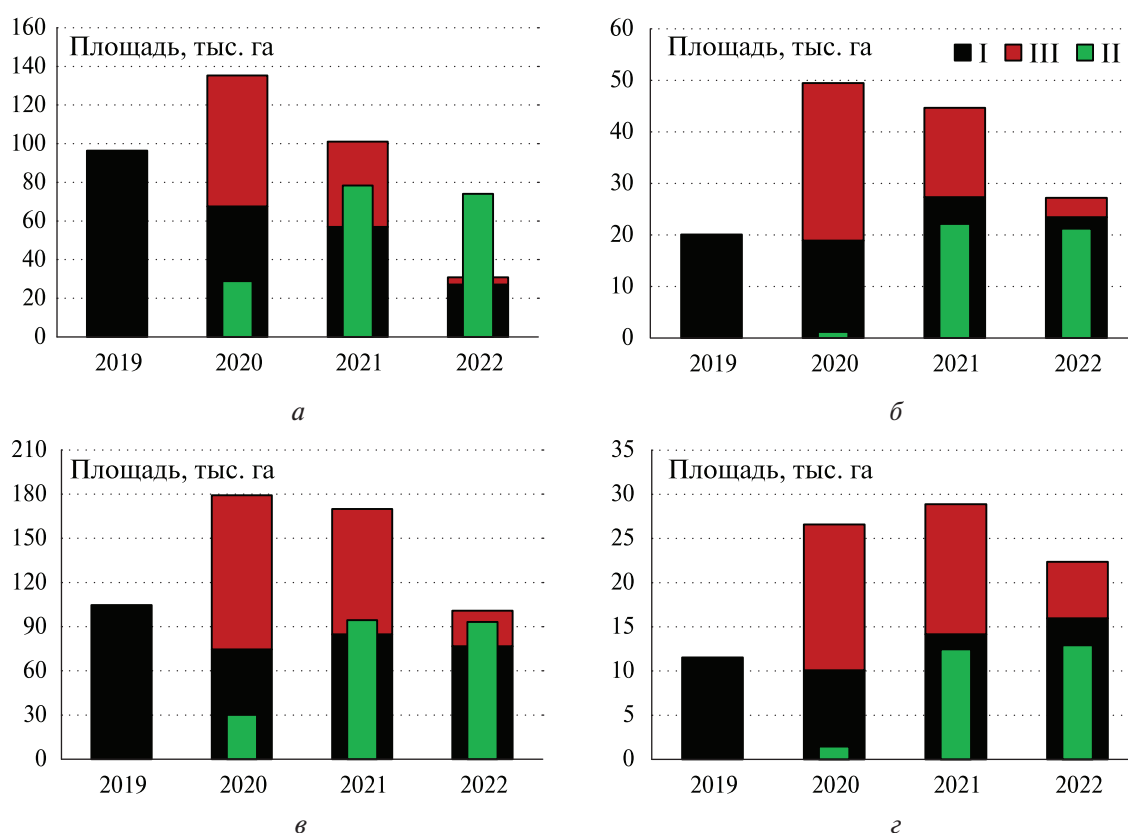


Рис. 3. Изменение площадей опустынивания (по отношению к предыдущему году): I — переходящая площадь опустынивания, II — уменьшение, III — прирост; а — Астраханская обл., б — Республика Дагестан, в — Республика Калмыкия, г — Ставропольский край

До августа большая часть опустыненных пастбищ была расположена на границе Калмыкии и Астраханской обл., но уже в сентябре из-за сильных юго-восточных ветров и вызванных ими эоловых процессов многократно увеличилась площадь подвижных песков на севере Дагестана и Ставропольского края. Засухи и перевыпас домашнего скота привели к практически полному отсутствию растительной ветоши на пастбищах, итогом стало прекращение в 2020 и 2021 гг. регулярных ранее степных пожаров (Шинкаренко и др., 2022).

Площадь опустыненных пастбищ летом 2021 г. сократилась на 12 % по сравнению с предыдущим годом, особенно сильно в Астраханской обл. (рис. 3, см. с. 322). За счёт благоприятной зимы с достаточным количеством осадков весенняя вегетация 2021 г. позволила закрепить перевеянные во время пыльных бурь 2020 г. пески (рис. 4). Только в Ставропольском крае в этот период отмечен рост площадей пастбищных земель без растительного покрова на 10 %. Влажное второе полугодие 2021 г. в Астраханской обл. и центральной части Калмыкии (см. рис. 4а) привело к активной вегетации однолетней растительности, что способствовало закреплению песков и снижению интенсивности эолового переноса. Снижение поголовья скота вследствие недостатка корма в 2020–2021 гг. привело к уменьшению пастбищных нагрузок, что на фоне относительно благоприятных гидротермических условий способствовало сокращению площади открытых песков в 2022 г. на 47 % по сравнению с 2021 г.

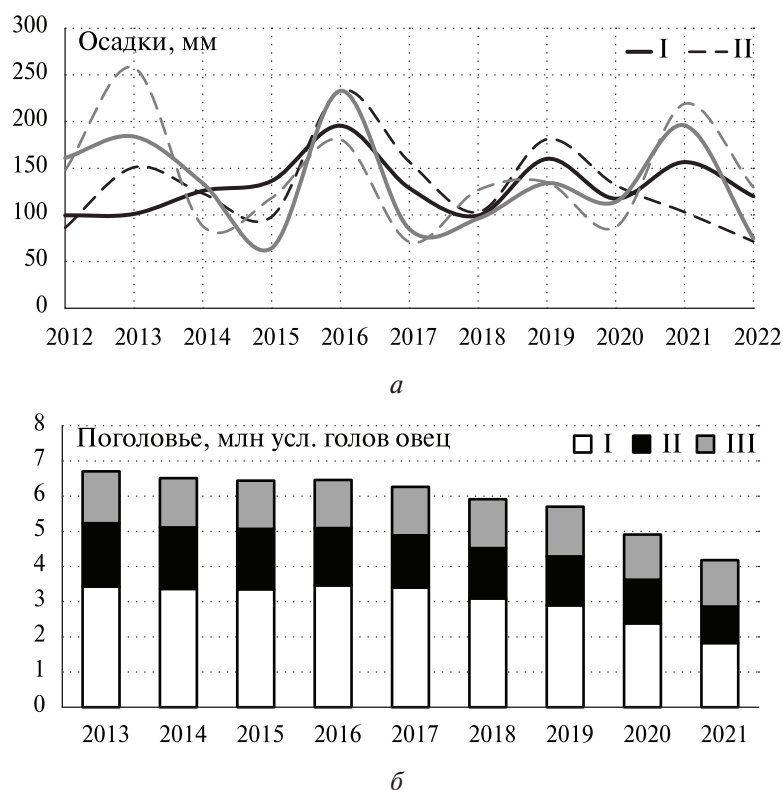


Рис. 4. Динамика сумм осадков (а) за ноябрь–май (чёрный цвет) и май–сентябрь (серый) по данным метеостанций «Яшкуль» (I) и «Южно-Сухокумск» (II). Динамика поголовья скота, приведённого к условным головам овец (б), в исследуемых районах Калмыкии (I), Ставропольского края (II) и Астраханской обл. (III)

Весна 2022 г. в Калмыкии и Астраханской обл. характеризуется засухой, аналогичной 2020 г., а на севере Дагестана и Ставропольского края — более сильной (см. рис. 4а). Это привело к угнетению пастбищной растительности. Следствием резкого снижения надземной фитомассы в 2020 г. стало уменьшение поголовья скота в регионе исследований приблизительно на треть на конец 2021 г. по сравнению с концом 2019 г., что привело к снижению пастбищных нагрузок, выраженных в условных головах овец согласно (О нормах..., 2006), на

27 % (см. *рис. 4б*). Согласно базе данных показателей муниципальных образований (<https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm>) поголовье овец и коз в Астраханской обл., Калмыкии и Ставропольском крае (на Дагестан отсутствует в открытом доступе статистика по поголовью в разрезе муниципальных районов) уменьшилось на 1 млн голов, а крупного рогатого скота — на 200 тыс. голов. Это позволило избежать последствий перевыпаса в условиях весенней засухи 2022 г., которые наблюдались в регионе в 2020 г. Тем не менее очень высокая температура августа и практически полное отсутствие осадков в этом месяце привели к пыльным бурям в период 18–28 августа (*рис. 5*), особенно сильным на севере Ставропольского края и Дагестана, что может повлечь очередной рост площадей подвижных песков и дефлированных пастбищ. По этим причинам необходимо продолжение мониторинга процессов опустынивания на юге России. Проведение фитомелиоративных работ по закреплению подвижных песков может существенно сократить площади открытых песков. Полученные в ходе исследования результаты позволят при этом определить участки, на которых в первую очередь требуются мероприятия по фитомелиорации.

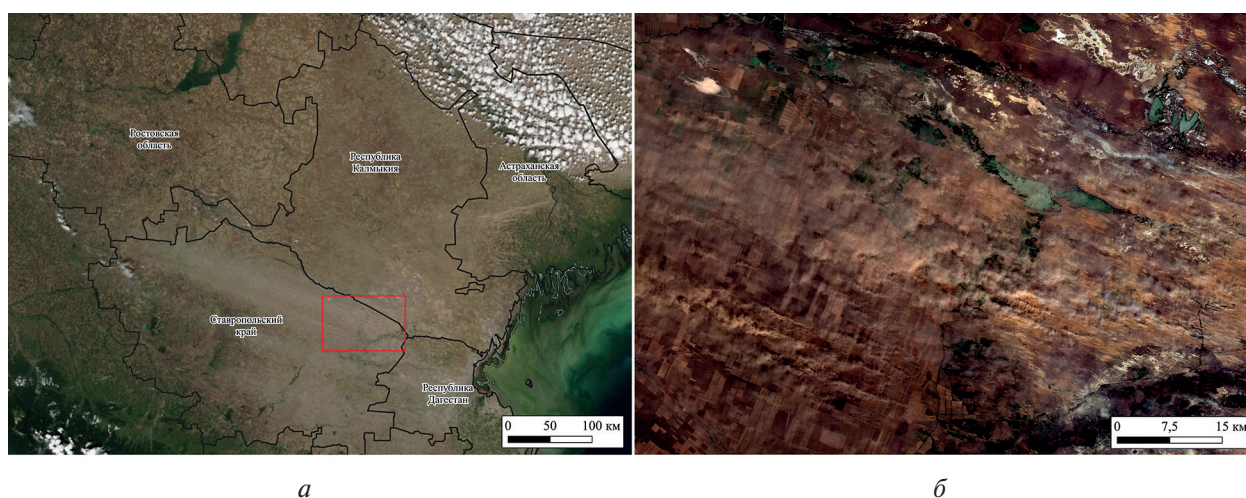


Рис. 5. Спутниковые изображения пыльной бури на юге Европейской России 22 августа 2022 г.: *а* — MODIS Aqua, *б* — Sentinel-2B; красный контур — местоположение фрагмента спутникового изображения Sentinel-2

Проведённые исследования показали стабилизацию процессов опустынивания в Северо-Западном Прикаспии в 2022 г. по сравнению с 2020–2021 гг. Тем не менее на юге Калмыкии, севере Дагестана и северо-востоке Ставропольского края ситуация остаётся опасной, что подтверждается пыльными бурями в августе 2022 г. Необходимо продолжение мониторинга состояния пастбищ в регионе и своевременное реагирование на рост угрозы необратимого опустынивания путём регулирования пастбищных нагрузок и фитомелиорации.

Работа выполнена в рамках темы Института космических исследований РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8), а также по темам научно-исследовательских работ Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № 122020100311-3, 122020100405-9 и 122020100406-6 с использованием сервиса «Вега-Science» (Lourian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015).

Литература

1. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
2. Лупян 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.
3. О нормах нагрузки скота на пастбища на территории Республики Калмыкия: Постановление Правительства Республики Калмыкия от 27 апреля 2006 года № 158 (ред. от 31.03.2014 № 116). URL: <https://docs.cntd.ru/document/460200682>.
4. 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.
5. Шинкаренко С. С. Пространственно-временная динамика опустынивания на Чёрных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168.
6. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. (2020а). 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. (2020б) Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.
8. 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.
9. Шинкаренко С. С., Ткаченко Н. А., Барталев С. А., Юфеев 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.
10. Шинкаренко С. С., Дорошенко В. В., Берденгалиева А. Н. 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.
11. 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.
12. Kulik K. N., Petrov V. I., Rulev A. S., Kosheleva O. Y., Shinkarenko S. S. On the 30th anniversary of the “General plan to combat desertification of Black lands and Kizlyar pastures” // Arid Ecosystems. 2018. V. 8. No. 1. P. 5–20. DOI: 10.1134/S2079096118010067.
13. 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.
14. 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.

Satellite monitoring of desertification processes in the south of European Russia in 2019–2022

S. S. Shinkarenko^{1,2}, S. A. Bartalev^{1,3}, A. N. Berdengalieva², V. V. Doroshenko²

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

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

³ Kazan Federal University, Kazan 420008, Russia

The present study is a part of the ongoing research on monitoring the changes in the areas of open sands and deflated territories of the Astrakhan region, the republics of Dagestan and Kalmykia, the Stavropol Krai with the use of Earth remote sensing technologies. The severe drought of 2020 and the uncontrolled livestock led to an increase in the area of shifting sands. As of May 2022, 181.3 thousand hectares of pastures without vegetation cover were recorded, which is almost half as much as in 2021. Favorable hydrothermal conditions in the second half of 2021 against the backdrop of a 30 % decrease in livestock numbers contributed to the recovery of vegetation on the sands. However, due to the dry summer of 2022, the risk of an increase in the area of shifting sands remains high, which is confirmed by dust storms of August 18–28, 2022. It is necessary to continue these observations so as to ensure the timely regulation of livestock numbers and to implement revegetation where the intensification of desertification processes is recorded.

Keywords: Kalmykia, Astrakhan region, remote sensing, Landsat, desertification, pasture loads, deflation

Accepted: 24.10.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327

References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V., *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p. (in Russian).
2. 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).
3. *O normakh nagruzki skota na pastbishchakh na territorii Respubliki Kalmykiya* (On the norms for the load of livestock on pastures in the territory of the Republic of Kalmykia), Government of the Republic of Kalmykia: Order No. 158, Date 27.04.2006 (as amended by Order No. 116, Date 31.03.2014) (in Russian), available at: <https://docs.cntd.ru/document/460200682>.
4. 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.
5. Shinkarenko S. S., Spatial-temporal dynamics of desertification in Black Lands, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 155–168 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168.
6. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2020a), 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. (2020b), NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes according to MODIS data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 179–194 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.
8. 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.

9. 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.
10. Shinkarenko S. S., Doroshenko V. V., Berdengalieva A. N., Burned areas dynamics in zonal landscapes of the South-East of The European part of Russia, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Ser. geograficheskaya*, 2022, Vol. 86, No. 1, pp. 122–133 (in Russian), DOI: 10.31857/S2587556622010113.
11. 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.
12. Kulik K. N., Petrov V. I., Rulev A. S., Kosheleva O. Y., Shinkarenko S. S., On the 30th anniversary of the “General plan to combat desertification of Black lands and Kizlyar pastures”, *Arid Ecosystems*, 2018, Vol. 8, No. 1, pp. 5–20, DOI: 10.1134/S2079096118010067.
13. 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.
14. 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.