

Оригинальная статья

УДК 631.95

<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.517-528>**Оценка повторяемости опустынивания пастбищ Калмыкии
на основе дистанционных методов****В.Г. Юферев, В.В. Дорошенко** ✉*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук, г. Волгоград, Россия*✉ doroshenko-vv@vfanc.ru**Аннотация**

Геоинформационное исследование ретроспективных материалов спутниковой съемки позволило установить пространственно-временную динамику изменения площади участков комплексного опустынивания и повторяемость опустынивания на территории Республики Калмыкия (за исключением распаханых земель). Оценка повторяемости проведена с использованием послойного анализа ячеек регулярной сетки площадью 100 га. Из результатов ежегодной оценки площади участков комплексного опустынивания (1984–2024 гг.) выбраны 17 ключевых лет, существенно отличающиеся по площади и количеству очагов опустынивания. Для определения пересечения суммарно установлено 67 тыс. участков комплексного опустынивания (площадь которых за 17 лет составила более 24 млн га), и с помощью регулярной сетки проведена оценка повторяемости опустынивания в эти годы. Нулевая повторяемость отмечается на 0.5 % площади исследований, повторяемость от 1 до 5 раз на 21.4 % площади и 6–10 раз на 47.5 % площади. Наиболее стабильные очаги опустынивания с повторяемостью 16–17 раз отмечены на 3.6 % площади.

Ключевые слова: геоинформационный анализ, дистанционное зондирование, опустынивание, открытые пески, повторяемость, Республика Калмыкия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР №124013000646-7 FNFE-2024-0009 «Опустынивание территорий аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов, картографирование современного состояния и динамики опустынивания земель, моделирование и прогнозирование процессов опустынивания, для планирования восстановления деградированных земель с применением геоинформационных технологий и аэро-космических методов в условиях усиливающихся засух, песчаных и пыльных бурь».

Для цитирования: Юферев В.Г., Дорошенко В.В. Оценка повторяемости опустынивания пастбищ Калмыкии на основе дистанционных методов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2025. Т. 167, кн. 3. С. 517–528. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.517-528>.

Original article

<https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.517-528>

**Assessing pasture desertification recurrence in Kalmykia
using remote sensing methods**

V.G. Yuferev, V.V. Doroshenko ✉

Federal Research Center of Agroecology, Complex Melioration, and Forest Reclamations, Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

✉ doroshenko-vv@vfanc.ru

Abstract

A geoinformation analysis of the retrospective satellite images was performed to reconstruct the spatiotemporal dynamics of changes in the area of the complex desertification sites and the recurrence of desertification processes in the Republic of Kalmykia (excluding arable lands). The recurrence rates were quantified using a layered assessment within a 100-ha regular grid. From the annual assessments of the area of the complex desertification sites (1984–2024), 17 key years were selected, all differing significantly in the overall area affected and the number of desertification hotspots. A total of 67 000 complex desertification sites (spanning over 24 million ha over 17 key years) were identified in order to find intersections, and the recurrence rates of desertification over this period were determined using the grid approach. The desertification sites with zero recurrence accounted for 0.5 % of the territory, while 21.4 % and 47.5 % of the territory had the recurrence of 1–5 and 6–10 times, respectively. The most persistent desertification hotspots with the recurrence of 16–17 times covered 3.6 % of the territory.

Keywords: geoinformation analysis, remote sensing, desertification, open sands, recurrence, Republic of Kalmykia

Acknowledgments. This study was carried out as part of the state assignment to the Federal Research Center of Agroecology, Complex Melioration, and Forest Reclamations of the Russian Academy of Sciences (project no. 124013000646-7 FNFE-2024-0009, “Desertification in arid, subarid and dry subhumid regions, mapping of the current state and dynamics of land desertification, modeling and forecasting of desertification processes, to develop strategies for the restoration of degraded lands using geoinformation technologies and aerospace methods under the conditions of intensifying droughts, as well as sand and dust storms”).

For citation: Yuferev V.G., Doroshenko V.V. Assessing pasture desertification recurrence in Kalmykia using remote sensing methods. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2025, vol. 167, no. 3, pp. 517–528. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2025.3.517-528>. (In Russian)

Введение

Проблема опустынивания территорий аридных и субаридных регионов юга европейской части России в условиях аридизации климата приобретает все большую актуальность. К процессам опустынивания земель можно отнести природные и антропогенные процессы (дегумификация, дефляция, эрозия, засоление и др.), которые приводят к снижению плодородия почв вплоть до невозможности их использования по назначению. Это снижает экономический

потенциал регионов, в которых значительную часть хозяйственной и производственной деятельности представляет растениеводство, скотоводство и другие формы сельского хозяйства.

Территория Республики Калмыкия в большой мере подвержена опустыниванию, связанному с воздействием как антропогенных (высокая пастбищная нагрузка), так и климатических факторов. Последние включают непостоянство проявления погодных явлений, в том числе низкое количество осадков, высокие летние и низкие зимние температуры воздуха и наличие сильных восточных и юго-восточных ветров, которые часто вызывают пыльные бури и проявления длительных воздушных и почвенных засух, что приводит к деградации естественных растительных фитоценозов по биомассе и по видовому составу, а также дальнейшей интенсификации процессов опустынивания [1, 2].

При антропогенном воздействии на пастбища разрушается естественная растительная экосистема, нарушается почвенный покров, что приводит к их неустойчивости, ограничению возможности полного самовосстановления и, в конечном итоге, к опустыниванию [2–4]. Нерациональная распашка участков пастбищ, а также участков в местах выхода солей, перевыпас скота на пастбищах приводят к уменьшению продуктивности растительности и разрушению структуры верхнего слоя почв, в том числе в результате эолового воздействия [5, 6]. В засушливых регионах фактором повышения риска развития опустынивания являются ландшафтные пожары, которые приводят к повреждению поверхностного слоя и сукцессионным изменениям видового состава растительности, а также изменяют отражательные характеристики поверхности [7–9]. В целом процессы опустынивания приводят к снижению продуктивности, уменьшению проективного покрытия и видового разнообразия фитоценозов пастбищ Калмыкии [2]. В условиях аридного климата опустынивание в результате перевыпаса и сокращения видового состава растительного покрова может стать необратимым.

На территории Калмыкии при проведении анализа опустынивания по данным дистанционного зондирования Земли проводилась дифференциация пространственного распределения участков земель, суммарно подверженных различным видам деградации 2, 3 и 4 степени (участков комплексного опустынивания) согласно ГОСТ Р 70526-2022 «Мелиорация земель. Почвы. Оценка степени деградации» [10], а именно в учет были взяты:

- мощность неплодородного наноса (более 11 см);
- площадь обнаженной почвообразующей или подстилающей породы, % от общей площади полигона (более 6 %);
- площадь подвижных песков, % от общей площади полигона (более 6 %);
- суммарное содержание токсичных солей в верхнем плодородном слое, % (более 0.26 %);
- потери почвенной массы, т/га год (более 26 т/(га×год));
- увеличение площади средне- и сильно эродированных почв, % в год (более 1.1%);
- площадь выведенных из землепользования угодий (лишенная растительности на естественных угодьях), % от общей площади (более 31 %);
- проективное покрытие пастбищной растительности, % от зонального (уменьшение от 51 %);
- скорость роста площади деградированных пастбищ, % в год (более 1.1%);
- увеличение площади подвижных песков, % в год (более 1.1%).

Территория Калмыкии является хорошо изученным в контексте опустынивания регионом в связи с высоким хозяйственным значением ее пастбищных угодий и формированием антропогенной пустыни на местах нерациональной распашки целинных земель в XX веке. При этом большая часть исследований касается определения фактического состо-

яния опустыненных участков по состоянию на год или несколько следующих друг за другом лет (периодами до 40 лет) [2, 11]. Целью настоящего исследования является выявление многолетней динамики конкретных участков комплексного опустынивания и определение повторяемости возникновения участков комплексного опустынивания на пастбищах Республики Калмыкия. Мониторинг динамики пространственного положения не зарастающих в течение многих лет участков, занятых песками, или выявление новых динамичных очагов комплексного опустынивания важно для своевременного планирования и осуществления мероприятий по борьбе с опустыниванием и его предотвращения. Территория Калмыкии располагается в сухостепной и полупустынной природно-климатической зоне, в которой количество осадков недостаточно для естественного восстановления пастбищных фитоценозов в условиях высокой антропогенной нагрузки и участвовавших пыльных бурь, препятствующих формированию сплошного покрова хозяйственно ценных и многолетних трав [1, 12].

Применение ГИС-технологий и результатов космической съемки повышает эффективность и точность работ по определению степени, масштабов опустынивания и его пространственно-временной динамики.

1. Материалы и методы

Основным методом изучения динамики процессов опустынивания является ретроспективное дешифрирование материалов спутниковой съемки (дистанционного зондирования Земли). На основе результатов дешифрирования создаются векторные картографические слои, достоверно отражающие пространственно-временную динамику опустынивания и позволяющие проводить систематический анализ для выявления закономерностей и критических точек с учетом воздействия внешних факторов. Такая методика обеспечивает оперативное получение достоверных данных и используется в масштабных исследованиях мирового уровня [13–15].

Дешифрирование проводили полуавтоматическим методом в программе QGIS с использованием инструмента «Калькулятор растров» на основе определения спектральной яркости пикселей и последующей классификации диапазонов спектральной яркости по группам для выявления участков комплексного опустынивания, отличающихся от покрытых травянистой растительностью территорий светлым тоном и цветом (белые и желтые оттенки). Методика дешифрирования спутниковых снимков основана на способах дешифрирования состояния пастбищ и почвы, подверженной деградации, которые отработаны в камеральных условиях, верифицированы полевыми методами и приведены в авторских патентах [16, 17]. В ГОСТ Р 70526-2022 приведены основные критерии, позволяющие определить степень деградации земель [10]. В качестве источника данных для дешифрирования были выбраны спутниковые снимки «Landsat», так как они охватывают значительный период времени (с 1984 г. по настоящее время), их пространственное разрешение (30 м) достаточно для выявления очагов комплексного опустынивания площадью более 0.1 га, а временное разрешение (периодичность повторной съемки одной и той же территории) позволяет выбирать наиболее подходящие по времени года снимки с отсутствием облачного покрова [11, 18, 19]. Исследование многолетних данных осложняется необходимостью подбора безоблачных спутниковых снимков для большой территории. Особенности климатических условий Калмыкии (большое количество солнечных дней в году, малое количество осадков в течение летнего периода) исключают использование методов маскировки облаков и других усредняющих или интерполирующих методик, которые могут повлиять на точность определения динамики процессов опустынивания [15, 20, 21].

Применение инструментов классификации, основанных на точных значениях спектральной яркости, исключает возможность ошибок, связанных с особенностями визуального дешифрирования, но требует предварительного отсеечения заведомо не опустыненных участков. Для проведения оценки опустынивания пастбищных угодий на территории исследований участки, занятые пашней и залежами, были исключены из анализа, так как спектральные характеристики участков пашни в большинстве случаев схожи с характеристиками участков комплексного опустынивания [22].

Для оценки повторяемости опустынивания применяли оверлейные операции с регулярной сеткой, поскольку отслеживание динамики комплексного опустынивания на каждом конкретном участке затрудняется их большим количеством и неравными интервалами между годами наблюдений. Используемая сетка состоит из квадратных ячеек со стороной 1000 м и площадью 100 га, обеспечивая достаточную точность пересечений для временного анализа и позволяя сократить затраты времени на вычисление процентного соотношения занятых участками комплексного опустынивания площадей в каждой ячейке. Последовательные операции пересечения позволили присвоить каждой ячейке с фиксированным идентификатором значения площадей участков комплексного опустынивания в каждый год исследования, а также определить повторяемость появления участков комплексного опустынивания в каждой ячейке [22]. Из результатов ежегодной оценки площади участков комплексного опустынивания (1984–2024 гг.) выбраны 17 ключевых лет (1984, 1988, 1991, 1994, 1998, 2002, 2007, 2011 и ежегодно с 2016 по 2024 гг.), существенно отличающиеся по площади и количеству очагов комплексного опустынивания от относительно стабильных значений в промежуточные годы.

Обработка исходных данных, оверлейные операции с векторными данными и формирование итоговых картографических материалов проведены с использованием специализированного программного обеспечения для геоинформационных работ QGIS. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программного комплекса MS Excel (Microsoft Corp., США).

2. Результаты и их обсуждение

По результатам дешифрирования за 17 выбранных лет всего выделено 65133 объектов общей площадью 24421.7 тыс. га (от 0.01 до 1492.4 тыс. га). В течение исследуемого периода количество объектов сокращалось при возрастании средней площади опустыненных участков в связи с объединением множества массивов в результате дефляции (рис. 1) [23].

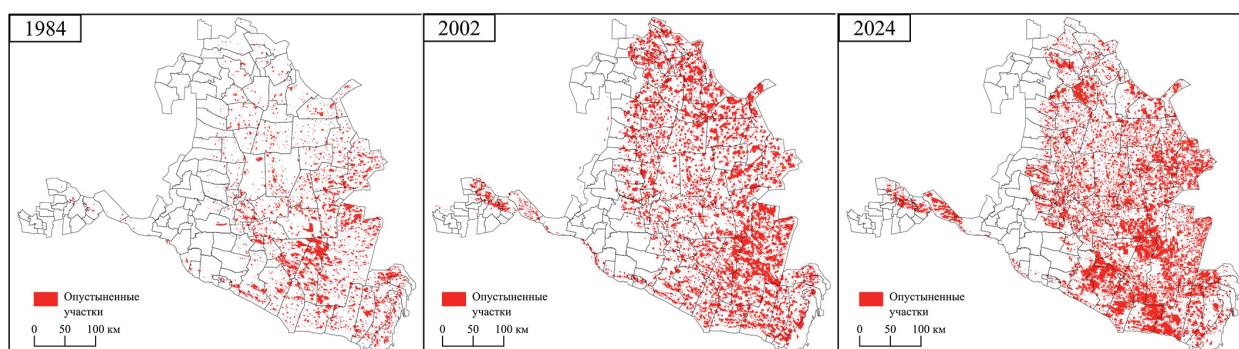


Рис. 1. Площади опустынивания в начале, середине и конце периода исследования

Fig. 1. Area of the desertification sites at the beginning, middle, and end of the study period

Изменения суммарной площади участков комплексного опустынивания по выбранным годам представлены на рис. 2. Наибольшие суммарные площади участков комплексного опустынивания соответствуют годам, в течение которых на территории Калмыкии наблюдалась высокая ветровая нагрузка на фоне низкого годового количества осадков [24–26]. Наибольшие площади отмечены в 2018 г. (2652.8 тыс. га). Значительное уменьшение площади опустынивания отмечено в периоды, когда годовое количество осадков превышало среднегодовую норму, а эффект воздействия ветров был существенно ниже. Наибольшие зафиксированные скорости ветра наблюдались во время или сразу после выпадения осадков, что значительно снижало возможность дефляции. В эти годы развивались фитоценозы малоценных в кормовом отношении и ядовитых растений, увеличивающих проективное покрытие опустыненных территорий, но не повышающих кормовую базу пастбищ [23].

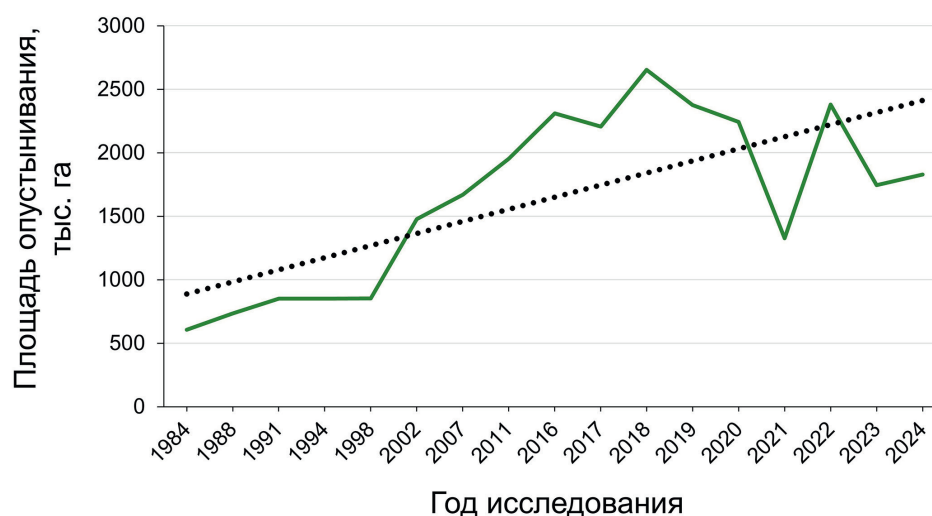


Рис. 2. Площади опустынивания по годам исследования

Fig. 2. Area of the desertification sites in the studied years

При создании регулярной сетки на территории Калмыкии было размещено 76185 ячеек площадью 100 га, с учетом того, что часть ячеек выходила за пределы границ региона. Классификация ячеек проведена по доле площади, занимаемой в них участками комплексного опустынивания (рис. 3). При этом соотношение ячеек, занятых участками комплексного опустынивания более чем на 80 % и составляющих крупные массивы опустыненных земель, и ячеек, занятых участками комплексного опустынивания на 40–80 %, примыкающих к ним, сохраняется постоянным в течение всего периода исследования и составляет примерно 2:1.

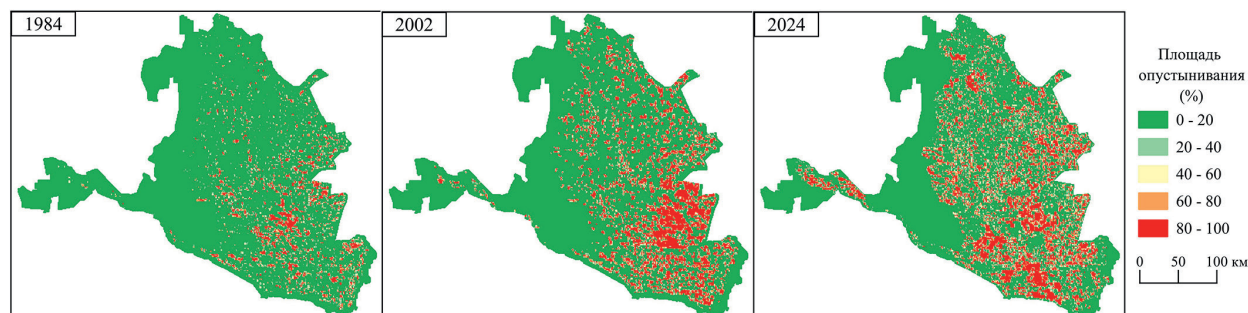


Рис. 3. Доля опустыненной территории в ячейках регулярной сетки (на примере 1984, 2002 и 2024 гг.)

Fig. 3. Proportion of the desertified territory in the regular grid cells (for 1984, 2002, and 2024)

Повторяемость опустынивания (рис. 4) в ячейке оценивалась как частота ненулевого значения в ячейке. Нулевая повторяемость на территории исследования, за исключением участков, занятых пашней и залежами, отмечается только в 288 ячейках из 76185 (0.5 %). Повторяемость 1–5 раз отмечена в 21.4 % ячеек, 6–10 раз в 47.5 % ячеек. Наиболее стабильные очаги опустынивания отмечены в 16072 ячейках с повторяемостью в 11–15 раз (26.9 %) и 16–17 раз за 17 исследованных лет в 2149 ячейках (3.6 % от общего количества). Данные о пространственном положении таких участков можно использовать в качестве ориентира при планировании мероприятий по фитомелиорации пастбищ и формированию лесопастбищных комплексов на песках [12, 27].

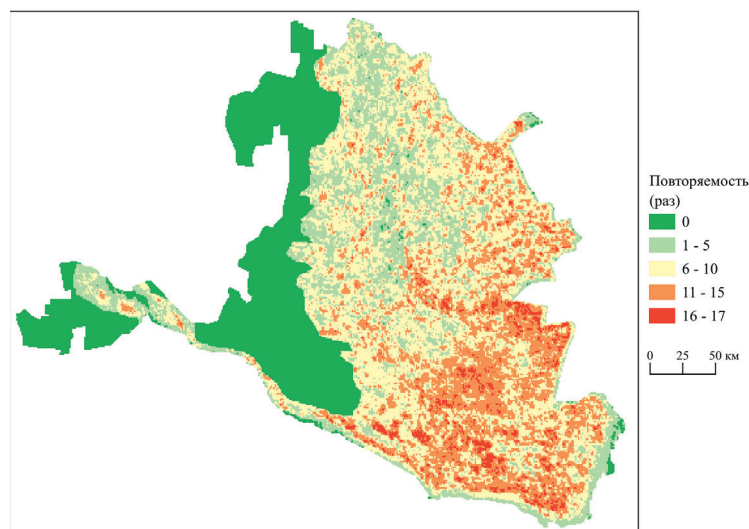


Рис. 4. Схема повторяемости опустынивания

Fig. 4. Scheme of desertification recurrence

Использованная методика оценки повторяемости позволяет выявить период возникновения очага опустынивания и время его существования. Так, при разделении периода исследования по границе веков, можно выявить очаги, образовавшиеся и заросшие за период исследований (рис. 5).

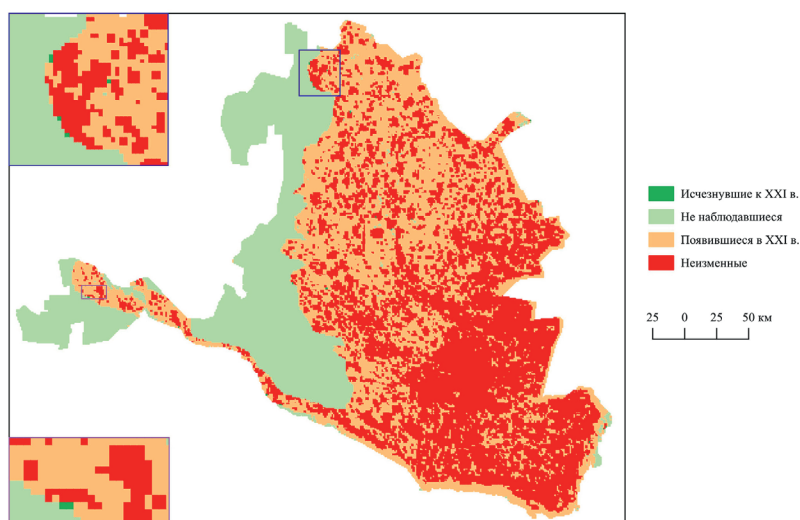


Рис. 5. Время появления или исчезновения очагов опустынивания

Fig. 5. Occurrence and disappearance of the desertification hotspots over time

К началу XXI века полностью заросли растительностью массивы песков только в 31 ячейке, тогда как после начала века образовались новые очаги, отмеченные в 26989 ячейках (35.4 % от общего количества). По результатам исследований установлено значительное увеличение площади опустыненных земель на территории Калмыкии в первую очередь за счет уменьшения проективного покрытия, что свидетельствует о снижении продуктивности пастбищных фитоценозов. Определено местоположение устойчивых участков опустынивания, отмеченных в 32224 ячейках (42.2 %), на которых не формируются или очень редко формируются растительные фитоценозы. Таким образом, можно отметить, что почти половина площади Калмыкии практически постоянно находится в состоянии опустынивания и здесь требуются первоочередные мероприятия по фиксации подвижных песков кустарниковыми кулисами с последующим формированием фитоценозов.

Повышение природно-ресурсного потенциала деградированных пастбищ возможно на основе комплексных мелиораций, направленных на снижение площади опустыненных земель. При этом фитомелиорация, которая основывается на использовании биологического восстановительного потенциала растений, является объективно ведущим методом реабилитации опустыненных земель [12, 28].

Заключение

Оценка повторяемости опустынивания территории Республики Калмыкия, проведенная с использованием послыйного анализа пространственного размещения участков комплексного опустынивания в 76185 ячейках регулярной сетки площадью 100 га, позволила установить динамику площади участков опустынивания, полученных за период 1984–2024 гг.

Установлено пространственное положение суммарно без учета перекрытия 67 тыс. участков комплексного опустынивания (за 17 лет более 24 млн га).

Для реабилитации опустыненных земель на установленных участках опустынивания требуются первоочередные мероприятия по фиксации подвижных песков кустарниковыми кулисами с последующим формированием фитоценозов. В условиях высокой антропогенной нагрузки большую долю естественных фитоценозов составляет рудеральная растительность (плохопоедаемая, колючая, ядовитая и т. д.), в связи с чем требуется применение методов повышения хозяйственной ценности пастбищ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

Литература

1. *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. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2024-1006-4-10-19>.
2. *Кулик К.Н.* Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: Изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
3. *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. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300>.
4. *Шинкаренко С.С., Вытрицкий А.А., Васильченко А.А., Берденгалиева А.Н.* Анализ влияния антропогенных нагрузок на процессы опустынивания в северном Прикаспии.

- пии по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2023. № 3. С. 44–57. <https://doi.org/10.31857/S0205961423030065>.
5. *Дорошенко В.В.* Влияние развития процессов опустынивания на распространение ландшафтных пожаров в Ставропольском крае // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2023. Т. 165, кн. 3. С. 486–498. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.486-498>.
 6. *Дорошенко В.В.* Пыльные бури на востоке Ставропольского края в 2017–2022 гг. // Вопросы степеведения. 2023. № 3. С. 41–48. <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2023-3-41-48>.
 7. *Ильина В.Н.* Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20, № 2. С. 4–30.
 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. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-192-206>.
 9. *Павлейчик В.М., Калмыкова О.Г., Сорока О.В.* Особенности теплового режима и увлажнения постпирогенных степных ландшафтов // Изв. РАН. Сер. географическая. 2020. Т. 84, № 4. С. 541–550. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040111>.
 10. ГОСТ Р 70526-2022. Мелиорация земель. Почвы. Оценка степени деградации. М: Российский институт стандартизации, 2022. 12 с.
 11. *Глушко А.Я., Разумов В.В., Рейхани М.Д.* Деградация земель Юга европейской части России под воздействием пыльных бурь // Юг России: экология, развитие. 2010. Т. 5, № 1. С. 146–151. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2010-1-146-151>.
 12. *Кулик К.Н., Рулев А.С., Сажин А.Н.* Глобальные процессы дефляции в степных экосистемах // Метеорология и гидрология. 2018. № 9. С. 72–80.
 13. *Xu D., Kang X., Qiu D., Zhuang D., Pan J.* Quantitative assessment of desertification using Landsat data on a regional scale – a case study in the Ordos Plateau, China // Sensors. 2009. V. 9, No 3. P. 1738–1753. <https://doi.org/10.3390/s90301738>.
 14. *Dara A., Baumann M., Freitag M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Müller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T.* Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure // Remote Sens. Environ. 2020. V. 239. Art. 111667. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111667>.
 15. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Плотников Д.Е.* Интерполяционный алгоритм восстановления длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 6. С. 143–154. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-6-143-154>.
 16. *Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Бакурова К.Б.* Способ определения состояния пастбищ, подверженных деградации Патент РФ на изобретение № 2327107. 2008. Бюл. ФИПС № 17.
 17. *Кулик К.Н., Юферев В.Г., Рулев А.С., Бакурова К.Б.* Способ определения состояния почвы, подверженной деградации. Патент РФ на изобретение № 2265839. 2005. Бюл. ФИПС № 34.
 18. *Виноградов Б.В., Кулик К.Н.* Аэрокосмический мониторинг динамики опустынивания Черных земель Калмыкии по повторным съемкам // Проблемы освоения пустынь. 1987. № 4. С. 45–53.
 19. *Виноградов Б.В.* Аэрометоды изучения растительности аридных зон. М., Л.: Наука, 1966. 361 с.
 20. *Кашицкий 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. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85>.
 21. *Baetens L., Desjardins C., Hagolle O.* Validation of Copernicus Sentinel-2 cloud masks obtained from MAJA, Sen2Cor, and FMask processors using reference cloud masks generated with a supervised active learning procedure // Remote Sens. 2019. V. 11, No 4. Art. 433. <https://doi.org/10.3390/rs11040433>.
 22. *Юферев В.Г., Кулик К.Н., Пугачёва А.М., Кузнецко А.И., Денисова Е.В., Берденгалиева А.Н., Дорошенко В.В., Синельникова К.П., Выпрickýй А.А., Васильченко А.А., Мелихова А.В., Матвеев Ш.*

Геоинформационное картографирование опустынивания аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов Российской Федерации на основе данных дистанционного зондирования и полевых исследований: тестовая модель методики. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 271 с.

23. Манаенков А.С., Кулик А.К. Закрепление и облесение песков засушливой зоны. Волгоград: ФГБНУ ВНИАЛМИ, 2016. 55 с.
24. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Эдельгериева Р.С.-Х. М: ООО «Издательство МБА», 2021. Т. 3. 700 с. <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>.
25. Юфереv В.Г., Беляев А.И., Синельникова К.П. Опустынивание земель сельскохозяйственного назначения в Черноземельском районе Калмыкии // Известия НВ АУК. 2022. № 4(68). С. 465–473. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-55>.
26. Кулик К.Н., Петров В.И., Юфереv В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2(83). С. 16–24. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10091>.
27. Малиновская Е.А. Трансформация эоловых форм рельефа при ветровом воздействии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55, № 1. С. 54–64. <https://doi.org/10.31857/S0002-351555154-64>.
28. Виноградов Б.В., Кулик К.Н., Сорокин А.Д., Федотов П.Б. Картографирование зон экологического неблагополучия по динамическим критериям // Экология. 1988. № 4. С. 243–251.

References

1. Doroshenko V.V. Assessing the monthly dynamics of open sand areas in the east of the Stavropol krai in 2023. *Geod. Kartogr.*, 2024, vol. 85, no. 4, pp. 10–19. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2024-1006-4-10-19>. (In Russian)
2. Kulik K.N. *Agrolesomeliativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry Mapping and Phytoecological Assessment of Arid Landscapes]. Volgograd, Izd. VNIALMI, 2004. 248 p. (In Russian)
3. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Satellite observations of dust storms in the south of Russia in 2022. *Sovrem. Probl. Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli Kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 6, pp. 293–300. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300>. (In Russian)
4. 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. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2023, vol. 59, no. 9, pp. 1115–1125. <https://doi.org/10.1134/S0001433823090177>.
5. 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, vol. 165, no. 3, pp. 486–498. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.486-498>. (In Russian)
6. Doroshenko V.V. Dust storms in the east of the Stavropol region for 2017–2022. *Steppe Sci.*, 2023, no. 3, pp. 41–48. <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2023-3-41-48>. (In Russian)
7. Ilyina V.N. Pyrogenic impact on vegetation cover. *Samar. Luka: Probl. Reg. Global'noi Ekol.*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 4–30. (In Russian)
8. Shinkarenko S.S. Changes in spectral reflectance characteristics of the Northern Caspian zonal landscapes under pyrogenic influence. *Sovrem. Probl. Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli Kosmosa*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 192–206. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-192-206>. (In Russian)
9. Pavleikhik V.M., Kalmykova O.G., Soroka O.V. Features of the thermal regime and humidification of post-pyrogenic steppe landscapes. *Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 4, pp. 541–550. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040111>. (In Russian)
10. State Standard R 70526-2022. Land reclamation. Soil. Assessment of degradation. Moscow, Ross. Inst. Stand., 2022. 12 p. (In Russian)

11. Glushko A.Ya., Rasumov V.V., Reikhany M.D. South European part of Russia land's degradation under the influence of dusty storms. *South Russ.: Ecol., Dev.*, 2010, vol. 5, no. 1, pp. 146–151. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2010-1-146-151>. (In Russian)
12. Kulik K.N., Rulev A.S., Sazhin A.N. Global processes of deflation in steppe ecosystems. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2018, vol. 43, no. 9, pp. 607–612. <https://doi.org/10.3103/S1068373918090078>.
13. Xu D., Kang X., Qiu D., Zhuang D., Pan J. Quantitative assessment of desertification using Landsat data on a regional scale – a case study in the Ordos Plateau, China. *Sensors*, 2009, vol. 9, no. 3, pp. 1738–1753. <https://doi.org/10.3390/s90301738>.
14. Dara A., Baumann M., Freitag M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Müller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T. Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure. *Remote Sens. Environ.*, 2020, vol. 239, art. 111667. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111667>.
15. Miklashevich T.S., Bartalev S.A., Plotnikov D.E. Interpolation algorithm for the recovery of long satellite data time series of vegetation cover observation. *Sovrem. Probl. Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli Kosmosa*, 2019, vol. 16, no. 6, pp. 143–154. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-6-143-154>. (In Russian)
16. Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Bakurova K.B. Method for determining the condition of pastures under degradation. Patent RF no. 2327107. *Byull. FIPS*, 2008, no. 17. (In Russian)
17. Kulik K.N., Yuferev V.G., Rulev A.S., Bakurova K.B. Method for determining the condition of soil under degradation. Patent RF no. 2265839. *Byull. FIPS*, 2005, no. 34. (In Russian)
18. Vinogradov B.V., Kulik K.N. Aerospace monitoring of desertification dynamics in the Chernye Zemli of Kalmykia based on repeated surveys. *Probl. Osvoeniya Pustyn'*, 1987, no. 4, pp. 45–53. (In Russian)
19. Vinogradov B.V. *Aerometody izucheniya rastitel'nosti aridnykh zon* [Aerial Methods of Studying Vegetation in Arid Zones]. Moscow, Leningrad, Nauka, 1966. 361 p. (In Russian)
20. Kashnitskii A.V., Burtsev M.A., Proshin A.A. Technology to create cloud-free composites from Sentinel-2 satellite data. *Sovrem. Probl. Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli Kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 5, pp. 76–85. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85>. (In Russian)
21. Baetens L., Desjardins C., Hagolle O. Validation of Copernicus Sentinel-2 cloud masks obtained from MAJA, Sen2Cor, and FMask processors using reference cloud masks generated with a supervised active learning procedure. *Remote Sens.*, 2019, vol. 11, no. 4, art. 433. <https://doi.org/10.3390/rs11040433>.
22. Yuferev V.G., Kulik K.N., Pugacheva A.M., Kuzepko A.I., Denisova E.V., Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V., Sinelnikova K.P., Vypritskiy A.A., Vasil'chenko A.A., Melikhova A.V., Matveev Sh. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye opustynivaniya aridnykh, subaridnykh i sukhikh subgumidnykh regionov Rossiiskoi Federatsii na osnove dannykh distantcionnogo zondirovaniya i polevykh issledovaniy: testovaya model' metodiki* [Geoinformation Mapping of Desertification in Arid, Subarid, and Dry Subhumid Regions of the Russian Federation based on Remote Sensing and Field Surveys: A Test Methodological Model]. Volgograd, FNTs Agroekol. Ross. Akad. Nauk, 2024. 271 p. (In Russian)
23. Manaenkov A.S., Kulik A.K. *Zakrepleniye i obleseniye peskov zasushlivoi zony* [Stabilization and Afforestation of Sands in Arid Zones]. Volgograd, FGBNU VNIALMI, 2016. 55 p. (In Russian)
24. *Natsional'nyi doklad "Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)"* [National Report "Global Climate and Soil Cover of Russia: Manifestations of Drought, Prevention, Control, Elimination of Consequences, and Adaptation Measures (Agriculture and Forestry)"]. Vol. 3. Edelgeriev R.S.-Kh. (Ed.). Moscow, OOO "Izd. MBA", 2021. 700 p. <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>. (In Russian)
25. Yuferev V.G., Belyaev A.I., Sinelnikova K.P. Desertification of agricultural lands in the Chernozemelsky district of Kalmykia. *Proc. Lower Volga Agro-Univ. Complex*, 2022, no. 4(68), pp. 465–473. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-55>. (In Russian)
26. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. Geoinformation analysis of desertification of the Northwestern Caspian. *Arid Ecosyst.*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 98–105. <https://doi.org/10.1134/S2079096120020080>.

27. Malinovskaya E.A. Transformation of aeolian relief forms under wind influence. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 50–58. <https://doi.org/10.1134/S0001433819010067>.
28. Vinogradov B.V., Kulik K.N., Sorokin A.D., Fedotov P.B. Mapping of ecological distress zones by dynamic criteria. *Ekologiya*, 1988, no. 4, pp. 243–251. (In Russian)

Информация об авторах

Валерий Григорьевич Юферов, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник – заведующий лабораторией геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук

E-mail: yuferevv@vfanc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1046-0196>

Валерия Витальевна Дорошенко, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук

E-mail: doroshenko-vv@vfanc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-1132>

Author Information

Valerij G. Yuferev, Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Chief Researcher – Head of Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes, Federal Research Center of Agroecology, Complex Melioration, and Forest Reclamations, Russian Academy of Sciences

E-mail: yuferevv@vfanc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1046-0196>

Valeriya V. Doroshenko, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes, Federal Research Center of Agroecology, Complex Melioration, and Forest Reclamations, Russian Academy of Sciences

E-mail: yuferevv@vfanc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-1132>

Поступила в редакцию 05.03.2025

Принята к публикации 02.04.2025

Received March 5, 2025

Accepted April 2, 2025