

ТЕНДЕНЦИИ ГОРИМОСТИ ЛАНДШАФТОВ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ПРИКАСПИЙ)

А.Н. Пичейкин¹, *С.С. Шинкаренко^{1,2}

¹Волгоградский государственный университет, Россия, Волгоград

²Институт космических исследований РАН, Россия, Москва

e-mail: *shinkarenko@volsu.ru

Регулярные ландшафтные пожары приводят к существенным изменениям состояния ландшафтов, поэтому картографирование выгоревших площадей, определение длительностей пирогенных сукцессий и межпожарных интервалов являются важным этапом исследований экосистем. В данном исследовании выполнено картографирование выгоревших площадей на территории Терско-Кумской низменности в Северо-Западном Прикаспии за 2001-2020 гг. на основе спутниковых данных Landsat и различных информационных продуктов детектирования тепловых аномалий и гарей. Всего идентифицировано более 13 тыс. гарей. Установлено значимое снижение горимости как зональных (Ногайская степь), так и интразональных ландшафтов дельтовой и приморской частей территории исследований вследствие ухудшения условий увлажнения. Продолжающееся падение Каспийского моря сопровождается небольшим увеличением горимости прибрежных ландшафтов из-за их обсыхания и увеличения площадей, занятых высокопродуктивной околородной растительностью. Полученные результаты позволяют в дальнейшем оценить влияние пирогенного воздействия на экосистемы, а также оценить эффективность проводимой в регионе противопожарной профилактики.

Ключевые слова: степные пожары, Прикаспий, мониторинг, дистанционное зондирование, Landsat.

Введение

Ландшафтные пожары являются существенным фактором динамики состояния экосистем. Разрушение местообитаний животных, изменения видового состава растительных сообществ, эмиссии парниковых газов, угроза жизни и здоровью населения, повреждение объектов инфраструктуры и другие негативные последствия пирогенного воздействия требуют изучения закономерностей распространения пожаров. При этом за пределами земель лесного фонда и особо охраняемых природных территорий мониторинг ландшафтных пожаров и оценка их воздействия на растительный покров централизованно не ведется. Изменения климата и интенсивности сельскохозяйственного использования территории приводят к существенным различиям пожарных режимов разных территорий [1, 2]. Поэтому исследования влияния этих факторов на пожарный режим ландшафтов являются актуальными.

Доступность различных спутниковых данных, а также информационных продуктов их тематической обработки, открывают возможности объективной оценки пространственно-временной динамики площадей пожаров в различных ландшафтах [3, 4, 5]. Наиболее обширные площади природных пожаров в нелесных естественных ландшафтах отмечаются на юге России в степной и пустынной зонах, где преобладает отгонное животноводство. При этом пожары в Волго-Уральском междуречье, в Калмыкии, Волгоградской и Оренбургской областях уже успешно картографированы (например, [1, 2]). Пожарный режим естественных ландшафтов территории Северо-Западного Прикаспия, включающей Республику Дагестан и Ставропольский край, изучен значительно хуже. Есть только некоторые исследования, довольно ограниченные как по площади [6], так и по продолжительности [7]. В то время как

данная территория, включающая Терско-Кумскую низменность, представляет интерес из-за значительного ландшафтного разнообразия и природоохранной ценности [8, 9].

Цель данного исследования состоит в определении закономерностей пожарного режима естественных ландшафтов Терско-Кумской низменности на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Материалы и методы

Территория исследований охватывает юго-западную часть Прикаспийской низменности (рис. 1) и включает Терско-Кумскую низменность и Терско-Сулакскую низменность (равнину). Терско-Сулакская низменность представляет собой сросшиеся дельты рек Терека, Сулака и Шура-Озень, поэтому оправданы исследования всей этой территории как одного объекта. Западная граница Терско-Кумской низменности проводится по границе лессовых и переработанных эоловыми процессами пород, местами довольно условно [10]. Тем не менее, западнее Терско-Кумской низменности преобладает земледельческое использование территории, поэтому по спутниковым изображениям границу можно провести, ориентируясь на наличие обрабатываемых сельскохозяйственных полей. В данном исследовании отдельно анализируются особенности пожарного режима зональных ландшафтов, представленных опустыненными степями (Ногайская степь), и интразональных дельтовых ландшафтов.

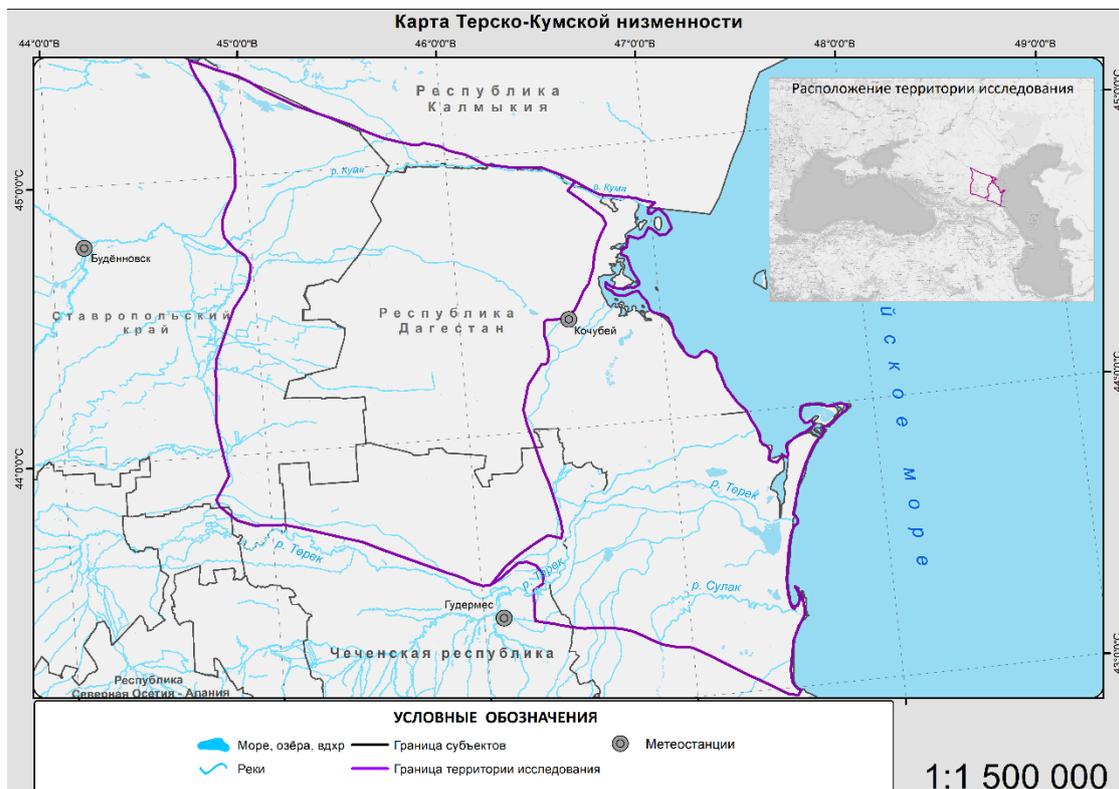


Рисунок 1 – Территория исследования

Картографирование выгоревших площадей основано на экспертном дешифрировании спутниковых изображений Landsat 5, 7, 8 и Sentinel-2, полученных с использованием системы «Вега-Science» [11], функционирующей в рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» [3]. Использовалась комбинация коротковолнового, ближнего инфракрасных и красного диапазонов. Это позволяет достаточно надежно выделить гари, поскольку в данной комбинации спектральных каналов они обладают четкими дешифровочными признаками (рис. 2). Также использован архив тепловых аномалий MCD14ML [12] для анализа сезонного распределения очагов активного горения и подбора спутниковых изображений на даты пожаров. На основе атрибутивной информации, которая содержится в архиве тепловых

аномалий, были определены месяцы и годы детектирования, анализ которых позволил выбрать спутниковые данные на максимально близкие к пожарам даты. В Ногайской степи 58 % тепловых аномалий детектируется в летние и осенние месяцы, в дельтовой и приморской частях преобладают пожары весеннего периода – 69 % всех тепловых аномалий.

Дополнительная верификация проводилась на основе информационных продуктов детектирования выгоревших площадей по данным спутниковой системы MODIS FireCCI51 разрешения 250 м [13], MCD64A1 разрешения 500 м [14] и по данным Landsat разрешения 30 м [15]. Ни один из указанных информационных продуктов, как и их совокупность, не позволяют картографировать гари с необходимой точностью (рис. 2), поэтому экспертное дешифрирование, хоть и является наиболее трудоемким методом, обеспечивает наибольшую точность [5, 16]. Подобный подход к картографированию выгоревших площадей на основе визуального дешифрирования многократно применялся для различных территорий (например, [1, 3, 4]). Исследование охватывает 2001-2020 гг., т.к. именно с 2001 г. доступны информационные продукты детектирования выгоревших площадей и тепловых аномалий, основанные на данных запущенной в 2000 г. спутниковой системы MODIS (Terra). В 2020 г. в регионе была катастрофическая засуха, которая привела к резкой активизации процессов опустынивания, вплоть до полной утраты растительного покрова. По этим причинам в Ногайской степи практически не было пожаров в 2021-2022 гг. [6], соответственно эти годы не включены в данное исследование. Для анализа динамики пожарного режима использовался показатель горимости – отношение величины выгоревшей площади ко всей площади территории исследований. Относительная величина горимости позволяет сравнивать пожарные режимы территорий разной площади между собой.

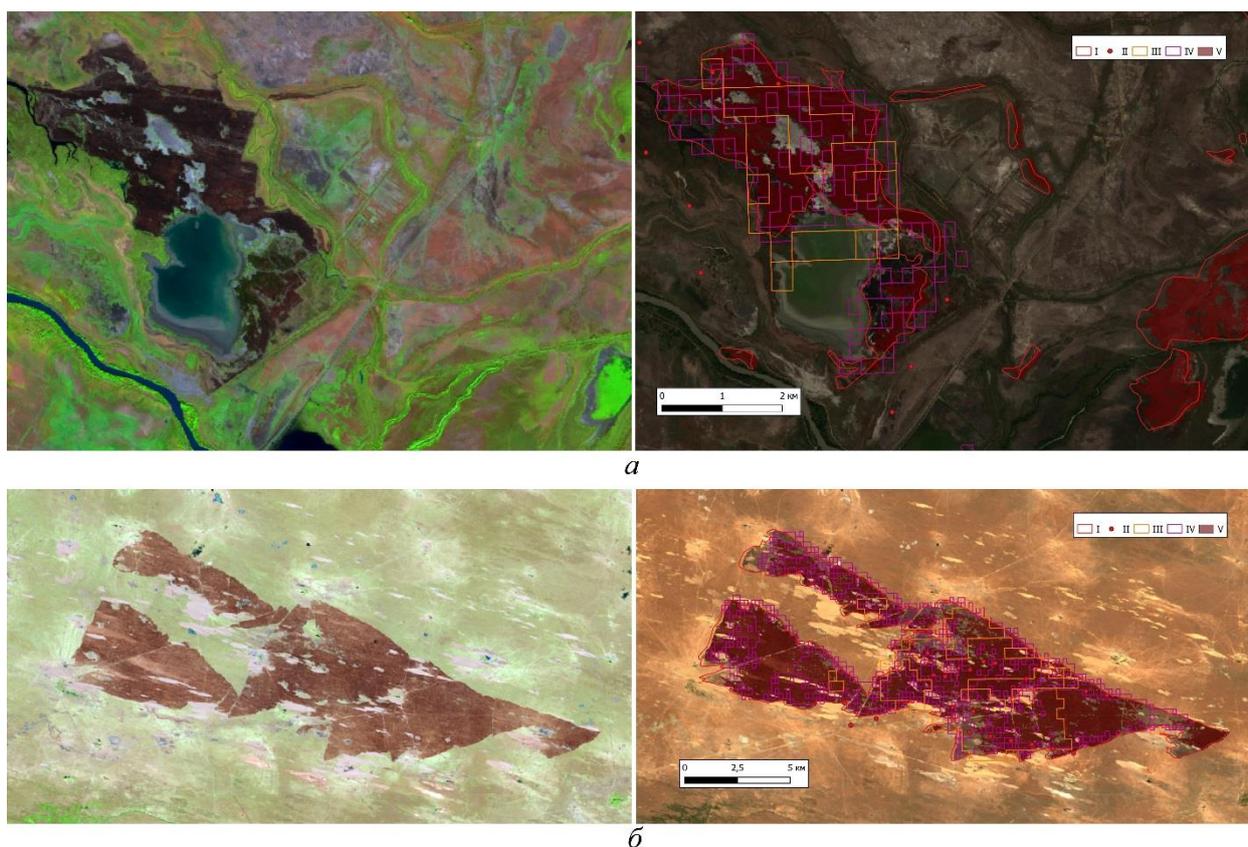


Рисунок 2 – Примеры картографирования пожаров в дельтовой и приморской (а) и степной (б) частях территории исследований (I – контур дешифрирования, II – тепловые аномалии, III – MCD64A1, IV – FireCCI51, V – GABAM; слева комбинации SWIR-NIR-R, справа – R-G-B)

Результаты и обсуждение

Всего в результате экспертного дешифрирования спутниковых изображений идентифицировано более 13 тыс. гарей общей площадью 1,26 млн га без учета повторяемости. Их пространственно-временное распределение представлено на рисунке 3. В количественном отношении преобладают пожары в дельтовой и приморской части (№ 2 на рис. 3): 7,3 тыс. гарей в дельте против 5,8 тыс. – в Ногайский степях (№ 1 на рис. 3). Величина же выгоревших площадей в степной части территории исследований вдвое превышает таковую в дельтовой и приморской части: 0,84 млн га против 0,42 млн га. Большая фрагментированность гарей в пойменных и дельтовых ландшафтах характерна и для других подобных территорий, например, Нижней Волги [5]. Это связано с наличием протоков, каналов и водоемов, которые препятствуют распространению пожаров. В то же время в степной части, которая используется в качестве пастбищ, значительно меньше объектов, которые бы ограничивали продвижение фронта пожаров. К ним можно отнести дороги, солончаки, массивы открытых песков. Сортовые понижения и приуроченные к ним солончаки широко распространены в Прикаспии, они лишены растительного покрова в силу своих природных особенностей [17], из-за чего могут препятствовать распространению пожаров. На Терско-Кумской низменности обширные пространства солончаков расположены к юго-западу от поселка Кочубей, где отсутствуют выгоревшие площади (рис. 3).

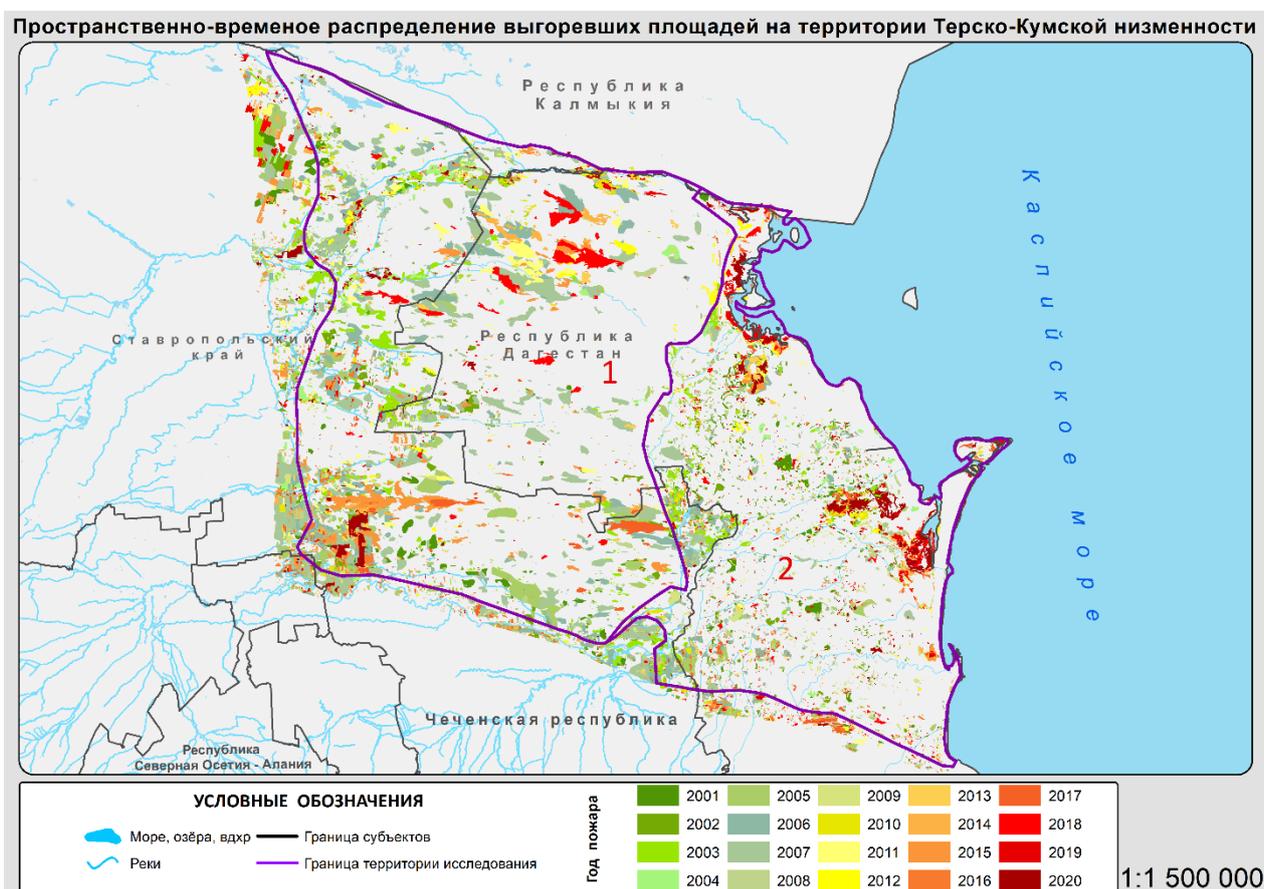


Рисунок 3 – Пространственно-временное распределение выгоревших площадей на территории исследований (1 – Ногайская степь, 2 – дельтовая и приморская части)

В количественном отношении преобладают пожары площадью до 100 га (рис. 4), на них приходится 80-90 % всех гарей в степной и дельтовой частях соответственно. При этом большая часть площади (83%) обусловлена пожарами площадью более 100 га каждый: 88 % – в Ногайских степях, и 71 % – в дельтовой и приморской части. Подобное явление, когда

большая часть выгоревших площадей представлена относительно небольшим количеством крупных пожаров, характерна для всего Северного Прикаспия [2, 5].

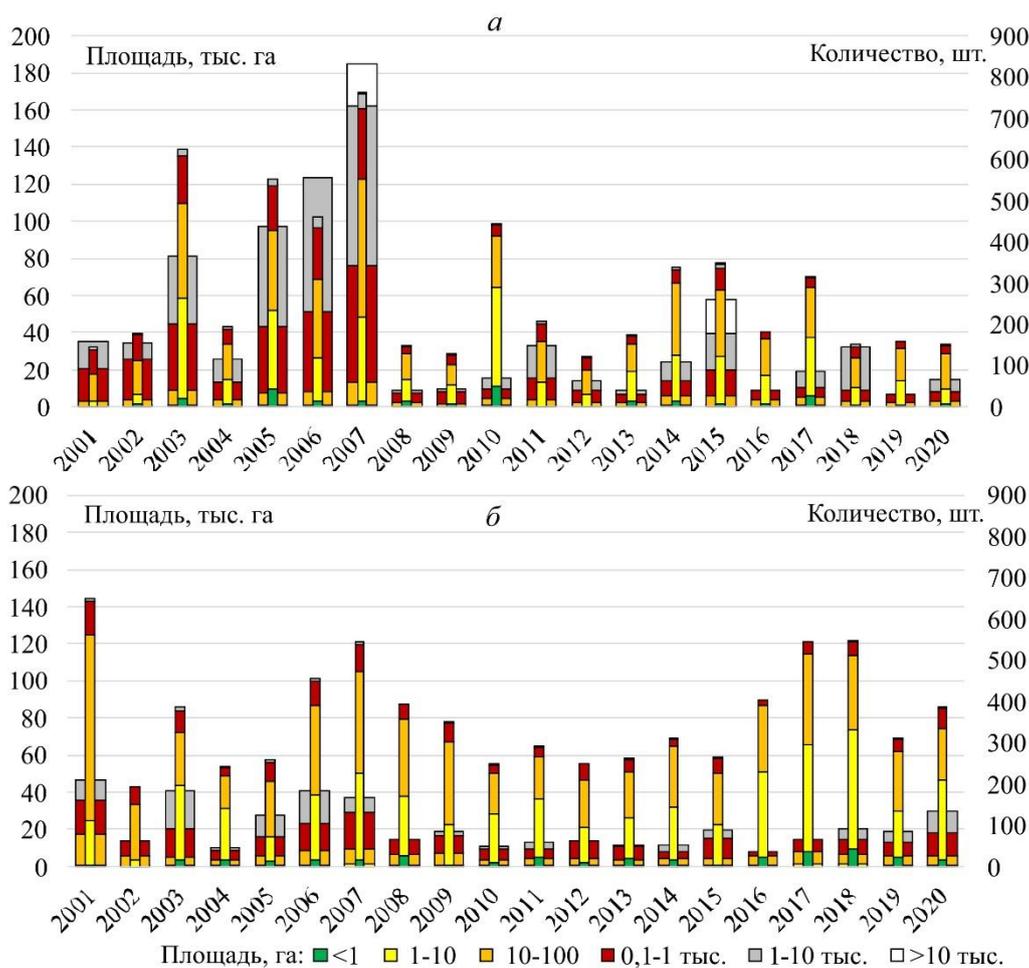


Рисунок 4 – Динамика площадей (широкие столбцы) и количества (узкие столбцы) ландшафтных пожаров в регионе исследований (а – степная часть, б – дельтовая и приморская часть)

Обращает на себя внимание значительное снижение площадей и количества пожаров в степной части исследуемой территории после 2007 г. (рис. 4а), характерное и для зональных ландшафтов других регионов, где после 2007-2010 гг. существенно снизилась горимость [1, 18, 19]. Это может быть связано с ухудшением гидротермических условий и ростом пастбищных нагрузок, в связи с чем требуется более длительное накопление растительной мортмассы, необходимой для возникновения и распространения пожаров [2]. В конце 2019 г. и в 2020 г. на юго-востоке европейской части России интенсифицировались процессы опустынивания ландшафтов, вплоть до полной утраты растительного покрова и возникновения масштабных пыльных бурь, повлекших рост площадей дефлированных территорий [7, 20]. Погребение растительности песком, утрата мортмассы привели к практически полному отсутствию пожаров в зональных ландшафтах степной части исследуемой территории в период 2020-2022 гг. [6]. Как было показано ранее [2], горимость естественных зональных пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия значимо коррелирует с гидротермическими условиями и величинами пастбищных нагрузок: чем выше уровень увлажнения, ниже температуры и пастбищные нагрузки, тем выше горимость. Это связано с необходимостью накопления мортмассы, что затруднено при выпасе скота и засухах. Коэффициент корреляции горимости и среднегодовой температуры воздуха по метеостанции в Кочубее и горимости Ногайских степей при их усреднении по пятилетнему скользящему окну составляет $r = -0,44$ ($p < 0,05$), а с суммами осадков за гидрологический год – $r = 0,39$ ($p < 0,05$).

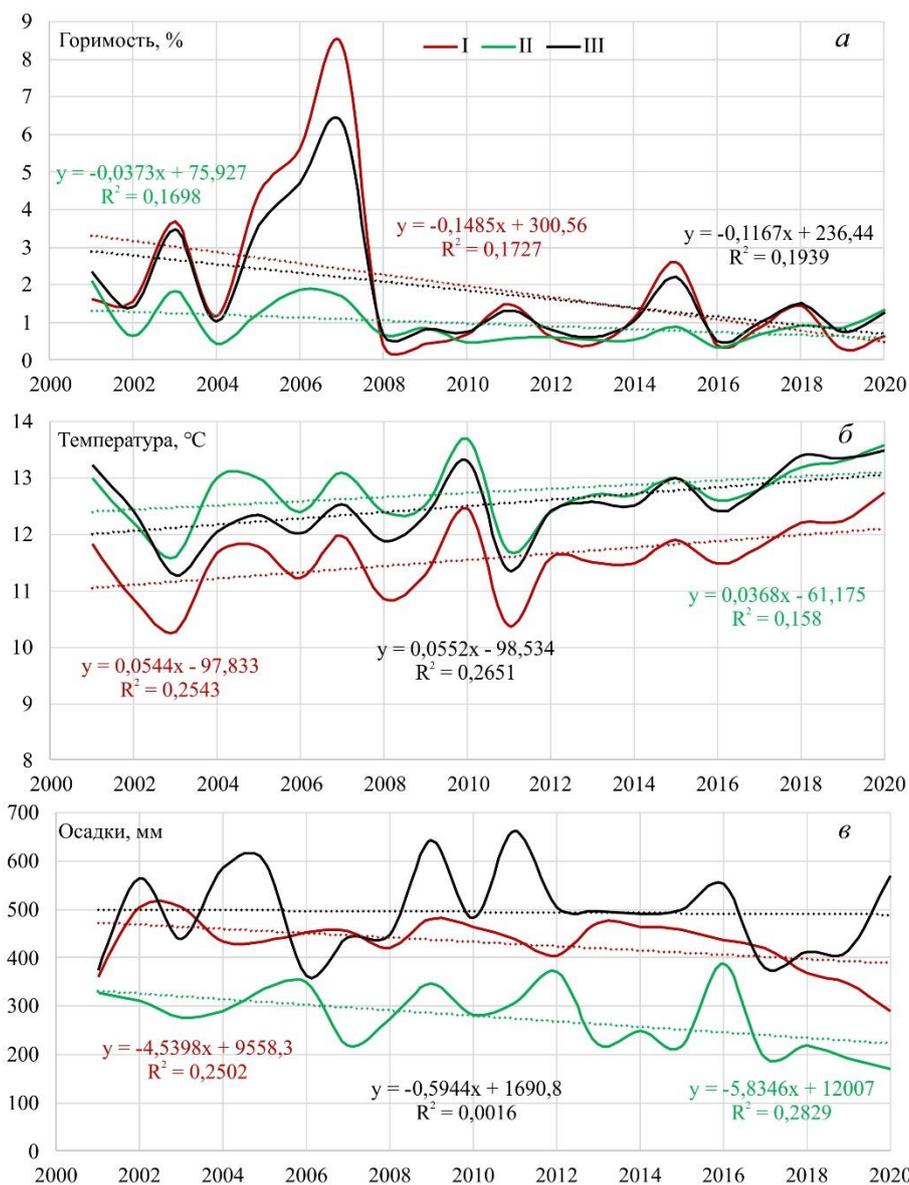


Рисунок 5 – Динамика горимости (а, I – степная часть, II – дельтовая и приморская часть, III – вся территория), среднегодовых температур (б) и годовых сумм осадков (в, I – Буденновск, II – Кочубей, III – Гудермес)

По данным всех метеостанций региона среднегодовые температуры воздуха характеризуются устойчивым положительным трендом в период исследований (рис. 5). При этом отрицательные тренды сумм осадков характерны только для Кочубея и Буденновска, для Гудермеса тренд отсутствует. Для отдельных районов Дагестана в открытом доступе отсутствуют сведения о поголовье скота, поэтому нет возможности проанализировать влияние пастбищных нагрузок на горимость ландшафтов. После 2007 г. в Ногайских степях горимость территории значительно снизилась, при этом небольшое ее увеличение заметно каждые 3-4 года: в 2011, 2015, 2018 гг. Что связано с описанными выше процессами накопления горючего растительного материала. Существенную межгодовую изменчивость пожарных режимов зональных ландшафтов степей Северной Евразии последнего десятилетия подтверждают и другие исследования [21]. В период 2001-2010 гг. среднемноголетняя горимость территории Ногайской степи составляла 2,8 %, после в 2011-2020 гг. она снизилась до величины 1 % в год. В дельтовой и приморской частях территории за этот же период горимость снизилась с 1,2 % до 0,7 % в год. Это относительно низкие значения, т.к. в пойменных ландшафтах Нижней Волги в 2001-2020 гг. выгорало ежегодно в среднем около

8 % территории [5], а в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России (Астраханская, Волгоградская области и Р. Калмыкия) среднемноголетняя горимость в 2001-2020 гг. составляла 3,7 % [2].

После 2017 г. увеличиваются выгоревшие площади в дельтовой и особенно приморской частях Терско-Кумской низменности, что может быть вызвано продолжающимся падением уровня Каспийского моря [22]. Обсыхающее дно отступающего Каспия зарастает тростниковой растительностью, которая характеризуется значительной фитомассой и высокой горимостью. Подобные тенденции роста площадей пожаров отмечаются и в дельте Волги, где снижение уровней воды в половодье, связанные с падением уровня Каспия и максимальных расходов воды в Волге, способствуют увеличению пожарной опасности и, как следствие, горимости [5]. Также отмечается деградация большинства оросительных систем на Терско-Кумской низменности, что в совокупности с ростом аридизации приводит к повышению минерализации почв и грунтовых вод, солончакообразованию [23]. Влияние этих процессов на пожарный режим требует дополнительных исследований.

Выводы

В результате экспертного дешифрирования спутниковых изображений Landsat получены электронные карты выгоревших площадей в ландшафтах Терско-Кумской низменности за 2001-2020 гг. Использование комбинации спектральных каналов с включением коротковолнового и ближнего инфракрасного диапазонов и верификация по данным информационных спутниковых продуктов детектирования очагов активного горения и выгоревших площадей позволило получить достаточную точность для оценки динамики пожарного режима ландшафтов исследуемой территории.

Для всех исследуемых ландшафтов характерно значимое снижение горимости и ее неоднородная многолетняя динамика в период после 2007-2010 гг., что подтверждается исследованиями, проведенными в других степных регионах Северной Евразии. Основная причина снижения горимости связана с аридизацией климата, в результате для накопления необходимой массы горючего материала требуется значительно больше времени. Рост пастбищных нагрузок также способствует снижению горимости. Падение уровня Каспия и обсыхание его прибрежной зоны сопровождается развитием высокопродуктивной околководной растительности, что приводит к некоторому увеличению горимости в дельтовой и прибрежной частях.

Полученные результаты позволят в дальнейшем исследовать влияние пирогенного воздействия на ландшафты на основе как полевых, так и дистанционных методов. Также электронные карты выгоревших площадей могут стать основой для анализа и оптимизации проводимых в регионе противопожарных мероприятий.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» [3] и сервиса «Vegetation Science» [11].

Список литературы

1. Павлейчик В.М. Широотно-зональная неоднородность развития травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 2. С. 1-14. DOI: 10.24411/2304-9081-2019-12013.
2. Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Известия Российской Академии Наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 122-133. DOI: 10.31857/S2587556622010113.

3. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., 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.
4. Павлейчик В.М. Опыт применения данных дистанционного зондирования Земли в исследованиях степных пожаров // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 11-2. С. 377-382.
5. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Иванов Н.М. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. № 1. С. 143-157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.
6. Дорошенко В.В. Влияние развития процессов опустынивания на распространение ландшафтных пожаров в Ставропольском крае // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2023. Т. 165. № 3. С. 486-498. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
7. Биарсланов А.Б., Джалалова М.И., Гаджиев И.Р., Асгерова Д.Б., Осипова С.В. Применение космических снимков в исследованиях постпирогенных территорий северо-Западного Прикаспия // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2022. № 4-2 (216-2). С. 4-12. DOI: 10.18522/1026-2237-2022-4-2-4-12.
8. 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.
9. Джамирзоев Г.С., Атаев З.В., Идрисов И.А., Братков В.В., Балгуев Т.Р. Биологическое и ландшафтное разнообразие как основа для создания и функционирования биосферного резервата «Кизлярский залив» // *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. 2016. Т. 10. № 1. С. 85-96.
10. Идрисов И.А., Гусейнова А.Ш. Особенности седиментации на Терско-Кумской низменности // *Труды Института Геологии Дагестанского научного центра РАН*. 2023. № 4. С. 82-88. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-95-4-82-88.
11. Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 77. DOI: doi.org/10.3390/rs14010077.
12. Giglio L., Schroeder W., Justice C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products // *Remote Sensing of Environment*. Vol. 178. 2016. P. 31-41. DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.054.
13. Chuvieco E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla Parellada M. ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis. 2018. DOI: 10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537.
14. Giglio L., Boschetti L., David P.R., Humber M.L., Justice C.O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 217. P. 72-85. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.005.
15. Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. P. 489. DOI: doi.org/10.3390/rs11050489.
16. Берденгалиева А.Н. Анализ горимости пойменных ландшафтов нижней Волги по данным информационных продуктов спутникового детектирования активного горения и

выгоревших площадей // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 346-358. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-346-358.

17. Берденгалиева А.Н., Шинкаренко С.С., Выприцкий А.А. Геоинформационное картографирование соровых понижений в Северо-Западном Прикаспии // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 359-367. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367.

18. Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia // Doklady Earth Sciences. 2022. Vol. 505. No. 2. P. 591-597. DOI: 10.1134/s1028334x22080141.

19. Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н., Комарова И.А. Динамика горимости аридных ландшафтов России и сопредельных территорий по данным детектирования активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 1. С. 149-164. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.

20. Шинкаренко С.С., Ткаченко Н.А., Барталев С.А., Юферев 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.

21. Павлейчик В.М., Сивохиц Ж.Т., Падалко Ю.А. Региональные особенности формирования пирологических обстановок в степях Северной Евразии на основе данных FIRMS // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29. № 1. С. 423-436. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-423-436.

22. Стасюк Н.В., Кравцова В.И. Оценка изменений почвенного покрова Кизлярского побережья по разновременным картам и космическим снимкам // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 3 (52). С. 86-94.

23. Мирзоев Э.М.Р., Гасанова З.У., Магомедов И.А., Бийболатова З.Д., Абдурашидова П.А., Желновакова В.А. Результаты мониторинга почвенного покрова Терско-Сулакской низменности за последние 55 лет // Вестник Дагестанского научного центра РАН. 2017. № 65. С. 97-105.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 12.03.2024

Принята к публикации 11.06.2024

TRENDS OF BURNED AREAS DYNAMICS IN THE LANDSCAPES OF THE TEREK-KUMA LOWLAND (NORTHWESTERN CASPIAN REGION)

A. Picheikin¹, *S. Shinkarenko^{1,2}

¹Volgograd State University, Russia, Volgograd

²Space Research Institute, Russia, Moscow

e-mail: *shinkarenko@volsu.ru

Regular landscape fires lead to significant changes in the state of landscapes, therefore mapping burned areas, determining the durations of pyrogenic successions and interfire intervals are important stages in ecosystem research. Based on Landsat satellite data and various information products detecting thermal anomalies and burn scars, the mapping of burned areas in the Terek-Kuma lowland area in the Northwestern Caspian region was carried out for the period 2001-2020. Over 13,000 burn scars were identified. A significant decrease in fire proneness was found in both zonal (the Nogai steppe) and intrazonal landscapes of the deltaic and coastal parts of the study area due to deterioration of moisture conditions. The continuing decline of the Caspian Sea's level is accompanied by a slight increase in the fire rate of coastal landscapes due to their drying out and an

increase in the areas occupied by highly productive semi-aquatic vegetation. The obtained results will allow assessing the impact of pyrogenic effects on ecosystems, as well as the effectiveness of fire prevention measures conducted in the region.

Key words: steppe fires, Caspian region, monitoring, remote sensing, Landsat.

References

1. Pavleichik V.M. Shirotno-zonal'naya neodnorodnost' razvitiya travyanykh pozharov v Zavolzhsko-Ural'skom regione. Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN. 2019. N 2. S. 1-14. DOI: 10.24411/2304-9081-2019-12013.
2. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N. Dinamika ploshchadi garei v zonal'nykh landshaftakh yugo-vostoka evropeiskoi chasti Rossii. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya. 2022. T. 86. N 1. S. 122-133. DOI: 10.31857/S2587556622010113.
3. Lupyan E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovyykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2015. T. 12. N 5. S. 263-284.
4. Pavleichik V.M. Opyt primeneniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli v issledovaniyakh stepnykh pozharov. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. N 11-2. S. 377-382.
5. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Ivanov N.M. Prostranstvenno-vremennoi analiz gorimosti poimennykh landshaftov Nizhnei Volgi. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2022. T. 19. N 1. S. 143-157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.
6. Doroshenko V.V. Vliyanie razvitiya protsessov opustynivaniya na rasprostranenie landshaftnykh pozharov v Stavropol'skom krae. Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. 2023. T. 165. N 3. S. 486-498. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498.
7. Biarslanov A.B., Dzhahalova M.I., Gadzhiev I.R., Asgerova D.B., Osipova S.V. Primenenie kosmicheskikh snimkov v issledovaniyakh postpirogennykh territorii severo-Zapadnogo Prikaspiya. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki. 2022. N 4-2 (216-2). S. 4-12. DOI: 10.18522/1026-2237-2022-4-2-4-12.
8. Biarslanov A.B., Shinkarenko S.S., Gadzhiev I.R. Kartografirovaniye i analiz sezonnoi dinamiki ploshchadei opustynivaniya na severe Dagestana po ezhemesyachnym kompozitam Sentinel-2. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2023. T. 20. N 1. S. 160-175. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175.
9. Dzhamirzoev G.S., Ataev Z.V., Idrisov I.A., Bratkov V.V., Balguyev T.R. Biologicheskoe i landshaftnoe raznoobrazie kak osnova dlya sozdaniya i funktsionirovaniya biosfernogo rezervata «Kizlyarskii zaliv». Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki. 2016. T. 10. N 1. S. 85-96.
10. Idrisov I.A., Guseinova A.S.H. Osobennosti sedimentatsii na Tersko-Kumskoi nizmennosti. Trudy Instituta Geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN. 2023. N 4. S. 82-88. DOI: 10.33580/2541-9684-2023-95-4-82-88.
11. Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System. Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 77. DOI: doi.org/10.3390/rs14010077.
12. Giglio L., Schroeder W., Justice C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. Remote Sensing of Environment. Vol. 178. 2016. P. 31-41. DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.054.

13. Chuvieco E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla Parellada M. ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis. 2018. DOI: 10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537.
14. Giglio L., Boschetti L., David P.R., Humber M.L. Justice C.O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 217. P. 72-85. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.005.
15. Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine. Remote Sensing. 2019. Vol. 11. P. 489. DOI: doi.org/10.3390/rs11050489.
16. Berdengalieva A.N. Analiz gorimosti poimennykh landshaftov nizhnei Volgi po dannym informatsionnykh produktov sputnikovogo detektirovaniya aktivnogo gorenija i vygorevshikh ploshchadei. InterKarto. InterGIS. 2022. T. 28. N 1. S. 346-358. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-346-358.
17. Berdengalieva A.N., Shinkarenko S.S., Vypritskii A.A. Geoinformatsionnoe kartografirovanie sorovykh ponizhenii v Severo-Zapadnom Prikaspii. InterKarto. InterGIS. 2022. T. 28. Ch. 1. S. 359-367. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367.
18. Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia. Doklady Earth Sciences. 2022. Vol. 505. No. 2. P. 591-597. DOI: 10.1134/s1028334x22080141.
19. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A. Dinamika gorimosti aridnykh landshaftov Rossii i sopredel'nykh territorii po dannym detektirovaniya aktivnogo gorenija. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2021. T. 18. N 1. S. 149-164. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
20. Shinkarenko S.S., Tkachenko N.A., Bartalev S.A., Yuferev V.G., Kulik K.N. Pyl'nye buri na yuge evropeiskoi chasti Rossii v sentyabre – oktyabre 2020 goda. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. T. 17. N 5. S. 291-296. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296.
21. Pavleichik V.M., Sivokhip ZH.T., Padalko YU.A. Regional'nye osobennosti formirovaniya pirologicheskikh obstanovok v stepyakh Severnoi Evrazii na osnove dannykh FIRMS. InterKarto. InterGIS. 2023. T. 29. N 1. S. 423-436. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-423-436.
22. Stasyuk N.V., Kravtsova V.I. Otsenka izmenenii pochvennogo pokrova Kizlyarskogo poberezh'ya po raznovremennym kartam i kosmicheskim snimkam. Aridnye ekosistemy. 2012. T. 18. N 3 (52). S. 86-94.
23. Mirzoev E.M.R., Gasanova Z.U., Magomedov I.A., Biibolatova Z.D., Abdurashidova P.A., Zhelnovakova V.A. Rezul'taty monitoringa pochvennogo pokrova Tersko-Sulakskoi nizmennosti za poslednie 55 let. Vestnik Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN. 2017. N 65. S. 97-105.

Сведения об авторах:

Пичейкин Антоний Николаевич

Магистрант кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет

ORCID 0009-0008-2612-9060

Picheykin Anthony

Master's student, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University

Шинкаренко Станислав Сергеевич

К.с.-х.н., доцент кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет; старший научный сотрудник отдела технологий спутникового мониторинга, Институт космических исследований Российской академии наук

ORCID 0000-0002-9269-4489

Shinkarenko Stanislav

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University; Senior Researcher, Department of Satellite Monitoring Technologies, Institute of Space Research, Russian Academy of Sciences

Для цитирования: Пичейкин А.Н., Шинкаренко С.С. Тенденции горимости ландшафтов Терско-Кумской низменности (Северо-Западный Прикаспий) // Вопросы степеведения. 2024. № 2. С. 14-25. DOI: 10.24412/2712-8628-2024-2-14-25