

ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ И УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 631.92

ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ ГАРЕЙ В ЗОНАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

© 2022 г. С. С. Шинкаренко^{a, b, *}, В. В. Дорошенко^c, А. Н. Берденгалиева^b

^aИнститут космических исследований РАН, Москва, Россия

^bФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

^cВолгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

*e-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

Поступила в редакцию 27.06.2021 г.

После доработки 18.08.2021 г.

Принята к публикации 12.10.2021 г.

Представлены результаты геоинформационного картографирования и анализа природных пожаров в естественных ландшафтах Астраханской и Волгоградской областей и Республики Калмыкии за 1997–2020 гг. На основе экспертного дешифрирования спутниковых изображений Landsat с верификацией по данным детектирования активного горения и выгоревших площадей идентифицировано более 13.5 тыс. гарей общей площадью без учета повторяемости более 150 тыс. км². Наибольшая площадь гарей зафиксирована в 2006 г. – более 18 тыс. км². Всего же в указанных регионах пройдено огнем 62.5 тыс. км², что составляет треть естественных зональных ландшафтов. До 90% количества пожаров представлено горящими площадью до 10 км², в то время как половина выгоревшей площади является следствием катастрофических пожаров площадью более 250 км² каждый, которые случаются 2–3 раза в год. Максимальная частота пожаров составила 14 случаев за период исследований. Выявлены пространственные закономерности в распределении гарей. Участки с наибольшей частотой пожаров расположены в Волгоградском и Астраханском Заволжье с меньшим аграрным освоением, а также в заповеднике “Чёрные земли” и его окрестностях, где запрещен выпас скота. Рост поголовья скота в Калмыкии и правобережной части Астраханской области, вовлечение залежей в оборот в Волгоградской области в последнее десятилетие повлекли снижение количества и площадей пожаров. В Волгоградской области отмечен значимый отрицательный тренд количества пожаров, а в Калмыкии – количества и площади. Полученные результаты, кроме данных о динамике выгоревших площадей позволяют определить продолжительность пирогенных сукцессий, что даст возможность изучить закономерности изменения состояния ландшафтов после пожаров разных лет с учетом их повторяемости. Также результаты помогут оптимизировать противопожарную профилактику.

Ключевые слова: природные пожары, дистанционное зондирование, аридные экосистемы, Волгоградская область, Астраханская область, Калмыкия

DOI: 10.31857/S2587556622010113

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономические изменения в конце XX в. привели на юго-востоке Европейской России к снижению посевных площадей и поголовья скота. В результате на огромных площадях залежных земель, сенокосов и пастбищ накапливалась мортмасса. Этот фактор стал причиной интенсификации природных пожаров в степных ландшафтах (Тишков, 2009; Dara et al., 2019; Dubinin et al., 2011; Pavleichik, Chibilev, 2018). Лесная пирология и мониторинг пожаров на землях Государственного лесного фонда развиты достаточно хорошо (Барталев и др., 2017), уже на протяжении 15 лет функционирует информационная система дистанционного мониторинга Рослесхоза

(ИСДМ-Рослесхоз), охватывающая леса на всей территории России (Ковалев и др., 2020). Определению площадей гарей на нелесных землях посвящено намного меньше исследований. В основном они касаются особо охраняемых природных территорий (ООПТ) (Павлейчик, 2018; Ткачук, 2015; Шинкаренко и др., 2021б), либо отдельных регионов (Шинкаренко, 2018; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019) или их частей (Дубинин и др., 2010). Имеющиеся исследования все-российского охвата, как правило, ограничены по периоду наблюдений (Барталев и др., 2012; Бондур и др., 2019). Исследования, которые охватывают несколько регионов, основаны либо на данных дистанционного зондирования низкого про-

странственного разрешения (Дубинин и др., 2010; Павлейчик, 2019), либо на информационных продуктах детектирования активного горения и выгоревших площадей, полученных на основе автоматизированной обработки спутниковых данных (Бондур и др., 2019; Шинкаренко и др., 2021а). В то же время установлено, что указанные информационные продукты в нелесных ландшафтах имеют большое количество как пропусков, так и ложных срабатываний, а ИСДМ-Рослесхоз практически не охватывает степные пожары. Использование данных низкого пространственного разрешения не позволяет идентифицировать небольшие по площади пожары.

Степные пожары являлись существенным фактором состояния растительного покрова на протяжении тысячелетий (Тишков, 2009). Последствиями природных пожаров являются изменения растительности (Ильина, 2011; Рябинина и др., 2018; Dusaeva et al., 2019; Suleymanova et al., 2019; Williams et al., 2003), почв (Мергелов, 2015) и животного мира (Немков, Сапига, 2010; Bakiev et al., 2019), спектрально-отражательных и термодинамических характеристик земного покрова (Павлейчик и др., 2020; Шинкаренко, 2021). Задымление и смог из-за пожаров ухудшают условия проживания населения (Жаринов, Голубева, 2018). Кроме того, пожары служат причиной эмиссий углеродсодержащих газов, аэрозолей, в том числе “черного углерода” (Бондур и др., 2019). Таким образом, определение выгоревших площадей должно быть обязательным этапом ландшафтных исследований (Опарин, Опарина, 2003).

Цель статьи – выявление особенностей динамики площади и частоты (повторяемости) природных пожаров в 1997–2020 гг. на территории Астраханской и Волгоградской областей и Республики Калмыкии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выгоревшие площади определялись в естественных зональных ландшафтах, которые используются в основном в качестве пастбищ. Изучаемый регион относится к семиаридной и сухой субгумидной климатическим зонам (Золотокрылин и др., 2020). Территория представлена степным, полупустынным и пустынным типами ландшафтов (Швиденко и др., 2007) с растительным покровом степного и пустынного типов (Safonova, 2019).

Идентификация выгоревших площадей производилась на основе экспертного дешифрирования спутниковых спектральных изображений *Landsat 5, 7, 8*. Указанные спутниковые данные широко используются для идентификации выгоревших площадей (Барталев и др., 2012; Павлейчик, 2018; Шинкаренко, 2018; Шинкаренко, Берденга-

лиева, 2019; Parker et al., 2015; Stroppiana et al., 2012). Выделялись пожары летне-осеннего периода, преобладающие в естественных зональных ландшафтах (Шинкаренко и др., 2021а). Для дополнительной верификации использовались информационные продукты детектирования активного горения MCD14ML (Giglio et al., 2006) и выгоревших площадей MCD64A1 (Giglio et al., 2018), а также FireCCI51 от Европейского космического агентства (Chuviec et al., 2018), основанные на данных архивов MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Данный подход применяется достаточно широко и описан в (Павлейчик, 2018; Шинкаренко и др., 2018, 2019, 2021б), поэтому в настоящей статье методика выделения гарей подробно не приводится. Геоинформационная обработка выполнена в программе *QGIS 3.2*, статистическая обработка данных – в *Microsoft Excel*. Площади гарей разбиты на размерные классы как предложено в (Дубинин и др., 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период 1997–2020 гг. в зональных естественных ландшафтах Астраханской и Волгоградской областей и Калмыкии идентифицировано 13495 гарей общей площадью без учета повторяемости около 154 тыс. км² (рис. 1, 2). Таким образом, за 24 года среднемноголетняя выгоревшая площадь составила 6.4 тыс. км² при средней площади пожара 11.4 км². В Астраханской области в среднем ежегодно выгорает 1.6 тыс. км², в Волгоградской – 2.8 тыс. км² и в Калмыкии – 2.0 тыс. км².

Самые крупные пожары приурочены к наименее освоенным в сельскохозяйственном отношении землям: Заволжье и ООПТ. В Заволжье Волгоградской области расположено несколько тысяч км² неиспользуемых в сельском хозяйстве земель, на ООПТ хозяйственная деятельность ограничена или запрещена, в Астраханском Заволжье пастбищные нагрузки ниже, чем в правобережной части, к тому же на левом берегу Ахтубы расположено газоконденсатное месторождение и развита транспортная инфраструктура. Эти факторы способствуют накоплению растительной ветоши, что способствует выгоранию огромных площадей в отдельные годы (Шинкаренко, 2018; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019), а в итоге – к росту рисков степных пожаров. Максимальные выгоревшие площади в районе исследований зафиксированы в 1998 (12.4 тыс. км²), 2001 (13.2), 2002 (14.1), 2005 (10.3), 2006 (18.2), 2007 (10.7), 2011 (8.8), 2014 (8.7) и 2017 (6.9 тыс. км²) гг.

По официальным данным¹, доступным с 2009 г., максимальные площади пожаров в изучаемых

¹ <https://fedstat.ru/indicators/> (дата обращения 20.06.2021).

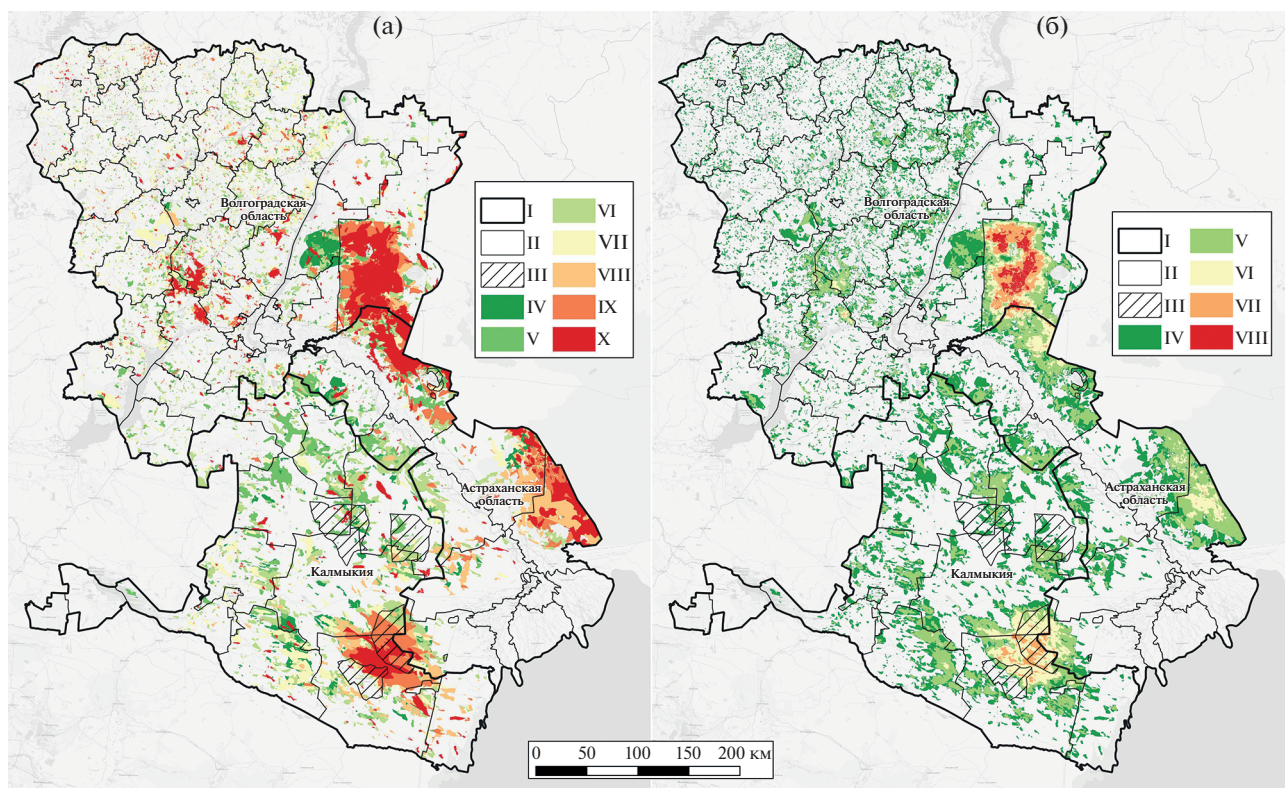


Рис. 1. Выгоревшие площади: (а) годы пожаров: IV – 1997–2000, V – 2001–2003, VI – 2004–2006, VII – 2007–2010, VIII – 2011–2013, IX – 2014–2016, X – 2017–2020; (б) повторяемость пожаров за 1997–2020 гг., количество случаев: IV – 1, V – 2–4, VI – 5–7, VII – 8–10, VIII – 11–14. I – границы регионов, II – границы районов, III – федеральные ООПТ.

субъектах РФ (120 км²) были в 2011 г., в последующие годы эта величина не превышала 20–30 км². В литературе отсутствуют данные о выгоревших площадях в субъектах Южного федерального округа (ЮФО) кроме работ авторов. Так, по данным *Surface Reflectance Burnt Area (SRBA)* (Барталев и др., 2012), в 2011 г. в ЮФО выгорело 8.5 тыс. км², а анализ данных MCD64A1 для этой территории показал площадь 16.3 тыс. км² (Бондур и др., 2019). По нашим данным, только в зональных естественных ландшафтах трех изучаемых субъектов, занимающих менее половины площади ЮФО, пройдено огнем в этот год 8.8 тыс. км². Это свидетельствует о существенном недоучете гарей продуктом SRBA. По данным MCD64A1 (Бондур и др., 2019), за 2002–2017 гг. в ЮФО суммарное значение выгоревшей площади составило 259 тыс. км², из которых на луга и степи приходится только 112 тыс. км². Нами за аналогичный период получена величина 114.4 тыс. км² в трех рассматриваемых субъектах. Таким образом, можно констатировать, что имеющиеся оценки площади гарей для юго-востока Европейской России существенно занижены. Кроме того, достоверные данные по количеству пожаров в зональных ландшафтах отсутствуют.

В (Дубинин и др., 2010) на основе экспертного дешифрирования данных низкого пространственного разрешения MODIS для пяти муниципальных районов Чёрных земель за 2000–2008 гг. суммарная выгоревшая площадь составила 27.9 тыс. км², по официальной статистике МЧС – 0.5 тыс. км² (Дубинин и др., 2010), наша оценка для аналогичного периода – 23.5 тыс. км². Такая разница может быть обусловлена различием пространственного разрешения использованных данных: 30 м у Landsat, 250 м у MODIS и 1000 м у теплового канала. В результате, к выгоревшим относятся площади, фактически не прошедшие огнем, но расположенные в окружении гарей. В пользу этого говорят сплошные изображения гарей в (Дубинин и др., 2010), хотя должны быть вычтены как минимум площади многочисленных на Чёрных землях солончаков, массивов открытых песков и дефлированные земли без растительного покрова, пожары на которых невозможны.

В Волгоградской области почти 95% гарей имеют площадь менее 10 км², а 61% – менее 1 км², при этом данный размерный класс составляет всего 20% от всех гарей региона (рис. 3). В Калмыкии и Астраханской области доля гарей до 10 км² составляет 62 и 67% соответственно, доля

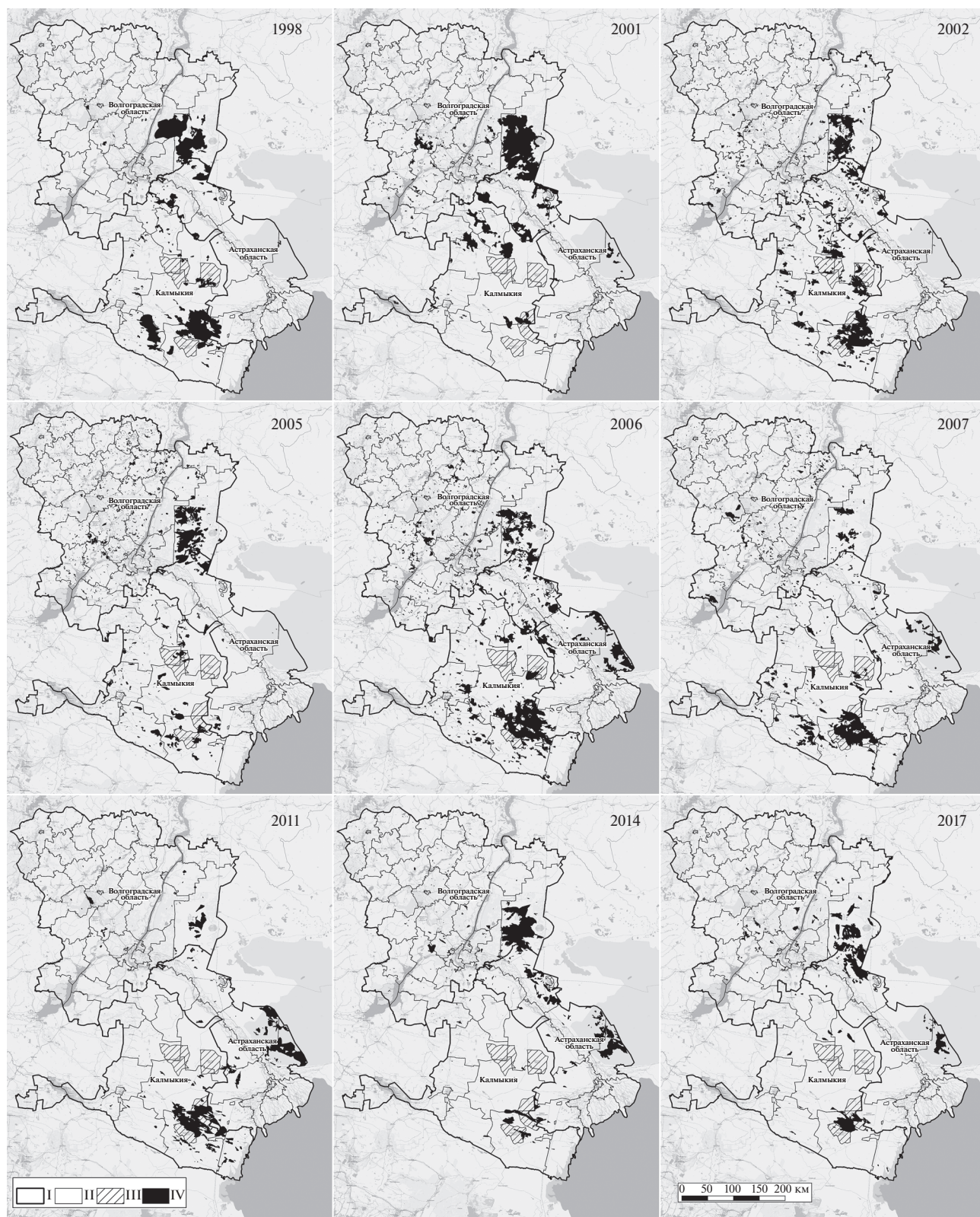


Рис. 2. Годы с максимальными выгоревшими площадями. I – границы регионов, II – границы районов, III – федеральные ООПТ, IV – выгоревшие площади.

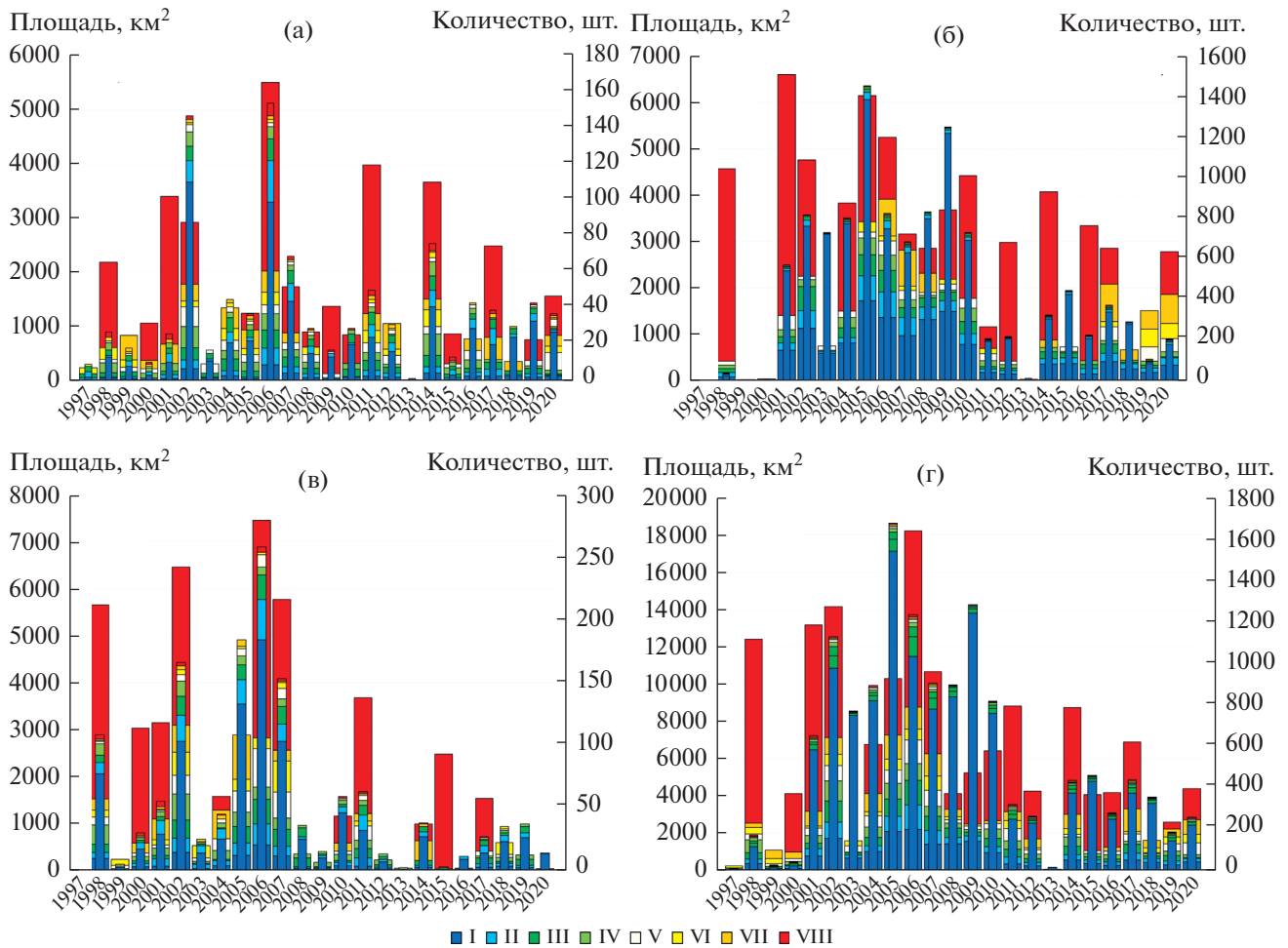


Рис. 3. Динамика выгоревших площадей разных размерных классов: (а) Астраханская область; (б) Волгоградская область; (в) Республика Калмыкия; (г) сумма по трем субъектам РФ. Широкие столбцы – площадь, узкие – количество пожаров; размерные классы (km^2): I – до 10, II – 10.1–20, III – 20.1–35, IV – 35.1–60, V – 60.1–100, VI – 100.1–150, VII – 150.1–250, VIII – более 250.

выгоревшей площади, которая приходится на пожары этого размерного класса, не превышает 7%. В Волгоградской области и Калмыкии половина выгоревшей площади представлена 25 и 24 пожарами соответственно площадью более 250 km^2 каждый, в Астраханской области таких пожаров зафиксировано 35 с долей 51.6% от общей площади пожаров в регионе. Таким образом, наибольшие выгоревшие площади представлены относительно небольшим количеством пожаров: 53.5% гарей на юго-востоке европейской части России обусловлены катастрофическими пожарами более 250 km^2 . Их количество составляет всего 0.6% от числа всех степных пожаров.

Анализ повторяемости пожаров (рис. 4) позволяет определить пространственные закономерности в распределении гарей и наиболее пожароопасные участки. В Волгоградской и Астраханской областях к таким территориям относится

Заволжье, а в Калмыкии – заповедник “Чёрные земли” и его окрестности (см. рис. 1). Это наименее освоенные в хозяйственном отношении площади, используемые как пастбища, либо имеющие режим ООПТ.

Общая пройденная огнем площадь на исследованных территориях составляет 62.5 тыс. km^2 , из которых 24.8 тыс. km^2 расположены в Волгоградской области, 16.3 тыс. km^2 – в Астраханской, и 21.3 тыс. km^2 – в Калмыкии. Максимальное количество пожаров за 1997–2020 гг. составило 14 случаев на площади около 10 km^2 в Волгоградском Заволжье. Всего выгорело 34.7% зональных естественных ландшафтов в трех исследуемых субъектах, наибольшая доля гарей в Астраханской области – 46.6%. В Волгоградской области и Калмыкии доля пройденной огнем площади составляет 31 и 32.8% соответственно. Половина (52.7%) всех гарей пройдена огнем один раз (см.

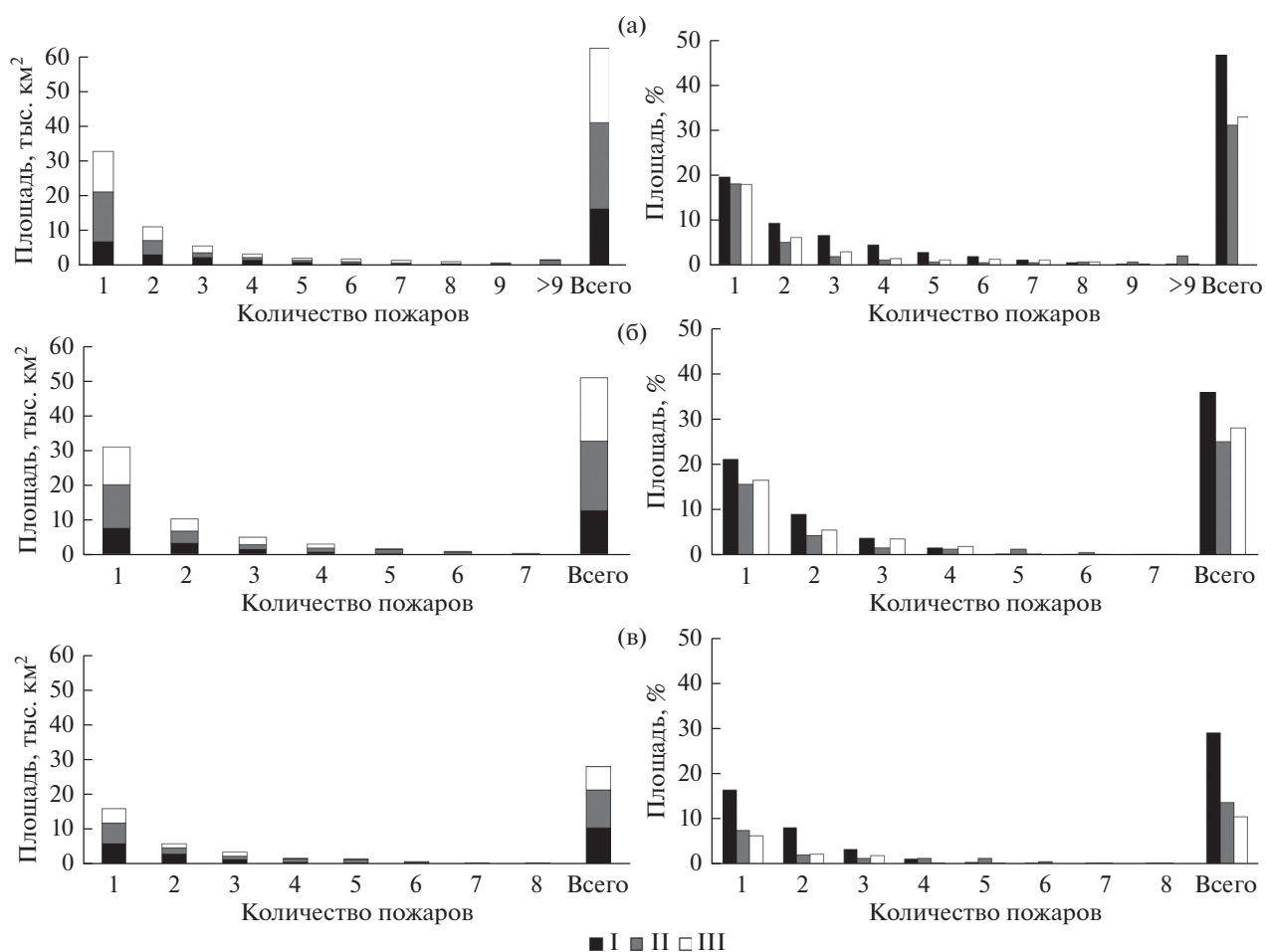


Рис. 4. Площади гарей (тыс. км²) с разным количеством пожаров (слева) и доля (%) выгоревших зональных ландшафтов в регионе (справа) за разные периоды: (а) 1997–2020 гг., (б) 2000–2009 гг., (в) 2010–2020 гг. I – Астраханская область, II – Волгоградская область, III – Калмыкия.

рис. 4), 17,9% – дважды, 9% – трижды. В Астраханской области преобладают площади, пройденные огнем два и более раз.

После регулярных пожаров изменяется ботанический состав растительных сообществ в сторону более устойчивых к пирогенному воздействию видов (Рябинина и др., 2018; Тишков, 2009; Coppoletta et al., 2016; Ellsworth et al., 2020). Как правило, полукустарнички (например, *Artemisia* spp., *Kochia prostrata*) замещаются дерновинными злаками на суглинистых почвах полупустыни (например, *Agropyron* spp., *Stipa* spp.) и эфемероидами и эфемерами на песках и супесях (*Poa bulbosa*, *Anisantha tectorum*). Указанные виды заканчивают вегетацию уже к середине лета (Шинкаренко, Барталев, 2020) и представляют собой горючий материал, что ведет к повышенной пожарной опасности. Таким образом, в результате пирогенного воздействия растительность сменяется на более устойчивую к пожарам, но она же, в свою оче-

редь, служит источником повышенной пожарной опасности (Рябинина и др., 2018).

После 2010 г. в изучаемых субъектах существенно сократилось количество регистрируемых очагов активного горения, в первую очередь на пахотных землях Волгоградской области (Шинкаренко и др., 2021а). В естественных ландшафтах снижение выгоревших площадей составило 46% (с 8,8 до 4,7 км² в год), а количества гарей – на 63% (табл. 1, рис. 5). Наиболее сильное уменьшение площадей и количества гарей отмечено в Калмыкии – на 68 и 71% соответственно. В Астраханской области наименьшие относительные изменения горимости и количества пожаров: 25 и 35% соответственно. Изменения количества и площади пожаров могут быть связаны как с климатическими изменениями, так и с интенсификацией антропогенной нагрузки (Dubinin et al., 2011). Так, на Чёрных землях в последние несколько лет из-за летних засух и роста пастбищных нагрузок увеличилась площадь открытых песков и дефли-

Таблица 1. Среднеголетние значения горимости, площадей, количества и близости гарей, соответствующие угловые коэффициенты линейных трендов (k), коэффициенты корреляции (r)

Показатель		Регион			
		Астраханская область	Волгоградская область	Калмыкия	Всего
Средняя площадь, тыс. км ² /год	2001–2020 гг.	1.7	2.9	2.0	6.7
	2000–2009 гг.	2.0	3.7	3.1	8.8
	2010–2020 гг.	1.5	2.2	1.0	4.7
	k	–0.05	–0.11	–0.19	–0.35
	r	0.22	0.35	0.53	0.47
Среднее количество, шт./год	2001–2020 гг.	45	527	60	633
	2000–2009 гг.	55	796	97	948
	2010–2020 гг.	36	283	27	346
	k	–1.26	–30.80	–4.93	–36.99
	r	0.20	0.49	0.44	0.51
Средняя горимость, %/год	2001–2020 гг.	4.9	3.7	3.1	3.7
	2000–2009 гг.	5.7	4.6	4.8	4.9
	2010–2020 гг.	4.2	2.8	1.6	2.6
	k	–0.15	–0.15	–0.29	–0.19
	r	0.22	–0.01	0.53	0.47
r горимость	Температура	–0.70	–0.53	–0.75	–
	Осадки	0.19	0.45	0.57	–
	Поголовье	–0.60	–0.03	–0.81	–
r количество	Температура	–0.53	–0.45	–0.67	–
	Осадки	0.54	0.28	0.58	–
	Поголовье	–0.76	–0.17	–0.71	–

Примечание: Курсив – значимые тренды и коэффициенты корреляции ($p > 0.95$).

рованных земель (Шинкаренко, 2019), на которых пожары невозможны из-за отсутствия горючего материала.

Пожарный режим исследуемой территории характеризуется значимыми отрицательными трендами горимости, площадей и количества пожаров (см. табл. 1). При этом среди регионов значимый отрицательный тренд количества пожаров только в Волгоградской области. Он не приводит к уменьшению выгоревших площадей из-за того, что большая часть гарей обусловлена единичными катастрофическими пожарами. В Астраханской области коэффициенты трендов отрицательные, но не проходят проверку значимости по критерию Стьюдента. В Калмыкии снижаются как выгоревшие площади и горимость, так и количество пожаров со статистически значимыми угловыми коэффициентами трендов. Основная причина снижения горимости – деградация растительного покрова из-за засух и чрезмерных

пастбищных нагрузок. В пользу этого говорят значимые отрицательные коэффициенты корреляции горимости, количества пожаров, годовых сумм осадков, среднегодовых температур и поголовья скота как факторов динамики растительного покрова (см. табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время официальная статистика выгоревших площадей охватывает только лесные и нелесные земли Государственного лесного фонда. В зональных ландшафтах юго-востока Европейской России, используемых в основном в качестве пастбищ, существующие системы мониторинга охватывают не более 50–60% фактически выгоревших площадей. По данным экспертного дешифрирования спутниковых изображений *Landsat* за 1997–2020 гг., в Астраханской и Волгоградской областях и Калмыкии идентифицирова-

но около 13.5 тыс. гарей общей площадью более 150 тыс. км² без учета повторяемости. Гари занимают 62.5 тыс. км², или 35% общей площади естественных зональных ландшафтов региона. Половина площади гарей обусловлена небольшим количеством катастрофических пожаров площадью более 250 км² каждый (в среднем 1–2 случая в год в каждом субъекте). Наибольшая площадь природных пожаров зафиксирована в 2006 г. – более 18 тыс. км², около 10 тыс. км² выгорело в 1998, 2001, 2002, 2005–2007 гг.

Самые значительные площади гарей представлены в Заволжье Волгоградской и Астраханской областей, а также в заповеднике “Чёрные земли” и его окрестностях в Калмыкии. Здесь же отмечена наибольшая повторяемость пожаров: более 10 случаев за 1997–2020 гг. Анализ близости расположения гарей показал, что их распределение не является случайным, пожары приурочены к конкретным участкам. Это связано со слабым сельскохозяйственным освоением Волгоградского и Астраханского Заволжья и полным запретом выпаса в заповеднике “Чёрные земли”, где морт-масса выгорает каждые 2–3 года.

Природные пожары должны учитываться при мониторинге состояния растительного покрова в регионе исследований, поскольку пирогенное воздействие является существенным фактором его динамики и продуктивности. На участках, выгорающих каждые 2–3 года, исчезают полукустарнички, преобладают дерновинные злаки, которые в свою очередь приводят к росту горимости. Для распространения пожаров требуется запас растительной ветоши, который накапливается в течение нескольких лет с благоприятными гидротермическими условиями. Пастбищные нагрузки способствуют уменьшению запасов морт-массы, что снижает пожарную опасность.

Во всех изученных субъектах Федерации отмечен отрицательный тренд горимости, количества и площади пожаров. Только в Калмыкии угловые коэффициенты трендов значимые, в Волгоградской области значим тренд количества пожаров. Снижение горимости территории связано с ростом пастбищных нагрузок в Калмыкии и правобережной части Астраханской области и введением в сельскохозяйственный оборот неиспользовавшихся ранее пахотных земель в правобережной части Волгоградской области. По мере продвижения от степей на юг к пустыням роль гидротермических условий меняется от фактора возникновения и распространения пожаров до фактора, стимулирующего накопление достаточной для возникновения пожара морт-массы.

Полученные данные могут использоваться для анализа пирогенных изменений в естественных зональных ландшафтах юго-востока Европейской России, поскольку позволяют определить

длительность послепожарного периода, а также периодичность пожаров. Результаты позволят оптимизировать противопожарную профилактику в регионах, поскольку наглядно показаны территории с наибольшей частотой пожаров и катастрофическими пожарами. Разработанные картографические слои также могут служить опорной выборкой при создании автоматизированных алгоритмов идентификации выгоревших площадей в полупустынных и пустынных ландшафтах, поскольку существующие информационные продукты и подходы не дают достаточной точности, что важно для оптимизации федеральной и региональных систем мониторинга природных пожаров.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-60007.

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использовалась инфраструктура ЦКП “ИКИ-Мониторинг” (Лупян и др., 2015) и возможности сервиса Vega.

FUNDING

The reported study was funded by RFBR, project no. 19-35-60007.

ACKNOWLEDGMENTS

The work used the infrastructure of the СКР “ИКИ-Мониторинг” (Lupyan et al., 2015) and the capabilities of the Vega-Science system.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.
- Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 176–193. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193>
- Бондур В.Г., Цидилина М.Н., Черепанова Е.А. Космический мониторинг воздействия природных пожаров на состояние различных типов растительного покрова в федеральных округах Российской Федерации // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 3. С. 13–32. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019313-32>

- Дубинин М.Ю., Луцкекина А.А., Раделоф Ф.К. Оценка современной динамики пожаров в аридных экосистемах по материалам космической съемки (на примере Черных земель) // Аридные экосистемы. 2010. Т. 6. № 3. С. 5–16.
- Жаринов С.Н., Голубева Е.И. Влияние лесных пожаров на показатели смертности населения Тверской области // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 4. С. 96–103.
- Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Аридизация засушливых земель европейской части России и связь с засухами // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84. № 2. С. 207–217.
- Ильина В.Н. Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20. № 2. С. 4–30.
- Ковалев Н.А., Луян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Ершов Д.В., Кривошеев Н.П., Мазуров А.А. ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 283–291.
- 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.
- Мергелов Н.С. Постпирогенная трансформация почв и запасов почвенного углерода в предтундровых редколесьях колымской низменности: каскадный эффект и обратные связи // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 129–140.
- Немков В.А., Санига Е.А. Влияние пожаров на фауну наземных членистоногих заповедных степных экосистем // Экология. 2010. № 2. С. 141–147.
- Опарин М.Л., Опарина О.С. Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экол. журн. 2003. № 2. С. 158–171.
- Павлейчик В.М. Опыт применения данных дистанционного зондирования Земли в исследованиях степных пожаров // Успехи современного естествознания. 2018. № 11. С. 377–382.
- Павлейчик В.М. Широтно-зональная неоднородность развития травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // Бюл. Оренбург. научн. центра УрО РАН. 2019. № 2. С. 1–14. <https://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-12013>
- Павлейчик В.М., Калмыкова О.Г., Сорока О.В. Особенности теплового режима и увлажнения постпирогенных степных ландшафтов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. № 4. С. 541–550.
- Рябина Н.О., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С. Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология, и развитие. 2018. № 1. С. 116–127.
- Тишков А.А. Пожары в степях и саваннах // Вопросы степеведения. 2009. Вып. VII. Оренбург. С. 79–83.
- Ткачук Т.Е. Динамика площадей степных пожаров на юге Даурии в первом десятилетии XXI века // Уч. записки ЗабГУ. 2015. № 1. С. 72–79.
- Швиденко А., Щепаченко Д., МакКаллум Я. СД-РОМ “Леса и лесное хозяйство России” Международный институт прикладного системного анализа и Российская Академия наук. Люксембург, Австрия. 2007. http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html
- 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.
- Шинкаренко С.С. Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 138–146.
- Шинкаренко С.С. Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 179–194.
- Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 98–110.
- 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. 2021а. Т. 18. № 1. С. 149–164.
- Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // Nat. Conservation Res. Заповедная наука. 2021б. Т. 6. № 3. С. 23–44.
- Bakiev A.G., Gorelov R.A., Klenina A.A. Post-fire abundance and age composition dynamics of *Lacerta agilis* (Reptilia, Lacertidae) in the Orenburg State Nature Reserve (Russia) // Nat. Conservation Res. 2019. Vol. 4 (Suppl. 1). P. 105–109.
- Chuviec E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla P.M. ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis. 2018. November 1, 2018. <https://doi.org/10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537>
- Coppoletta M., Merriam K.E., Collins B.M. Post-fire vegetation and fuel development influences fire severity patterns in reburns // Ecol. Appl. 2016. Vol. 26. P. 686–699. <https://doi.org/10.1890/15-0225>
- Dara A., Baumann M., Holzger N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Ullrich B., Kuemmerle T. Post-Soviet Land-

- Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes // *Ecosys.* 2019. Vol. 23. P. 943–956. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00447-w>
- Dubin M., Lushkina A., Radeloff V.C. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // *Ecosys.* 2011. Vol. 14. P. 547–562. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>
- Dusaeva G.Kh., Kalmykova O.G., Dusaeva N.V. Fire influence on dynamics of above-ground phytomass in steppe plant communities in the Burtinskaya Steppe (Orenburg State Nature Reserve, Russia) // *Nat. Conservation Res.* 2019. Vol. 4 (Suppl. 1). P. 78–92. <https://doi.org/10.24189/ncr.2019.050>
- Ellsworth L.M., Kauffman J.B., Reis S.A., Sapsis D., Moseley K. Repeated fire altered succession and increased fire behavior in basin big sagebrush–native perennial grasslands // *Ecosphere.* 2020. Vol. 11 (5):e03124. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3124>
- Giglio L., Boschetti L., David P.R., Humber M.L., Justice C.O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // *Remote Sens. Environ.* 2018. Vol. 217. P. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS // *Remote Sens. Environ.* 2006. Vol. 87. P. 273–282. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6)
- Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts // *Geogr. and Nat. Res.* 2018. Vol. 39. № 3. P. 212–221.
- Parker B.M., Lewis T., Srivastava S.K. Estimation and Evaluation of Multi-Decadal Fire Severity Patterns Using Landsat Sensors // *Remote Sens. Environ.* 2015. Vol. 170. P. 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.014>
- Stroppiana D., Bordogna G., Carrara P., Boschetti M., Boschetti L., Brivio P.A. A method for Extracting Burned Areas From Landsat TM/ETM+ Images by Soft Aggregation of Multiple Spectral Indices and a Region Growing Algorithm // *J. Photogramm. Remote Sens.* 2012. Vol. 69. P. 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.001>
- Safronova I.N. Semidesert is the paradox of the twentieth century // *Arid Ecosys.* 2019. Vol. 9. № 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.1134/S2079096119010098>
- Suleymanova G.F., Boldyrev V.A., Savinov V.A. Post-fire restoration of plant communities with *Paeonia tenuifolia* in the Khvalynsky National Park (Russia) // *Nat. Conservation Res.* 2019. Vol. 4 (Suppl. 1). P. 57–77. <https://doi.org/10.24189/ncr.2019.048>
- Williams R.J., Gill A.M., Anderson A.N., Cook G.D., Williams J.E. Fire behavior // *Fire in tropical savannas: The Kapalga experiment.* N.Y.: Springer–Verlag, 2003. P. 33–46.

Burned Areas Dynamics in Zonal Landscapes of the South-East of the European Part of Russia

S. S. Shinkarenko^{1, 2, *}, V. V. Doroshenko³, and A. N. Berdengalieva²

¹Space Research Institute, Moscow, Russia

²Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Meliorations and Agroforestry RAS, Volgograd, Russia

³Volgograd State University, Volgograd, Russia

*e-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

The article presents the results of geoinformation mapping and analysis of wildfires in natural landscapes of Astrakhan and Volgograd oblasts and the Republic of Kalmykia for 1997–2020. On the basis of expert interpretation of Landsat satellite images with verification based on the detection data of active combustion and burnt-out areas, more than 13.5 thousand burns with a total area of over 150 thousand km² were identified. The largest burned-out area was recorded in 2006—more than 18 thousand km². In total, 62.5 thousand km² were covered by fire in these regions, which is one-third of the natural zonal landscapes. Up to 90% of the number of fires is represented by incidents with an area of up to 10 km², while half of the burnt area is provided by catastrophic fires with an area of more than 250 km² each, which occur 2–3 times a year. The maximum frequency of fires was 14 cases during the study period. Analysis of the proximity of burned areas showed the presence of spatial patterns in their distribution. The sites with the highest frequency of fires are located in the Volgograd and Astrakhan Trans-Volga region with less agricultural development, as well as in the Chernye Zemli Nature Reserve and its environs, where livestock grazing is prohibited. The growth of livestock in Kalmykia and the right-bank part of the Astrakhan oblast, the involvement of deposits in circulation in Volgograd oblast in the last decade resulted in a decrease in the number and area of fires. In Volgograd oblast, a significant negative trend in the number of fires was noted, and in Kalmykia—in both the number and area. The obtained results, in addition to data on the dynamics of burnt areas, represent the possibility of determining the duration of pyrogenic successions, which will make it possible to study the patterns of changes in the state of landscapes after fires in different years, taking into account their frequency. Also, the results will help optimize fire prevention.

Keywords: landscape fires, remote sensing, arid ecosystems, Volgograd oblast, Astrakhan oblast, Kalmykia

REFERENCES

- Bakiev A.G., Gorelov R.A., Klenina A.A. Post-fire abundance and age composition dynamics of *Lacerta agilis* (Reptilia, Lacertidae) in the Orenburg State Nature Reserve (Russia). *Nat. Conserv. Res.*, 2019, vol. 4, no. S1, pp. 105–109.
<https://doi.org/10.24189/ncr.2019.047>
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V. Integrated burnt area assessment based on combine use of multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ satellite data. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2012, vol. 9, no. 2, pp. 9–26. (In Russ.).
- Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Khvostikov S.A., Loupian E.A. Methodology of post-fire tree mortality monitoring and prediction using remote sensing data. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2017, vol. 14, no. 6, pp. 176–193. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193>
- Bondur V.G., Tsidilina M.N., Cherepanova E.A. Satellite monitoring of wildfire impacts on the conditions of various types of vegetation cover in the federal districts of the Russian Federation. *Issled. Zemli Kosm.*, 2019, no. 3, pp. 13–32. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0205-96142019313-32>
- Chuviec E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla P.M. *ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci51): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1*. Centre for Environmental Data Analysis, 2018.
<https://doi.org/10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537>
- Coppoletta M., Merriam K.E., Collins B.M. Post-fire vegetation and fuel development influences fire severity patterns in reburns. *Ecol. Appl.*, 2016, vol. 26, pp. 686–699.
<https://doi.org/10.1890/15-0225>
- Dara A., Baumann M., Holzel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Ullrich B., Kuemmerle T. Post-Soviet land-use change affected fire regimes on the Eurasian steppes. *Ecosystems*, 2019, vol. 23, pp. 943–956.
<https://doi.org/10.1007/s10021-019-00447-w>
- Dubinina M., Lushchikina A., Radeloff V.C. Climate, livestock, and vegetation: What drives fire increase in the arid ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 547–562.
<https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>
- Dubinina M.Yu., Lushchikina A.A., Radeloff V.C. Assessment of modern burning dynamics in arid ecosystems using remote sensing data (case study of Chernye Zemli). *Arid Ekosist.*, 2010, vol. 6, no. 3, pp. 5–16. (In Russ.).
- Dusaeva G.Kh., Kalmykova O.G., Dusaeva N.V. Fire influence on dynamics of above-ground phytomass in steppe plant communities in the Burtinskaya Steppe (Orenburg State Nature Reserve, Russia). *Nat. Conserv. Res.*, 2019, vol. 4, no. S1, pp. 78–92.
<https://doi.org/10.24189/ncr.2019.050>
- Ellsworth L.M., Kauffman J.B., Reis S.A., Sapsis D., Mooney K. Repeated fire altered succession and increased fire behavior in basin big sagebrush–native perennial grasslands. *Ecosphere*, 2020, vol. 11, no. 5, e03124.
<https://doi.org/10.1002/ecs2.3124>
- Giglio L., Boschetti L., David P. R., Humber M.L., Justice C.O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sens. Environ.*, 2018, vol. 217, pp. 72–85.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 2006, vol. 87, nos. 2–3, pp. 273–282.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6)
- Il'ina V.N. Pyrogenic impact on vegetation cover. *Samar. Luka: Probl. Reg. i Global. Ekol.*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 4–30. (In Russ.).
- Kovalev N.A., Loupian E.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Burtsev M.A., Ershov D.V., Krivosheev N.P., Mazurov A.A. ISDM-Rosleskhoz: 15 years of operation and evolution. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2020, vol. 17, no. 7, pp. 283–291. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-283-291>
- Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A. et al. IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2015, vol. 12, no. 5, pp. 263–284. (In Russ.).
- Mergelov N.S. Post-pyrogenic transformation of soils and soil carbon stocks in sub-tundra woodlands of Kolyma Lowland: a cascading effect and feedbacks. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2015, no. 3, pp. 129–140. (In Russ.).
- Nemkov V.A., Sapiga E.A. Impact of fires on the fauna of terrestrial arthropods in protected steppe ecosystems. *Russ. J. Ecol.*, 2010, vol. 41, pp. 173–179.
<https://doi.org/10.1134/S1067413610020104>
- Oparin M.L., Oparina O.S. Steppe vegetation dynamics under fire. *Povolzhskii Ekol. Zh.*, 2003, no. 2, pp. 158–171. (In Russ.).
- Parker B.M., Lewis T., Srivastava S.K. Estimation and evaluation of multi-decadal fire severity patterns using Landsat sensors. *Remote Sens. Environ.*, 2015, vol. 170, pp. 340–349.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.014>
- Pavleichik V.M. Experience of data application of remote sensing in studies of steppe fires. *Usp. Sovrem. Estestvozn.*, 2018, no. 11, pp. 377–382. (In Russ.).
- Pavleichik V.M. The Latitudinal-zonal heterogeneity of the development of grass fires in the Volga-Ural region. *Byull. Orenburg. Nauchn. Tsentra UrO RAN*, 2019, no. 2, pp. 1–14. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-12013>
- Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts. *Geogr. Nat. Resour.*, 2018, vol. 39, no. 3, pp. 212–221.
<https://doi.org/10.1134/S1875372818030046>
- Pavleichik V.M., Kalmykova O.G., Soroka O.V. Features of the thermal regime and humidification of post-pyrogenic steppe landscapes. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 4, pp. 541–550. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S2587556620040111>
- Ryabinina N.O., Kanishchev S.N., Shinkarenko S.S. The current state and dynamics of geosystems in the South-

- East of the Russian plain (by the example of the natural parks in Volgograd region). *Yug Rossii: Ekologiya, Razvitiye*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 116–127. (In Russ.).
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-116-127>
- Safronova I.N. Semidesert is the paradox of the twentieth century. *Arid Ecosyst.*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 1–6.
<https://doi.org/10.1134/S2079096119010098>
- Shinkarenko S.S. Assessment of steppe burning dynamics in Astrakhan oblast. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2018, vol. 15, no. 1, pp. 138–146. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-1-138-146>
- Shinkarenko S.S. Changes in spectral reflectance characteristics of the Northern Caspian zonal landscapes under pyrogenic influence. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 192–206. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-192-206>
- Shinkarenko S.S. Spatial-temporal dynamics of desertification in Black Lands. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2019, vol. 16, no. 6, pp. 155–168. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168>
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes from MODIS data. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2020, vol. 17, no. 4, pp. 179–194. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194>
- Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N. Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd oblast. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2019, vol. 16, no. 2, pp. 98–110. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110>
- Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A. Dynamics of arid landscapes burning in Russia and adjacent territories based on active fire data. *Sovr. Probl. DZZ Kosm.*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 149–164. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164>
- Shinkarenko S.S., Ivanov N.M., Berdengalieva A.N. Spatio-temporal dynamics of burnt areas in federal protected areas of South-East of the European part of Russia. *Nat. Conserv. Res.*, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 23–44. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24189/ncr.2021.035>
- Shvidenko A., Shchepashchenko D., MakKallum Ya. *Russian Forests & Forestry*. IASA, The Russian Academy of Sciences, 2007. Available at: http://www.iasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/index.html (accessed: 04.11.2021).
- Stroppiana D., Bordogna G., Carrara P., Boschetti M., Boschetti L., Brivio P.A. A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple spectral indices and a region growing algorithm. *J. Photogramm. Remote Sens.*, 2012, vol. 69, pp. 88–102.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.001>
- Suleymanova G.F., Boldyrev V.A., Savinov V.A. Post-fire restoration of plant communities with *Paeonia tenuifolia* in the Khvalynsky National Park (Russia). *Nat. Conserv. Res.*, 2019, vol. 4, no. S1, pp. 57–77.
<https://doi.org/10.24189/ncr.2019.048>
- Tishkov A.A. Fires in steppes and savannas. *Vopr. Stepevedeniya*, 2009, no. 7, pp. 79–83. (In Russ.).
- Tkachuk T.E. Dynamics of steppe fires areas in the South of Dauria in the first decade of the 21st century. *Uch. Zap. ZabGU*, 2015, no. 1, pp. 72–79. (In Russ.).
- Williams R.J., Gill A.M., Anderson A.N., Cook G.D., Williams J.E. Fire behavior. In *Fire in Tropical Savannas: The Kapalga Experiment*. Andersen A.N., Cook G.D., Williams R.J., Eds. New York: Springer-Verlag, 2003, pp. 33–46.
- Zharinov S.N., Golubeva E.I. Influence of forest fire on mortality rates of population: a case study of Tver oblast. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 4, pp. 96–103. (In Russ.).
<https://doi.org/10.1134/S2587556618040179>
- Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Aridization of drylands in the European part of Russia: Secular trends and links to droughts. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 2, pp. 207–217. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S258755662002017X>