

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.95

doi: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498

## ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

*В.В. Дорошенко*

*ФНЦ агроэкологии РАН, г. Волгоград, 400062, Россия*

### Аннотация

Проведено дешифрирование материалов космической съемки для получения данных о пространственно-временном распространении пожаров (ландшафтных и на полях) и массивов открытых песков на востоке Ставропольского края. Определено распределение увлажнения на территории, уровень антропогенной измененности, получены данные о климатических трендах и динамике поголовья скота. Динамика гарей проанализирована в разрезе сельскохозяйственного, климатического зонирования. Выявлено отсутствие прямой зависимости между прохождением ландшафтного пожара и развитием очага опустынивания. Открытые пески при возрастании занимаемой площади естественным образом препятствуют распространению пожаров, но способствуют снижению поголовья крупного и малого рогатого скота, что приводит к накоплению мортмассы и увеличению пожароопасности. Выявлен рост площадей открытых песков более чем в 20 раз за период 2013–2022 гг., а также тренд к сокращению площадей пожаров – как ландшафтных, так и на полях.

**Ключевые слова:** геоинформационный анализ, ландшафтные пожары, дистанционное зондирование, опустынивание, открытые пески, Ставропольский край.

### Введение

На территории Ставропольского края проводились исследования динамики площадей ландшафтных пожаров и площадей участков, подверженных опустыниванию, в том числе засоленных (соровых понижений и солончаков), но влияние возрастающих площадей открытых песков на возникновение и распространение ландшафтных пожаров в качестве ограничивающего фактора в настоящий момент остается слабо изученным. При этом изучение динамики горимости в засушливых регионах и своевременное принятие противопожарных мер помогут сократить темпы деградации степных и полупустынных ландшафтов и сократить экономический ущерб на сельскохозяйственных территориях [1, 2].

На востоке Ставропольского края наблюдается тенденция к аридизации климата с сокращением годового количества осадков и увеличением среднегодовых температур, что создает благоприятные условия для формирования крупных песчаных массивов золовым путем [3]. При этом исследования в области агроклиматического районирования указывают на позитивные изменения в зоне исследования с сокращением площадей, относимых к сухому агроклиматическому району, в пользу очень засушливого агроклиматического района [4]. Тем не менее восток Ставропольского края остается пожароопасным регионом, в значительной степени подверженным опустыниванию [5].

Целью исследования является выявление влияния роста площадей открытых песков на горимость ландшафтов за последние 10 лет в условиях интенсификации процессов опустынивания. Использование геоинформационных методов и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для изучения пространственно-временного распределения таких изменчивых явлений, как ландшафтные пожары и проявления опустынивания, позволяет сократить трудозатраты и обеспечивает достаточную точность результатов для выявления закономерностей и взаимного влияния процессов и явлений.

## 1. Объекты и методы

Изучение динамики и зависимости площадей открытых песков и ландшафтных пожаров проводилось на территории четырех восточных районов Ставропольского края – Левокумского, Нефтекумского, Курского и Степновского. Территория этих районов относится к Прикаспийской низменности, точнее – к Терско-Кумской низменности и Кумо-Манычской впадине, что обуславливает наличие плоского рельефа и отсутствие естественных препятствий для эолового переноса песков и распространения ландшафтных пожаров [6, 7]. Здесь повсеместно располагаются солончаки и соровые понижения, на которых растительность сильно разрежена или отсутствует [8–10]. Растительность представлена в основном сухостепными и полупустынными сообществами. В сухостепной зоне доминантными видами являются мятлик луковичный, костенец зонтичный, овсяница скальная, ковыли (Лессинга, волосовидный), келерия стройная, полыни (таврическая, австрийская). В полупустынной зоне преобладают костер растопыренный, тысячелистник Биберштейна, мятлик луковичный, житняк пустынный, рогоплодник песчаный, верблюжья колючка, кохия простертая, ковыль Лессинга, полыни (Лерха, австрийская, таврическая) [11].

Данная территория является неоднородной по хозяйственному использованию и естественному увлажнению [3, 4]. На востоке и северо-востоке зоны исследования распространено животноводство (разведение малого рогатого скота), в то время как западная часть зоны исследования практически полностью распаханна [12]. В связи с этим условия формирования ландшафтных пожаров и накопления эоловых песков различны и требуют отдельного изучения.

Территория исследования была разделена по признаку антропогенной измененности на две зоны для проведения сравнительного анализа с использованием индекса антропогенной нарушенности территории [13]. Для этого проведено визуальное дешифрирование материалов ДЗЗ и создана векторная маска основных групп объектов, используемых для вычисления балла антропогенной измененности, – пашни, селитебных территорий, водных объектов и древесных массивов. С учетом проведенного зонирования пожары также были разделены на ландшафтные, располагающиеся в наименее антропогенно нарушенной зоне, подверженной опустыниванию, и пожары на полях. При этом основное внимание в данной статье будет уделено ландшафтным пожарам, пожары на остальной части зоны исследования будут использованы для верификации влияния роста площадей открытых песков на динамику площадей ландшафтных пожаров.

Период исследования для отслеживания влияния динамики площадей открытых песков на площади ландшафтных пожаров охватывает последнее десятилетие (2013–2022 гг.). Данный период характеризуется резким ростом пло-

щадей открытых песков на территории исследования, в особенности в связи с учащением и интенсификацией пыльных бурь после 2017 г. [3, 14, 15].

Проявления опустынивания определялись экспертным способом с использованием данных дистанционного зондирования Земли высокого разрешения (мультиспектральные космические снимки КА Sentinel и Landsat) в комбинации «естественные цвета» по прямым дешифровочным признакам. Для того, чтобы учитываемые площади были приближены к максимальным значениям площадей открытых песков, использовались снимки за август, когда степная растительность имеет наименьшее проективное покрытие.

Выявление выгоревших участков также проводилось с применением экспертного дешифрирования спутниковых снимков Landsat-7, 8, 9 [16, 17]. Гари выделялись за период с апреля по октябрь каждого года по комбинации «естественные цвета» и с включением коротковолнового инфракрасного канала (рис. 1) [18]. Несмотря на невысокую продуктивность ландшафтов в зоне исследования, ландшафтные пожары могут охватывать значительные территории за счет отсутствия препятствий – как естественных (русла рек, водоемы), так и искусственных (широкие дороги с твердым покрытием) [16].

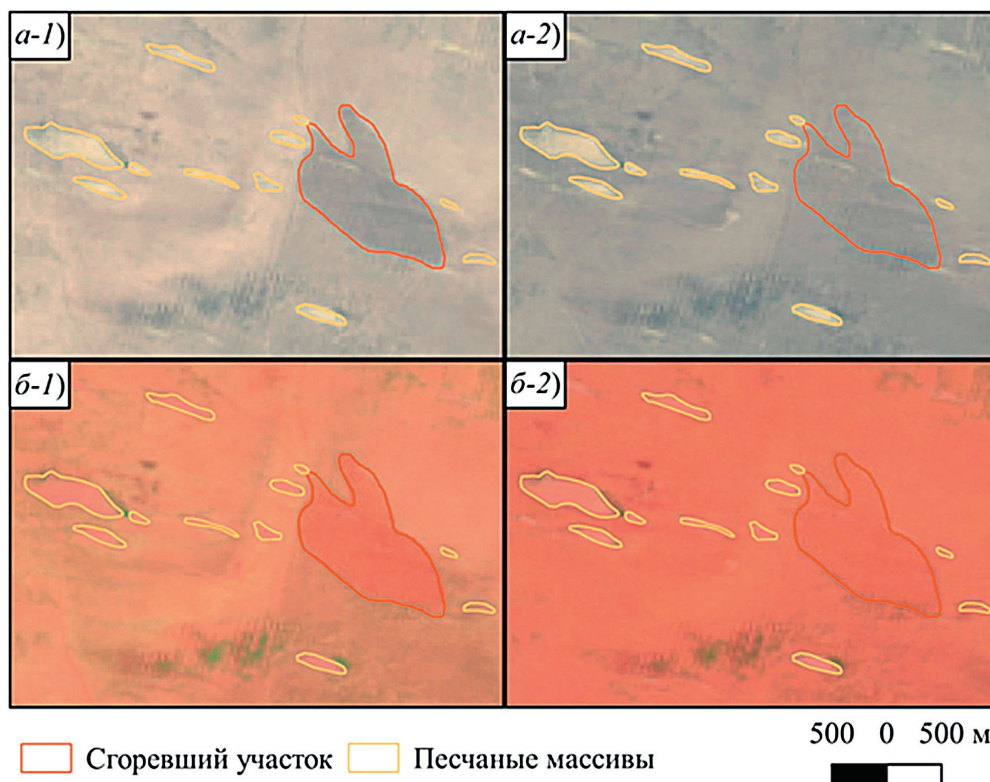


Рис. 1. Песчаные массивы и сгоревший участок, по материалам КА “Landsat”; Нефтекумский район, 44.6463° с. ш., 45.1844° в. д.: а – изображение в естественных цветах, б – изображение с добавлением ИК-канала, 1 – 16.07.2022, 2 – 01.08.2022

Применение экспертного дешифрирования при определении пройденных пожарами территорий связано с большим количеством ошибок на обрабатываемых пахотных землях [16]. Лучшее качество определения гарей с применением визуального дешифрирования, а не информационных продуктов (термоточек

FIRMS, продуктов на основе данных Landsat и MODIS) также подтверждается в работах других авторов [18]. Визуальное дешифрирование участков, занятых открытыми песками, позволяет избежать ошибочного включения в класс песков засоленных участков, широко распространенных на северо-востоке Ставропольского края [3, 8].

Основным фактором, влияющим на развитие растительности, а значит, на появление горючего материала и на зарастание и закрепление песков, являются осадки. В связи с этим в исследовании учитывались средние годовые суммы осадков по ближайшим метеостанциям в г. Буденновск, г. Элиста, г. Зеленокумск, г. Арзгир, г. Южно-Сухокумск и с. Наурская, полученные с помощью Автоматизированной информационной системы обработки режимной информации (АИСОРИ, <http://aisori-m.meteo.ru/>). По полученным данным проведена интерполяция (метод обратно взвешенных расстояний) для разделения территории исследования на зоны по средней годовой сумме осадков [4]. Необходимо отметить, что в данных с метеостанции в г. Южно-Сухокумск есть значительный пробел (с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.), который восполнен по данным сайта «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru>). Для оценки тенденции к аридизации климата использованы также среднегодовые температуры по данным метеостанций в г. Буденновск и г. Южно-Сухокумск.

Также значимым фактором является поголовье скота. Данные о поголовье крупного рогатого скота, овец и коз были получены из Базы данных показателей муниципальных образований (<https://www.gks.ru/dbscripts/munst/>). Необходимо отметить, что данные из этого источника представлены только за период 2013–2020 гг., а для Нефтекумского района – за 2013–2018 гг.

Геоинформационная обработка растровых изображений и векторных результатов дешифрирования проводилась в ГИС “QGIS 3.28”, а статистическая обработка полученных данных – в “MS Excel”.

## 2. Результаты и обсуждение

Всего в результате дешифрирования за 10 лет выявлено 23.7 тыс. очагов опустынивания общей площадью 217.1 тыс. га, а также 1 925 гарей общей площадью 234.8 тыс. га (табл. 1). При этом все массивы открытых песков и ландшафтные пожары (429 участков общей площадью 48.9 тыс. га) расположены в наименее антропогенно измененной зоне (рис. 2), которая одновременно является более засушливой. Площади участков, занятых открытыми песками, увеличились в 22 раза за период исследований.

Расчет уровней антропогенной измененности проводился с использованием универсальной балльной шкалы антропогенной измененности по видам землепользования: 1 – лесные и древесно-кустарниковые насаждения, 2 – водные объекты, 3 – пастбища, 4 – пашня, 5 – промышленные и селитебные территории [13]. Площади территорий для каждого значения балла были рассчитаны для каждой ячейки регулярной сетки со стороной 5 км, по полученному среднему баллу проведена интерполяция и генерализация для определения местоположения условной границы уровней антропогенной измененности. В результате получены два уровня измененности ландшафтов – средний (значение балла < 3.5) и высокий (значение балла > 3.5). Четкое разделение территории исследования на классы возможно благодаря сильно выраженной специализации – западная часть распахана более чем на 70%, тогда как восточная почти полностью отведена под пастбища.

Табл. 1

Количественные результаты дешифрирования гарей и открытых песков

Год исследования	Площадь гарей, тыс. га		Площадь открытых песков, тыс. га
	Пожары на полях	Ландшафтные пожары	
2013	2.6	2.8	2.7
2014	12.0	5	3.1
2015	21.3	26.1	3.8
2016	9.8	3.5	5.2
2017	121.1	3.3	5.6
2018	3.6	3.3	8.3
2019	4.1	1.1	16.0
2020	5.8	1.8	54.6
2021	1.4	0.2	57.4
2022	4.3	1.6	60.5

По результатам интерполяции данных с метеостанций, расположенных поблизости от зоны исследования, было получено непрерывное поле среднегодовых сумм осадков, что позволило разделить территорию на две части: зону с годовой суммой осадков до 400 мм и зону с годовой суммой осадков 400–500 мм. Значительной корреляции годовых сумм осадков с площадями гарей или открытых песков за весь период исследования не выявлено, но данные показывают, что тренд к увеличению засушливости климата сохраняется (рис. 3), а в 2020 и 2022 гг. наблюдались засухи. При этом площади открытых песков в эти годы имеют одни из наиболее высоких значений, а площади гарей выше, чем в предыдущие и последующие годы. Необходимо отметить, что площади гарей до 2019 г., когда рост площадей открытых песков приобрел наибольшие масштабы, были больше, чем в любой из годов после 2019 г. Большое значение имеет распределение осадков в течение года, так как засушливое лето с высокими дневными температурами способствует формированию пожароопасных условий [19, 20]. Абсолютное большинство ландшафтных пожаров (38.5 тыс. га, 79% от общей площади) произошло в летние месяцы. Среднегодовые температуры за рассматриваемый период возросли примерно на 1 °С. При этом максимальные среднемесячные температуры закономерно отмечаются в летние месяцы, когда количество осадков сокращается и они приобретают ливневый характер, что приводит к неравномерному росту растительности в течение вегетационного периода [11]. Это создает благоприятные условия для формирования пожароопасных ситуаций и развития процессов опустынивания, однако снижение количества осадков сокращает разрастание степной растительности, которая является основным горючим материалом в зоне исследования. Таким образом, засухи по мере возрастания аридности климата становятся ограничивающим фактором горимости, а не фактором возникновения пожаров [22, 23].

Сокращение площадей ландшафтных пожаров и увеличение площадей, занятых открытыми песками (рис. 4, а), имеют слабую связь ( $r = -0.4$ ), но исследования в области степных ландшафтных пожаров показывают скачки площадей гарей с периодичностью 3–5 лет, связанные с накоплением горючего материала [16, 21]. В данном случае подобной периодичности не наблюдается в течение 7 лет – в 2015 г. площадь ландшафтных пожаров составляла рекордные 26 тыс. га, далее в течение трех лет (с 2016 по 2018 г.) площади составляли от 3.3 до 3.5 тыс. га, а впослед-



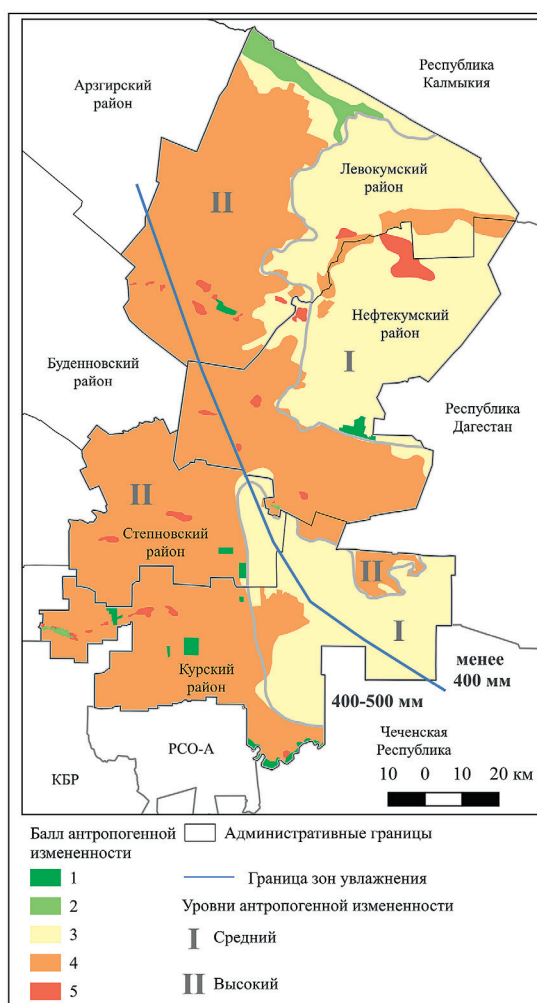


Рис. 2. Схема ранжирования территории исследования по антропогенной измененности, распределению увлажнения территории

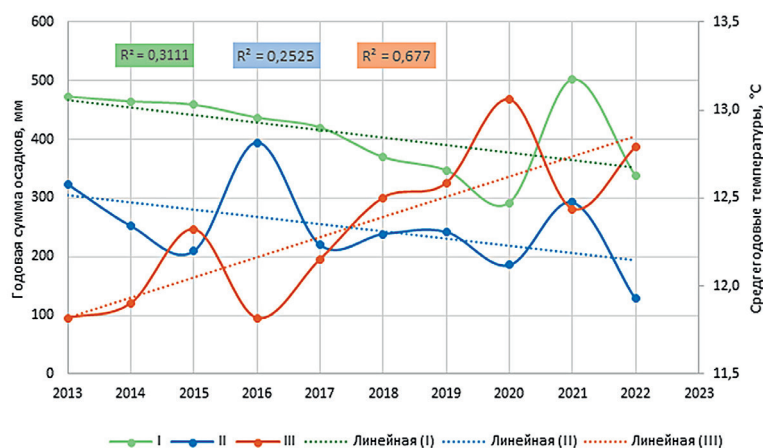


Рис. 3. Климатические характеристики по данным метеостанций (I – годовое количество осадков по метеостанции в г. Буденновск, II – годовое количество осадков по метеостанции в г. Южно-Сухокумск, III – среднегодовые температуры)

ствии снизились до 1.5 тыс. га. Минимальная площадь ландшафтных пожаров была зафиксирована в 2021 г. и составила 242.7 га. При этом площади открытых песков в течение этих 7 лет увеличились с 5 тыс. га до 60.5 тыс. га, естественным образом сокращая территории, на которых могут сформироваться условия для распространения ландшафтных пожаров, а также в 2020 и 2022 гг. наблюдались засухи, что влияло на рост степной растительности как основного горючего материала.

Большое значение как для возможности формирования ландшафтных пожаров, так и в качестве фактора опустынивания имеет поголовье скота (рис. 4, б). Анализ динамики поголовья на территории исследования затруднен в связи с неполнотой данных, но очевидно снижение поголовья при возрастающих площадях открытых песков [3]. При этом, если поголовье скота не увеличится и произойдет возобновление естественной растительности на участках, покрытых тонким слоем песка, пусть и с изменением видового состава, произойдет накопление мортмассы, которое в засушливых условиях может приводить к интенсификации ландшафтных пожаров [20–24]. Также большое влияние на накопление растительной ветоши может оказать деградация не пострадавших от пыльных бурь пастбищ, которая проявляется в снижении видового разнообразия и увеличении доли растений, не имеющих кормовой ценности [10, 11].

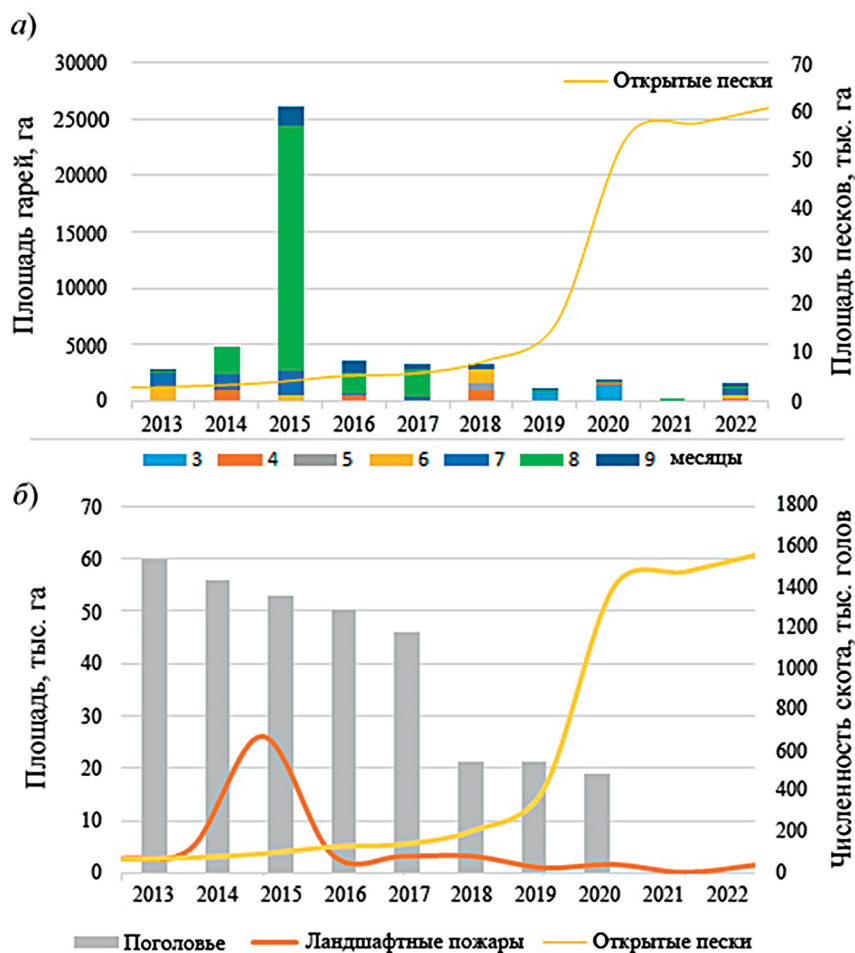


Рис. 4. а) Площади ландшафтных пожаров в период 2013–2022 г. по месяцам (с марта по сентябрь), б) площади ландшафтных пожаров, открытых песков и численность поголовья скота по годам

Также следует отметить, что практически все ландшафтные пожары и открытые пески в течение всего периода исследования имеют взаимоисключающее пространственное положение (рис. 5) или песчаные массивы образовались на местах ландшафтных пожаров пять и более лет спустя (вероятнее всего, путем эолового переноса в результате пыльных бурь). Пройденные пожарами территории становятся потенциальными котловинами выдувания, эоловое воздействие на них может привести к формированию очага опустынивания, но результаты дешифрирования не выявили гарей, на которых сформировались очаги опустынивания.

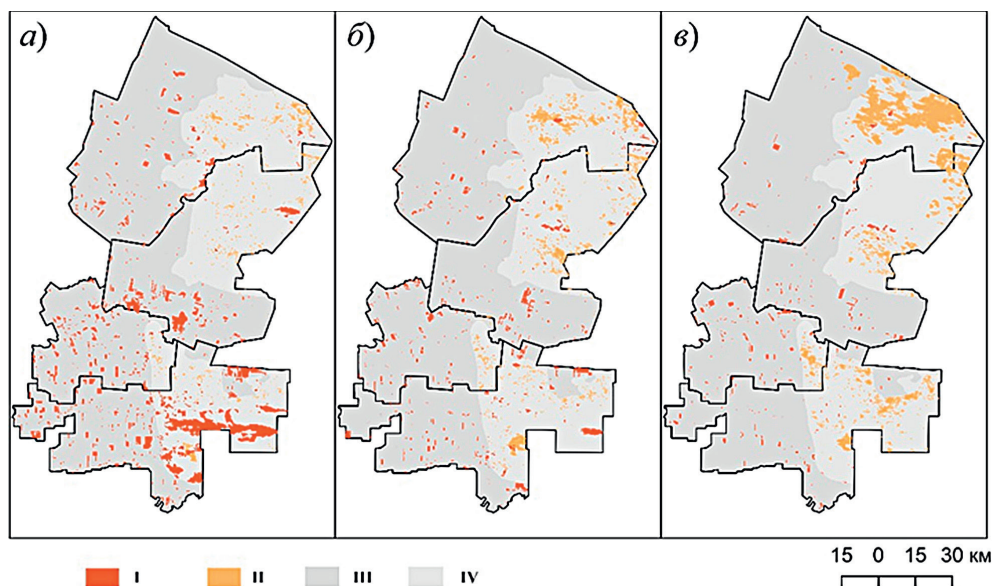


Рис. 5. Схема взаимного расположения гарей и открытых песков в 2013–2022 гг. (I – гарь, II – открытые пески, III – зона с сильным антропогенным воздействием, IV – зона со слабым антропогенным воздействием; а – 2013–2016 гг., б – 2016–2019 гг., в – 2019–2022 гг.)

Пожары на распаханых территориях не связаны с накоплением мортмассы и чаще имеют антропогенное происхождение (нарушение техники безопасности при проведении сельскохозяйственных работ, сельскохозяйственные палы), поэтому труднее поддаются прогнозированию [20]. Также для их распространения существуют препятствия в виде дорог, минерализованных полос и т. д., а также могут приниматься своевременные меры по тушению или препятствию их распространению, с связи с чем их площади обычно невелики, а конфигурация границ может повторять границы полей. Но также они не подвержены влиянию возрастающих площадей открытых песков в связи с ежегодной обработкой. Несмотря на высокую изменчивость значений площадей пожаров на полях (от 1.4 до 121.1 тыс. га), наблюдается тенденция по их сокращению, как и в случае ландшафтных пожаров.

Повторяемость ландшафтных пожаров очень низкая. За рассматриваемый период выявлено только три участка со значительной повторяемостью, относящихся к пойме р. Кума и характеризующихся достаточным увлажнением для накопления горючего материала (рис. 6). На участке А зафиксировано 7 гарей, относящихся к 2014, 2018, 2019, 2020 и 2022 гг., на участке Б – 7 гарей, относящихся к 2014, 2017–2020 гг., на участке В – 5 гарей, относящихся к 2017–2020, 2022 гг.



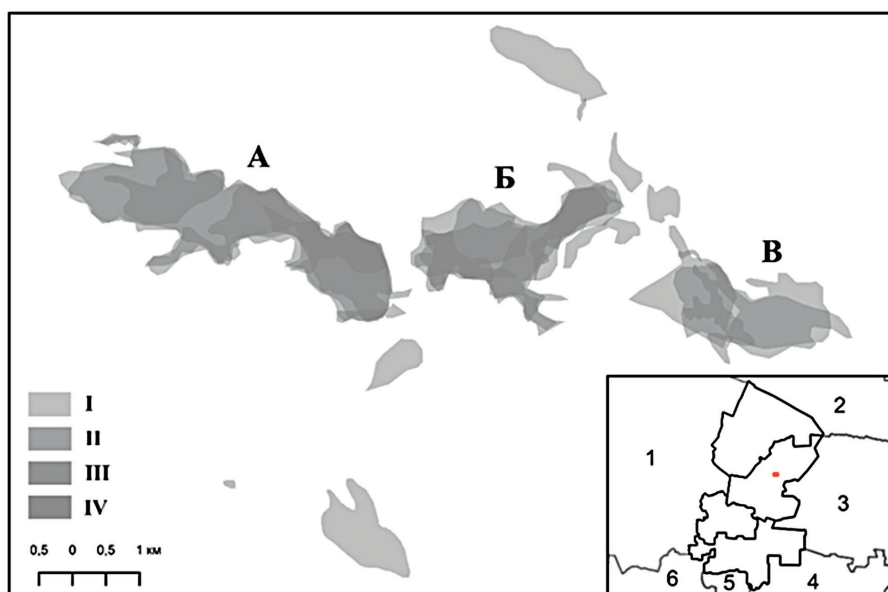


Рис. 6. Повторяемость ландшафтных пожаров (А, Б, В – обозначения участков; количество пожаров за исследуемый период: I – один пожар, II – два пожара, III – три пожара, IV – четыре пожара, 1 – Ставропольский край, 2 – Республика Калмыкия, 3 – Республика Дагестан, 4 – Чеченская Республика, 5 – Республика Северная Осетия – Алания, 6 – Карачаево-Черкесская Республика)

### Заключение

Взаимное расположение массивов открытых песков и ландшафтных пожаров указывает на отсутствие значительного влияния гарей на образование очагов опустынивания. Рост площадей открытых песков и распространение ландшафтных пожаров косвенно связаны через растительный покров и факторы его динамики.

Увеличение площадей открытых песков сокращает территории, потенциально подверженные ландшафтным пожарам. Также влияние на сокращение количества и площадей ландшафтных пожаров оказывает тенденция к аридизации климата, которая приводит к сокращению ежегодного накопления горючего материала в условиях Прикаспийской низменности. При этом отмечается сокращение поголовья скота и изменение видового состава растительности на пастбищах с уменьшением доли поедаемых растений, что может привести к значительному росту площадей ландшафтных пожаров в ближайшие годы. Общий тренд количества и площади пожаров является отрицательным как при зонировании по условиям увлажнения, так и при зонировании по антропогенной измененности территории. При этом площади открытых песков, являющихся естественным препятствием для возникновения и распространения ландшафтных пожаров, увеличились более чем в 20 раз.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР №122020100405-9 «Картографическое моделирование состояния, функционирования и динамики процессов опустыненных территорий с применением информационных технологий».

## Литература

1. Тишков А.А. Пожары в степях и саваннах // Вопросы степеведения. 2003. № 4. С. 9–22.
2. Ильина В.Н. Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20, № 2. С. 4–30.
3. Дорошенко В.В. Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае // Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 31–36. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36>.
4. Антонов С.А., Каторгин Ю.И. Картографирование характеристик изменения климата в Ставропольском крае // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 3. С. 171–182.
5. Кулик К.Н. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
6. Кравченко А.С., Юферев В.Г., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ ландшафтов астраханского Заволжья // Известия НВ АУК. 2017. № 4 (48). С. 154–163.
7. Юферев В.Г., Мелихова А.В., Балынова В.В. Геоинформационный анализ рельефа Курмо-Маньчской впадины // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12, № 2. С. 67–76. <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.9>.
8. Дорошенко В.В. Геоинформационное картографирование сорных понижений и солончаков в Ставропольском крае // Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 553–561. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-64>.
9. Казеев К.Ш., Кузнецова Ю.С. Эколого-биологические особенности аридных почв Прикаспийской низменности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2010. № 5. С. 83–85.
10. Лапенко Н.Г., Хонина О.В. Оценка пастбищной дигрессии степных экосистем аридной зоны Ставрополья // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 16–20. [https://doi.org/10.53859/02352451\\_2022\\_36\\_5\\_16](https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_16).
11. Лапенко Н.Г., Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г. Растительность степных фитоценозов и особенности ее вегетации в условиях Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2020. № 2 (193). С. 9–19. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19>.
12. Шаповалов Д.А., Ключин П.В., Савинова С.В. Экологические проблемы сельскохозяйственного землепользования в Ставропольском крае // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2 (83). С. 57–62. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10096>.
13. Рулев А.С. Ландшафтно-географические исследования степных ландшафтов Нижнего Поволжья // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. 2011. № 2 (2). С. 59–68.
14. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Спутниковые наблюдения пыльных бурь на юге России в 2022 г. // 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>.
15. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Дорошенко В.В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019–2022 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 5. С. 319–327. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327>.
16. Павлейчик В.М., Чибилев А.А. Степные пожары в условиях заповедного режима и изменяющегося антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 38–48. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(38-48\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(38-48)).
17. Dara A., Baumann M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Müller D., Ullrich B., Kuemmerle T. Post-Soviet land-use change affected fire regimes on the Eurasian steppes // Ecosystems. 2019. V. 23. P. 943–956. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00447-w>.
18. Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // Nat. Conserv. Res. Заповедная наука. 2021. Т. 6, № 3. С. 23–44. <https://doi.org/10.24189/ncr.2021.035>.
19. Мячина К.В. Анализ пожарных рисков в регионе (на примере Оренбургской области) // Вестник ОГУ. 2011. № 16 (135). С. 180–182.

20. Рябинина Н.О. Влияние пожаров на степные и полупустынные ландшафты юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 38–46. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4\(38-46\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(38-46)).
21. Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 1. С. 122–133. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010113>.
22. Павлейчик В.М. Условия распространения и периодичность возникновения травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 56–65. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-2\(56-65\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(56-65)).
23. Дорошенко В.В., Балунова В.В. Оценка современных процессов опустынивания в Республике Дагестан на примере локального песчаного массива // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 24–29. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29>.
24. Dubinin M., Luschekina A., Radeloff V.C. Climate, livestock, and vegetation: What drives fire increase in the arid ecosystems of Southern Russia? // Ecosystems. 2011. V. 14, No 4. P. 547–562. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>.

Поступила в редакцию 30.06.2023

Принята к публикации 31.07.2023

---

**Дорошенко Валерия Витальевна**, младший научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»  
пр. Университетский, д. 97, г. Волгоград, 400062, Россия

E-mail: [doroshenko-vv@vfanc.ru](mailto:doroshenko-vv@vfanc.ru)

---

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

**UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI**  
**(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)**

**2023, vol. 165, no. 3, pp. 486–498**

---

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2023.3.486-498

**Understanding the Impact of Desertification Progress  
on the Spread of Landscape Fires in the Stavropol Region**

*V.V. Doroshenko*

*Federal Research Center for Agroecology, Russian Academy of Sciences, Volgograd, 400062 Russia*

E-mail: [doroshenko-vv@vfanc.ru](mailto:doroshenko-vv@vfanc.ru)

Received June 30, 2023; Accepted July 31, 2023

**Abstract**

The satellite imagery of the eastern part of the Stavropol region (Russia) was processed and analyzed for the spatial and temporal spread of fires, both landscape and field ones, and open sand massifs. Moisture distribution, anthropogenic transformation of the territory, climatic trends, and livestock dynamics were assessed. The agricultural and climatic zones were considered to reconstruct the fire dynamics. No direct relationship was revealed between landscape fire progression and desertification site development. While the advance of open sands naturally prevents the spread of fires, it also contributes to a decrease in the

population of large and small livestock. This, in turn, leads to an accumulation of the mortmass and results in a higher fire risk. Our findings show that the areas of open sands increased more than 20-fold from 2013 to 2022, while landscape and field fires tended to become less extensive.

**Keywords:** geoinformation analysis, landscape fires, remote sensing, desertification, open sands, Stavropol region

**Acknowledgements.** This study was carried out as part of the state assignment to the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (project no. 122020100405-9, “Cartographic Modeling of the State, Functioning, and Dynamics of the Processes in Deserted Territories Using Information Technologies”).

### Figure Captions

- Fig. 1. Sand massifs and a burnt-out area based on the Landsat data; Neftekumsk district, 44.6463° N, 45.1844° E: *a* – image in natural colors, *b* – image with IR overlay, 1 – July 16, 2022, 2 – August 1, 2022.
- Fig. 2. Scheme for ranking the study area by the levels of anthropogenic transformation and moisture distribution.
- Fig. 3. Climatic characteristics according to the weather stations (I – annual precipitation at the weather station in Budennovsk, II – annual precipitation at the weather station in Yuzhno-Sukhokumsk, III – average annual temperatures).
- Fig. 4. *a*) Areas of landscape fires in 2013–2022 by month (from March to September), *b*) areas of landscape fires, open sands, and livestock population by year.
- Fig. 5. Mutual arrangement of the burnt-out and open sand areas in 2013–2022 (I – burnt-out areas, II – open sands, III – zone with the high anthropogenic impact, IV – zone with the weak anthropogenic impact; *a* – 2013–2016, *b* – 2016–2019, *c* – 2019–2022).
- Fig. 6. Frequency of landscape fires (A, B, C – borders of the burnt-out sites; number of fires during the study period: I – one fire, II – two fires, III – three fires, IV – four fires, 1 – Stavropol region, 2 – Republic of Kalmykia, 3 – Republic of Dagestan, 4 – Chechen Republic, 5 – Republic of North Ossetia–Alania, 6 – Karachay-Cherkess Republic).

### References

1. Tishkov A.A. Fires in steppes and savannas. *Vopr. Stepeved.*, 2003, no. 4, pp. 9–22. (In Russian)
2. Ilyina V.N. Pyrogenic effect on vegetation cover. *Samar. Luka: Probl. Reg. Global'noi Ekol.*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 4–30. (In Russian)
3. Doroshenko V.V. Geoinformation analysis of the desertification processes development in the Stavropol region. *Nauchn.-Agron. Zh.*, 2022, no. 3 (118), pp. 31–36. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36>. (In Russian)
4. Antonov S.A., Katargin Yu.I. Mapping the characteristics of climate change in the Stavropol region. *InterKarto. InterGIS*, 2021, vol. 27, no. 3, pp. 171–182. (In Russian)
5. Kulik K.N. *Agrolesomeliorativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry Mapping and Phytoecological Assessment of Arid Landscapes]. Volgograd, VNIALMI, 2004. 248 p. (In Russian)
6. Kravchenko A.S., Yuferev V.G., Shinkarenko S.S. Geoinformation analysis of landscapes in the Astrakhan Trans-Volga region. *Izv. NV AUK*, 2017, no. 4 (48), pp. 154–163. (In Russian)
7. Yuferev V.G., Melikhova A.V., Balynova V.V. Geoinformation analysis of the relief of the Kumo-Manych depression. *Prir. Sist. Resur.*, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 67–76. <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.9>. (In Russian)
8. Doroshenko V.V. Geoinformation mapping of sor depressions and salt marshes in the Stavropol region. *Izv. NV AUK*, 2022, no. 4 (68), pp. 553–561. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-64>. (In Russian)
9. Kazeev K.Sh., Kuznetsova Yu.S. Ecological and biological features of arid soils of the Caspian depression. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Sev.-Kavk. Reg. Ser.: Estestv. Nauki*, 2010, no. 5, pp. 83–85. (In Russian)
10. Lapenko N.G., Khonina O.V. Assessment of pasture digression of steppe ecosystems in the arid zone of Stavropol. *Dostizh. Nauki Tekh. APK*, 2022, vol. 36, no. 5, pp. 16–20. [https://doi.org/10.53859/02352451\\_2022\\_36\\_5\\_16](https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_16). (In Russian)

11. Lapenko N.G., Eroshenko F.V., Storchak I.G. Plants of steppe phytocenoses and their vegetation under the conditions of the Stavropol region. *Agrar. Vestn. Urala*, 2020, no. 2 (193), pp. 9–19. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19>. (In Russian)
12. Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Savinova S.V. Ecological problems of agricultural land use in Stavropol krai. *Arid Ecosyst.*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 135–139. <https://doi.org/10.1134/S2079096120020110>. (In Russian)
13. Rulev A.S. Landscape and geographical studies of steppe terrains of the Lower Volga region. *Vestn. Volgogr. Gos. Univ. Ser. II. Estestv. Nauki*, 2011, no 2 (2), pp. 59–68. (In Russian)
14. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Satellite observations of dust storms in the south of Russia in 2022. *Sovrem. Probl. Distantionnogo 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)
15. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V. Satellite monitoring of desertification processes in the south of European Russia in 2019–2022. *Sovrem. Probl. Distantionnogo Zondirovaniya Zemli Kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 5, pp. 319–327. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327>. (In Russian)
16. Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Steppe fires in nature reserves and under the changing anthropogenic. *Geogr. Prir. Resur.*, 2018, no. 3, pp. 38–48. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(38-48\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(38-48)). (In Russian)
17. Dara A., Baumann M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Müller 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>.
18. Shinkarenko S.S., Ivanov N.M., Berdengalieva A.N. Spatio-temporal dynamics of burnt-out areas in federal protected areas of the southeast of European Russia. *Zapov. Nauka*, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 23–44. <https://doi.org/10.24189/ncr.2021.035>. (In Russian)
19. Myachina K.V. Analysis of fire risks in the region (based on the Orenburg region). *Vestn. OGU*, 2011, no. 16 (135), pp. 180–182. (In Russian)
20. Ryabinina N.O. The impact of fires on steppe and semi-desert landscapes in the southeast of the Russian Plain (based on the nature parks of the Volgograd region). *Geogr. Prir. Resur.*, 2018, no. 4, pp. 38–46. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4\(38-46\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(38-46)). (In Russian)
21. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N. Burned areas dynamics in zonal landscapes of the southeast of the European part of Russia. *Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 2022, vol. 86, no. 1, pp. 122–133. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010113>. (In Russian)
22. Pavleychik V.M. Conditions that promote the spread of grass fires and their frequency in the TransVolga–Ural region. *Geogr. Prir. Resur.*, 2017, no. 2, pp. 56–65. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-2\(56-65\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(56-65)). (In Russian)
23. Doroshenko V.V., Balynova V.V. Assessment of modern desertification processes in the Republic of Dagestan on the example of a local sand massif. *Nauchno-Agron. Zh.*, 2022, no. 4 (119), pp. 24–29. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.119.4.004.24-29>. (In Russian)
24. Dubinin M., Luschekina 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>.

Для цитирования: 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>.

For citation: 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)