

Опыт картографирования очагов степных пожаров (методология исследований и практические аспекты)

В. М. Павлейчик ✉

Институт степи УрО РАН
(46000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11)

Аннотация: Цель – совершенствование методологии пирологических исследований на основе опыта картографирования очагов пожаров и интерпретации полученных результатов.

Материалы и методы. Исходными материалами для идентификации очагов пожаров послужили спутниковые снимки Landsat (1984–2021) и MODIS (2000–2021), а также архивы геопространственных данных на их основе.

Результаты и обсуждение. На основе авторских подходов сформирована картографическая база данных, включающая сведения о 435 очагах пожаров на ключевом участке за период 1984–2021 годы. Определено, что большинство (66 %) очагов возгораний приурочены к грунтовым дорогам, долинам рек, пахотным угодьям, что дало возможность предположить причины их возникновения. Выявлено, что период активизации пожаров (1998–2009) отличался большей удаленностью очагов от границ участка заповедника «Оренбургский» на фоне снижения нагрузки на сельскохозяйственные угодья. Картографическое отображение количества пересечений минерализованной полосы пожарами позволяет выявить наиболее проблемные сегменты и указывает на усиление эффективности противопожарных мероприятий.

Выводы. Разработан алгоритм оценки пожароопасных обстановок на основе идентификации очагов пожаров и анализа пространственно-временных особенностей их распределения, который может быть рекомендован для анализа пирогенных угроз и выявления причин их возникновения.

Ключевые слова: очаг пожара, степной пожар, пожароопасная обстановка, Буртинская степь.

Источник финансирования: Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 23-27-00134 «Природные пожары в степных регионах Евразии как индикатор природных и социально-экономических изменений»

Для цитирования: Павлейчик В. М. Опыт картографирования очагов степных пожаров (методология исследований и практические аспекты) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 3, с. 13–24. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/13-24>

ВВЕДЕНИЕ

Открытие в 2008 году доступа к глобальному архиву мультиспектральных снимков спутников серии Landsat [12], охватывающего период с начала миссии (с 1972 года) по настоящее время, стало одной из предпосылок активного развития геоинформационных технологий. Одним из научных направлений, непосредственно связанных с использованием спутниковых изображений и геоинформационных продуктов на их основе, стало выявление пространственно-временной неоднородности в развитии природных пожаров.

Исследования природных пожаров обычно охватывают такие базовые параметры как площадь территории, охваченной пожарами и время их прохождения. На основе анализа этих параметров достигается понимание об особенностях формирования пирологических обстановок и представляется возможность сопоставления с другими массивами данных, отражающими потенциальные условия пожарной опасности. Так, применительно к степным и пустынным регионам Северной Евразии, отличающимся макрорегиональной спецификой формирования пожароопасных

© Павлейчик В. М., 2023

✉ Павлейчик Владимир Михайлович, e-mail: vmpavleychik@gmail.com



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

обстановок, делаются выводы о неоднородности многолетней и сезонной динамики пожаров [1, 3, 4, 5, 17], подчиненности пространственной структуре ландшафтов (включая широтную зональность) [2, 14], влиянии климатических условий [8] и изменяющихся систем природопользования [1, 2, 15, 16], последствиях пожаров с позиций углеродного баланса [13], масштабах сельскохозяйственных палов [6].

Площадь распространения пожаров отражает условия формирования пожароопасных обстановок и степень их реализации для конкретных степных участков. Но в еще большей степени обширность распространения пожаров зависит от наличия природных и антропогенных барьеров, площади самого степного участка, оперативности противопожарных мероприятий и многих других факторов. Из этого следует, что не менее значимым показателем пирологической обстановки является количество пожаров и пространственное положение мест возникновения пожаров (очагов). Более того, результаты идентификации мест первоначального возгорания являются ценной фактической информацией, по которой можно составить представление о возможных причинах возникновения пожаров, об условиях их возникновения, об оперативности и эффективности противопожарных мероприятий.

Исследования по идентификации мест возникновения пожаров, проводимые в различных регионах мира, позволяют формулировать выводы о причинах и факторах формирования пожароопасных обстановок [7, 9, 10, 11]. Вместе с тем, следует констатировать, что при всей актуальности подобных научно-практических изысканий, предлагаемый в данной статье подход ранее не был в достаточной мере обоснован и реализован.

Идентификация очагов пожаров была проведена применительно к одному из серии ключевых участков, по которым ранее были детально проанализированы особенности и причины пространственно-временной неоднородности пожаров [1, 3]. Центральное место в нем занимает кластер государственного природного заповедника «Оренбургский» «Буртинская степь», что позволило применить разрабатываемые методы и подходы и для решения практических природоохранных задач. Добавим, что природные пожары являются наиболее актуальной проблемой при обеспечении природоохранного режима государственных заповедников и других категорий ООПТ, расположенных в степных и пустынных регионах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным источником информации послужили спутниковые снимки Landsat среднего пространственного разрешения за 1984-2021 годы. Была учтена информация о направлении ветра из открытых метеорологических архивов и сервисов по ближайшим к участку метеостанциям (Беляевка, Оренбург). Для периода 2000-2021 годы направления распространения крупных пожаров проверялись по ежедневным снимкам Terra и Aqua (MODIS) и геоинформационным продуктам, полученным на их основе – архивы по тепловым аномалиям (термоточкам) и сгоревшим территориям (MCD14ML и MCD64A1, соответственно). При подготовке картографического материала использованы сформированные ранее и обновленные в рамках исследования геоинформационные слои, содержащие информацию по сгоревшим территориям за 1984-2021 годы.

Разработанный алгоритм картографического отображения очагов возгораний состоит из последовательных стадий анализа исходных материалов, при возможности верифицируемых косвенными признаками.

1. Из базы данных по гарям последовательно выбирались контуры с имеющейся информацией о дате (точной, либо находящейся в пределах небольшого временного промежутка, обычно не более 3-5 дней), которые совмещались с исходным спутниковым изображением. Прямым признаком, указывающим на место возникновения пожара, являлись непосредственно снимки, совпадающие со временем начала распространения пожара (редко), либо тепловые аномалии, фиксирующие положение места или района возгорания.

2. В большинстве других случаев, расположение очагов пожаров определялось на основе косвенных признаков. Первым определялось направление развития пожара, по серии признаков, либо исходя из дополнительной информации: а) последовательность смещения фронта пожара по серии ежедневных снимков (в случае многодневных пожаров), либо смещение положения скоплений тепловых аномалий; б) характер задымления на снимке; в) сведения о направлении ветра из метеорологических архивов.

3. На финальном этапе анализировалась форма контура гари, на основе чего примерный район расположения очага локализовался и наносился на картосхему. Исходя из наработанного опыта идентификации очагов пожаров сделаны промежуточные выводы, что в подавляющем большинстве

случаев место возгорания находится на границе гари, либо в непосредственной близости от нее, на удалении, не превышающем пространственное разрешение исходных спутниковых изображений. От мест возникновения пожары, особенно в безлесных территориях, обычно развиваются согласно направлению и силы ветра, постепенно расширяя ширину огневого фронта. Таким образом, форма гари также служила одним из диагностических признаков расположения очага пожара.

Очевидно, что при помощи спутниковых изображений среднего разрешения можно определить лишь примерное расположение места возникновения пожара. Точность нанесения мы оцениваем в первые сотни метров и считаем, что для задач данного исследования данная погрешность допустима. Приходится констатировать, что альтернативных источников и способов получения более достоверной информации просто не существует.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматриваемая территория расположена в Южном Предуралье, охватывает площадь 1204 км², из которых 3,73 % (44,9 км²) приходится на заповедный участок «Буртинская степь». Ключевой участок занимает придолинный склон левобережья реки Урал и охватывает приводораздельные пространства Урало-Илекского междуречья. Около 90 % территории приходится на сельскохозяйственные угодья, среди которых 26 % пахотных угодий, 16 % разновозрастных залежей (необрабатываемой пашни), а большая часть представляет собой массивы разнотравно-злаковых степей, в различной степени используемые под пастбища и сенокосы. Такая структура угодий в сочетании с достаточно высокой освоенностью и хорошей транспортной доступностью определила высокую подверженность территории природным пожарам и постоянные угрозы для заповедного участка.

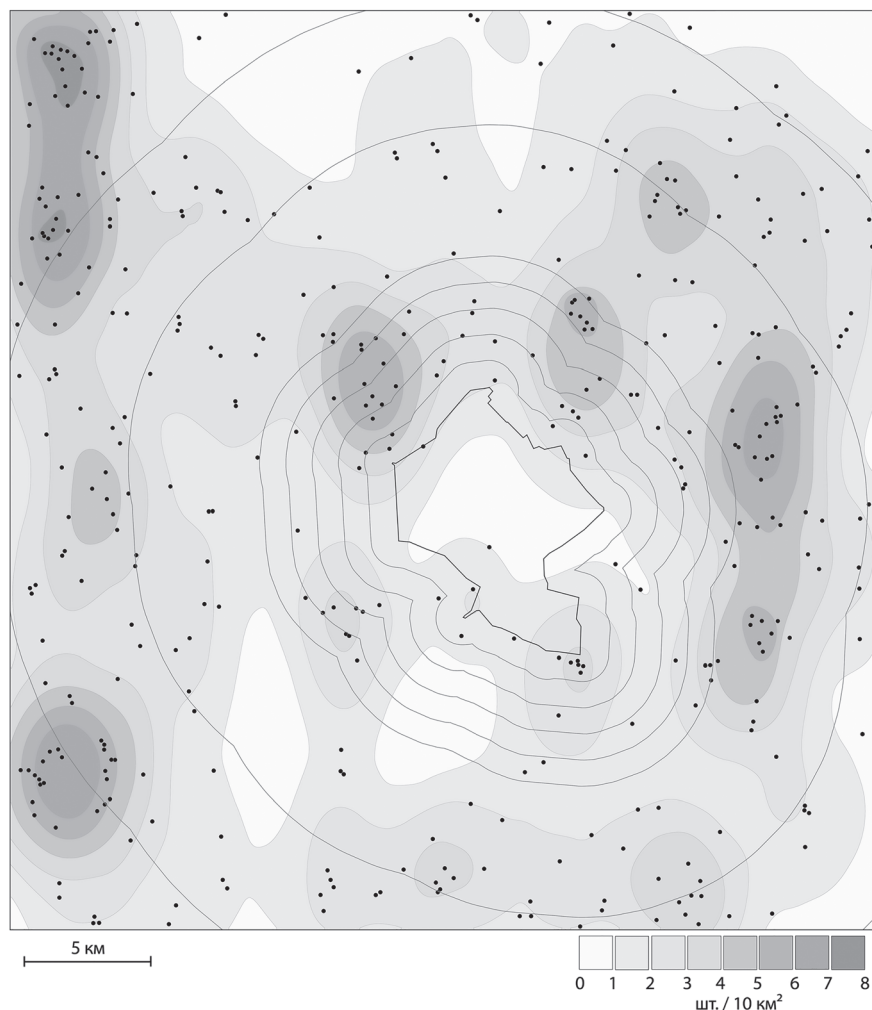


Рис. 1. Распределение очагов пожаров за 1984-2021 годы и их плотность (ед./10 км²). Границы участка заповедника (минерализованной полосы) и буферные зоны [Fig. 1. Distribution of fire foci for 1984-2021 and their density (units/10 km²). The boundaries of the reserve area (mineralized strip) and buffer zones]

Общие сведения о сформированной базе данных

Исходя из вышеизложенных принципов была составлена схема расположения очагов возгораний (рис. 1), обобщающая информацию за максимально возможный временной период (1984-2021).

Выявлено, что из общего числа гарей (435) пожары, возникшие на рассматриваемой территории, составляют подавляющее большинство (406, или 93 %), исходя из чего именно это количество принималось к расчетам и анализу.

В качестве первичного этапа определена дифференциация территории по плотности очагов возгорания (см. рис. 1), давшая общее представление об их локализации и характеру распространения. Для дальнейших расчетов, связанных с оценкой угроз участку заповедника и эффективности противопожарных мероприятий, от минерализо-

ванной полосы отложены буферные зоны по 1 км (в диапазоне 1-5 км), 5 км (в диапазоне 5-10 км) и более 10 км.

Опыт классификации очагов пожаров по предполагаемым источникам возникновения

Важным для понимания причин и предпосылок возникновения пожаров является выяснение возможных источников огня, по объективным причинам подавляющее большинство которых можно определить лишь по косвенным признакам. В этой связи нами были проанализированы особенности расположения и характера группировки очагов пожаров относительно природных и антропогенных объектов. Для этого была привлечена база данных, содержащая геоинформационные слои с информацией о пространственной структуре и характере использования земельных угодий, объектах хозяй-



Рис. 2. Группы очагов пожаров по предполагаемым факторам возникновения пожаров. Условные обозначения: 1 – дорожные; 2 – приречные; 4 – сельскохозяйственные полевые; 5 – неуставленные; 5 – кластеры очагов (А–Г, их краткая характеристика ниже в тексте)

[Fig. 2. Groups of fire foci according to the expected factors of the occurrence of fires. Symbols: 1 – road; 2 – riverine; 4 – agricultural field; 5 – unidentified; 5 – clusters of foci (A–D, their brief description is below in the text)]

ственной, транспортной и селитебной инфраструктуры на рассматриваемой территории.

Выявлено, что из общего числа очагов (406) 118 территориально связаны с грунтовыми и полевыми дорогами, 65 – с долинами рек, 86 расположены на окраинах, либо в пределах пахотных угодий (рис. 2). Значительную часть (137) составляют очаги, которые территориально не привязаны к какому-либо из природных или антропогенных объектов. В соответствии с выделенными группами очагов рассмотрены соответствующие им причины возникновения пожаров.

1. Очаги пожаров, приуроченные к автомобильным грунтовыми и полевым дорогам. Предполагаемыми причинами возникновения пожаров служат неосторожное обращение с огнем (выбрасывание окурков сигарет из проезжающего транспорта) и неисправность тракторной техники (отсутствие пламегасящих устройств). В меньшей степени возгорания вдоль значимых автомобильных дорог могут быть связаны с выкашиванием травы на обочинах, санитарными рубками защитных лесонасаждений (сжигание древесных остатков) и дорожно-транспортными происшествиями.

2. Очаги пожаров, приуроченные к прибрежным пространствам вдоль рек (Урта-Буртя и Бурля). Причины – неосторожное обращение с огнем (разведение костров и мангалов, выбрасывание окурков сигарет и др.) на местах временного отдыха, рыболовства или охоты.

3. Очаги, приуроченные к возделываемым пахотным угодьям – неконтролируемые сельскохозяйственные палы растительной массы, производимые для уничтожения пожнивных остатков на полях, неиспользованных складированных запасов сена и соломы. Очевидно, что это осознанные поджоги, осуществляемые работниками, занятыми сельскохозяйственным производством, для облегчения последующей обработки угодий. Данный источник возгораний в целом редко подтверждается данными дистанционного зондирования в связи с тем, что практически вслед за палами обычно следует предзимняя обработка земли.

4. Очаги неустановленного происхождения, территориально не привязанные к каким-либо природным или антропогенным объектам, с которыми связано осуществление определенного рода человеческой деятельности. Территориально очаги таких пожаров расположены на степных пространствах, в той или иной мере осваиваемых как пастбищные угодья. К источникам огня можно отнести разряды молний (к примеру – единственный

зафиксированный очаг на территории участка заповедника), осознанный поджог в целях улучшения кормовых качеств пастбищных угодий, либо при конфликте интересов, неисправность сельхозтехники при проведении сенокосных работ, выбрасывание окурков сигарет местным и приезжим населением и др.

Из специфических поджогов отметим конфликт интересов, связанных с организацией заповедного участка и с действиями государственных инспекторов по предотвращению нарушений природоохранного режима. Зафиксирован поджог травы, связанный с недовольством представителей местного населения потоком отдыхающих в районе мест древних захоронений (окрестности рекреационного участка Тузлуккольские грязи). В числе вероятных причин возгораний нередко упоминаются стекла и пластиковые емкости с жидкостями, выполняющие роль линз. Применительно к залежным землям возможны поджоги с целью сокрытия факта неиспользования сельскохозяйственных угодий от контролирующих органов. В целом не исключаем, что часть возгораний – результат необоснованных хулиганских действий, а также неосторожного обращения с огнем взрослых и детей.

Оценка угроз распространения пожаров на заповедный участок

Исходя из приведенной выше схемы (см. рис. 2), наибольшая частая угроза для участка заповедника исходит от источников, связанных с грунтовыми и полевыми дорогами, проходящими в непосредственной близости от минерализованной полосы. Это, главным образом, грейдер Карагач – Воздвиженка (сектор Г) и полевая дорога, ведущая к скважине с качественной водой в непосредственной близости от заповедника (сектор В). С северо-запада к участку заповедника подходят полевые дороги (ведущие к кордону и далее транзитом на юг), имеющие ответвление на рекреационно-освоенную территорию Тузлуккольских грязей, что в совокупности создает еще один из кластеров (сектор А) – источник постоянных угроз для заповедного участка. Территории, примыкающие к заповеднику с севера и востока, имеют расчлененный рельеф, в который вписаны обрабатываемые и заброшенные пахотные угодья (сектор Б). Труднодоступность для тушения и отсутствие постоянного контроля в совокупности делает эту прилегающую территорию также одной из наиболее опасных.

Анализ количественных показателей распределения всех очагов относительно удаления от заповедного участка свидетельствует об отсутствии ка-

ких-либо отчетливых зависимостей (табл. 1). Около 80 % всех очагов находятся на расстоянии более 5 км от минерализованной полосы. В пересчете на плотность значения по буферным зонам становятся достаточно однотипными без какой-либо явной закономерности, в среднем – 0,34 очага на 1 км².

Это свидетельствует о том, что, несмотря на разнообразие причин возникновения пожаров, ландшафтную и природохозяйственную неоднородность рассматриваемой территории, здесь сложилась достаточно однотипная пирологическая обстановка. По периферии заповедника сформировался специфический земельный фонд с доволь-

но большой долей малоиспользуемых пожароопасных угодий, на фон которого накладываются остатки традиционных элементов транспортной и хозяйственной инфраструктуры.

Следующим шагом стало проведение выборки пожаров (рис. 3), которые представляли угрозу заповедному участку, то есть достигали минерализованной полосы и ограничивали дальнейшее распространение (3 Б), либо пересекали ее, распространяясь на заповедную территорию (3 А). Естественно, что во всех случаях проводились мероприятия по тушению пожаров общими силами пожарных подразделений МЧС, добровольных

Таблица 1

Основные показатели распределения очагов пожаров в буферных зонах заповедного участка [Table 1. The main indicators of the distribution of fires in the buffer zones of the protected area]

	Кол-во очагов, шт. / Number of fire foci, pcs.	Площадь, км ² / Area, km ²	Плотность очагов, шт./1 км ² / The density of fire foci, pcs./ 1 km ²	Очагов, шт. и %/ Fire foci, pcs. and %	
				пересекших МП*/ crossed MS*	достигших МП*/ reached MS*
Заповедник	1	44,93	0,02	–	–
Буферные зоны 0-5 км	81	229,10	0,35	10 (12,3 %)	10 (12,3 %)
5-10 км	122	389,75	0,31	3 (2,5 %)	6 (4,9 %)
>10 км	202	540,17	0,37	2 (1,0 %)	0

МП – минерализованная полоса [MS – mineralized strip].

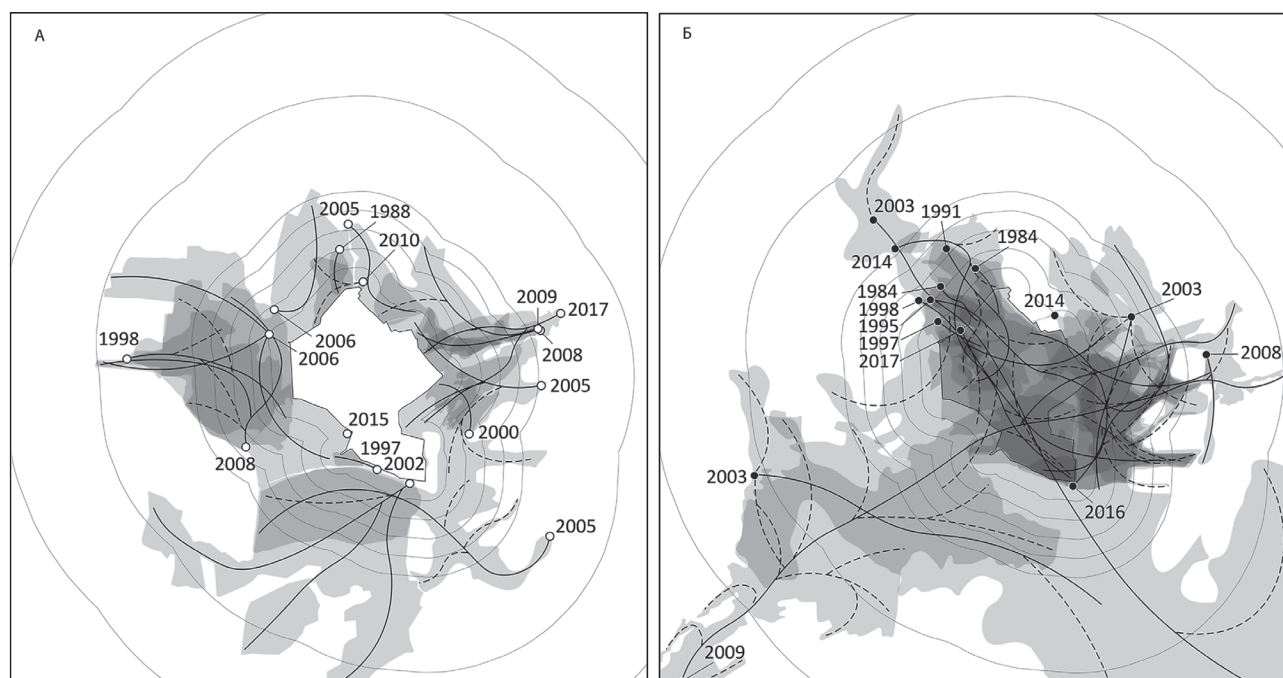


Рис. 3. Очаги, ареалы и основные направления распространения пожаров, представлявших угрозу заповедному участку (А – достигших минерализованной полосы, Б – пересекших ее) [Fig. 3. Fire foci, areas and main directions of the spread of fires that posed a threat to the protected area (A – reached the mineralized strip, B – crossed it)]

дружин, инспекторского и технического состава заповедника и представителями других служб, что вносило коррективы в распространение огня.

Приведенная схема показывает характер локализации мест возгораний и их удаленность от заповедного участка, косвенно – своевременность и действенность мероприятий по тушению пожаров и эффективность противопожарных профилактических мероприятий, в частности – состояние и функциональность минерализованной полосы. Наибольшая частота возгораний, представлявших непо-

средственную угрозу заповеднику, приходится на северо-западный сектор окрестностей заповедника.

Если сгруппировать отображенные выше (см. рис. 3) пожары по среднесрочным временным периодам, то становится заметна общая смена пожароопасных обстановок за рассматриваемый период (1984-2021). Еще более показательны многолетние ряды совмещенных данных по динамике распределения удаленности очагов пожаров от границ заповедного участка, совокупным годовым площадям пожаров и их количеству (рис. 4).

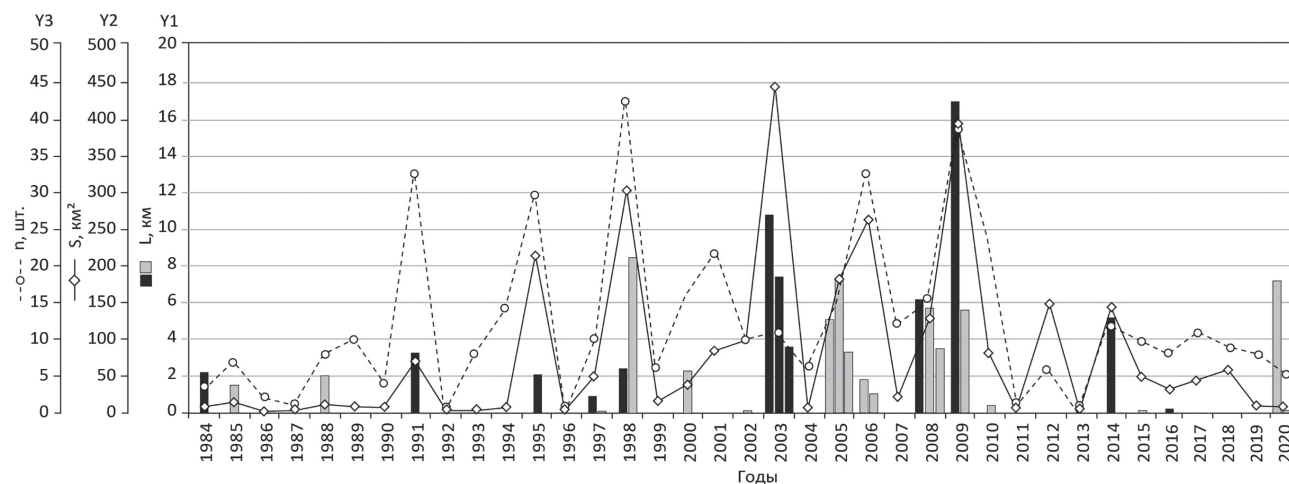


Рис. 4. Динамика распределения удаленности очагов пожаров от минерализованной полосы (Y1) (*серый – минерализованная полоса остановила распространение, черные – не показала эффективности).

Графики совокупных годовых площадей гарей (Y2) и их количества (Y3)

[Fig. 4. Dynamics of the distribution of the remoteness of fire foci from the mineralized band (Y1)

(*gray – the mineralized band stopped the spread, black – did not show effectiveness).

Graphs of the total annual areas of harem (Y2) and their number (Y3)]

Первые 7 лет (1984-1990) характеризуются единичными локальными пожарами, далее (1991-2002) наблюдается тенденция роста количества и площади пожаров с пиковыми значениями в отдельные годы (1991, 1995, 1998). Период 2003-2009 годы для рассматриваемой территории представляет собой наиболее сложный пожароопасный этап в многолетнем аспекте. Таким образом, период 1984-2009 годы, несмотря на высокую межгодовую вариабельность значений, в целом характеризовался активным нарастанием количества возгораний и суммарной площади пожаров за счет аномально высоких значений как в отдельные годы, так и в сериях лет. В контексте данной статьи в этот период происходило постепенное нарастание угроз от пожаров, очаги которых находились на значительном удалении от заповедного участка. Если до 2002 года удаленные очаги пожаров были исключением (всего один в диапазоне 5-10 км), то в 2003-2009 годы границ заповедного участка стали достигать пожары, очаги которых находились на удалении 15 и более километров.

Статистическая теснота взаимосвязей между приведенными на рисунке 4 многолетними рядами данных выглядят следующим образом: коэффициент корреляции (r) между удаленностью очагов пожаров, представлявших угрозу заповеднику (L), и общей площадью пожаров (S) составил значимую величину ($r = 0,82$); а между количеством очагов пожаров (n) и L: $r = 0,52$, между n и S: $r = 0,68$. Таким образом, смена пожароопасных обстановок подтверждается различными взаимообусловленными показателями, в том числе и отражающими характер расположения очагов пожаров.

Наступление периода активизации пожаров мы связываем с негативными тенденциями в сельскохозяйственном производстве, сопровождавшимися сокращением пастбищной нагрузки и формированием фонда неиспользуемых пахотных земель, что в совокупности привело к резкому ухудшению пожароопасной обстановки. Эти же причины активизации пожаров в качестве основных указываются для различных степных и пу-

стынных регионов постсоветского пространства [1, 3, 8, 15, 16, 17].

Сокращение количества пожаров в последние два десятилетия на рассматриваемой территории на данном этапе не поддается логическому объяснению, во всяком случае с позиций пирогенного состояния угодий и растительного покрова в целом. Каких-либо серьезных изменений в сельскохозяйственном производстве за это время также не последовало. Более того, метеорологические условия для Южного Предуралья в отдельные годы (2010, 2012, 2016, 2021) были крайне жаркими и засушливыми (2010 и 2021 – абсолютно аномальными за всю историю метеонаблюдений), но при высочайшем уровне пожарной опасности площади пожаров оставались на уровне среднесезонных значений. Тем не менее, выявленная тенденция снижения пожарной опасности не является частным случаем, а отмечается и в других степных регионах Северной Евразии [4, 5, 14, 15, 16].

Оценка эффективности минерализованной полосы заповедного участка

Определенную практическую ценность носит еще один из аспектов, рассмотренный в данной статье, касающийся оценки функциональности минерализованной полосы участка заповедника «Буртинская степь» и, косвенно, действенности противопожарных мероприятий. Данный раздел напрямую не связан с анализом пространственно-временных особенностей расположения очагов пожаров, тем не менее опосредованно отражает особенности взаимного расположения отдельных сегментов минерализованной полосы относительно устойчивых скоплений очагов пожаров, таким образом – относительно основных направлений развития пожаров, представляющих угрозу заповедному участку.

Противопожарная минерализованная полоса в «Буртинской степи» представляет собой полосу шириной 10 м, созданную вдоль границы заповедного участка, периодически (раз в месяц на протяжении всего пожароопасного периода) очищаемую от растительного покрова механическими средствами (распашка, боронование). Протяженность полосы – 34,0 км. С 2014 года положение части минерализованной полосы смещено в связи со сложностью рельефа (показано пунктирной линией на рисунке 5), что позволило сократить общую протяженность полосы до 32,1 км. Этот новый сектор полосы дважды показал действенность, в 2014 году, не позволив выйти пожару за пределы заповедника, а в 2016 году ограничил распространение пожара в сторону заповедника.

Для выявления эффективности минерализованной полосы было проведено картографическое отображение сегментов полосы: а) остановивших распространение огня в сторону заповедника; б) не оказавших никакого влияния; в) остановивших распространение огня из заповедника на прилегающие территории. Ниже приведены результаты анализа в картографическом и числовом выражении, отражающие особенности распределения сегментов по суммарному количеству пересечений, независимо от направления распространения пожара (рис. 5).

Полученные данные свидетельствуют, что минерализованная полоса в сочетании с противопожарными мероприятиями является относительно действенным способом поддержания заповедного режима. Вместе с тем, остается очередной раз констатировать [3], что существующие нормы по организации минерализованных полос не гарантируют полноценной защиты от проникновения огня на территорию заповедных участков. Причем, следует обратить внимание на сегменты полосы, наиболее часто пересекаемыми пожарами и пространственно соотносящиеся с устойчивыми скоплениями очагов пожаров. Полученные данные можно использовать в качестве обоснования необходимости принятия управленческих решений по организации превентивных мероприятий в прилегающих буферных зонах. На графике (рис. 6) приведены показатели, опосредованно отражающие взаимосвязь между обширностью фронтов пожаров, подходивших и пересекавших минерализованную полосу, и собственно ущербом заповедным экосистемам, выраженным через площадь пожара в пределах заповедника.

Представление данных в многолетнем разрезе дает возможность проследить динамику в особенностях формирования определенных пожароопасных обстановок, а также оценить последствия и экологический ущерб заповедным ландшафтам и биоте. Результаты также фиксируют усиление эффективности комплекса противопожарных мероприятий и собственно пожаротушения; в этом отношении особенно показателен период 2004–2009 годы, когда общий уровень пожарной опасности оставался весьма высоким для рассматриваемой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования был разработан алгоритм оценки пожароопасных обстановок на основе идентификации очагов пожаров и анализа пространственно-временных особенностей их распределения.

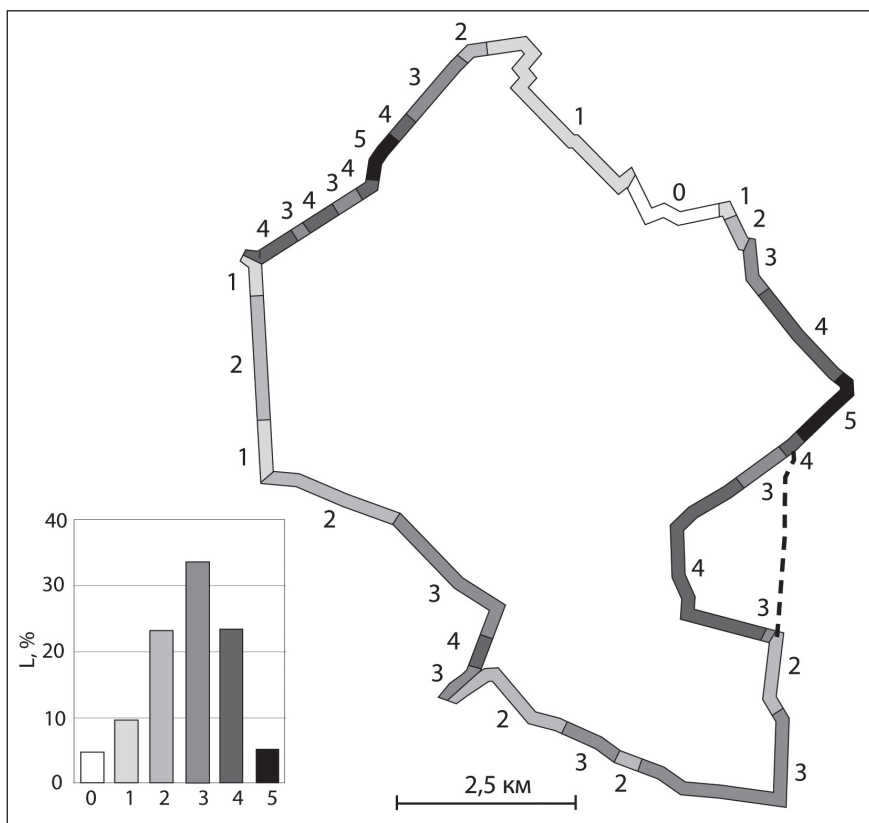


Рис. 5. Схема распределения участков минерализованной полосы с различным количеством пересечений пожарами.

Диаграмма – доли (%) протяженности границы с различным (1–5) количеством пересечения пожарами
 [Fig. 5. Scheme of distribution of sections of a mineralized strip with a different number of intersections by fires.
 Diagram – fractions (%) of the length of the border with different (1-5) number of crossing fires]

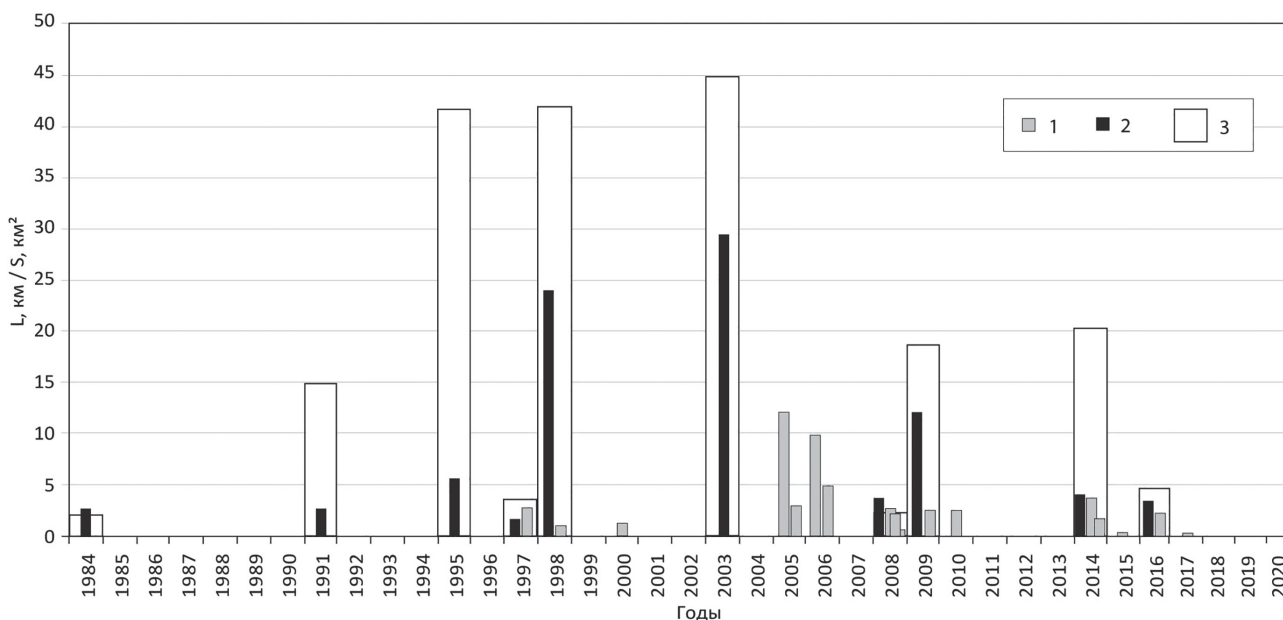


Рис. 6. Динамика распределения протяженности части минерализованной полосы, воспрепятствовавшей распространению пожаров (1) и не показавшей эффективности (2). Площадь сгоревшей территории в пределах заповедного участка (3)

[Fig. 6. Dynamics of the distribution of the length of the part of the mineralized strip that prevented the spread of fires (1) and did not show effectiveness (2). The area of the burned territory within the protected area (3)]

Принципиальной особенностью интерпретации данных об очагах пожаров является возможность получения сведений о возможных причинах возникновения возгораний, направлениях и продолжительности распространения огня, эффективности противопожарных мероприятий. Так, применительно к территории ключевого участка выявлено, что большинство (66 %) очагов пространственно приурочены к тем или иным природным или антропогенным объектам (грунтовые дороги, побережья рек, пахотные угодья и др.) со специфическим набором предполагаемых источников возгораний. При этом районы сосредоточения очагов за рассматриваемый период (1984-2020) оставались практически неизменными, несмотря на наблюдаемые смены уровня развития пожаров. Исключением стало то, что с середины 1990-х годов границ участка заповедника «Оренбургский» стали достигать пожары, возникшие на значительном удалении. Это является доказательством смены пирологической обстановки на фоне активного восстановления растительного покрова вследствие резкого снижения нагрузки на сельскохозяйственные угодья с образованием слабо фрагментированных массивов малоиспользуемых земель. На основе схемы пересечений пожарами минерализованной полосы заповедника определены проблемные участки и установлено усиление эффективности противопожарных мероприятий. Разработанные подходы и методы могут быть полезны при анализе пирогенных угроз и выявлении причин их возникновения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлейчик В. М. К вопросу об активизации степных пожаров (на примере Заволжско-Уральского региона) // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*, 2016, № 3, с. 15-25.
2. Павлейчик В. М. Условия распространения и периодичность возникновения травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // *География и природные ресурсы*, 2017, № 2, с. 56-65.
3. Павлейчик В. М., Сивохиц Ж. Т. Проблемы обеспечения пожарной безопасности участков государственного природного заповедника «Оренбургский» // *Заповедники Оренбуржья в природоохранном каркасе России. Труды ФГБУ «Заповедники Оренбуржья»*, 2019, вып. 2., с. 185-193.
4. 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.
5. Шинкаренко С. С., Иванов Н. М., Берденгалиева А. Н. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // *Nature Conservation Research. Зановедная наука*, 2021, т. 6, № 3, с. 23-44.
6. A MODIS-based burned area assessment for Russian croplands: Mapping requirements and challenges / J. V. Hall, T. A. Loboda, L. Giglio, G. W. McCarty // *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 184, pp. 506-521.
7. Assessing the Influence of Roads on Fire Ignition: Does Land Cover Matter? / C. Ricotta, S. Bajocco, D. Guglietta, M. Conedera // *Fire*, 2018, vol. 1(2), pp. 24.
8. Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // *Ecosystems*, 2011, vol. 14, pp. 547-562.
9. Effectiveness in Mitigating Forest Fire Ignition Sources: A Statistical Study Based on Fire Occurrence Data in China / H. Wang, B. Jin, K. Zhang, et al. // *Fire*, 2022, vol. 5, pp. 215.
10. Identifying location and causality of fire ignition hotspots in a Mediterranean region / J. R. González-Olabarria, L. Brotóns, D. Gritten, et al. // *International Journal of Wildland Fire*, 2012, vol. 21 (7), pp. 905-914.
11. Koutsias N., Kalaboukis K. D., Allgöwer B. Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods // *Natural Resource Modeling*, 2004, vol. 17, pp. 359-375.
12. Landsat Data Distribution Policy, 2008. – URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-data-distribution-policy> (дата обращения: 10.01.2023). Текст – электронный.
13. Multi-year black carbon emissions from cropland burning in the Russian Federation / J. L. McCarty, E. A. Ellicott, V. Romanenkov et al. // *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 63, pp. 223-238.
14. Pavleychik V. M., Chibilev A. A., Padalko Yu. A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia // *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 505, part 2, pp. 591-597.
15. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes / A. Dara, M. Baumann, N. Hölzel, P. Hostert // *Ecosystems*, 2020, № 23 (3). pp. 946-956.
16. Post-Soviet shifts in grazing and fire regimes changed the functional plant community composition on the Eurasian steppe / M. Freitag, J. Kamp, A. Dara, et al. // *Global Change Biology*, 2020, pp. 1-14.
17. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing / M. Dubinin, P. Potapov, A. Lushchekina, V. Radeloff // *Remote Sensing of Environment*, 2010, vol. 114, pp. 1638-1648.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 24.01.2023

Принята к публикации 04.09.2023

Experience in Mapping the Foci of Steppe Fires (Research Methodology and Practical Aspects)

V. M. Pavleichik ✉

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(11, Pionerskaya Str., Orenburg, 46000)*

Abstract: The purpose is to improve the methodology of pyrological research based on the experience of mapping fires foci and interpreting the results obtained.

Materials and methods. Satellite images of Landsat (1984-2021) and MODIS (2000-2021), as well as archives of geospatial data based on them, served as the source materials for the identification of fire foci.

Results and discussion. Based on the author's approaches, a cartographic database was formed, including information about 435 fires foci in the key area for the period 1984-2021. It was determined that the majority (66%) of fires are confined to dirt roads, river valleys, arable land, which made it possible to assume the causes of their occurrence. It was revealed that the period of fire activation (1998-2009) was distinguished by the greater remoteness of the foci from the boundaries of the Orenburg Nature Reserve against the background of a decrease in the load on agricultural land. Cartographic mapping of the number of intersections of the mineralized strip by fires allows to identify the most problematic segments and indicates an increase in the effectiveness of fire-fighting measures.

Conclusions. An algorithm has been developed for assessing fire-hazardous situations based on the identification of fire foci and the analysis of spatial and temporal features of their distribution, which can be recommended for the analysis of pyrogenic threats and identification of the causes of their occurrence.

Key words: fire focus, steppe fire, fire-hazardous situation, Burtinskaya Steppe Site.

Funding: The study was supported by the grant of the Russian National Science Foundation no. 23-27-00134 "Wildfires in the steppe regions of Eurasia as an indicator of natural and socio-economic changes"

For citation: Pavleychik V. M. Experience in Mapping the Foci of Steppe Fires (Research Methodology and Practical Aspects). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2023, no. 3, pp. 13-24. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/13-24>

REFERENCES

1. Pavleychik V. M. K voprosu ob aktivizatsii stepnykh pozharov (na primere Zavolzhsko-Ural'skogo regiona) [On the issue of activation of steppe fires (on the example of the Volga-Ural region)]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2016, no. 3, pp. 15-25. (In Russ.)
2. Pavleychik V. M. Usloviya rasprostraneniya i periodichnost' vozniknoveniya travyanykh pozharov v Zavolzhsko-Ural'skom regione [Conditions of distribution and frequency of occurrence of grass fires in the Volga-Ural region]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2017, no. 2, pp. 56-65. (In Russ.)
3. Pavleychik V. M., Sivokhip Zh. T. Problemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti uchastkov gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Orenburgskiy» [Problems of ensuring fire safety of sites of the Orenburg State Nature Reserve]. *Zapovedniki Orenburzh'ya v prirodookhrannom karkase Rossii. Trudy FGBU «Zapovedniki Orenburzh'ya»*, 2019, vol. 2, pp. 185-193.
4. Shinkarenko S. S., Doroshenko V. V., Berdengalievva A. N. Dinamika ploshchadi garey v zonal'nykh landshaftakh yugo-vostoka evropeyskoy chasti Rossii [Dynamics of the harem area in zonal landscapes of the south-east of the European part of Russia]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2022, vol. 86, no. 1, pp. 122-133. (In Russ.)
5. Shinkarenko S. S., Ivanov N. M., Berdengalievva A. N. Prostranstvenno-vremennaya dinamika vygorevshikh ploshchadey na federal'nykh OOPT yugo-vostoka Evropeyskoy Rossii [Spatio-temporal dynamics of burnt-out areas in federal protected areas of the south-east of European Russia]. *Nature Conservation Research*, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 23-44. (In Russ.)

© Pavleychik V. M., 2023

✉ Vladimir M. Pavleichik, e-mail: vm-pavleichik@gmail.com



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

6. A MODIS-based burned area assessment for Russian croplands: Mapping requirements and challenges / J.V. Hall, T.A. Loboda, L. Giglio, G.W. McCarty. *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 184, pp. 506-521.
 7. Assessing the Influence of Roads on Fire Ignition: Does Land Cover Matter? / C. Ricotta, S. Bajocco, D. Guglietta, M. Conedera. *Fire*, 2018, vol. 1(2), pp. 24.
 8. Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*, 2011, vol. 14, pp. 547-562.
 9. Effectiveness in Mitigating Forest Fire Ignition Sources: A Statistical Study Based on Fire Occurrence Data in China / H. Wang, B. Jin, K. Zhang et al. *Fire*, 2022, vol. 5, pp. 215.
 10. Identifying location and causality of fire ignition hotspots in a Mediterranean region / J.R. González-Olabarria, L. Brotons, D. Gritten, et al. *International Journal of Wildland Fire*, 2012, vol.21(7), pp. 905-914.
 11. Koutsias N., Kalaboukis K.D., Allgöwer B. Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods. *Natural Resource Modeling*, 2004, vol.17, pp. 359-375.
 12. *Landsat Data Distribution Policy, 2008*. URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-data-distribution-policy>(accessed 10.01.2023). – Text: electronic.
 13. Multi-year black carbon emissions from cropland burning in the Russian Federation / J.L. McCarty, E.A. Ellicott, V. Romanenkov et al. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 63, pp. 223-238.
 14. Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 505, part 2, pp. 591-597.
 15. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes / A. Dara, M. Baumann, N. Hölzel, P. Hostert. *Ecosystems*, 2020, №23 (3). pp. 946-956.
 16. Post-Soviet shifts in grazing and fire regimes changed the functional plant community composition on the Eurasian steppe / M. Freitag, J. Kamp, A. Dara et al. *Global Change Biology*, 2020, pp. 1-14.
 17. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing / M. Dubinin, P. Potapov, A. Lushchekina, V. Radeloff. *Remote Sensing of Environment*, 2010, vol. 114, pp. 1638-1648.
- Conflict of interests:** The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received 24.01.2023

Accepted 04.09.2023

Павлейчик Владимир Михайлович
кандидат географических наук, Институт степи УрО
РАН, отдел ландшафтной экологии, ведущий научный
сотрудник, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID:
0000-0002-2846-0442, e-mail: vmpavleychik@gmail.com

Vladimir M. Pavleichik
Cand. Sci. (Geogr.), Institute of Steppe of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Department
of Landscape Ecology, Leading researcher, Orenburg,
Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2846-0442,
e-mail: vmpavleychik@gmail.com