

УДК: 502.57(252.51):614.84:528.88

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-164-177

В. М. Павлейчик¹, Н. Ю. Святоха²

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ В УРАЛО-АЛТАЙСКОМ СЕКТОРЕ СТЕПЕЙ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ MODIS

АННОТАЦИЯ

Развитие природных пожаров в степях Северной Евразии и на смежных территориях имеет внутрирегиональные различия, обусловленные сменой широтно-зональных условий, ландшафтным разнообразием, пространственной структурой и уровнем воздействия сельскохозяйственной деятельности. Одной из слабоизученных в этом отношении территорий является Урало-Алтайский сектор степей на площади 1,18 млн км², или 52 % от всех степей Северной Евразии. Использование глобальных продуктов на основе снимков MODIS — MCD14ML (тепловые аномалии) и MCD64A1 (сгоревшие территории) за 2001–2023 гг. позволило выявить особенности формирования пожарных обстановок. Подтверждена макрорегиональная тенденция к сокращению площадей пожаров; особенно значимым стал спад в средних и южных подзонах степи. Данная тенденция обусловлена повсеместным усилением пастбищной нагрузки на угодья, а для земледельческих регионов — нарастанием фрагментации пространства вновь возделываемыми сельскохозяйственными полями. Отмечается высокая межгодовая вариативность в развитии пожаров, вероятнее всего связанная с разнообразием метеорологических условий пожарной опасности отдельных лет. Выявлено, что по показателям многолетней и внутригодовой динамики пожаров северные степи имеют общие черты с лесостепями, а средние и южные степи — с северными степями. Указанным группировкам природных подзон («пирогенным областям») соответствуют специфические пожарные обстановки, различающиеся условиями пространственного развития пожаров, структурой сельскохозяйственного производства и др. Внутригодовая посуточная динамика пожаров косвенно подтверждает антропогенную причину большинства возгораний. В земледельчески освоенных регионах фиксируется два пика возгораний — в апреле и в сентябре–октябре, соответствующие началу и окончанию сезонных сельскохозяйственных работ. По мере накопления архивов снимков MODIS, содержащих сведения с 2001 г., созданный на их основе ряд глобальных данных о пожарах становится удобным инструментом для выявления особенностей пожарных обстановок на макрорегиональном уровне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: природные пожары, степи Северной Евразии, Урало-Алтайский сектор, многолетняя и внутригодовая динамика

¹ Институт степи Уральского отделения РАН, ул. Пионерская, д. 11, Оренбург, Россия, 460000,
e-mail: vmpavleychik@gmail.com

² ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет, пр-т. Победы, д. 13, Оренбург, Россия, 460018, *e-mail: osugeo@yandex.ru*

Vladimir M. Pavlechik¹, Natalya Yu. Svyatoha²

SPATIOTEMPORAL ASPECTS OF FIRE DEVELOPMENT IN THE URAL-ALTAI SECTOR OF THE STEPPES OF NORTHERN EURASIA BASED ON MODIS DATA

ABSTRACT

The development of wildfires in the steppes of Northern Eurasia and adjacent territories has intra-regional differences due to the change in latitudinal-zonal conditions, landscape diversity, spatial structure and the level of impact of agricultural activities. One of the poorly studied territories in this regard is the Ural-Altai steppe sector on an area of 1.18 million km², or 52 % of all the steppes of Northern Eurasia. The use of global products based on MODIS images — MCD14ML (thermal anomalies) and MCD64A1 (burnt areas) for 2001–2023 allowed us to identify the features of the formation of fire situations. A macro-regional trend towards a reduction in fire areas has been confirmed, with a particularly significant decline in the middle and southern steppe subzones. This trend is due to the widespread increase in pasture load on land, and for agricultural regions, the increasing fragmentation of space by newly cultivated agricultural fields. There is a high interannual variability in the development of fires, most likely related to the variety of meteorological conditions of fire danger in individual years. It has been revealed that according to the long-term and intra-annual dynamics of fires, the northern steppes have common features with the forest-steppes, and the middle and southern steppes with the northern steppes. The specified groupings of natural subzones (“pyrogenic areas”) specific fire situations correspond, differing in the conditions of spatial development of fires and the structure of agricultural production, etc. The intra-annual daily dynamics of fires indirectly confirms the anthropogenic cause of most fires. In the agriculturally developed regions, two peaks of fires are recorded — in April and in September–October, corresponding to the beginning and end of seasonal agricultural work. As the archives of MODIS images containing information from 2001 accumulate, the series of global fire data created on their basis becomes a convenient tool for identifying the features of fire situations at the macro-regional level.

KEYWORDS: natural fires, steppes of Northern Eurasia, Ural-Altai sector, long-term and intra-annual dynamics

ВВЕДЕНИЕ

Развитие природных пожаров в степях Северной Евразии и на смежных территориях имеет региональные отличия, обусловленные сменой широтно-зональных условий, ландшафтным разнообразием и структурой природопользования. Изучению пространственно-временных особенностей развития травяных пожаров в степях, лесостепях и пустынях уделяется особое внимание; получаемые результаты интерпретируются в т. ч. в качестве показателей изменений в природопользовании и в климате [Pavleychik et al., 2022]. Если европейские секторы степей, лесостепей и пустынь относительно хорошо изучены в плане многолетней динамики пожарных обстановок, то Урало-Алтайскому сектору уделено гораздо меньшее внимание.

Рассматриваемая территория охватывает обширное пространство от низкогорий Южного Урала и холмистого массива Мугоджары до предгорий Алтая протяженностью около 1 700 км в широтном направлении и 500–800 км в меридиональном (рис. 1). Общая площадь составляет 2,29 млн км², из которых 1,18 млн км² приходится на подзоны степи,

¹ Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 11, Pionerskaya str., Orenburg, 460000, Russia, e-mail: vmpavleychik@gmail.com

² Orenburg State University, 13, Pobedy ave., Orenburg, 460018, Russia, e-mail: osugeo@yandex.ru

325,66 тыс. км² — на лесостепь, 783,05 тыс. км² — на подзоны пустыни. На Урало-Алтайский сектор степей приходится более половины (52 %) всех степей Северной Евразии. Преобладающая часть степной зоны (91 %) располагается в Республике Казахстан, за исключением Южного Зауралья и частично северной периферии подзоны разнотравно-злаковых степей в составе Российской Федерации.

Наиболее близким по пространственному охвату является исследование [Xu et al., 2021], в котором содержится анализ картографических и числовых данных по многолетней (1997–2016) и сезонной динамике пожаров в разрезе стран Центральной Азии (Казахстан, Киргизия, Туркменистан, Таджикистан). На основе продукта глобального охвата GFED авторами зафиксировано сокращение горимости и высокая вариабельность межгодовых значений с пиками в отдельные годы. По территории, частично охватывающей области Северного Казахстана, проведен ряд работ, посвященных проблематике пожаров в аспекте региональных особенностей в динамике землепользования [Dara et al., 2020; Freitag et al., 2020]; исследование построено на анализе данных по характерным (для выделенных авторами периодов) годам — 1990, 2000, 2015 гг. Крайнюю западную часть рассматриваемого региона (зауральская часть Актюбинской обл.) захватывают работы [Шинкаренко и др., 2021; Shinkarenko et al., 2023], рассматривающие вопросы пространственно-временной динамики пожаров в пределах областей Западного Казахстана и ряда примыкающих к ним областей РФ. Одно из исследований выполнено на основе данных по тепловым аномалиям MODIS, пространственная дифференциация проведена по территориально-административным границам и типам земного покрова (USGS Land Use/Land Cover System) [Шинкаренко и др., 2021]. Авторами отмечаются повсеместные отрицательные тренды горимости, особенно в земледельческих районах. В работе [Shinkarenko et al., 2023] приводится подробный анализ количественных показателей пожаров и подтверждается зависимость горимости от поголовья сельскохозяйственного скота.

В нашем исследовании принята схема дифференциации территории согласно [Pavlychik et al., 2022], главным образом основанная на картографических источниках [Зоны и типы..., 1999; Волкова и др., 2010]. Регион исследования и общий характер распространения пожаров (на примере трех смежных лет) отражены на рис. 1.

Таким образом, рассматриваемый в исследовании крупный географический регион интересен с позиций выявления закономерностей пространственно-временного развития пожаров с учетом его широтно-зональной дифференциации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За источники данных о пожарах принятые архивы глобальных данных на основе MODIS за 2001–2023 гг. — продукты MCD14ML¹ (тепловые аномалии, hotpoints), а также MCD64A1² (сгоревшие территории, burn area). Выборка статистики осуществлялась исходя из приведенной схемы широтно-зональной дифференциации ландшафтов региона (рис. 1).

¹ MCD64A1 — Combined Level 3 Direct Broadcast Burned Area Monthly Global 500m SIN Grid. NASA. Электронный ресурс: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MCD64A1> (дата обращения 05.08.2024)

² FIRMS (Fire Information for Resource Management System). NASA. Электронный ресурс: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire/ (дата обращения 27.01.2024)

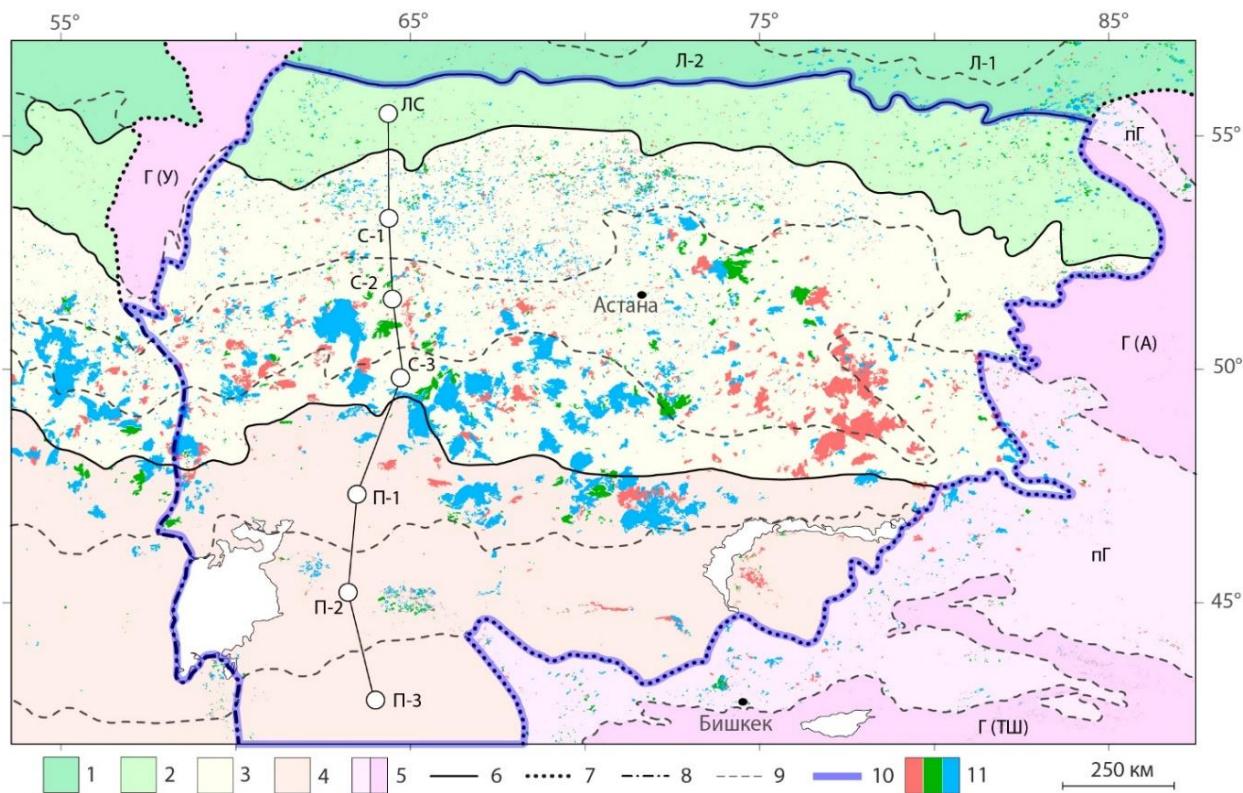


Рис. 1. Район исследования на схеме ботанико-географического районирования.

Характер распространения пожаров на примере 2015–2017 гг.

Fig. 1. The research area according to the scheme of botanical and geographical zoning.
The nature of the spread of fires on the example of 2015–2017

Обозначения

Зоны и подзоны:

- 1 — тайга: южная тайга (Л-1), подтайга (Л-2);
- 2 — лесостепи (ЛС);
- 3 — степи: северные степи (С-1), средние (сухие) степи (С-2), южные (опустыненные) степи (С-3);
- 4 — пустыни: северные пустыни (П-1), средние пустыни (П-2), южные пустыни (П-3).

Области с высотной зональностью:

- 5 — предгорные равнины (пГ), а также горные системы: Урал — Г (У), Алтай — Г (А), Тянь-Шань Г (ТШ).

Границы:

- 6 — природных зон;
- 7 — горных областей;
- 8 — географических секторов;
- 9 — подзон и горных подобластей;
- 10 — Урало-Алтайского широтно-зонального сектора;
- 11 — ареалы пожаров 2015, 2016 и 2017 гг., соответственно.

Legend

Zones and subzones:

- 1 — taiga: southern taiga (Л-1), subtaiga (Л-2);
- 2 — forest-steppes (ЛС);

3 — steppes: northern steppes (C-1), middle (dry) steppes (C-2), southern (desolate) steppes (C-3);

4 — deserts: northern deserts (П-1), middle deserts (П-2), southern deserts (П-3).

Areas with high-altitude zonation:

5 — foothill plains (пГ), and also mountain systems: Ural — Г (У), Altai — Г (А), Tien Shan — Г (ТШ).

Borders:

6 — natural zones;

7 — mountainous regions;

8 — geographical sectors;

9 — subzones and mountain subdistricts;

10 — Ural-Altai latitudinal-zonal sector;

11 — areas of fires in 2015, 2016 and 2017, respectively.

При анализе картографических и числовых данных, полученных на основе вышеуказанных источников, мы исходили из того, что в них заложена неопределенность в аспекте достоверности отображения ареалов гарей (MCD64A1) и в уровне сопоставимости тепловых аномалий (MCD14ML) с площадями пожаров. Сопоставление этих продуктов показало значимые несоответствия в разрезе отдельных подзон (рис. 2). Так, в северных пустынях, средних и южных степях одной тепловой аномалии соответствует гораздо большая (в 6–7 р.) площадь гарей, чем в остальных подзонах. Указанное соотношение фиксируется по среднемноголетним значениям, а также сохраняется и в разрезе отдельных лет. Данная ситуация складывается ввиду различий в пространственно-временном развитии пожаров. Для северных пустынь и средних и южных степей характерными являются крупные пожары, достигающие площади 7,5 тыс. км² и более. Их многодневное распространение отражается последовательной серией тепловых аномалий, фиксирующих дважды в сутки (спутниками Terra и Aqua) положение фронта огня. В северных степях и в лесостепи распространение пожаров, как правило, ограничено в пространстве, в связи с чем наблюдается локализация тепловых аномалий. Этим и обусловлено несоответствие площадей пожаров и количества термоточек в различных подзонах рассматриваемой территории. Корреляционная зависимость по рассматриваемым показателям довольно высока для территории от лесостепей до северных пустынь и варьируется от 0,79 до 0,97, в то время как для южных и средних пустынь незначительна (0,2–0,3).

Общее представление о достоверности продукта MCD64A1, в т. ч. с учетом региональных особенностей рассматриваемой территории, было получено сопоставлением с подготовленными ранее векторными слоями, полученными визуальным дешифрированием ареалов гарей. Оцифровка осуществлена на основе композитных изображений MODIS¹ за годы с различными уровнями горимости (2005, 2010, 2011, 2013, 2017), пространственный охват — Заволжско-Уральский сектор и западная часть Урало-Алтайского сектора. Полученные результаты при vедены в табл. 1.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что оба источника недооценивают площади пожаров. Визуальное дешифрирование по снимкам низкого пространственного разрешения не позволяет достоверно идентифицировать малоплощадные гары, характерные для лесостепи и северной степи. Для крупноплощадных гарей часто отмечается недоучет площади продуктом MCD64A1; наиболее часто такие случаи отмечаются в пределах северной степи, в условиях слабой сомкнутости растительного покрова и малой продуктивности сообществ.

¹ Worldview. NASA. Электронный ресурс: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения 19.05.2024)

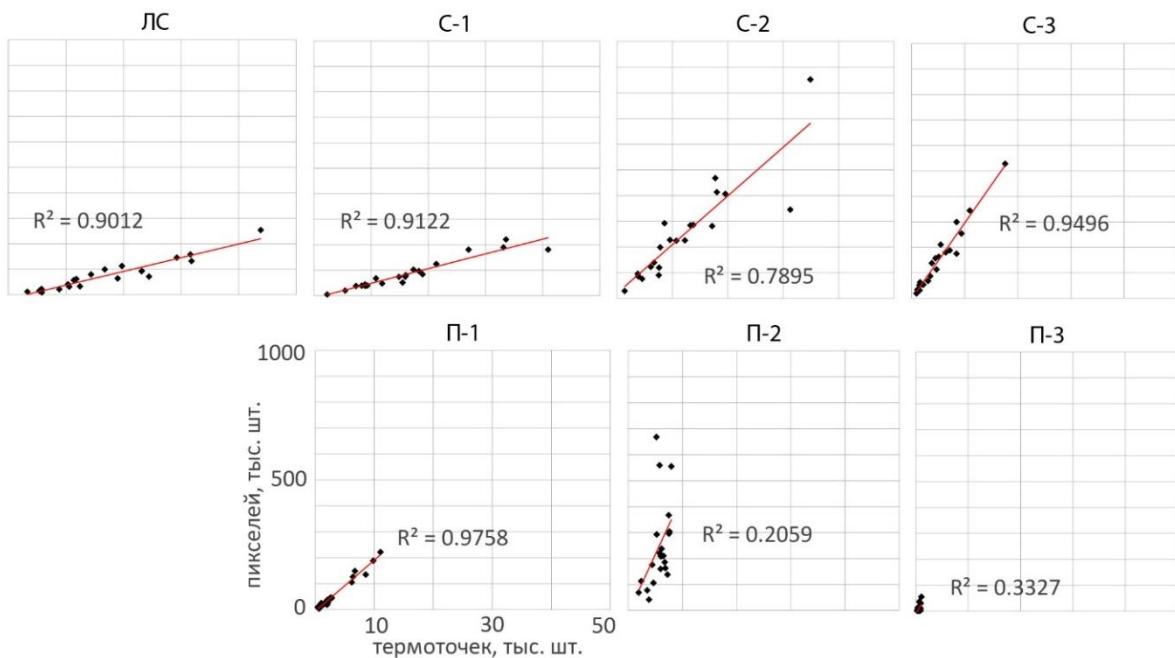


Рис. 2. Графики соотношения многолетних (2001–2023) рядов данных — площади гарей (ось Y, количество пикселей 500x500 м, шт.) и количества тепловых аномалий (ось X, шт.)

Fig. 2. Graphs of the ratio of multi-year (2001–2023) data series — burned area (Y-axis, number of pixels 500x500 m, pcs.) and the number of thermal anomalies (X-axis, pcs.)

Табл. 1. Соотношение (в %) вклада визуального дешифрирования и продукта MCD64A1 в общую идентифицированную площадь гарей по серии лет

Table 1. The ratio (in %) of the contribution of visual decryption and the MCD64A1 product to the total identified burnt area over a series of years

Индекс*	Визуальное дешифрирование		Несовпадение MCD64A1 с визуальным дешифрированием	Достоверность MCD64A1
	несовпадение с MCD64A1	совпадение с MCD64A1		
ЛС	7,5	6,0	86,5	92,6
С-1	17,2	26,5	56,3	82,8
С-2	19,8	60,7	19,4	80,1
С-3	31,4	54,7	13,9	68,6
П-1	29,6	48,1	22,3	70,4
П-2	31,1	17,5	51,3	68,8

*Индексы согласно рис. 1. Цветом выделены ячейки с рядами данных, принятых в расчет условной эффективности продукта MCD64A1

*Indexes according to fig. 1. Color-coded cells with rows of data taken into account for the conditional effectiveness of the MCD64A1 product

В связи с вышеизложенным в фактическом выражении были использованы лишь совокупные годовые значения площади пожаров, достоверность которых принципиально не влияет на характер многолетней динамики. Остальные анализируемые показатели представлены среднемноголетними значениями в разрезе относительно однородных природных подзон.

Для числового отображения наблюдаемых закономерностей и для подтверждения зависимостей использовались стандартные методы статистического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как уже отмечалось, одним из действенных подходов к получению информации об особенностях распространения пожаров является картографическое обобщение многолетней информации, позволяющее сократить вклад объективных недостатков, присутствующих в используемых источниках данных. Совмещением всех ареалов пожаров за 2001–2023 гг. (данные MCD64A1) получена схема, отражающая дифференциацию рассматриваемого региона по степени подверженности пожарам (рис. 3).

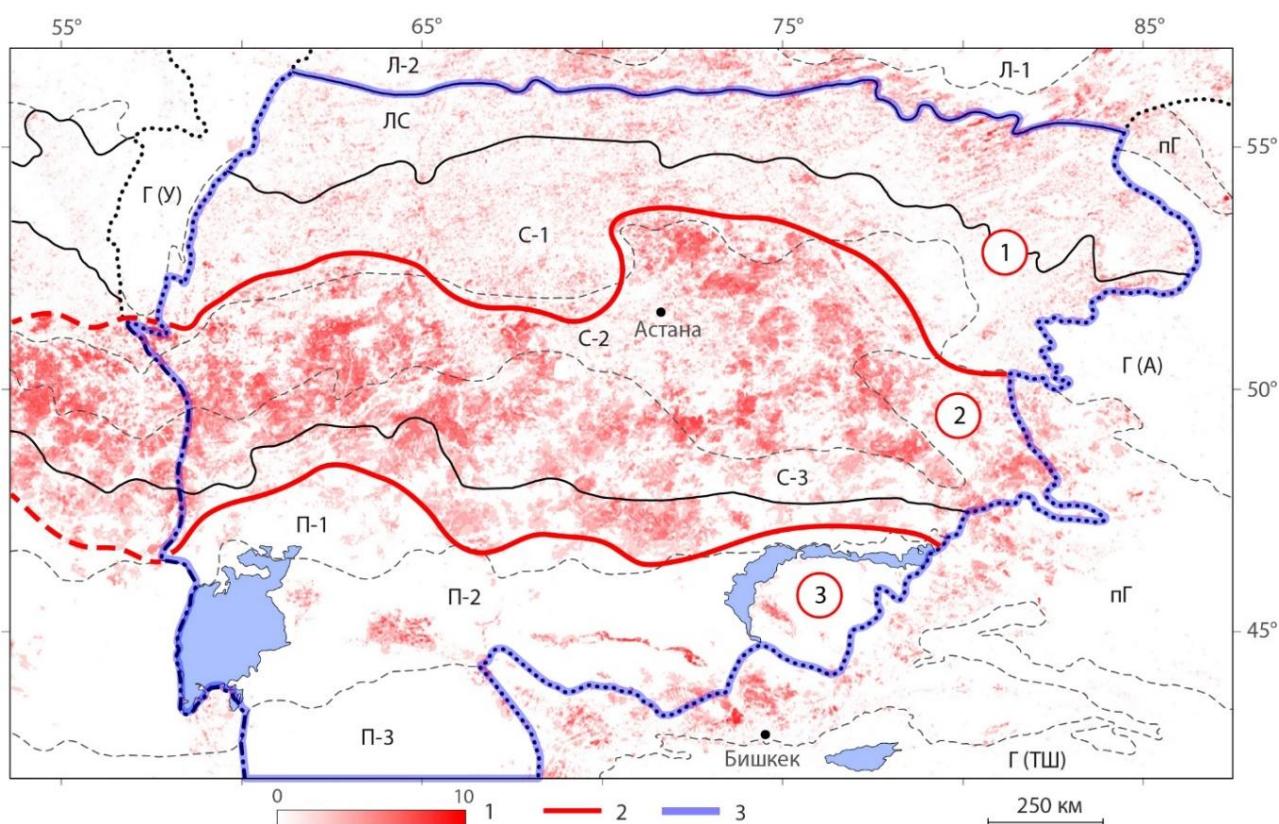


Рис. 3. Совмещенные ареалы пожаров за 2001–2023 гг.: 1 — градиент, отображающий количество пройденных пожаров (от 1 до 10); 2 — границы пирогенных областей (обозначение номеров ниже по тексту); 3 — граница исследуемого региона.

Обозначение широтных подзон и горных подобластей (индексы) согласно рис. 1

Fig. 3. Combined fire ranges for 2001–2023: 1 — gradient indicating the number of fires passed (from 1 to 10); 2 — boundaries of pyrogenic areas (numbers are indicated below); 3 — boundary of the region under study. Designation of latitudinal subzones and mountain subdistricts (indexes) according to Fig. 1

В числовом выражении распределение долей территории природных зон и подзон по количеству совокупных пройденных пожаров за 2001–2023 гг. показано на рис. 4.

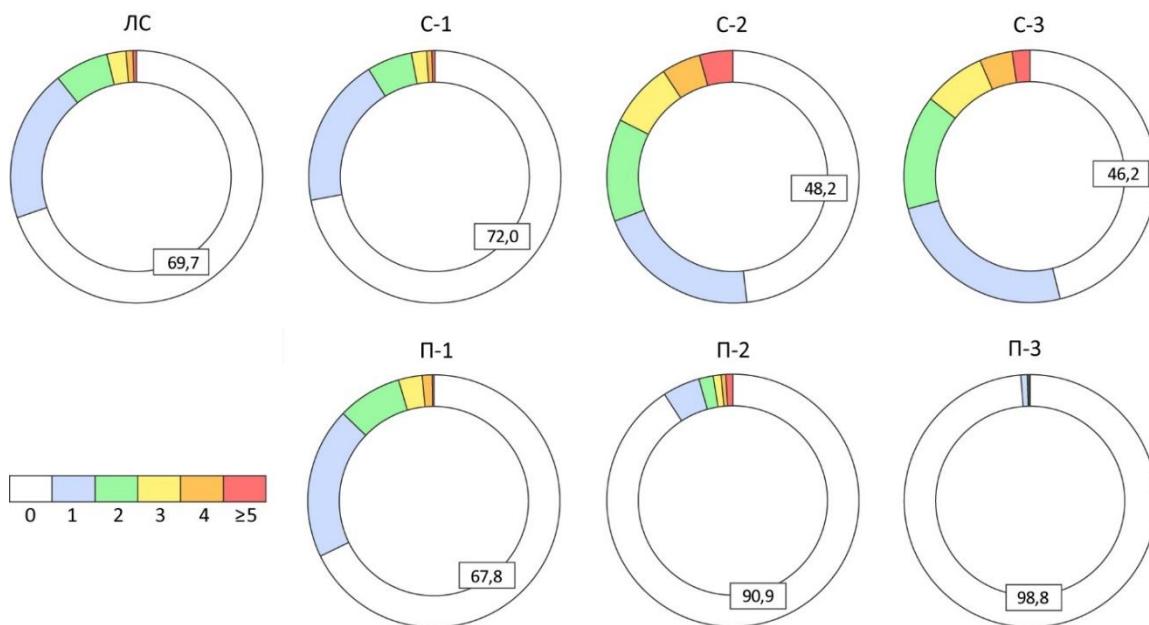


Рис. 4. Распределение долей территории природных зон и подзон (%) по количеству совокупных пройденных пожаров за 2001–2023 гг.

Цветовая шкала обозначает количество пожаров

Fig. 4. Distribution of the shares of the territory of natural zones and subzones (%) by the number of total fires in 2001–2023. Color scale for indicating the number of fires

По полученной схеме можно сделать общие выводы об особенностях пространственной дифференциации пожарных обстановок относительно природных зон и подзон. На рассматриваемой территории достаточно контрастно выделяется как минимум три полосы широтного простирания, которые в дальнейшем изложении условно обозначены как «пирогенные области» (рис. 3):

- 1) Пирогенная область, занимающая северную часть рассматриваемого региона и объединяющая главным образом лесостепи и северные степи. Южная граница области соотносится с южным рубежом зоны устойчивого земледелия и практически на всем протяжении проходит вблизи границы между средними и северными степями. Пожары и сельскохозяйственные палы имеют достаточно равномерное распространение с некоторым увеличением частоты на северной периферии лесостепной подзоны.
- 2) Пирогенная область, объединяющая северные пустыни (частично), средние и южные степи, что отличается повышенным уровнем горимости. Высокий уровень достигается не количественным преобладанием возгораний, а обширностью распространения отдельных пожаров в условиях слабой фрагментированности пространства пахотными угодьями и другими лимитирующими распространение огня природными и антропогенными барьерами.
- 3) Подзоны средней и южной пустынь. Выделяются узко локализованным характером развития пожаров на общем фоне их практически полного отсутствия. Возгорания представлены исключительно сельскохозяйственными палами в земледельчески освоенных районах долин рек Сырдарьи и Чу.

Примечательно, что пространственный характер горимости в пределах каждой из трех пирогенных областей достаточно однотипен, несмотря на довольно разнообразную региональную структуру ландшафтов, определяющих, в свою очередь, состав и продук-

тивность растительных сообществ. С запада на восток ландшафты средних и южных степей Урало-Алтайского сектора представлены чередованием полого-увалистых равнин Зауралья, аккумулятивных равнин Тургая (включая врез Тургайской ложбиной) и холмисто-увалистого массива Казахского мелкосопочника. Последний сопоставим по высотам с Южным Уралом, что предполагает наличие признаков высотной зональности. Северные степи (как и лесостепь) в ландшафтном отношении более однородны, занимая южную периферию равнин Сибири.

В показателях многолетней динамики пожаров природные зоны и подзоны показывают как общие черты, так и значимые различия (рис. 5, табл. 2). Во-первых, заметна высокая вариативность межгодовых показателей, достигающая максимума в северных пустынях. Во-вторых, общим трендом является сокращение площадей пожаров; в то же время значимость линейных трендов существенно различается. Наименьшие изменения отмечаются в средних и южных пустынях в условиях пространственной ограниченности возгораний, а также в лесостепи и в северной степи — в районах устойчивого земледелия. Среди оставшихся подзон наибольшим спадом возгораний отличается средняя степь, в пределах которой находят сочетание пастбищные, сенокосные и пахотные угодья. Отрицательные тренды главным образом обеспечиваются повышенными значениями горимости в первое десятилетие рассматриваемого периода (2001–2010). Особенно это заметно для средних и южных степей.

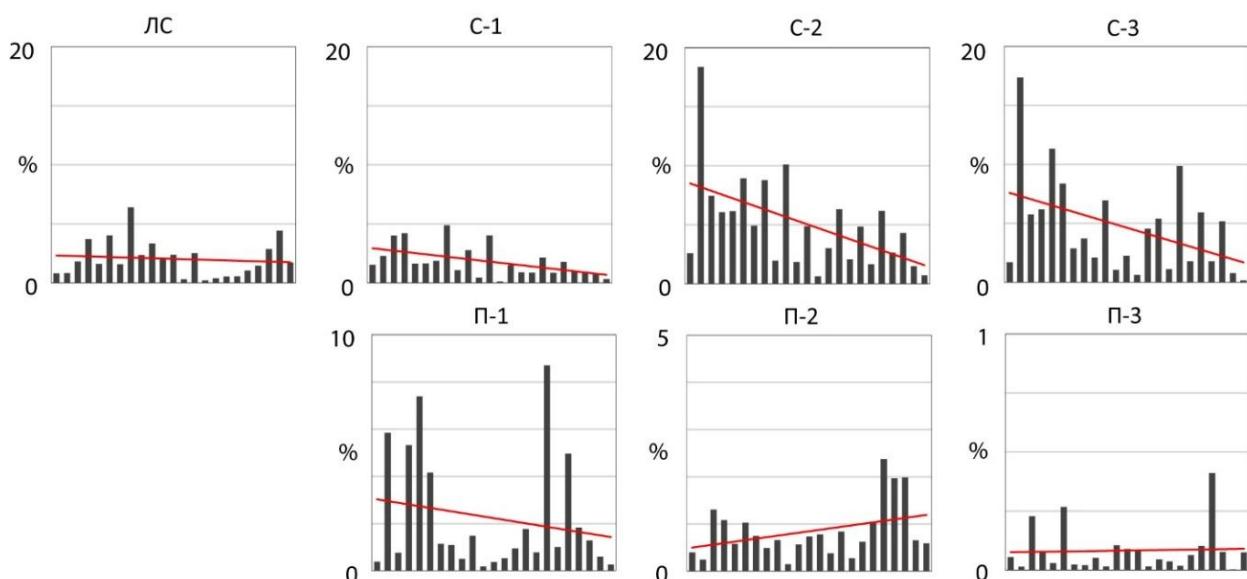


Рис. 5. Многолетняя (2001–2023 гг.) динамика горимости (в % от площади подзон). Линейные тренды

Fig. 5. Long-term (2001–2023) dynamics of the burning rate (in % of the area of the subzones). Linear trends

Основной причиной столь значимых смен пожарных обстановок в степях Северной Евразии является изменение общего состояния, структуры и продуктивности растительных сообществ вслед за изменениями в численности поголовья выпасаемого скота. О данной неоспоримой взаимосвязи неоднократно указывалось в работах [Dubinin et al., 2010; 2011; Dara et al., 2020; Freitag et al., 2020; Pavlychik et al., 2022; Shinkarenko et al., 2023]. Предпосылкой резкой активизации пожаров на рубеже XX и XXI вв. стали кризисные явления в экономике стран бывшего СССР, особенно в сельскохозяйственном производстве, главным образом в животноводстве. За рассматриваемый в данной статье

период в различных странах и регионах отмечаются разнонаправленные тенденции в сельскохозяйственном производстве. В Республике Казахстан, на которую приходится 91 % исследуемой территории, практически во всех отраслях сельского хозяйства в последние два десятилетия наблюдается рост показателей производства, в т. ч. и поголовья скота.

Табл. 2. Основные числовые данные о пожарах в природных зонах и подзонах
Table 2. Basic numerical data on fires in natural areas and subzones

Зона/подзона	Площадь, тыс. км ²	Многолетняя динамика		Коэффициент корреляции*
		коэффициент вариации	линейный тренд	
Лесостепь (ЛС)	325,7	0,76	-0,57	0,69
Северная степь (С-1)	399,9	0,74	-2,25	0,46
Средняя степь (С-2)	455,8	0,79	-6,92	0,60
Южная степь (С-3)	326,9	0,89	-5,89	0,66
Северная пустыня (П-1)	291,6	1,12	-1,60	0,64
Средняя пустыня (П-2)	353,9	0,68	0,69	-0,01
Южная пустыня (П-3)	136,9	0,90	0,01	-0,13

*Корреляция с данными по смежным зонам и подзонам Заволжско-Уральского сектора

Сопоставление данных официальных органов статистики РК¹ по четырем областям (Костанайская, Актюбинская, Северо-Казахстанская и Акмолинская) с полученными многолетними данными о горимости свидетельствуют об устойчивых отрицательных связях между ними. Ввиду высокой межгодовой вариативности площадей пожаров перед сопоставлением их следует усреднить 2–3-летней скользящей. Наиболее универсальным и значимым показателем для всех областей является поголовье овец и коз, с коэффициентами корреляции в пределах 0,7–0,85 (это соотносится с результатами [Shinkarenko et al., 2023] по областям Западного Казахстана); чуть менее значимым является поголовье лошадей.

Стихийное прекращение возделывания пахотных угодий в 1990–2000-х гг. привело к формированию обширных массивов залежных земель [Павлейчик и др., 2024; Brinkert et al., 2016], что обусловило ухудшение пожарной обстановки в традиционных земледельческих и целинных регионах. В последнее десятилетие наблюдается обратный процесс, в связи с чем для северных областей (Костанайская и Северо-Казахстанская) также значимые отрицательные связи демонстрируют посевные площади, не опускаясь ниже 0,8.

Безусловно, немалый вклад в формирование пожарных обстановок вносят климатический фактор и метеорологические условия отдельных лет — как напрямую, через непосредственное влияние физических параметров среды на возможность возникновения и распространения пожаров, так и опосредованно, через запасы растительной фитомассы. Отмечаемые макрорегиональные тенденции в современном климате степей Северной Евразии предполагают все большее благоприятствование развитию пожаров [Павлейчик и др., 2025; Chen et al., 2009]. Неоднократно было отмечено, что уровень пожароопасности (в метеорологическом плане) слабо коррелируется с показателями развития пожаров как в глобальных исследованиях [Archibald et al., 2003], так и непосредственно для степей Северной Евразии и сопредельных территорий [Павлейчик и др., 2025; Dubinin et al., 2011;

¹ Статистика регионов РК. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Электронный ресурс: <https://stat.gov.kz/ru/region/> (дата обращения 10.02.2025)

Shinkarenko et al., 2023]. При этом указывается [Павлейчик и др., 2025], что Урало-Алтайский сектор в последние 30 лет в меньшей степени подвержен нарастанию средних температур за пожароопасный период, чем располагающиеся от него к западу. Во внутригодовом аспекте рост температур отмечается практически во все месяцы теплого периода (кроме октября) с максимумами в апреле и августе.

Графики посutoчного распределения тепловых аномалий (рис. 6) отражают сезонность в развитии пожаров, обусловленную сочетанием природных и антропогенных факторов. Обратим внимание, что в земледельчески освоенных районах фиксируется (как правило, но не всегда в разрезе отдельных лет) два пика возгораний в году — в апреле и в сентябре-октябре, соответствующие началу и окончанию сезонных сельскохозяйственных работ на полях.

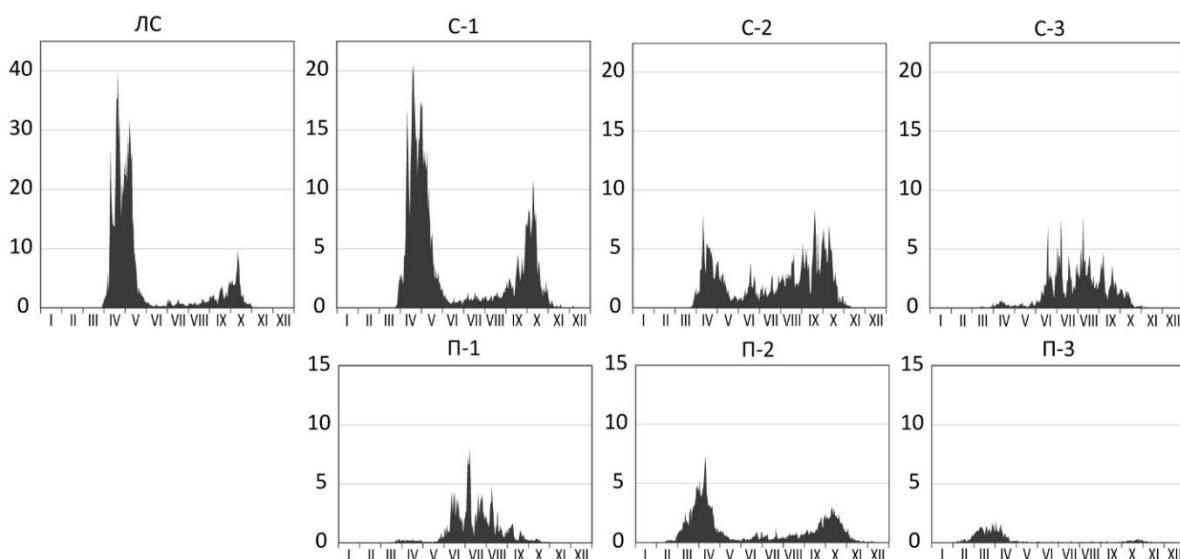


Рис. 6. Внутригодовое посutoчное распределение плотности тепловых аномалий (количество тепловых аномалий за 2001–2021 гг. в пересчете на 1 тыс. км²) по природным зонам и подзонам

Fig. 6. Intra-annual daily distribution of the density of thermal anomalies (the number of thermal anomalies for 2001–2021 in terms of 1 thousand km²) by natural zones and subzones

По рассмотренным многолетним и внутригодовым рядам данных заметна их общность для выделенных выше пирогенных областей. На уровне природных подзон также фиксируется достаточно тесная взаимосвязь по многолетней динамике возгораний с подзонами Заволжско-Уральского сектора, примыкающего с запада (табл. 1).

ВЫВОДЫ

По мере накопления архивов снимков MODIS, содержащих сведения с 2001 г., созданные на их основе ряды глобальных данных о пожарах становятся все более применимыми для пирогеографических исследований. Очевидные недостатки, связанные с низким пространственным разрешением исходных снимков и некорректным отображением ареалов гарей, могут быть компенсированы использованием среднемноголетних значений, что в итоге будет отражать достаточно объективную картину пожарных обстановок.

Следует учитывать, что информация, заложенная в продукт MCD14ML (тепловые аномалии), специфична для использования и малопригодна для сравнительного анализа горимости разнородных в плане природопользования территорий.

Урало-Алтайский сектор степей Северной Евразии в совокупности со смежными природными зонами представляет собой эталонный полигон для исследований, связанных с изучением разнообразных аспектов проявления широтной зональности ландшафтов. В аспекте пирогеографических исследований на данной территории отмечается сходство признаков многолетней и внутригодовой динамики пожаров в смежных зонах и подзонах:

- лесостепь и северная степь;
- средняя и южная степь и северная пустыня;
- средняя и южная пустыня.

Выявленное единство пожарных обстановок в перечисленных «пирогенных областях» следует учитывать в дальнейшем при разработке схемы ландшафтно-пирологического районирования.

Тенденции сокращения горимости, наблюдаемые в большинстве природных подзон Урало-Алтайского сектора, обусловлены повсеместным усилением пастьбищной нагрузки, а для земледельческих регионов — нарастанием фрагментации пространства вновь возделываемыми сельскохозяйственными полями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственной темы Института степи УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем».

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out within the framework of the state theme of the Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences No. АААА-А21-121011190016-1 “Problems of steppe nature management in the context of modern challenges: optimizing the interaction of natural and socio-economic systems”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волкова Е. А., Рачковская Е. И., Садвокасов Р. А., Сафонова И. Н., Храмцов Е. Н. Ботанико-географическое районирование. Национальный Атлас Республики Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы. Алматы, 2010. 110 с.

Зоны и типы растительности России и сопредельных территорий. М-б 1:8 000 000. М.: Географический факультет МГУ – СПб.: Ботанический институт им. В. Л. Комарова, 1999.

Павлейчик В. М., Святоха Н. Ю., Сивохин Ж. Т. Залежные земли в аспекте формирования пожарных обстановок в Заволжско-Уральском регионе. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: Географический факультет МГУ, 2024. Т. 30. Ч. 2. С. 236–251. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-236-251.

Павлейчик В. М., Язықбаев Э. Р., Сивохин Ж. Т. Термические условия формирования и реализации пожарных обстановок в степных регионах Северной Евразии. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025. № 1. С. 99–107.

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

Archibald S., Lehmann C., Gomez-Dansd J., Bradstock R. Defining Pyromes and Global Syndromes of Fire Regimes. PNAS, 2003. V. 110. No. 16. P. 6442–6447. DOI: 10.1073/pnas.1 211466110.

Brinkert A., Holzel N., Sidorova T. V., Kamp J. Spontaneous Steppe Restoration on Abandoned Cropland in Kazakhstan: Grazing Affects Successional Pathways. Biodiversity and Conservation, 2016. No. 25. P. 2543–2561. DOI: 10.1007/s10531-015-1020-7.

Chen F., Wang J., Jin L., Zhang Q., Jing L. I., Chen J. Rapid Warming in Mid-Latitude Central Asia for the Past 100 Years. Frontiers of Earth Science in China, 2009. V. 3. P. 42–50.

Dara A., Baumann M., Hözel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Ullrich B., Kuemmerle T. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes. Ecosystems, 2020. V. 23. No. 3. DOI: 10.1007/s10021-019-00447-w.

Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? Ecosystems, 2011. V. 14. P. 547–562.

Dubinin M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing. Remote Sensing of Environment, 2010. V. 114. P. 1638–1648.

Freitag M., Kamp J., Dara A., Kuemmerle T., Sidorova T., Stirnemann I., Velbert F., Hözel N. Post-Soviet Shifts in Grazing and Fire Regimes Changed the Functional Plant Community Composition on the Eurasian Steppe. Global Change Biology, 2020. V. 27. P. 1–14. DOI: 10.1111/GCB.15411.

Pavleychik V. M., Chibilev A. A., Padalko Yu. A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia. Doklady Earth Sciences, 2022. V. 505(2). P. 591–597. DOI:10.1134/S1028334X2208 0141.

Shinkarenko S. S., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V., Naichuk Ya. A. An Analysis of the Dynamics of Areas Affected by Steppe Fires in Western Kazakhstan on the Basis of Earth Remote Sensing Data. Arid Ecosystems, 2023. V. 13. No. 1. P. 29–38. DOI: 10.1134/S2079096 123010122.

Xu Y., Lin Z., Wu C. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan. Remote Sensing, 2021. V. 13. No. 2. P. 313. DOI: 10.3390/rs13020313.

REFERENCES

Archibald S., Lehmann C., Gomez-Dansd J., Bradstock R. Defining Pyromes and Global Syndromes of Fire Regimes. PNAS, 2003. V. 110. No. 16. P. 6442–6447. DOI: 10.1073/pnas.1 211466110.

Brinkert A., Holzel N., Sidorova T. V., Kamp J. Spontaneous Steppe Restoration on Abandoned Cropland in Kazakhstan: Grazing Affects Successional Pathways. Biodiversity and Conservation, 2016. No. 25. P. 2543–2561. DOI: 10.1007/s10531-015-1020-7.

Chen F., Wang J., Jin L., Zhang Q., Jing L. I., Chen J. Rapid Warming in Mid-Latitude Central Asia for the Past 100 Years. Frontiers of Earth Science in China, 2009. V. 3. P. 42–50.

- Dara A., Baumann M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Ullrich B., Kuemmerle T.* Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes. *Ecosystems*, 2020. V. 23. No. 3. DOI: 10.1007/s10021-019-00447-w.
- Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V.* Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*, 2011. V. 14. P. 547–562.
- Dubinin M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V.* Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2010. V. 114. P. 1638–1648.
- Freitag M., Kamp J., Dara A., Kuemmerle T., Sidorova T., Stirnemann I., Velbert F., Hölzel N.* Post-Soviet Shifts in Grazing and Fire Regimes Changed the Functional Plant Community Composition on the Eurasian Steppe. *Global Change Biology*, 2020. V. 27. P. 1–14. DOI: 10.1111/GCB.15411.
- Pavlychik V. M., Chibilev A. A., Padalko Yu. A.* Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia. *Doklady Earth Sciences*, 2022. V. 505(2). P. 591–597. DOI: 10.1134/S1028334X22080141.
- Pavleichik V. M., Svyatokha N. Yu., Sivohip Zh. T.* Fallow Lands in the Aspect of Fire Situations Formation in the Trans-Volga-Ural Region. *InterCarto. InterGIS. Geoinformation Support for the Sustainable Development of Territories*. Moscow: Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University, 2024. V. 30. Part 2. P. 236–251 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-236-251.
- Pavleichik V. M., Yazykbaev E. R., Sivohip Zh. T.* Thermal Conditions of Formation and Implementation of Fire Situations in the Steppe Regions of Northern Eurasia. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2025. No. 1. P. 99–107 (in Russian).
- Shinkarenko S. S., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V., Naichuk Ya. A.* An Analysis of the Dynamics of Areas Affected by Steppe Fires in Western Kazakhstan on the Basis of Earth Remote Sensing Data. *Arid Ecosystems*, 2023. V. 13. No. 1. P. 29–38. DOI: 10.1134/S2079096123010122.
- Shinkarenko S. S., Doroshenko V. V., Berdengalieva A. N., Komarova I. A.* Dynamics of the Burning of Arid Landscapes of Russia and Adjacent Territories According to Data of Detection of Active Combustion. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2021. V. 18. No. 1. P. 149–164 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
- Volkova E. A., Rachkovskaya E. I., Sadvokasov R. A., Safronova I. N., Khramtsov E. N.* Botanical and Geographical Zoning. *National Atlas of the Republic of Kazakhstan*. V. 1. Natural Conditions and Resources. Almaty, 2010. 110 p. (in Russian).
- Xu Y., Lin Z., Wu C.* Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. No. 2. P. 313. DOI: 10.3390/rs13020313.
- Zones and Types of Vegetation of Russia and Adjacent Territories. Scale 1:8 000 000. Moscow: Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University – St. Petersburg: V. L. Komarov Botanical Institute, 1999 (in Russian).