

УДК: 502.57(252.51):614.84

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-423-436

В.М. Павлейчик¹, Ж.Т. Сивохиц², Ю.А. Падалко³

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПИРОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК В СТЕПЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ FIRMS

АННОТАЦИЯ

Травяные пожары характерны для обширного региона Северной Евразии, охватывающего ландшафты степей и прилегающих природных зон. Изучение пространственно-временной неоднородности пожаров дает возможность выявить и оценить ведущие факторы возникновения и распространения пожаров. Особую актуальность пирологические исследования приобретают в связи с негативным влиянием на различные группы степной биоты и качество окружающей среды, отсутствием объективного представления о причинах высокой вариативности показателей развития пожаров. Основной задачей исследования стало выявление региональных особенностей формирования пирологических обстановок в многолетнем и внутригодовом аспектах. В качестве основного источника данных о пожарах и собственно анализируемого параметра был принят глобальный архив тепловых аномалий MCD14ML (FIRMS). Выявлено, что специфической особенностью архива данных FIRMS является возможность фиксации активных возгораний на пахотных угодьях, что практически невозможно осуществить непосредственно по спутниковым снимкам. В связи с этим наибольшая плотность тепловых аномалий отмечается в земледельчески освоенных провинциях (западные секторы степей и сопредельные территории), для которых практика сельскохозяйственных палов остается традиционным способом земледелия. Сопоставление многолетней динамики возгораний на пашнях и на пастбищно-сенокосных угодьях показывает тесную взаимосвязь. Сходные результаты получены в ходе анализа внутригодового (посуточного) распределения тепловых аномалий, максимумы которых приходится на начало проведения и период завершения сельскохозяйственных работ. Это служит косвенным свидетельством того, что причиной значительной части степных пожаров являются бесконтрольные сельскохозяйственные палы. Региональные пирологические обстановки в степях Северной Евразии и на сопредельных территориях имеют сходные черты в многолетней динамике и отражают сложный характер взаимодействия между природными и антропогенными факторами. Понимание современных тенденций в развитии пожаров может способствовать решению проблем управления пожароопасными обстановками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пожары, степные регионы, пирологическая обстановка, тепловые аномалии

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

² Институт степи Уральского отделения РАН, ул. Пионерская, д. 11, Оренбург, Россия, 460000,
e-mail: sivohip@mail.ru

³ Институт степи Уральского отделения РАН, ул. Пионерская, д. 11, Оренбург, Россия, 460000,
e-mail: yapadalko@gmail.com

Vladimir M. Pavleichik¹, Zhanna T. Sivohip², Yuriy A. Padalko³

REGIONAL FEATURES OF THE FORMATION OF PYROLOGICAL ENVIRONMENTS IN THE STEPPES OF NORTHERN EURASIA BASED ON FIRMS DATA

ABSTRACT

Grass fires are characteristic of the vast region of Northern Eurasia, covering the landscapes of the steppes and adjacent natural areas. The study of the spatio-temporal heterogeneity of fires makes it possible to identify and evaluate the leading factors of the occurrence and spread of fires. Pyrological research is of particular relevance due to the negative impact on various groups of steppe biota and the quality of the environment, the lack of an objective understanding of the causes of the high variability of fire development indicators. The main objective of the study was to identify regional features of the formation of pyrologic environments in the long-term and intra-annual aspects. The global archive of thermal anomalies MCD14ML (FIRMS) was adopted as the main source of fire data and the analyzed parameter itself. It is revealed that a specific feature of the FIRMS data archive is the possibility of fixing active fires on arable land, which is almost impossible to carry out directly from satellite images. In this regard, the greatest density of thermal anomalies is observed in the agriculturally developed provinces (western sectors of the steppes and adjacent territories), for which the practice of agricultural bollards remains a traditional way of farming. A comparison of the long-term dynamics of fires in arable land and pasture-hayfields shows a close relationship. Similar results were obtained during the analysis of the intra-annual (daily) distribution of thermal anomalies, the peaks of which occur at the beginning and the period of completion of agricultural work. This serves as indirect evidence that uncontrolled agricultural fires are the cause of a significant part of steppe fires. Regional pyrological conditions in the steppes of Northern Eurasia and adjacent territories have similar features in long-term dynamics and reflect the complex nature of the interaction between natural and anthropogenic factors. Understanding current trends in the development of fires can contribute to solving the problems of managing fire-hazardous situations.

KEYWORDS: fires, steppe regions, pyrological situation, thermal anomalies

ВВЕДЕНИЕ

Предписанные (контролируемые) выжигания растительности являются достаточно повсеместно развитой практикой природопользования для предотвращения ущерба от пожаров, управления природными территориями и сельскохозяйственными угодьями. Опыту использования предписанных выжиганий в различных географических регионах Земли посвящено множество отечественных и зарубежных работ. Остается констатировать, что мнения сторонников и противников о допустимости применения огня в хозяйственных целях и о роли природных пожаров в целом обычно крайне противоположны, таким образом данный вопрос продолжает быть дискуссионным. Но гораздо более значимый ущерб наносят стихийные возгорания, возникающие по многочисленным причинам (неосторожное обращение с огнем, несоблюдение норм пожарной безопасности,

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 Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 11, Pionerskaya str., Orenburg, 460000, Russia, *e-mail*: sivohip@mail.ru

³ Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 11, Pionerskaya str., Orenburg, 460000, Russia, *e-mail*: yapadalko@gmail.com

воздействие разрядов молний и др.), включая и ситуации, когда хозяйственные палы не сопровождаются достаточным контролем.

Природные пожары, отмечающиеся в большинстве регионов Земли, представляют собой угрозу непосредственной безопасности населения и целостности хозяйственных объектов. Пожары являются одним из наиболее значимых факторов формирования экосистем, нарушающих внутри- и межсистемные взаимосвязи, а также определяющих состояние и динамику биотических компонентов. Все эти виды негативных воздействий и угроз наиболее характерны для регионов с травянистыми биомами, в частности — для степных, лесостепных и пустынных регионов Евразии. При этом травяные пожары, несмотря на невысокую продуктивность растительности, вносят вклад в изменение глобального климата и ухудшение качества окружающей среды, изменяют баланс между депонированием и миграцией углерода [Witham, Manning, 2007; Lin et al., 2012; McCarty et al., 2012]. Применительно к степным регионам Евразии пожароопасная обстановка формируется на фоне столь же неоднозначного отношения к пожарам. С одной стороны, пожары и сельскохозяйственные палы — это фактор, приводящий к уничтожению биоты и продолжительному постпирогенному восстановлению степных экосистем, ухудшающий качество окружающей среды, представляющий угрозу населению и объектам хозяйственной инфраструктуры. С другой стороны, применение огня рассматривается как традиционный элемент природопользования, позволяющий обеспечивать более высокое кормовое качество пастбищ и сенокосов. Сельскохозяйственные палы позволяют облегчить некоторые этапы обработки пахотных земель и уничтожить излишки заготовленной фитомассы.

Во многом исходя из сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов, в определенных географических регионах складываются специфические пирологические обстановки («пиромы» по [Archibald et al., 2003]). Но, как было показано ранее [Pavleichik, Chibilev, 2018; Pavleichik et al., 2022], степень подверженности пожарам в регионах различных уровней может варьироваться в существенных пределах ввиду изменяющихся условий. В связи с вышеизложенным, целью исследования стало выявление региональных особенностей в формировании пирологических обстановок в степях Северной Евразии, в т. ч. и на основе сопоставления результатов с сопредельными территориями. В числе задач оценка масштабов природных возгораний, анализ многолетней и сезонной динамики пожаров, на основе которых в дальнейшем формируется представление о ведущих факторах возникновения и распространения пожаров. Естественно, что пирологические исследования в достаточной степени достоверности возможны лишь на основе применения данных дистанционного зондирования Земли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассматриваемая территория представляет собой обширную полосу, ограниченную меридианами 22° и 87° в. д. и параллелями 57° и 42° с. ш., площадью 7 855 тыс. км². Большая часть территории (порядка 80 %) занята зональными равнинными ландшафтами, ограниченными по периферии (с запада, юга и востока) горными областями и морскими побережьями. Наиболее полный и протяженный (> 3 тыс. км) ряд зональных ландшафтов с преобладанием травянистых экотопов (от лесостепи до южной пустыни) прослеживается в центральном секторе Северной Евразии. Пожары и сельскохозяйственные палы также характерны для аazonальных (предгорья горных областей) и интразональных (долины и дельты рек, мелководья и острова) ландшафтов.

Пирологическая ситуация в рассматриваемом регионе во многом определяется зональной структурой равнинных ландшафтов, главным образом посредством особенностей климата, растительного покрова и специализации сельскохозяйственного производства. Представленная ниже схема (рис. 1) является результатом обобщения

картографических материалов, так или иначе отражающих широтно-зональную и секторальную дифференциацию степей Северной Евразии и сопредельных территорий [Зоны и типы..., 1999; Волкова и др., 2010].

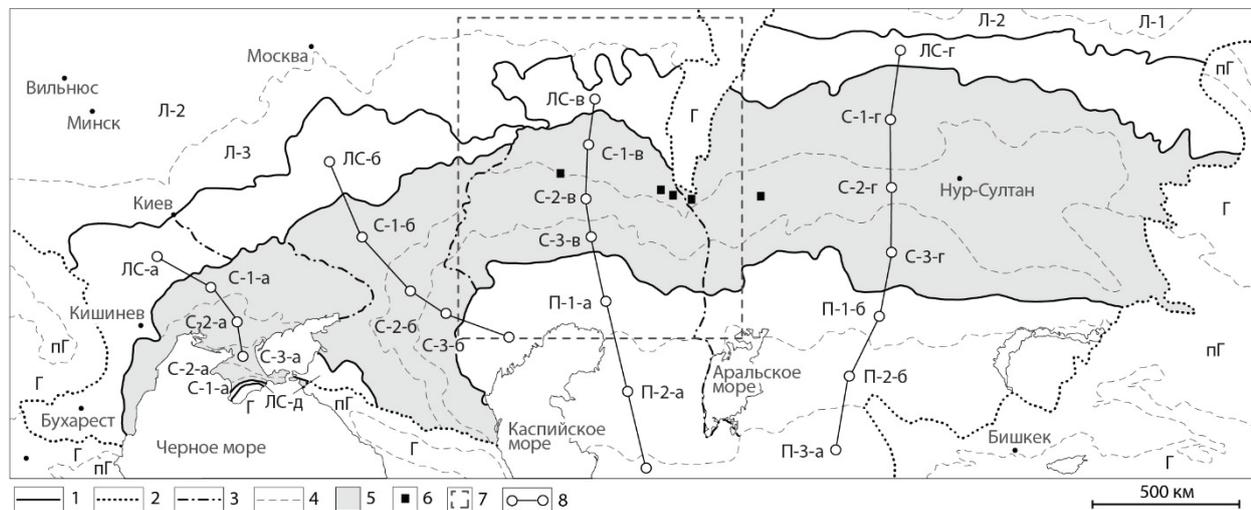


Рис. 1. Схема пространственной дифференциации растительного покрова степей Северной Евразии [Pavleichik et al., 2022]. Границы: 1 — зон; 2 — горных областей; 3 — географических секторов; 4 — подзон и горных подобластей; 5 — степная зона; 6 — ключевые территории, по которым производилось дешифрирование гарей по снимкам Landsat за 1984–2021 гг.; 7 — границы ключевой территории, по которой производилось дешифрирование крупных гарей по снимкам MODIS за 2001–2021 гг.; 8 — линии профилей (к рис. 2). **Зоны и подзоны.** **Зона тайги (Л)** — южная тайга (Л-1); подтайга (Л-2). **Зона широколиственных лесов (ЛШ).** **Лесостепная зона (ЛС).** **Степная зона (С)** — северные степи (С-1); средние (сухие) степи (С-2); южные (опустыненные) степи (С-3). **Пустынная зона (П)** — северные пустыни (П-1); средние пустыни (П-2); южные пустыни (П-3). **Горные области**, включая предгорные (пГ) и горные (Г) подобласти

Fig. 1. Scheme of spatial differentiation of the vegetation cover of the steppes of Northern Eurasia [Pavleichik et al., 2022]. Boundaries: 1 — zones; 2 — mountainous regions; 3 — geographical sectors; 4 — subzones and mountainous subregions; 5 — steppe zone; 6 — key areas, which were used to decipher the fires using the Landsat images in 1984–2021; 7 — boundaries of the key territory, along which large burnt areas were deciphered using the MODIS images in 2001–2021; 8 — lines of profiles (for fig. 2). **Zones and subzones.** **Taiga zone (Л):** southern taiga (Л-1); subtaiga (Л-2). **Deciduous forest zone (ЛШ).** **Forest-steppe zone (ЛС).** **Steppe zone (С):** northern steppes (С-1); mid-latitude (dry) steppes (С-2); southern (deserted) steppes (С-3). **Desert zone (П):** northern deserts (П-1); mid-latitude deserts (П-2); southern deserts (П-3). **Mountain areas**, including foothill (пГ) and mountain (Г) subregions

Данная схема была уже использована нами ранее [Pavleichik et al., 2022] в качестве основы для выявления региональных особенностей развития травяных пожаров, в данной статье ее приводим для сопоставления приводимых ниже графических материалов. Анализ частично приводится сопоставлением двух западных и двух восточных секторов, в числе которых Западно-Причерноморский (ЛС-а → С-1-а → С-2-а → С-3-а), Волго-Донский (ЛС-б → С-1-б → С-2-б → С-3-б → П-1-а), Волго-Уральский (ЛС-в → С-1-в → С-2-в → С-3-в → П-1-а* → П-2-а → П-3-а) и Урало-Алтайский (ЛС-г → С-1-г → С-2-г → С-3-г → П-1-б → П-2-б → П-3-а).

В современных пирологических исследованиях используется несколько способов получения результатов, отражающих пространственно-временные закономерности развития пожаров, основанных на использовании различных источников данных и их интерпретации. Первое — это статистические данные (к примеру¹), предоставляемые ведомствами и содержащие информацию о количестве пожаров, площадях, расходах на охрану, ущербе и др. В числе объективных недостатков — исключительно числовые данные; они предоставляются по субъектам РФ и часто подвергаются критике общественными природоохранными организациями из-за несоответствия фактическим показателям. С развитием космической отрасли, технологий хранения, обработки и интерпретации спутниковых материалов в последнее десятилетие широкое распространение в исследованиях получило использование данных дистанционного зондирования.

Исходя из обширности рассматриваемого региона, в качестве исходных данных по природным возгораниям принят архив данных MCD14ML по тепловым аномалиям (ТА) FIRMS (The Fire Information for Resource Management System) — геоинформационный продукт MCD14ML, созданный Университетом штата Мэриленд и NASA, находящийся в открытом доступе и содержащий информацию с 2000 г. по настоящее время. Данные по ТА используются во многих системах оперативного пожарного мониторинга; в качестве основных исходных данных используются изображения спектрорадиометра MODIS, установленного на космические спутники Terra и Aqua. Нами была осуществлена выборка данных по выделенным природным ареалам (провинциям) в разрезе суточных значений за многолетний период. В ходе предварительных работ исключены из расчета скопления ТА, возникающих от стационарных техногенных источников.

Специфика использования этого массива данных состоит в том, что алгоритмом обработки снимков фиксируются активные на момент съемки очаги и фронты пожаров. В связи с этим возможны пропуски данных, обусловленные: а) моментальностью съемки, связанной с периодичностью (3–4 р./сут) облета спутников; б) кратковременностью и быстротечностью самих травяных пожаров; в) неблагоприятными метеоусловиями (облачность) на момент съемки. Вместе с тем, несмотря на очевидно возникающие несоответствия между фактически выгоревшими территориями (площади гарей, идентифицированные по спутниковым изображениям) и количественными данными по распределению ТА, была выявлена довольно высокая степень сходства этих сравниваемых (фактических и косвенных) параметров за общий период 2001–2021 гг. в разрезе годовых значений. Так, применительно к гарям на ключевых участках [Pavleichik, Chibilev, 2018] и ТА по соответствующим им провинциям значение коэффициента корреляции рядов многолетних данных составило около 0,7. Сходное мнение о возможности использования высказано продукта MCD14ML высказано при сравнении различных источников данных о пожарах применительно к пойменным ландшафтам Нижней Волги [Берденгалиева, 2022]. Это означает, что при всех объективных недостатках массива данных FIRMS, этот источник информации о развитии травяных пожаров является достаточно достоверным и возможным для применения, особенно с учетом практически глобального охвата данными. Немаловажной является возможность получения объективного представления о внутригодовом распределении пожаров, получаемого на основе усреднения многолетних показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По выделенным ландшафтно-ботаническим провинциям сформирована выборка посуточных данных. На первом этапе данные были обобщены в разрезе отдельных лет означенного периода, что позволило в общих чертах оценить многолетнюю динамику

¹ Единая межведомственная информационно-статистическая система. Федеральная служба государственной статистики РФ. Электронный ресурс: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения 15.02.2023).

возгораний, степень сходства и различий для различных географических регионов. Результаты анализа многолетней выборки (в пересчете на среднюю плотность ТА) представлены в виде серии диаграмм (рис. 2).

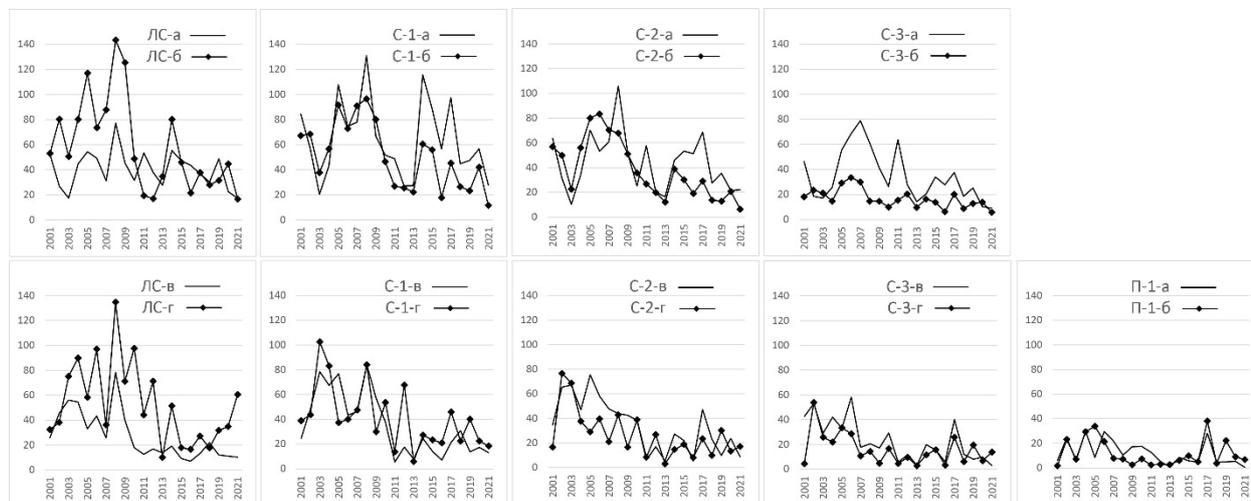


Рис. 2. Многолетняя динамика плотности тепловых аномалий (ось Y, ед./тыс. км²) в ландшафтных секторах и подзонах Северной Евразии. Индексы провинций соответствуют рис. 1

Fig. 2. Long-term dynamics of the density of thermal anomalies (Y axis, units/thous.km²) in landscape sectors and subzones of Northern Eurasia The provincial indexes equals to fig. 1

Данные на диаграммах обобщены исходя из различий, связанных с уровнем сельскохозяйственной освоенности. Верхний ряд образуют староосвоенные сельскохозяйственные регионы (Западно-Причерноморский и Волго-Донский секторы, за исключением пустынь Северного Прикаспия), в которых степные участки в целом малочисленны и занимают островное положение в обширных массивах пахотных земель. Следовательно, возникновение возгораний в подавляющем большинстве случаев связано с проведением сельскохозяйственных палов на пахотных угодьях.

Нижний ряд диаграмм относится к двум обширным восточным секторам (Волго-Уральский и Урало-Алтайский), для которых подчиненность земледельческого освоения широтно-зональной структуре ландшафтов более отчетливо выражена, чем в западных секторах. Пастбищно-сенокосные угодья с условно естественным растительным покровом в лесостепях и в северных степях также занимают островное положение, но их количество и площадные характеристики гораздо более значимы ввиду большей расчлененности рельефа (холмисто-увалистые равнины Общего Сырта и Предуралья, Казахский мелкосопочник), ландшафтно-литогенных особенностей Зауральского пенеплена и аккумулятивных равнин Западной Сибири и Тургая. Южные пределы устойчивого земледелия здесь в целом совпадают с границей между северными и южными степями, хотя в благоприятных условиях пахотнопригодности массивы пахотных земель отмечаются и в средних степях. Таким образом, восточные секторы отличаются сложно-дифференцированными условиями формирования пожароопасных обстановок на фоне широтно-зональной смены ландшафтов и систем природопользования.

Изначально предполагалось, что в условиях значительной протяженности рассматриваемого региона (около 5 тыс. км) в интенсивности и многолетней динамике развития пожаров будут отмечаться региональные особенности, обусловленные сменой погодно-климатических условий по мере нарастания степени континентальности и

изменения характера землепользования. Вместе с тем полученные результаты не показывают принципиальных различий, по крайней мере в многолетнем ряду данных. В целом отмечается серия лет с повышенными показателями возгорания (с 2002–2005 по 2008–2009 гг.), сменяющаяся периодом пониженных значений, до окончания рассматриваемого временного отрезка (2021). Уровень развития пожарных явлений, как правило, отличается синхронным характером для природных зон в годовом и в среднемноголетнем исчислениях, при этом выделяется две фазы: повышенных и пониженных значений (рис. 3).

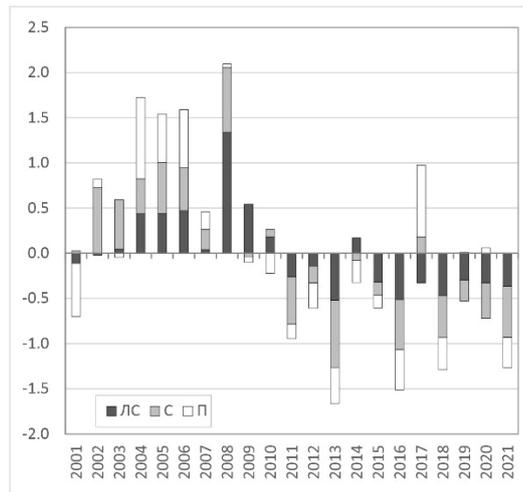


Рис. 3. Распределение модальных значений плотности тепловых аномалий за много-
летний период по природным зонам

Fig. 3. Distribution of modal values of the density of thermal anomalies over a multi-year period
by natural zones

Следует учитывать, что ход обобщенных (от лесостепи до пустынь) данных по секторам определяется значениями по степной зоне, доля которых в среднемноголетнем разрезе варьирует в пределах 60–80 %. Явная схожесть многолетнего ряда для разных секторов косвенно свидетельствует об определенной общности в тенденциях формирования пирогенных обстановок — природных (погодно-климатических) и антропогенных. Вместе с тем для отдельных ландшафтных провинций подобный многолетний ход возгораний не столь очевиден. В лесостепных и пустынных ландшафтах ход значений в целом аналогичен данным по степным регионам, но с менее выраженными межгодовыми амплитудами.

Уменьшение доли площадей, используемых в сельскохозяйственном производстве, и закономерный рост количества возгораний в восточном направлении наиболее отчетливо проявлены лишь при сравнительном анализе северных степей Предуралья и Зауралья. По ТА для природных зон Северной Евразии в целом наблюдается обратная картина с распределением ТА — максимумы значений наблюдаются в крайнем западном секторе во всех подзонах степей, практически полностью занятых пахотными агроландшафтами. Абсолютный максимум по плотности ТА приходится на повсеместно освоенные причерноморские средние степи и сопредельные районы. Таким образом, для степной зоны данные по ТА отразили прямую взаимосвязь между общей освоенностью земельных ресурсов и практикой сжигания пожнивных остатков.

Наличие малоиспользуемых земель слабо влияет на общую статистику в разрезе секторов природных зон и проявляется лишь при сравнении принципиально отличающихся

по использованию территорий. Но и здесь мы находим существенные несоответствия. Так, по результатам дешифрирования гарей по космоснимкам по Заволжско-Уральскому региону было выявлено, что максимально охвачены степными пожарами подзоны средних и опустыненных степей, северных пустынь [Pavleichik et al., 2022]. В северном и южном направлении от этой полосы их количество и площадь резко сокращается; в первом случае — из-за обилия пахотных угодий, во втором — в результате сокращения количества надземной фитомассы и плотности травостоя, а также в целом меньшей освоенности территории. В данных по ТА максимумы сосредоточены в наиболее освоенных природных зонах — лесостепи и северной степи (для трех восточных секторов) и в средней степи для Западно-Причерноморского (крайнего западного) сектора.

Таким образом, определилась важная особенность в использовании и интерпретации данных архива ТА. На определенных стадиях обработки пахотных угодий производителями практикуется выжигание стерневых остатков, практически сразу за которыми следует последующая обработка земли. Вследствие этого факт использования огня и масштабы его распространения возможно зафиксировать в самых общих чертах, наиболее объективно — лишь по активным возгораниям из базы данных ТА FIRMS. Другие источники информации о пожарах, как правило, основаны на принципе идентификации уже сгоревших территорий, в связи с чем не способны фиксировать полевые сельхозпалы. Сопоставление рядов посуточных данных по ТА (MCD14ML) и площадям гарей (MCD64A1) как раз свидетельствует об этих принципиальных различиях. Невысокая периодичность и пространственное разрешение снимков Landsat также не позволяют оценивать такого рода возгорания при экспертном дешифрировании. Данная проблема достоверного учета сельхозпалов на пахотных и залежных угодьях подтверждается современными геоинформационными исследованиями [Hall et al., 2016].

Исходя из полученных результатов следует, что использование архива данных по ТА в целях исследования факторов и динамики пирологической обстановки имеет ограниченное количество решаемых задач либо требует проведения дополнительных геоинформационных исследований. Для разнородных регионов необходимо разграничение данных по условно-естественным степным территориям и пахотным угодьям. Количество ТА, фиксирующих систематическое выжигание растительных остатков на полях (стерня, неиспользованные стога соломы и др.), в совокупности «перевешивает» ТА, образовавшиеся в результате степных пожаров.

Для понимания взаимосвязей между возгораниями на пашнях и на пастбищно-сенокосных угодьях нами было рассчитано распределение плотности ТА по этим типам угодий (рис. 4). В качестве исходного геоинформационного слоя была использована схема пахотных угодий России [Bartalev et al., 2016].

Полученные данные подтверждают, что частота возгораний на пашнях, как правило, существенно выше, чем на пастбищно-сенокосных угодьях. При этом многолетний ход показателя на этих типах сельскохозяйственных угодий практически идентичен. Коэффициент корреляции многолетних рядов данных варьирует от 0,77 до 0,91 для природных зон, которым характерно развитие земледелия, включая предгорные области. Косвенно это свидетельствует о том, что причиной значительной части степных пожаров являются бесконтрольные сельскохозяйственные палы на пашнях. Результаты также свидетельствуют о неравномерности пожарных явлений во времени, обусловленных как природно-климатическими условиями, так и социально-экономическими факторами.

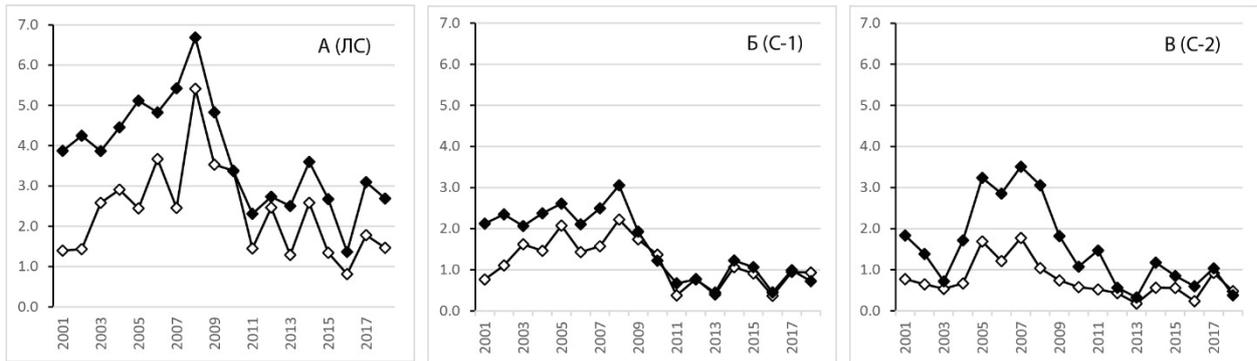


Рис. 4. Многолетнее распределение плотности тепловых аномалий (ось Y, ед./100 км²) на пахотных и пастбищно-сенокосных угодьях в пределах лесостепей (А), северных (Б) и средних (В) степей Северной Евразии (в пределах РФ)

Fig. 4. Long-term distribution of the density of thermal anomalies (Y axis, units /100 km²) on arable and pasture-hay lands within the forest-steppes (A), northern (B) and middle (B) steppes of Northern Eurasia (within the Russian Federation)

Учитывая возможность использования многолетних данных по фактическим гарям 5 ключевых участков Заволжско-Уральского региона (отмечены на рис. 1) [Pavleichik, Chibilev, 2018], проведена их корреляция с рядами данных по ТА. Расположение участков на южной окраине северных степей, преимущественно (4 из 5) в Заволжско-Уральском секторе, приводит к тому, что теснота корреляционных связей практически достигает высокой степени (0,67 с сектором С-1 и 0,69 с С-2). Следовательно, данными по ТА подтверждается, что южная окраина северных степей по характеру пирологической обстановки ближе к прилегающей с юга подзоне средних степей ввиду временного сокращения аграрной освоенности этой части подзоны. Об этом же свидетельствует анализ общности многолетних данных по подзонам и секторам, при этом однотипность сравниваемых данных (ТА) повышает силу связей. Значения коэффициентов корреляции снижаются до слабой степени тесноты лишь при сравнении наиболее удаленных в широтном плане подзон — северных и южных степей. Несколько более слабой является сила связей многолетних рядов данных по Урало-Алтайскому сектору, но все же она остается в пределах среднего диапазона. Таким образом, данные по ТА в первую очередь следует использовать для сравнительного анализа однородных (по степени и характеру освоенности) географических регионов и для выявления многолетней динамики природных зон и подзон.

В аспекте обозначенных выше методологических сложностей в идентификации сельскохозяйственных палов массив данных по ТА предоставляет возможность анализа показателей посуточного распределения возгораний. С учетом выявленной тесноты связей между травяными пожарами и сельхозпалами считаем, что представленные ниже графики (рис. 5) достаточно полноценно отображают региональные особенности формирования внутригодовых пожароопасных ситуаций. Помимо этого, они косвенно свидетельствуют о сельскохозяйственной природе степных пожаров, т. к. по времени соотносятся с периодами проведения сезонных работ. Особенно это относится к весеннему пику, наиболее отчетливо выраженному в земледельчески освоенных провинциях северной степи и западных секторов. Вместе с тем следует учитывать, что ТА MODIS имеют размерность 250–1000 м; по этой причине данные MCD14ML могут завышать площади пожаров при преобладании локальных возгораний [Берденгалиева, 2022]. Такое завышение показателей особенно может проявляться при единовременной многочисленности возгораний, что как раз и

происходит в период между сходом снежного покрова и началом основных сельскохозяйственных работ.

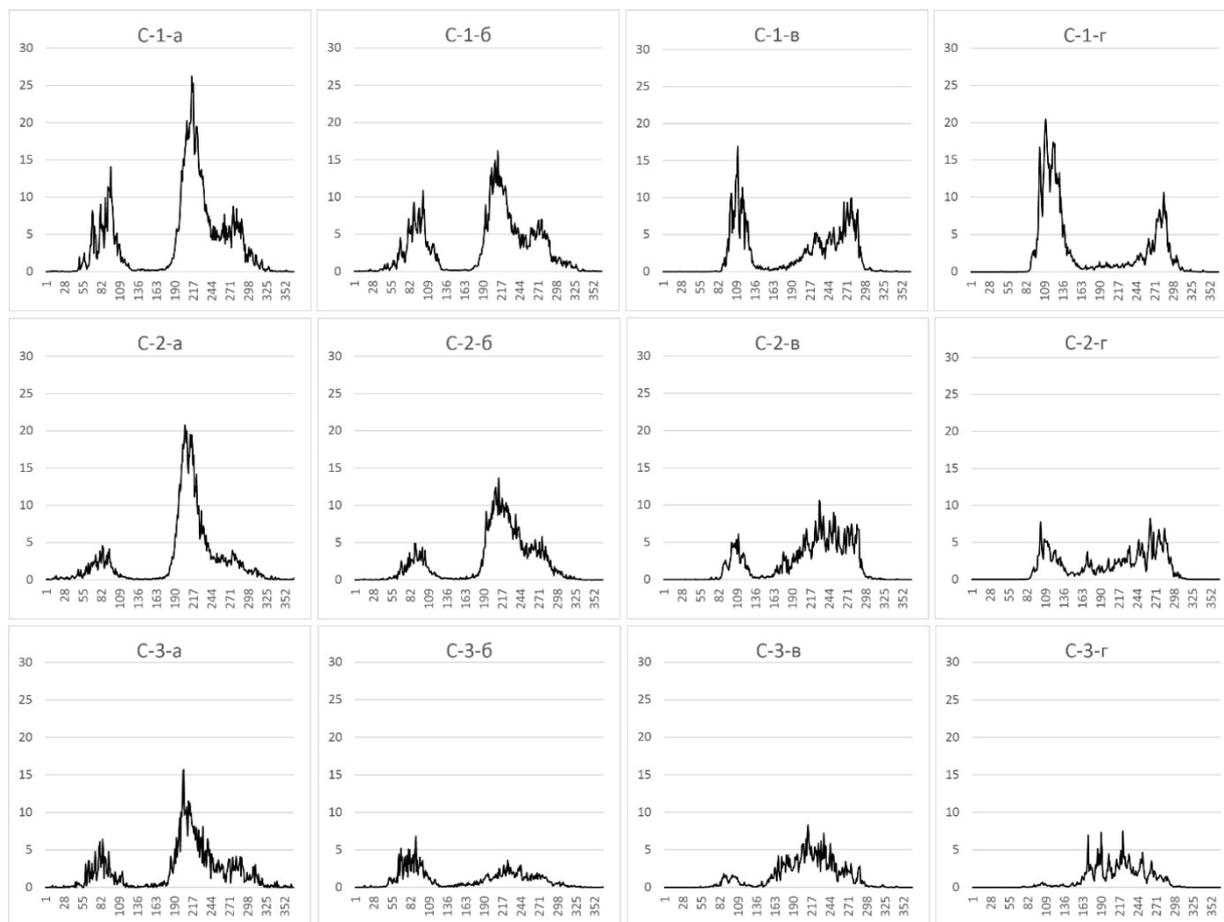


Рис. 5. Посуточный ход плотности тепловых аномалий за 2001–2021 гг. в степных провинциях Северной Евразии. Индексы провинций соответствуют рис. 1. Ось Y — средняя плотность тепловых аномалий (ед./тыс. км²); ось X — последовательность дней в календарном году (от 1 до 365)

Fig. 5. The daily course of the density of thermal anomalies for 2001–2021 in the steppe provinces of Northern Eurasia. The provincial indexes correspond to fig. 1. Y axis is the average density of thermal anomalies (units/thous.km²); X axis is the sequence of days in a calendar year (from 1 to 365)

Вышесказанное относилось к крупным географическим регионам, достаточно однородным в плане структуры ландшафтов и соответствующего им типа природопользования (гл. обр. сельскохозяйственного). Вместе с тем, определенный интерес вызывают особенности формирования пирологической обстановки в азональных и интразональных ландшафтах, имеющих признаки фоновых. В аспекте проблематики нашего исследования были в общих чертах рассмотрены особенности развития тростниковых пожаров в пойменно-дельтовых ландшафтах, а также в травянистых предгорных областях. Относительно пожаров в дельте Волги (в первую очередь) и других рек, впадающих в Каспийское море (Урал, Эмба) заметно явное несоответствие как между собой, так и относительно зональных (фоновых) показателей развития пожаров в соответствующей провинции пустынной зоны. Это несоответствие проявляется как в многолетнем аспекте, так и в сезонном распределении и пространственном развитии, что

свидетельствует о совершенно других причинах возникновения возгораний на фоне последствий регулирования стока водохранилищами [Шинкаренко и др., 2021; 2022]. Предгорные территории в пирологическом отношении интересны с позиций ландшафтной адаптации систем природопользования и сохранения традиционного использования растительных ресурсов в условиях сложно дифференцированного рельефа. На данном этапе исследования прослежена степень согласованности в показателях развития пожаров в многолетнем разрезе между фоновыми и азональными ландшафтами.

При оценке территорий по степени подверженности степным пожарам и другим возгораниям следует исходить не только из средних величин, максимальных и минимальных значений, но и пределов возможных колебаний в последующих многолетних периодах. Масштабы развития пожаров во многом остаются слабо предсказуемыми ввиду многофакторности этого явления, поэтому расчеты числовых показателей могут быть представлены в виде количественной оценки, отвечающей той или иной заданной обеспеченности или повторяемости без указания срока наступления расчетной величины. Для установления статистической закономерности колебания количества возгораний (ТА) был выполнен расчет их повторяемости в разрезе природных зон и построены кривые обеспеченности. Обращает на себя внимание высокая степень корреляции значений относительно линейного тренда для всех рассмотренных рядов. При этом разброс показателей снижается в южном направлении, что свидетельствует о меньшей зависимости от внешних (предположительно погодно-климатических) факторов развития пожаров в южных степях.

ВЫВОДЫ

Массив данных по тепловым аномалиям FIRMS является одним из наиболее распространенных источников информации о природных возгораниях и обширно используется исследователями при изучении отдельных аспектов развития пожаров. Выявленные специфические особенности этого источника информации следует учитывать в методологии подобных исследований. Данные архивы — продукт, подготовленный и используемый системами пожарного мониторинга, в первую очередь для получения оперативной информации о возникновении и распространении пожаров. По объективным причинам эти автоматизированные системы не могут в достаточной степени полно отобразить площади, пройденные пожарами. Вместе с тем интерпретация этих данных позволяет составить представление о региональных особенностях формирования пирологических обстановок для любых географических регионов. Использование этих данных применительно к обширным территориям и для длительных промежутков времени повышает достоверность результатов. Наличие атрибутивной информации по дате и времени каждой ТА делает этот источник данных незаменимым при сопоставлении с другими данными в суточном выражении (в частности, для изучения роли погодных условий). Актуальной остается задача разграничения данных по возгораниям исходя из типов угодий, что позволит получить достоверное представление о предпосылках и закономерностях формирования пирологических обстановок, оценить экологическую значимость пирогенного фактора.

Многолетняя и внутригодовая динамика природных пожаров в различных регионах Земли имеет различную направленность [Archibald et al., 2003; Artes et al., 2019]. Степи Северной Евразии и прилегающие к ней природные зоны отличаются высокой степенью подверженности травяным пожарам. В этом плане особенно выделялся период активизации пожаров, связанный с сокращением сельскохозяйственного производства в странах бывшего СССР и формированием обширных массивов малоиспользуемых земель при сохранении традиционного использования огня для сельскохозяйственных целей [Dubinin

et al., 2011; Pavleichik, Chibilev, 2018; Dara et al., 2020; Freitag et al., 2020]. Все это привело к формированию сложной пирологической обстановки, имеющей негативные экологические последствия. Результаты проведенного исследования показывают, что пирологическая обстановка в рассмотренных природных зонах и секторах отличается региональной спецификой, обусловленной сложной взаимосвязью между природными и антропогенными факторами. Понимание причин активизации пожаров дает возможность поиска и апробации решений для управления пожароопасными обстановками.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23–27–00134 «Природные пожары в степных регионах Евразии как индикатор природных и социально-экономических изменений».

ACKNOWLEDGEMENTS

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”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Берденгалиева А.Н. Анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги по данным информационных продуктов спутникового детектирования активного горения и выгоревших площадей. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 346–358. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-346-358.

Волкова Е.А., Рачковская Е.И., Садвокасов Р.А., Сафронова И.Н., Храмов Е.Н. Ботанико-географическое районирование. Национальный атлас Республики Казахстан. Природные условия и ресурсы. Алматы, 2010. Т. 1. С. 110.

Зоны и типы растительности России и сопредельных территорий. Карта м-ба 1: 8 000 000. М.: Интеграция, 1999. 64 с.

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. DOI: 10.31857/S2587556622010113.

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., Gómez-Dans J., Bradstock R. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. PNAS, 2003. V. 110. No. 16. P. 6442–6447. DOI: 10.1073/pnas.1211466110.

Artes T., Oom D., De Rigo D., Durrant T.H., Maianti P., Liberta G., San-Miguel-Ayanz J. A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behavior. Scientific Data, 2019. V. 296. No. 6. DOI: 10.1038/s41597-019-0312-2.

Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A. Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. Remote Sensing Letters, 2016. V. 7. P. 269–278.

Dara A., Baumann M., Hölzel N., Hostert P. Post-Soviet land-use change affected fire regimes on the Eurasian steppes. Ecosystems, 2020. No. 23. P. 943–956. DOI: 10.1007/s10021-019-00447-w.

- Dubinina 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. DOI: 10.1007/s10021-011-9427-9.
- Freitag M., Kamp J., Dara A., Kuemmerle T., Sidorova T.V., Stirnemann I.A., 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. P. 1–14. DOI: 10.1111/GCB.15411.
- Hall J.V., Loboda T.A., Giglio L., McCarty G.W.* A MODIS-based burned area assessment for Russian croplands: Mapping requirements and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 2016. V. 184. P. 506–521.
- Lin H.W., Jin Y.F., Giglio L., Foley J.A., Randerson J.T.* Evaluating greenhouse gas emissions inventories for agricultural burning using satellite observations of active fires. *Ecological Applications*, 2012. V. 22. P. 1345–1364.
- McCarty J.L., Ellicott E.A., Romanenkov V., Rukhovitch D., Koroleva P.* Multi-year black carbon emissions from cropland burning in the Russian Federation. *Atmospheric Environment*, 2012. V. 63. P. 223–238.
- Pavleichik V.M., Chibilev A.A.* Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts. *Geography and Natural Recourses*, 2018. V. 39. No. 3. P. 212–221. DOI: 10.1134/S1875372818030046.
- Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A.* Pyrological situation in the steppes of Northern Eurasia. *Doklady Earth Sciences*, 2022. V. 505. Part 2. P. 591–597. DOI: 10.1134/S1028334X22080141.
- Witham C., Manning A.* Impacts of Russian biomass burning on UK air quality. *Atmospheric Environment*, 2007. V. 41. P. 8075–8090.

REFERENCES

- Archibald S., Lehmann C., Gómez-Dans J., Bradstocke R.* Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *PNAS*, 2003. V. 110. No. 16. P. 6442–6447. DOI: 10.1073/pnas.1211466110.
- Artes T., Oom D., De Rigo D., Durrant T.H., Maianti P., Liberta G., San-Miguel-Ayanz J.* A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behavior. *Scientific Data*, 2019. V. 296. No. 6. DOI: 10.1038/s41597-019-0312-2.
- Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A.* Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. *Remote Sensing Letters*, 2016. V. 7. P. 269–278.
- Berdengalieva A.N.* Analysis of the Lower Volga floodplain landscapes burning according to active fire and burnt areas satellite data. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference.* Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2022. V. 28. Part 1. P. 346–358 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-346-358.
- Dara A., Baumann M., Hölzel N., Hostert P.* Post-Soviet land-use change affected fire regimes on the Eurasian steppes. *Ecosystems*, 2020. No. 23. P. 943–956. DOI: 10.1007/s10021-019-00447-w.
- Dubinina 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. DOI: 10.1007/s10021-011-9427-9.

Freitag M., Kamp J., Dara A. Kuemmerle T., Sidorova T.V., Stirnemann I.A., 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. P. 1–14. DOI: 10.1111/GCB.15411.

Hall J.V., Loboda T.A., Giglio L., McCarty G.W. A MODIS-based burned area assessment for Russian croplands: Mapping requirements and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 2016. V. 184. P. 506–521.

Lin H.W., Jin Y.F., Giglio L., Foley J.A., Randerson J.T. Evaluating greenhouse gas emissions inventories for agricultural burning using satellite observations of active fires. *Ecological Applications*, 2012. V. 22. P. 1345–1364.

McCarty J.L., Ellicott E.A., Romanenkov V., Rukhovitch D., Koroleva P. Multi-year black carbon emissions from cropland burning in the Russian Federation. *Atmospheric Environment*, 2012. V. 63. P. 223–238.

Pavleichik V.M., Chibilev A.A. Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts. *Geography and Natural Recourses*, 2018. V. 39. No. 3. P. 212–221. DOI: 10.1134/S1875372818030046.

Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological situation in the steppes of Northern Eurasia. *Doklady Earth Sciences*, 2022. V. 505. Part 2. P. 591–597. DOI: 10.1134/S1028334X22080141.

Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N. Burned areas dynamics in zonal landscapes of the south-east of the European part of Russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya (News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series)*, 2022. V. 86. No. 1. P. 122–133 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556622010113.

Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A. Dynamics of arid landscapes burning of Russia and adjacent territories according to active fire data. *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. Natural conditions and resources*. Almaty, 2010. V. 1. P. 110 (in Russian).

Witham C., Manning A. Impacts of Russian biomass burning on UK air quality. *Atmospheric Environment*, 2007. V. 41. P. 8075–8090.

Zones and types of vegetation in Russia and adjacent territories. Map scale 1: 8 000 000. Moscow: Integration, 1999. 64 p. (in Russian).