

**РАЗВИТИЕ ПИРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ
И АНАЛИЗА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

© 2025 г. В.М. Павлейчик

Институт степи Уральского отделения РАН

Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, д. 11. E-mail: vmpavleychik@gmail.com

Поступила в редакцию 25.05.2024. После доработки 30.06.2024. Принята к публикации 01.11.2024.

Природные пожары являются характерным явлением для степей Северной Евразии и угрозой экологической безопасности на региональном и глобальном уровнях. Для понимания причин возникновения возгораний предложена авторская методология картографирования очагов пожаров и последующего анализа данных на примере территории, расположенной в степях Южного Зауралья. Исходными материалами послужили спутниковые снимки Landsat (1984-2021 гг.) и MODIS (2000-2021 гг.), геопространственные данные на их основе, морфометрические признаки гарей и метеорологические сведения на время распространения пожаров. Были идентифицированы 738 очагов пожаров за 1984-2021 гг., рассчитана их плотность, проведена классификация относительно положения к антропогенным и природным объектам. Выявлено, что 51.6% очагов приурочены к слабоосвоенным сельскохозяйственным угодьям (пастбищам, сенокосам и разновозрастным залежам), 21.8% – к автомобильным дорогам, 13.6% – к возделываемым пахотным землям. Резкое усложнение пожарной обстановки отмечается с 1999 г. до настоящего времени, это связано с сокращением сельскохозяйственного производства, восстановлением растительного покрова сбитых пастбищ и дефрагментацией пахотных земель. Региональной особенностью является отсутствие тенденции сокращения пожаров ввиду наступления маловодного периода (2012-2021 гг.), сопровождающегося пересыханием обширных озерных впадин Южного Зауралья и Тургая. Перечисленные факторы послужили причиной более обширного распространения пожаров при сохранении основных мест расположения очагов. Определено, что, несмотря на усложнение пожарной обстановки, с 2005 года повысилась эффективность противопожарных мероприятий, предпринимаемых для охраны заповедного участка «Ащисайская степь». Разработанные подходы к идентификации положения и анализу распределения очагов пожаров могут быть рекомендованы для оценки пирогенных угроз и оптимизации противопожарных мероприятий.

Ключевые слова: очаг пожара, пожароопасная обстановка, угрозы, космоснимки, заповедник, Ащисайская степь.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-1-30-41

EDN: SFPTBY

Пожары характерны для большинства биомов Земли (Archibald et al., 2006) и, как правило, представляют собой угрозу трансформации ландшафтно-биотической структуры территорий, снижению ресурсного потенциала, безопасности жизнедеятельности, а также вносят вклад в ухудшение экологической обстановки и в глобальное изменение климата. Открытие доступа к архиву данных спутниковых изображений Landsat (Landsat data ..., 2008), а также в целом активное развитие космической отрасли, геоинформационных технологий и методов анализа спутниковых изображений стало предпосылкой для становления нового направления в системе наук о Земле – пирогеографии, в основные задачи которой входит выявление пространственно-временных закономерностей развития природных пожаров. Анализ полученных картографических материалов позволяет формулировать выводы по обширному спектру научно-методологических, фундаментальных и прикладных задач. Несмотря на очевидные успехи, достигнутые в последнее десятилетие, многие актуальные аспекты остаются непроработанными. В их числе проблема выявления изначальных мест возникновения пожаров (очагов) и ряд связанных с ними вопросов, включая причины возникновения возгораний.

Научные работы, связанные с выявлением и анализом пространственного распределения очагов пожаров, довольно немногочисленны. Исследованиями охвачены преимущественно европейские страны и их регионы: п-ов Халкидики, Греция (Koutsias et al., 2004), Каталония, Испания (Gonzalez-Olabarria et al., 2012), Австрия (Arndt et al., 2013), юго-восточные регионы Франции (Curt et al., 2016), о.Сардиния, Италия (Ricotta et al., 2018). Крупная научная работы на национальном уровне проведена в Китае (Wang et al., 2022); авторы указывают на сложность получения аналогичных результатов посредством использования ежедневных снимков MODIS. Перечисленные выше работы объединяет то, что объектом исследований являются очаги лесных пожаров, а в методологическом плане они основываются на анализе открытых многолетних баз данных, обобщающих фактические сведения о местах и причинах возникновения пожаров, поступающие от представителей пожарных служб.

Разнообразие пожарных обстановок для степных и пустынных регионов Северной Евразии (природно-зональная принадлежность здесь и далее по тексту дана по «Зоны и типы ...» (1999)) с аридным и семиаридным климатом складывается из сложно учитываемого влияния и взаимодействия природных и антропогенных факторов (Dubinin et al., 2010, 2011; Freitag et al., 2020; Dara et al., 2020; Pavleychik et al., 2022; Shinkarenko et al., 2023). Наиболее значимыми факторами являются: а) пирогенное состояние растительного покрова, формируемое под воздействием хозяйственной деятельности человека и гидротермических условий в период вегетации, а также с учетом сезонной, циклической и многолетней динамики сообществ; б) температурный режим и атмосферное увлажнение, определяющие благоприятность условий для начального возгорания и распространения огня; в) степень освоенности и доступности территории, обуславливающие возможность присутствия человека, как потенциального источника природных возгораний. Предпосылкой пространственной дифференциации пожарных обстановок являются смены (как правило, широтно-зонального плана) структуры растительного покрова, агроклиматического потенциала и почвенных ресурсов, а также обусловленные ими фоновые системы землепользования в сочетании с традициями и навыками использования огня в хозяйственных целях (Павлейчик, 2019; Pavleychik et al., 2022). Добавим, что практика применения сельскохозяйственных палов на возделываемых землях часто является причиной пожаров на сопредельных территориях, а также вносит вклад в трансформацию глобального климата (Hall et al., 2016; McCarty et al., 2012).

В условиях отсутствия специализированных баз данных (аналогичных упомянутым выше) по степным и пустынным регионам России и другим странам Центральной Азии, мы исходим из того, что расположение очагов пожаров само по себе является опосредованным указанием на возможные причины и источники возгораний, а также ценными сведениями для ряда других аспектов пирологических исследований. В частности, на основе сведений об особенностях пространственного распределения очагов возможно: а) выявлять причины неоднородности пожарных обстановок; б) определять направления и протяженность развития огневого фронта, фиксировать благоприятные и лимитирующие факторы распространения; в) оценивать действенность противопожарных мероприятий по степени удаленности очага от какого-либо объекта и многое другое.

Таким образом, основными задачами проведенного исследования является совершенствование методологии картографирования очагов пожаров на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), на основе полученных результатов – выявление региональных особенностей в пространственной локализации очагов, причинах возникновения возгораний, многолетней динамике пожаров, эффективности противопожарных мероприятий.

Материалы и методы

Исследованием охвачена территория площадью 2432.44 км², располагающаяся в переходной зоне между слабодренированными равнинами Южного Зауралья и озерно-аккумулятивными равнинами Тургая. Ландшафты типичной степи характеризуются высокой неоднородностью в связи с развитием солонцовых комплексов, котловин постоянных и пересыхающих озер. В центральной части рассматриваемой территории расположен участок «Ащисайская степь» государственного природного заповедника «Оренбургский», занимающий 72 км² (75.44 км² по минерализованной полосе). Помимо заповедника в территорию исследования попадает особо охраняемая природная территория регионального значения – природный заказник «Светлинский» (92.58 км², из них около 57 км² приходится на озера), созданный для охраны гнездящейся и пролетной орнитофауны.

Озеро Карамола на площади 0.48 км² – памятник природы областного значения. Проведенное исследование частично направлено на решение актуальных проблем заповедного дела. Большая часть рассматриваемой территории (около 95%), расположена в пределах Светлинского района Оренбургской области, занимая, в свою очередь 41% от площади района (5607.58 км²). Статистические данные использованы нами для подтверждения результатов о площади залежных земель, полученных на основе анализа снимков Landsat за 1984-2021 гг., и выявления масштабов сокращения пастбищной нагрузки на степные угодья. Крайняя юго-западная часть территории (около 5% от площади) расположена в пределах Айтекебийского района Актюбинской области Казахстана.

Настоящее исследование является развитием проблематики, связанной с идентификацией очагов пожаров, в нем применены подходы, апробированные применительно к участку в Южном Предуралье (Павлейчик, 2023). Считаем важным отразить принципы и подходы, примененные в исследовании, дополнив общее описание графическим материалом и подробными пояснениями. Соответственно, методологический блок рассматриваем в качестве полноценного результата исследований и приводим в основном разделе статьи.

Результаты и обсуждение

Основные принципы и этапы идентификации положения очагов пожаров. Алгоритм получения картографических данных о расположении очагов пожаров основан на анализе имеющихся в открытом доступе спутниковых изображений. В первую очередь речь идет о продуктах наиболее продолжительной космической миссии Landsat, на основе которых был сформирован архив спутниковых снимков за период 1984-2021 гг. (Earth Explorer ..., 2023). На первом этапе исследований выполнена работа по дешифрированию ареалов гарей, таким образом получены данные о времени и площади распространения пожаров, форме гарей, в совокупном выражении – базовые сведения о смене пожарных обстановок на рассматриваемой территории за многолетний период. Пространственное разрешение исходных спутниковых изображений позволило получить достаточно детальные контуры гарей для последующего анализа их формы и для предварительного определения вариантов расположения очагов. Приведенное ниже изображение (рис. 1А) демонстрирует разнообразие форм и площадей гарей. В данном случае представлена выборка гарей за 6-летний период (2005-2010), за исключением проходящих пожаров (очаги расположены за пределами территории исследования) и переходящих (часть ареала гари находится за пределами рассматриваемой территории). Заметно, что большинство гарей, практически независимо от их площади, имеет вытянутую форму, что в некоторой степени упрощает процесс идентификации расположения очагов. Как правило, распространение пожара сопровождается расширением фронта возгорания, поэтому наиболее удаленные крайние точки таких гарей рассматривались нами как наиболее вероятные места расположения очага. Помимо формы гари одним из диагностических признаков, позволяющим уточнить направление распространения пожара, является языковатый характер границы гари, возникающий при затухании пожаров. Вместе с тем на большей своей протяженности границы гарей имеют линейный характер, что обусловлено достижением фронта огня линейных либо площадных барьеров (автомобильные и железные дороги, сельскохозяйственные поля и др.).

Следующим этапом работ являлось определение направлений развития пожаров, что давало возможность выбрать наиболее подходящие варианты расположения очагов относительно контура гари и локализовать их в пространстве. Поставленные задачи достигались анализом ежедневных снимков MODIS (спутники Terra и Aqua) и геоинформационного продукта MCD14ML по тепловым аномалиям (EOSDIS Worldview, 2023; Fire information ..., 2023) за 2000-2021 гг. Использование снимков MODIS (при условии отсутствия плотной облачности) дает возможность определить направление распространения пожаров по распространяющемуся дымовому шлейфу и по смещению огневого фронта в сериях снимков. Это позволяет верифицировать полученные ранее результаты и исключить возникновение принципиальных ошибок в идентификации очагов пожаров. В частности, снимки Landsat фиксируют ареалы гарей, возникшие за довольно длительный отрезок времени. Поэтому не исключено, что конкретный ареал гари может быть составным из ареалов двух и более разновременных пожаров, очаги которых находятся на значительном удалении друг от друга. Подобный пример приведен на рисунке 1Б. Единый контур, полученный по снимку Landsat,

давал основание предполагать, что пожар возник в крайней западной части гари и далее распространялся в западном-северо-западном направлении, огибая участок заповедника. Ежедневные снимки позволили расчленить изначальный контур и выявить как минимум 4 очага, возникшие в период с 29 сентября по 1 октября 2015 года.

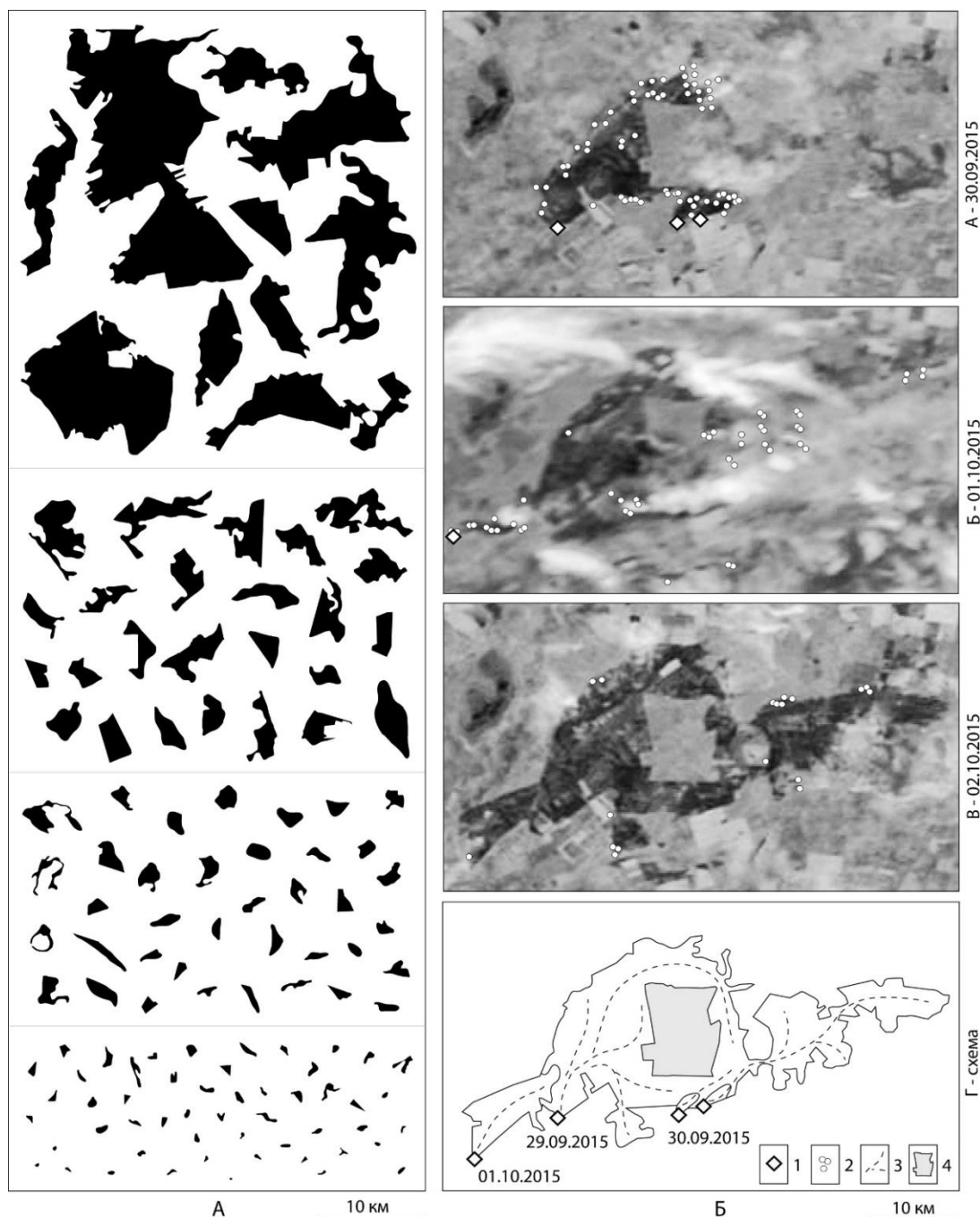


Рис. 1. Первичные диагностические признаки расположения очагов гарей: А – характерные для рассматриваемой территории формы гарей (выборка за 2005-2010 годы за исключением проходящих и переходящих пожаров), Б – многодневное (29.09-02.10.2015) развитие пожара на снимках MODIS (Aqua) и ситуационная схема. Условные обозначения (Г): 1 – очаги пожара, 2 – тепловые аномалии, 3 – направления распространения фронта, 4 – контур заповедного участка.

На финальном этапе для подтверждения, либо опровержения первоначального варианта размещения очагов была учтена информация о преобладающем направлении ветра из открытых

метеорологических архивов (Булыгина и др., 2023) по ближайшей к участку метеостанции (Домбаровский, в 80 км от границы ключевой территории). В ходе идентификации мест расположения очагов пожаров мы исходили из допущения, что генеральное направление распространения пожара в целом соответствует направлению ветра. Следует учитывать, что непременно наблюдаются исключения из данного положения, связанные с рядом факторов, среди которых неоднородность пирогенных качеств растительного покрова, наличие природных и антропогенных барьеров распространения огня, центростремительный характер распространения на начальных стадиях развития пожара и др. Таким образом, очаг пожара далеко не всегда может находиться на границе гари. С учетом пространственного разрешения исходных снимков Landsat и означенной выше объективной невозможности точной локализации очагов пожаров на основе данных дистанционного зондирования предполагаем, что точность их нанесения может составлять около 100-200 м. В аспекте проводимого исследования такая погрешность может считаться допустимой.

Исходя из приведенного выше алгоритма, для рассматриваемой территории были идентифицированы 738 очагов пожаров, отмеченных за 1984-2021 гг. (рис. 2). Часть наблюдавшихся пожаров (28) имела очаги возникновения за пределами территории.

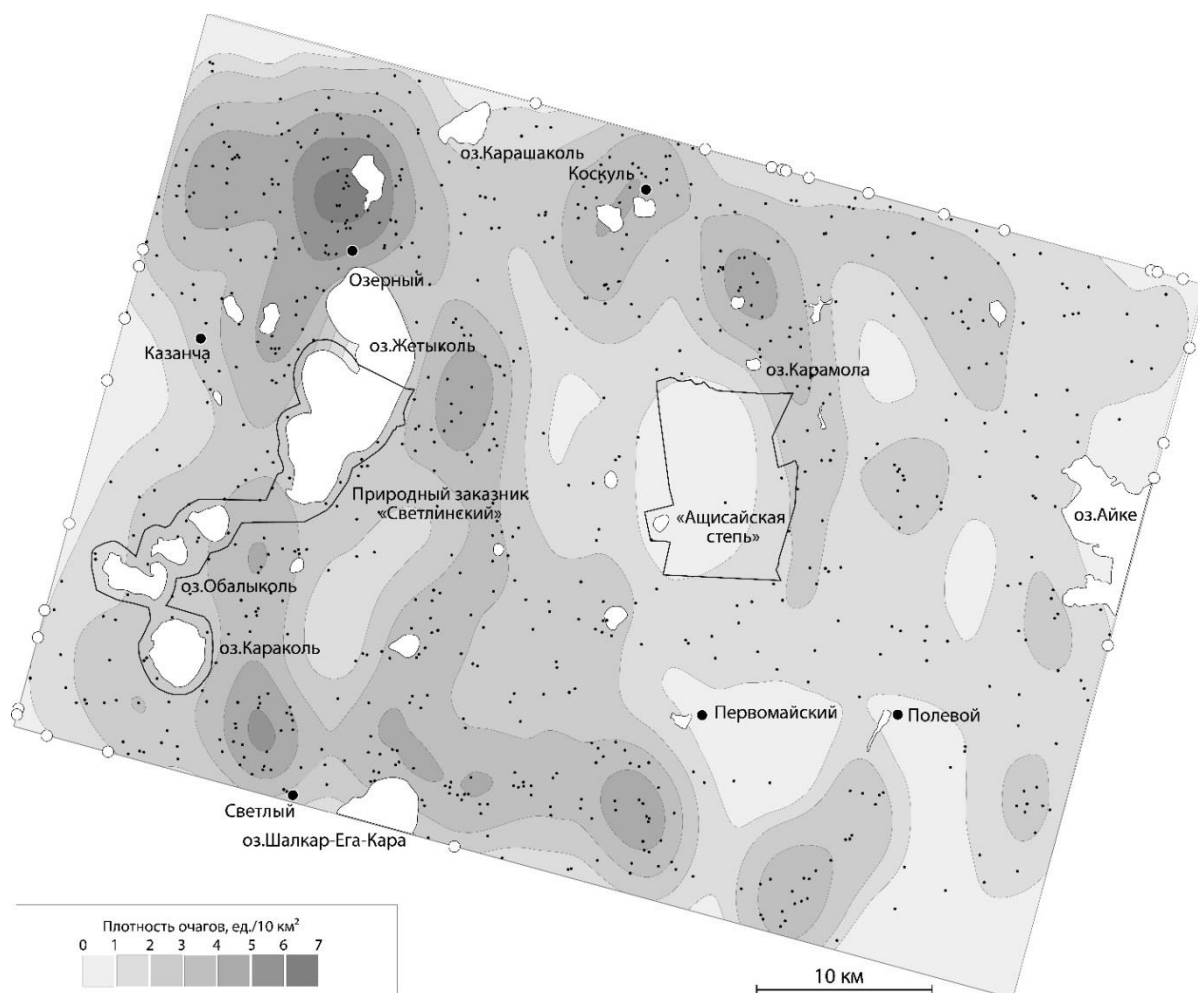


Рис. 2. Распределение очагов пожаров за 1984-2021 годы и их плотность (ед./10 км²) в границах участка «Ащисайская степь» заповедника «Оренбургский» и природного заказника «Светлинский». Условные обозначения: пунсоны вдоль границы участка – направление приходящих пожаров (внешние очаги).

Анализ пространственно-временных данных об очагах пожаров. Приведенная выше картосхема (рис. 2) отражает особенности пространственного распределения очагов пожаров.

Выявлено, что максимальная плотность очагов отмечается на своеобразных узловых участках, в пределах которых сочетается близость крупного населенного пункта, наличие элементов транспортной инфраструктуры и обрабатываемых сельскохозяйственных полей. Таким образом, на подобных участках наиболее полно реализуются пожарные обстановки в связи с максимальной концентрацией населения, случайно, либо осознанно выступающего как потенциальный источник природных возгораний. Такого рода узловых участков на рассматриваемой территории как минимум два: 1) в районе пос. Озерный, на южной границе обширного массива возделываемых земель, расположенного на плоском дренируемом приводораздельном пространстве р. Тобол и бессточной области Светлинских озер; 2) на северной окраине пос. Светлый, на малоиспользуемых угодьях и санитарных зонах горнодобывающих предприятий вблизи транспортных путей. Менее значимые по плотности очагов зоны часто имеют линейное распространение ввиду приуроченности к сети региональных автомобильных дорог, либо оконтуривают массивы пахотных земель. Территории, отличающиеся минимальным наличием очагов пожаров, относятся к землям ООПТ (заповедный участок «Ащисайская степь») и к массивам постоянно возделываемых пашен.

Выявленные черты пространственной неоднородности в распределении очагов пожаров привели к заключению о возможности их классификации по отношению к различного рода природным и антропогенным объектам. Тем самым, мы подошли к одному, практически единственно возможному, варианту действий, позволяющему получить относительно объективное представление о причинах возникновения степных пожаров применительно к рассматриваемой территории. Для выполнения этой задачи была сформирована картографическая основа, содержащая сведения о пространственном расположении природных (озера, реки, элементы эрозионной сети) и антропогенных (населенные пункты, дороги, карьеры, промышленные предприятия) объектов. В дополнение проанализированы пространственная структура и динамика состояния пахотных угодий за соответствующий (1984-2021 гг.) период в качестве одного из ведущих факторов распространения пожаров.

Установлено, что из идентифицированных 743 мест возникновения пожаров 63 связаны с магистральными автомобильными дорогами, 99 – с грунтовыми дорогами, 101 располагается в пределах (часто на границе) пахотных угодий, 191 – в пределах разновозрастных залежей, 77 находятся в непосредственной близости от водных объектов (прибрежная зона озер, постоянных и временных водотоков), 20 – на территории горных отводов карьеров и санитарных зон промышленных предприятий. Количество очагов пожаров, соотносящихся с сенокосными и пастбищными угодьями, составило 192 (рис. 3).

Выделенные по пространственному принципу группы очагов могут служить косвенным свидетельством причин возникновения пожаров:

- автомобильные и железные дороги – выбрасывание непотушенных сигарет, последствия дорожно-транспортных происшествий, отсутствие пламегасящих устройств на тракторной технике;
- пахотные угодья – неконтролируемые сельскохозяйственные палы пожнивных остатков, сжигание неиспользованных запасов сены и соломы, отсутствие пламегасящих устройств;
- сенокосы и пастбища – выжигание травостоя для улучшения кормовых качеств пастбищных угодий, неосторожное обращение с огнем, неисправность техники, молнии;
- залежные земли – неосторожное обращение с огнем, сокрытие состояния угодий от контролирующих органов (возможно);
- санитарные зоны промышленных предприятий – неосторожное обращение с огнем;
- околотовные пространства – неосторожное обращение с огнем (разведение костров и мангалов и др.) в местах временного отдыха, рыболовства и охоты.

Локализация в пространстве групп очагов является указанием на необходимость корректировки и оптимизации противопожарных мероприятий, среди которых: а) систематическое выкашивание и опашка контуров сельскохозяйственных угодий, придорожных территорий (обочин, откосов и кюветов); б) контроль за сельскохозяйственными палами и сопровождение со стороны пожарных служб; в) обеспечение технического надзора за сельскохозяйственной техникой; г) просветительская и надзорная работа. Очевидно, что указание предполагаемых источников огня по территориальному признаку допускает некоторую условность получаемых результатов и выводов, вместе с тем мы получаем примерное понимание причин формирования той, или иной пожарной ситуации, позволяющее корректировать систему региональных противопожарных мероприятий.



Рис. 3. Группы очагов по предполагаемым факторам возникновения пожаров. Условные обозначения: 1 – сельскохозяйственные полевые, 2 – сельскохозяйственные залежные, 3 – дорожные магистральные, 4 – дорожные грунтовые, 5 – антропогенные пустоши (промышленные зоны и прилегающие территории), 6 – приречные, 7 – неустановленные.

Оценка пирогенных угроз заповедной территории. Прикладная часть исследования посвящена анализу угроз участку заповедника «Оренбургский» «Ащисайская степь». Анализ числовых данных по удаленности очагов пожаров от границ (минерализованной полосы) заповедного участка свидетельствует об относительной однородности их пространственного распределения вне зависимости от того, достигал ли пожар заповедного участка или нет. Подавляющее большинство очагов пожаров (90%) отмечено на расстоянии более 5 км от минерализованной полосы. В пересчете на плотность очагов их концентрация на удаленных территориях остается значимой, но не столь очевидной: в пределах 0-10 км средняя плотность очагов составляет 0.25 шт./1 км², более 10 км – 0.36 шт./1 км². Это свидетельствует о том, что на рассматриваемой территории сформировалась достаточно однотипная пожарная обстановка с небольшим превышением количества возгораний в периферийной части.

Для вычленения непосредственных угроз заповедному участку были сформированы две выборки очагов и ареалов всех пожаров за рассматриваемый период, относительно которых минерализованная полоса не оказала воздействия (рис. 4А), либо ограничила распространения огня (рис. 4Б). Очевидно, что помимо собственно барьерных функций минерализованная полоса служила отправным рубежом при организации и осуществлении противопожарных мероприятий в непосредственной близости от заповедника. Помимо этого в большинстве случаев проводилось превентивное пожаротушение, в связи с чем часть пожаров не достигла границ заповедника и не учитывалась в представленных выборках. Количество пожаров, достигнувших минерализованной полосы, вдвое превышает количество пожаров, пересекших ее. Без учета функциональности минерализованной полосы большинство очагов (12 из 31) расположено в пределах 0-2 км, а 14 очагов – в пределах буфера 4-10 км. Лишь 2 очага пожаров, достигших границы заповедника,

расположены далее, чем 10-километровая буферная зона – 2007 г., когда удаленность по линии распространения пожара достигла максимальных значений (29.3 км), и 2015 г. (17.3 км). Каких-либо явных скоплений очагов пожаров и преимущественных направлений развития пожаров относительно заповедного участка выявлено не было.

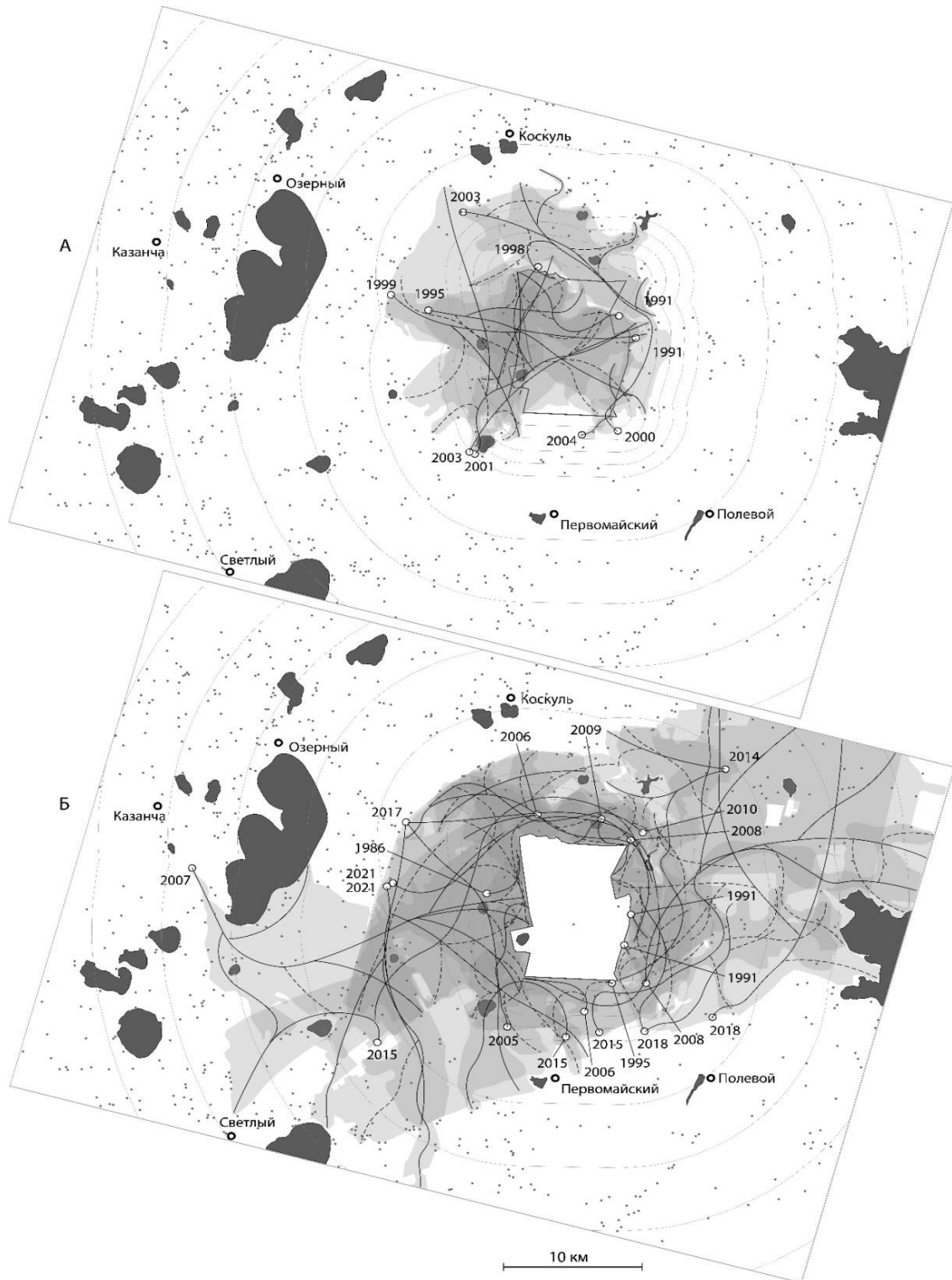


Рис. 4. Очаги, ареалы и основные направления распространения пожаров, представлявших угрозу заповедному участку: А – пересечение минерализованную полосу заповедного участка, Б – достигшие минерализованной полосы.

Отметим, что общей макрорегиональной тенденцией является снижение количества и площади пожаров, что доказывают исследования по степным и пустынным регионам Юго-Востока европейской части России (Шинкаренко и др., 2021, 2022) и Западного Казахстана (Shinkarenko et al., 2023), северным и средним степям Предуралья и Южного Урала (Pavleychik, Chibilev, 2018), южным степям Северного Прикаспия и Мугоджар (Павлейчик, Сивохиц, 2023), южным степям Западного Прикаспия (Дорошенко, 2023). Вместе с тем выявлено, что динамика пожаров на рассматриваемой территории не претерпела каких-либо значимых изменений. Мы это связываем с наступлением маловодной фазы в 2012-2021 гг., сопровождавшейся обмелением и пересыханием озер. В результате помимо степных пожаров на рассматриваемой территории в последние 10 лет пожары стали затрагивать как околородные пространства, так и тростниковые заросли осушенных озер.

Резкое сокращение масштабов сельскохозяйственного производства в сочетании с наступлением маловодной фазы привели к формированию периодов пониженной (1984-1998 гг.) и повышенной (1999-2021 гг.) активности пожарных явлений (рис. 5). Неоспоримой причиной столь резкой смены пожарной обстановки стал процесс восстановления растительного покрова сельскохозяйственных угодий, в первую очередь, пастбищ и сенокосов (Dubinin et al., 2011; Freitag et al., 2020; Dara et al., 2024; Pavleychik et al., 2022).

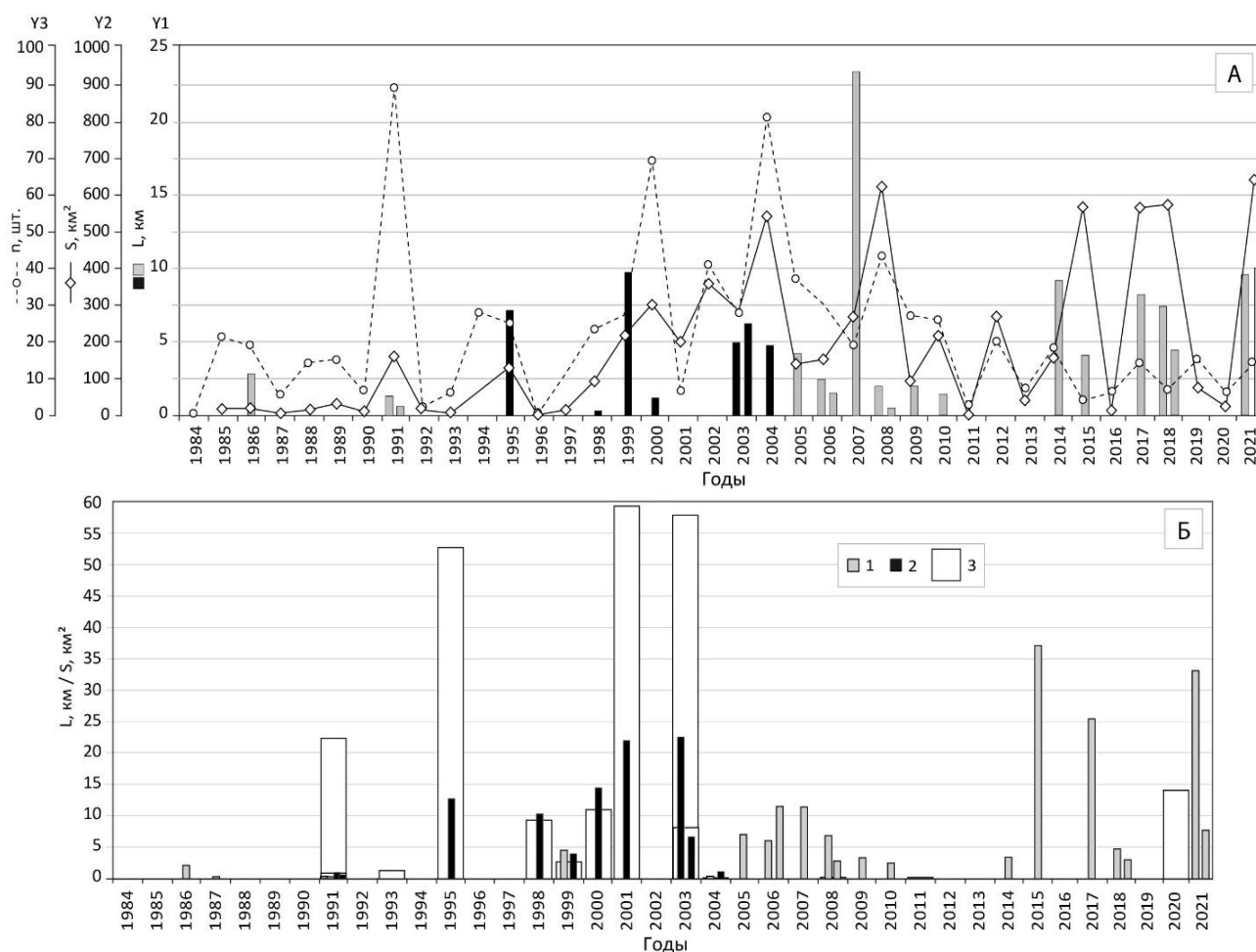


Рис. 5. Показатели пирогенных угроз и эффективности противопожарных мероприятий: А – динамика распределения удаленности очагов пожаров от минерализованной полосы (Y1) (серые – минерализованная полоса остановила распространение, черные – не показала эффективности) и графики совокупных годовых площадей гарей (Y2) и их количества (Y3); Б – динамика распределения протяженности части минерализованной полосы, воспрепятствовавшей распространению пожаров (1) и не показавшей эффективности (2), включая площадь сгоревшей территории в пределах заповедного участка (3).

После периода чрезмерной пастбищной нагрузки, наблюдавшейся во всех степных регионах бывшего СССР (в т.ч. как следствие массовой распашки целинных земель в 1954-1960 гг.), восстановление растительности сопровождалось нарастанием плотности травостоя и продуктивности сообществ, возвращением в состав сообществ многолетних дерновинных злаков, участвующих в формировании запасов растительной ветоши и войлока. Часть сухой фитомассы в благоприятные периоды и сезоны года подвергалась деструкции почвенной органикой, но оставшихся объемов стало достаточно для формирования очага пожара и поддержания устойчивого распространения огня. О приведенных выше причинах смены пожарной обстановки убедительно свидетельствует характер соотношения многолетних рядов данных, отражающих количество пожаров и их площадь (рис. 5А, графики по осям Y2 и Y3). В свою очередь, метеорологические параметры пожарной опасности определили межгодовую изменчивость развития пожаров в рамках выделенных выше фаз. Помимо этого, анализ основных метеорологических показателей (как в фактическом выражении, так и в виде специализированных индексов) указывают на тенденцию ухудшения пожарных обстановок.

В соответствии со сменой условий пожарной опасности увеличивалась и протяженность распространения пожаров. Так, для рассматриваемой территории наблюдалось последовательное увеличение расстояние между очагами пожаров и минерализованной полосой заповедного участка (рис. 5А, столбчатая диаграмма по оси Y1). Приводимые графики (рис. 5А, Б) также наглядно демонстрируют высокую эффективность противопожарных мероприятий с 2005 года, проводимых инспекторским составом заповедника и специализированными службами. Особого внимания заслуживают действия, предпринятые в отдельные годы, когда фронт пожара поступательно охватывал весь периметр заповедного участка (2015 г.), либо его значительную часть (2017, 2021 гг.).

Выводы

1. Предлагаемый алгоритм картографирования мест расположения очагов пожаров и анализа получаемых данных является последовательностью достаточно очевидных действий с материалами ДЗЗ, сведениями о морфометрических параметрах гарей и метеорологических условиях распространения огня. На настоящее время это достаточно трудоемкий процесс, за счет чего он неприменим на обширных территориях. Вместе с тем нет сомнения, что примененные алгоритмы анализа в сочетании с открытыми источниками данных могут быть в перспективе автоматизированы использованием потенциала геоинформационных систем.

2. Анализ сформированной базы данных очагов за 1984-2021 гг. позволил локализовать в пространстве участки, с которыми связано наиболее частое возникновение возгораний. Совмещение полученных данных о расположении очагов пожаров и картосхем, отражающих пространственное распределение объектов хозяйственной инфраструктуры и некоторых природных элементов, дало возможность классификации очагов по признакам территориальной близости и по предполагаемым источникам возникновения пожаров. В условиях отсутствия какой-либо официальной информации считаем, что разработка подобных схем на региональном уровне может способствовать оптимизации системы противопожарных мероприятий.

3. В ходе исследований было найдено подтверждение того, что именно пирогенные качества восстановившегося к 1999 году растительного покрова стали основной предпосылкой активизации пожарных явлений, наблюдающейся на исследуемой территории до настоящего времени. В дополнение к этому в результате прекращения использования части пахотных угодий произошла дефрагментация территории с формированием благоприятных условий для более обширного распространения огня при сохранении мест сосредоточения очагов пожаров. Региональной особенностью формирования пожарной обстановки стал вклад маловодного периода 2012-2021 гг., сопровождающегося иссушением обширных озерных впадин Южного Зауралья и Тургая на фоне сокращения показателей атмосферного увлажнения. В результате в последнее десятилетие довольно обычным явлением стало выгорание тростниковых зарослей пересыхающих озер, часть из которых имеет природоохранный статус ввиду большого значения для сохранения орнитофауны.

4. На неблагоприятном пожароопасном фоне отдельного внимания заслуживает эффективность противопожарных мероприятий на участке «Ащисайская степь» государственного природного заповедника «Оренбургский». Подготовленные картосхемы распространения пожаров свидетельствуют о том, что, несмотря на рост пирогенных угроз, с 2005 года участок ни разу не пострадал от пожаров.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М.* Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (дата обращения: 10.03.2024)].
- Зоны и типы растительности России и сопредельных территорий. Карта для высших учебных заведений. 1999. Масштаб 1: 8 000 000 / Ред. Г.Н. Огуреева. С.-Пб.-М.: Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова; Ботанический институт им. В.Л. Комарова. 2 л.
- Дорошенко В.В.* 2023. Влияние развития процессов опустынивания на распространение ландшафтных пожаров в Ставропольском крае // Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки». Т. 165. № 3. С. 486-498.
- Павлейчик В.М.* 2023. Опыт картографирования очагов степных пожаров (методология исследований и практические аспекты) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». № 3. С. 13-24.
- Павлейчик В.М.* 2019. Широтно-зональная неоднородность развития травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. № 2. С. 1-14.
- Павлейчик В.М., Сивохин Ж.Т.* 2023. Многолетняя динамика пожаров в южных степях Северного Прикаспия и Мугоджар // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». Т. 44. С. 88-106.
- Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н.* 2022. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Известия РАН. Серия географическая. Т. 86. № 1. С. 122-133.
- Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н.* 2021. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 6. № 3. С. 23-44.
- Archibald S., Lehmann C., Gómez-Dans J., Bradstocke R.* 2003. Defining Pyromes and Global Syndromes of Fire Regimes // PNAS. Vol. 110. No. 16. P. 6442-6447.
- Arndt N., Vacik H., Koch V., Arpacı A., Gossow H.* 2013. Modeling Human-Caused Forest Fire Ignition for Assessing Forest Fire Danger in Austria // iForest. Vol. 6. P. 315-325.
- Curt T., Fréjaville T., Lahaye S.* 2016. Modelling the Spatial Patterns of Ignition Causes and Fire Regime Features in Southern France: Implications for Fire Prevention Policy // International Journal of Wildland Fire. Vol. 25 (7). P. 785-796.
- Dara A., Baumann M., Hölzel N., Hostert P.* 2020. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes // Ecosystems. Vol. 23 (3). P. 946-956.
- Dubinín M., Lushchekina A., Radeloff V.* 2011. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // Ecosystems. Vol. 14. P. 547-562.
- Dubinín M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V.* 2010. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing // Remote Sensing of Environment. Vol. 114. P. 1638-1648.
- Earth Explorer U.S. Geological Survey. 2023 [Электронный ресурс <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 10.01.2024)].
- EOSDIS Worldview. 2023 [Электронный ресурс <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения 10.01.2024)].
- Fire Information for Resource Management System (FIRMS) NASA. 2023 [Электронный ресурс <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/> (дата обращения 10.01.2024)].
- Gonzalez-Olabarria J.R., Brotons L., Gritten D., Tudela A., Teres J.* 2012. Identifying Location and Causality of Fire Ignition Hotspots in a Mediterranean Region // International Journal of Wildland Fire. Vol. 21 (7). P. 905-914.
- Hall J.V., Loboda T.A., Giglio L., McCarty G.W.* 2016. A MODIS-Based Burned Area Assessment for Russian Croplands: Mapping Requirements and Challenges // Remote Sensing of Environment. Vol. 184. P. 506-521.
- Koutsias N., Kalaboukis K.D., Allgöwer B.* 2004. Fire Occurrence Patterns at Landscape Level: Beyond Positional Accuracy of Ignition Points with Kernel Density Estimation Methods // Natural Resource Modeling. Vol. 17. P. 359-375.
- Landsat Data Distribution Policy. 2008 [Электронный ресурс <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-data-distribution-policy> (дата обращения 10.01.2024)].
- Freitag M., Kamp J., Dara A., Kuemmerle T., Sidorova T., Stirnemann I., Velbert F., Hölzel N.* 2020. Post-Soviet Shifts

- in Grazing and Fire Regimes Changed the Functional Plant Community Composition on the Eurasian Steppe // *Global Change Biology*. Vol. 27. P. 1-14.
- McCarty J.L., Ellicott E.A., Romanenkov V., Rukhovitch D.* 2012. Multi-Year Black Carbon Emissions from Cropland Burning in the Russian Federation // *Atmospheric Environment*. Vol. 63. P. 223-238.
- Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Y.A.* 2022. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia // *Doklady Earth Sciences*. Vol. 505 (2). P. 591-597.
- Pavleychik V.M., Chibilev A.A.* 2018. Steppe Fires in Conditions the Regime of Reserve and Under Changing Anthropogenic Impacts // *Geography and Natural Recourses*. No. 39 (3). P. 212-221.
- Ricotta C., Bajocco S., Guglietta D., Conedera M.* 2018. Assessing the Influence of Roads on Fire Ignition: Does Land Cover Matter? // *Fire*. Vol. 1 (2). P. 24.
- Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V., Naichuk Ya. A.* 2023. An Analysis of the Dynamics of Areas Affected by Steppe Fires in Western Kazakhstan on the Basis of Earth Remote Sensing Data // *Arid Ecosystems*. Vol. 13. No. 1. P. 29-38. [*Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н., Дорошенко В.В., Найчук Я.А.* 2023. Анализ динамики площадей степных пожаров в Западном Казахстане по данным дистанционного зондирования земли // *Аридные экосистемы*. Т. 29. № 1 (94). С. 25-35.]
- Wang H., Jin B., Zhang K., Aktar S., Song Z.* 2022. Effectiveness in Mitigating Forest Fire Ignition Sources: A Statistical Study Based on Fire Occurrence Data in China // *Fire*. Vol. 5. P. 215.