

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПИРОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТЕПЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

В.М. Павлейчик

Институт степи УрО РАН, Россия, Оренбург
e-mail: vmpavleychik@gmail.com

Статья имеет обзорный характер и содержит итоги анализа и систематизации научных исследований, связанных с развитием природных пожаров в степных регионах Северной Евразии и на сопредельных территориях лесостепной и пустынной природных зон. В статье акцентировано внимание на проблемах и перспективах развития относительно нового научного направления – пирогеографии, в число задач которого входит обеспечение взаимосвязей между географическими, эколого-биологическими и социально-экономическими науками при решении проблем управления современными пирологическими ситуациями. Отмечено, что за последние 5-10 лет рядом российских и зарубежных научных коллективов и авторов в ходе изучения пространственно-временной динамики пожаров получены весомые результаты, сформированы основные принципы и подходы исследований. Все без исключения авторы указывают на ключевую роль пастбищной нагрузки на уголья, определяющей пирогенное состояние растительного покрова и особенности формирования региональных пожарных обстановок. Уровни пастбищной нагрузки неравномерны как в пространстве, так и во времени, что определяет непостоянство показателей горимости. В статье затронуты вопросы сезонной обусловленности пожаров, источников возгораний, климатических трендов и влияния метеорологических условий, продолжительности постпирогенных восстановительных процессов в степных ландшафтах и биоте. Констатируется, что оценка экологической роли пожаров уже длительное время остается дискуссионным вопросом, не имеющим однозначного решения. Пирогеография затрагивает актуальные вопросы устойчивого экологического развития степных регионов и проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности, а получаемые результаты могут быть использованы для развития ряда актуальных научных направлений.

Ключевые слова: пирогеография, травяные пожары, постпирогенное восстановление, многолетняя динамика, региональные особенности, Северная Евразия, экологическая безопасность.

Введение

Широкое распространение природных пожаров, наблюдаемое в XX-XXI вв. в различных регионах мира, часто имело катастрофические последствия для природного биоразнообразия, экономики и безопасности населения. Природные, в первую очередь лесные, пожары стали гораздо более продолжительными и масштабными, их площади в отдельных странах (США, Канада, Испания, Австралия и др.) возросли в 2-3 раза [1]. По множественным литературным источникам и публикациям в средствах массовой информации, в отдельные годы последнего десятилетия экологический и экономический ущерб от пожаров был особенно высок – Индонезия (1997), Австралия (2009, 2019, 2020), Россия (2010), Израиль (2010), Греция (2007, 2017), Португалия (2017), США (2017, 2018, 2025), Турция (2021), Бразилия (2022), Канада (2023).

Обзор научной литературы, законодательных, нормативно-правовых и рекомендательных документов свидетельствует о постоянном внимании к проблемам изучения последствий и управления природными пожарами. Высокая значимость этой проблемы подтверждается Конвенциями ООН (по изменению климата, по борьбе с

опустыниванием, по биологическому разнообразию), рекомендациями Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), исследованиями Центра глобального пожарного мониторинга (GFMC), проектами Глобального экологического фонда (GEF) и многих других международных и национальных организаций. В частности, в перечне рекомендаций FAO [2] в ряду стратегических действий в отношении мониторинга и оценки пожаров значится: «4.4.3. Должны быть собраны месячные и годовые данные о повторяемости, конкретных причинах и очагах антропогенных пожаров, основаниям для проведения выжиганий и пройденной огнем площади, с целью создать эффективную программу профилактики пожаров». При этом следует учитывать, что создание полноценной системы мониторинга и прогнозирования природных пожаров невозможно без тесного межгосударственного и межведомственного взаимодействия в этой сфере.

Травяные пожары в степных, лесостепных и пустынных регионах Северной Евразии не являются исключением и представляют собой угрозу экологической и социально-экономической безопасности, что нуждается в формировании объективного представления о причинах и последствиях развития пожаров. Полученные ранее результаты свидетельствуют о значительной пространственно-временной неоднородности пожарных явлений с проявлением общерегиональных многолетних периодов активизации, способных инициировать серию взаимосвязанных экосистемных преобразований.

Материалы и методы

Систематизированы литературные источники по тематике травяных пожаров в степных регионах Северной Евразии и на сопредельных территориях лесостепной и пустынной природных зон. Проанализирован накопленный за последние десятилетия опыт пирогеографических исследований – подходы и методы, особенности исходных баз данных, варианты интерпретации результатов, пространственный охват, преобладающие направления, объективные трудности и возможные способы их решения в перспективе.

Результаты и их обсуждение

Природные пожары являются объектом исследования ряда научных и научно-практических направлений, часть которых направлена на прикладные аспекты – организация систем раннего обнаружения возгораний, определение уровней пожарной опасности, совершенствование методики и средств пожаротушения, организация противопожарных мероприятий и др. При этом основная доля исследований касается лесных территорий ввиду их высокой ресурсной и экологической значимости, а также в аспекте обеспечения безопасности населения. Вместе с тем, именно травянистые биомы Земли и их древесно-кустарниковые варианты, освоенные под сельскохозяйственные цели, наиболее интенсивно подвергаются пирогенному воздействию. Применение огня является общемировой практикой традиционного природопользования, направленной на уничтожение древесно-кустарниковой растительности и улучшение кормовых качеств угодий [3].

В данной статье особое внимание уделено проблемам и перспективам развития отдельного, относительно нового, научного направления – пирогеографии, в число задач которого должно входить обеспечение взаимосвязей между географическими, эколого-биологическими и социально-экономическими науками при решении проблем управления современными пирологическими ситуациями. Методологические подходы должны обеспечить получение объективного представления о предпосылках и причинах пространственно-временной неоднородности пожаров. Решение этих вопросов затруднено рядом объективных причин, среди которых: а) стохастический характер возникновения пожаров в целом; б) сложность и многообразие взаимосвязей между элементами природно-хозяйственных систем, определяющими уровень пирогенных обстановок; в) недостаточность фактических и аналитических материалов по пространственно-временной динамике пожаров, довольно часто – невозможность получения сведений об отдельных факторах в принципе;

г) недостаточная проработанность методологического аппарата пирогеографических исследований.

Пространственно-временная неоднородность развития пожаров. Наиболее значимой предпосылкой развития пирогеографических исследований, как и многих других научных направлений, послужило открытие доступа к архивам спутниковых изображений Земли отдельными национальными космическими агентствами. Особую ценность представляет архив мультиспектральных снимков спутников серии Landsat, открытый для доступа в 2008 году и содержащий снимки с начала миссии (с 1972 года) по настоящее время [4]. Дальнейшее развитие космической отрасли, компьютерных и коммуникационных технологий, геоинформационных средств хранения, обработки и анализа спутниковых изображений, интерпретации полученных результатов способствовало формированию международных и национальных (США, Канада, ряд европейских стран, Россия, Казахстан) систем оперативного пожарного мониторинга и активизации пирогеографических исследований. Запуск спутников Terra (1999) и Aqua (2002), оснащенных спектрорадиометрами MODIS, позволяет получать снимки периодичностью 2 раза в сутки, на основе которых проводятся мониторинговые исследования, а также организована система раннего обнаружения пожаров посредством выявления тепловых аномалий (термоточек). На основе данных MODIS созданы архивы посуточных данных по тепловым аномалиям и сгоревшим территориям (MCD14ML и MCD64A1, соответственно), служащие одним из источников первичной информации о природных возгораниях.

Таким образом, в первом десятилетии XXI века стало возможным опираться на данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при изучении пожаров. Выявление параметров пространственно-временной неоднородности в развитии природных пожаров – это важный первоочередной этап пирогеографических исследований, на результатах которых основывается весь спектр последующих аналитических изысканий, направленных на выявление особенностей и ведущих факторов формирования пирологических обстановок.

Первоначально и достаточно продолжительное время такого рода исследования имели локальный, либо региональный охват. Пожалуй, первой работой по картографированию ареалов травяных пожаров и анализу полученных данных стала статья М.Ю. Дубинина, В. Раделофа (Университет Висконсин-Мэдисон, США) и А.А. Лушекиной (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Россия) в «Аридных экосистемах» [5] по региону северных пустынь Черные земли (Северо-Западный Прикаспий), выполненная на данных MODIS за 2000-2008 гг. В последующей статье [6] авторы привлекают снимки Landsat, в связи с чем оперируют более продолжительным рядом данных (1985-2007), что, в свою очередь, позволяет обосновать зависимость развития пожаров от состояния травостоя под воздействием пастбищной нагрузки (об этом чуть ниже).

Понимание важности изучения степных пожаров на фоне серии крупных возгораний в Южном Предуралье привело к развитию пирологического направления в Институте степи УрО РАН (г. Оренбург) (рис. 1 А). Первоначальные исследования были направлены на выявление различий в пожарных обстановках, обусловленных особенностями широтно-зональной и региональной структуры [7]. Далее были составлены картографические базы данных с 1985 г. по настоящее время по участкам заповедника «Оренбургский» с прилегающими территориями [8, 9], на основе которых рассчитаны многолетняя динамика пожаров и количество повторностей их прохождения, оценена эффективность противопожарных мероприятий, выявлены различия в горимости между заповедными участками и сельскохозяйственными угодьями. Пространственная удаленность участков между собой в сочетании со спецификой пространственной структуры угодий позволили выявить региональные различия пожарных обстановок в степях Заволжья, Предуралья, Южного Урала и Зауралья. Позднее подготовлена и проанализирована схема распространения пожаров в сухих степях массива Мугоджар и прилегающих территорий [10] и выявлена достаточно сходная многолетняя динамика, доказывающая общность предпосылок активизации пожаров в конце 1990-х – начале 2000-х годов. На основе открытого архива

термочек FIRMS (продукт MCD14ML) с глобальным охватом данных подготовлено обзорное исследование с выявлением региональных особенностей формирования пожарных обстановок в степях, лесостепях и пустынях Северной Евразии за 2001-2022 гг. [11], а также выявлены особенности внутригодовой динамики пожаров.

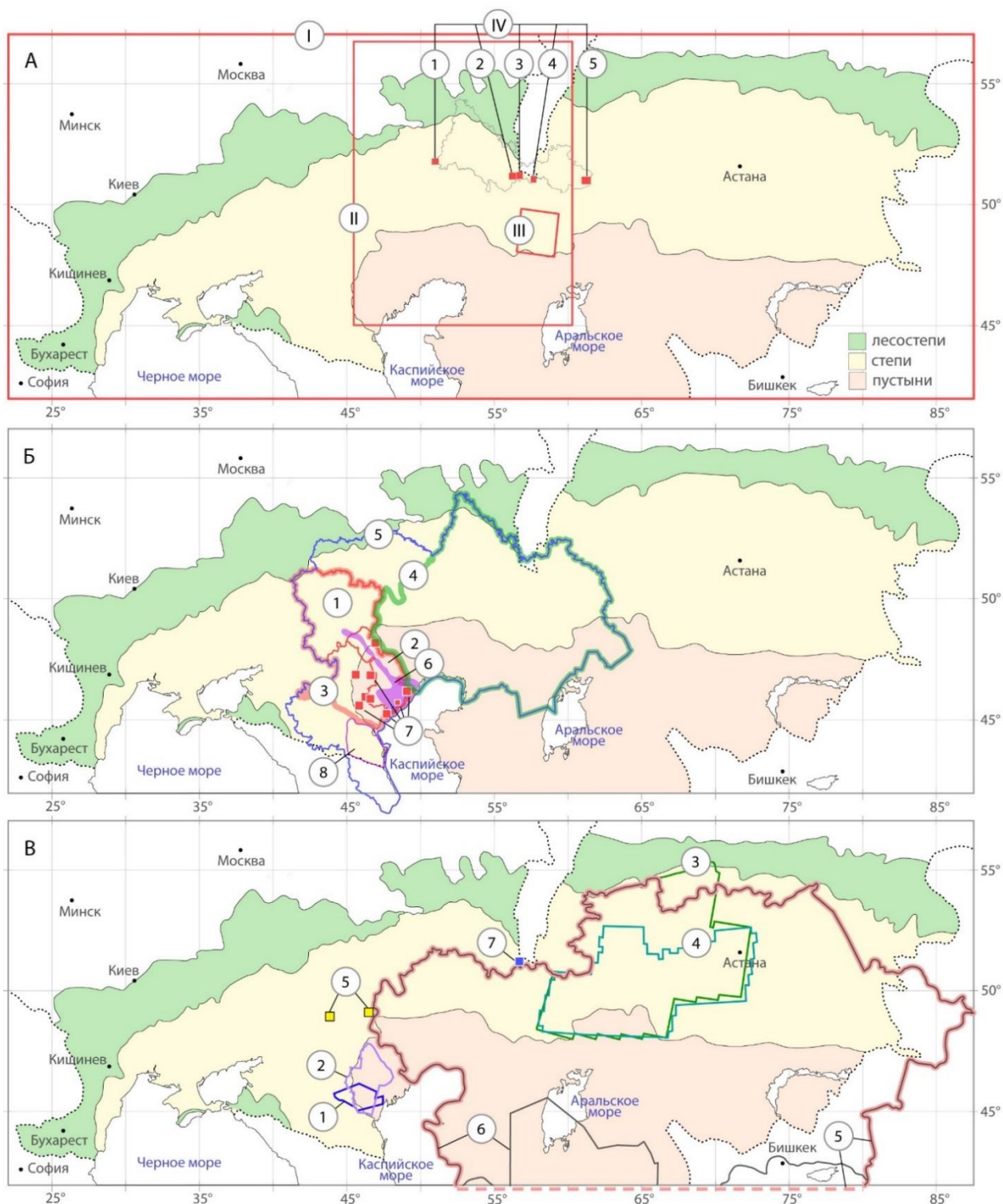


Рисунок 1 – Пространственная изученность

А – регионы исследования и основные публикации Института степи УрО РАН (Павлейчик В.М. и др.) – I – обзорный уровень [11, 57], II – макрорегиональный уровень (Волго-Уральский регион) [7, 47, 56], III – региональный уровень (Мугоджары и прилегающие территории) [10], IV – местный уровень (заповедник «Оренбургский», участки 1-5) [8, 9], Предуральская степь (2) [36], Буртинская степь (3) [3, 69, 70, 74], Ащисайская степь (5) [61].

Б – регионы исследования и основные публикации ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения, Волгоградского государственного университета, Института космических исследований РАН (Шинкаренко С.С. и др.) – 1 – Волгоградская обл. [13], 2 – Астраханская обл. [12], 3 – юго-восток европейской части России (Волгоградская и Астраханская обл., Республика Калмыкия) [15], 4 – Западный Казахстан [18], 5 – аридные ландшафты России и Западный Казахстан [16], 6 – пойма Нижней Волги [19, 21], 7 – федеральные ООПТ юго-востока Европейской России [14], 8 – Терско-Кумская низменность [17].

В – некоторые другие публикации по тематике пожаров. Дубинин М.Ю. с соавторами (Черные Земли) – 1 – [6, 34]; 2 – [5]; 3 – Dara et al., 2020 (Северный Казахстан) [22]; 4 – Freitag et al., 2020 [23]; 5 – Xu et al., 2021 (Центральная Азия) [24]; 6 – Hankerson et al., 2019 (Республика Казахстан) [32]; 7 – Рябинина Н.О., 2018 (природные парки Волгоградской обл.) [42]; 8 – публикации различных авторов по участку «Буртинская степь» заповедника «Оренбургский» [48, 67, 68, 69, 70, 74, 80, 81].

Границы природных зон согласно [11].

Одним из региональных центров пирологических исследований в это же время стал г. Волгоград с авторами, аффилированными с Федеральным научным центром агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения и Волгоградским государственным университетом, а позднее и с Институтом космических исследований РАН (Москва) (рис. 1Б). С.С. Шинкаренко с соавторами подготовлена серия статей, охватывающих административные (Астраханская и Волгоградская области, Калмыкия) и природные регионы Юго-Востока России и Западного Казахстана [12-18]. Несмотря на то, что значительная часть публикаций посвящена пространственно-временным особенностям развития пожаров в зоне пустынь, они представляют значимый методологический интерес в аспекте обоснованности подходов, применения современных способов обработки данных и объективной интерпретации результатов. Авторы подробно характеризуют особенности многолетней и сезонной динамики пожаров, оценивают их повторяемость, количественные и площадные показатели. За основу принимаются как готовые наборы геоинформационных данных, так и результаты экспертного визуального дешифрирования как наиболее достоверной информации о пространственном развитии пожаров. В целом авторы отмечают повсеместное снижение горимости, связывая это с нарастанием пастбищной нагрузки. Отдельные работы коллектива посвящены горимости интразональных пойменных ландшафтов Нижней Волги и Нижнего Дона [19, 20, 21], в которых показаны сезонные особенности развития пожаров, связь с водным режимом рек, а также определенная синхронность с пожарами в зональных ландшафтах.

По степным регионам Казахстана в последние годы активно работают научные коллективы Германии – представители Географического факультета Берлинского университета им. Гумбольдта (Берлин), Института сельскохозяйственного развития в странах с переходной экономикой им. Лейбница (Галле), Института ландшафтной экологии Мюнстерского университета (Мюнстер) и др. Ряд работ посвящен проблематике пожаров в аспекте региональных особенностей в динамике землепользования. Так, в статьях [22, 23] по территории Костанайской, Северо-Казахстанской и Акмолинской областей (а также частично Актюбинская и Карагандинская области) приводятся схемы гарей и анализируются числовые данные по площадям пожаров за годы (1990, 2000, 2015), характерные для выделенных авторами периодов.

Xu Y., Lin Z., Wu C. (Международный центр наук о климате и окружающей среде, Институт физики атмосферы, Китайская академия наук, Пекин, Китай) в крупном исследовании, охватывающем страны Центральной Азии (Казахстан, Киргизия, Туркменистан, Таджикистан) [24], приводят картографические и числовые данные по многолетней (1997-2016) и сезонной динамике пожаров в разрезе стран. Авторами в данном обзоре использован продукт глобального охвата GFED (Global Fire Emissions Database), отражающий сгоревшие площади на основе изображений MODIS. Авторами также зафиксирован тренд снижения горимости и высокая вариабельность межгодовых значений с пиками в отдельные годы (2002, 2006, 2010 и др.).

Особый интерес с позиций региональной специфики формирования пожарных обстановок представляют работы, посвященные пожарам Юга Сибири. В статье сотрудников лаборатории лесной пирологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск) (авторы Валендик Э.Н., Кисляхов Е.К., Пономарев В.И. и др.) [25] приводятся данные о площади и количестве весенних пожаров в лесных и лесостепных районах рассматриваемой территории за 2008-2017 гг., анализируются особенности сезонной динамики и повторяемости. По степям Даурии Ткачук Т.Е. (Забайкальский государственный университет, Чита) получены данные по площадям пожаров за 2000-2010 гг. [26, 27]. Непродолжительный ряд данных и присутствие лишь двух пиков возгораний в 2000 и 2003 гг. на фоне довольно однотипного хода значений снижает возможность полноценного анализа факторов, тем не менее, интересен вывод о синхронности многолетнего хода возгораний в смежных районах России, Монголии и Китая, что свидетельствует о сочетании природной обусловленности годовых вариаций и антропогенных причинах возгораний. Куулар Х.Б. (Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН) приводится продолжительный (1959-2010) ряд данных по пожарам в Республике Тыва [28], но без четкого разделения на лесные и степные пожары. На приводимых графиках заметны многолетние тренды и признаки цикличности в развитии пожаров, отличные от динамики пожаров в основном (Европейско-Западносибирском) секторе степей.

Таким образом, за последние 5-10 лет сформировались основные принципы и подходы к изучению пространственно-временной динамики пожаров. Глобальные геоинформационные продукты вполне применимы для обзорных работ, но наибольшую объективность обеспечивает экспертное дешифрирование гарей. Трудоемкость визуальной отрисовки площадей гарей ограничивает охват анализируемых территорий, в противном случае необходимым условием становится привлечение большой группы людей – например, как в исследовании [29], проведенном с использованием краудсорсинга. Максимальная продолжительность формируемых баз данных ограничивается серединой 1980-х годов при условии наличия достаточного количества спутниковых изображений, минимум 3-4 снимка за вегетационный период. При этом важно понимать, что направленность трендов зависит от того, охватывают ли данные период, предшествующий максимальной фазе возгораний. Применительно к динамике пожаров в степях Северной Евразии максимум приходится на середину 1990-х – первое десятилетие 2000-х гг. [5, 8, 18].

Предпосылки формирования пожарных обстановок в степях, лесостепях и пустынях Северной Евразии. По мере накопления баз данных по пожарам, оптимальных методов их анализа и подходов к интерпретации результатов в публикациях авторских коллективов отмечается постепенный переход от констатации количественных показателей развития пожаров к попыткам объяснить их пространственно-временную неоднородность. Временная продолжительность данных важна при выявлении условий возникновения и распространения пожаров, обеспечивая разнообразие сочетаний частных факторов. Сопоставление числовых и картографических данных по пожарам с многолетними данными о климате, структуре природопользования, состоянии растительного покрова, расселении населения и др. дает возможность выявить ведущие факторы возникновения и развития пожаров и оценить их вклад в формирование региональных пожарных обстановок.

Все без исключения авторы пирологических исследований сходятся на том, что ключевую роль в активности пожаров (как за серии лет, так и за отдельные годы) играет количество запасов фитомассы, зависящее от сочетания природных и антропогенных условий и факторов. В числе наиболее часто используемых и довольно объективных показателей состояния растительного покрова используются статистические данные по численности поголовья выпасаемого сельскохозяйственного скота. При постоянстве площадей пастбищных угодий поголовье скота определяет относительный (во времени) уровень деградации степной растительности, проявляющейся в степях сокращением запасов надземной фитомассы и доли участия дерновинных злаков.

Неоспоримым является тот факт, что наиболее значимой предпосылкой активизации пожаров в степях Северной Евразии в 1990-2010-х годах стал резкий спад сельскохозяйственного производства в странах бывшего СССР и последующее восстановление растительного покрова. В этой связи заслуживают внимание комплексные исследования, проводимые в Институте степи УрО РАН по тематике последствий целинной кампании, например [30], а также отдельными группами европейских ученых в регионах постсоветского пространства, посвященные анализу современного состояния степных пастбищных угодий (включая оценку пирогенного воздействия) [22, 23, 31, 32, 33]. Констатация этой обусловленности фигурирует практически во всех статьях, посвященных пожарам в степях Северной Евразии и на сопредельных территориях. Одновременно немалое количество исследований посвящено непосредственному выявлению корреляционных связей между многолетними рядами данных, отражающих показатели развития пожаров и численность поголовья скота.

Одними из наиболее ранних работ на эту тему являются [6, 34] по северным пустыням Прикаспия. Данные за 1985-2007 гг. по пожарам были сопоставлены авторами с показателями пастбищной нагрузки (поголовье скота), условной продуктивности растительного покрова (NDVI) и климата (температура, осадки и данные по индексам колебаний трех климатических моделей). В ходе исследований выявлены тесные отрицательные корреляции с численностью поголовья скота как в текущих, так и в предыдущих годах. Для степных регионов был зафиксирован 8-10-летний период, за время которого происходило восстановление растительного покрова после высоких уровней пастбищной депрессии до состояния, способного поддерживать устойчивое распространение пожаров [8]. Высокие показатели корреляционных связей между данными о площадях гарей и численности поголовья скота выявлены в областях Западного Казахстана [18], при этом авторами также рекомендуется использование метода скользящих средних для снижения эффекта исключительно высокой межгодовой вариации площадей пожаров.

Следует заметить, что обусловленность уровня горимости от степени пастбищной депрессии подтверждается не только сопоставлением многолетних данных, но и характером пространственного распределения ареалов пожаров [12, 18] с учетом локализации зон наиболее интенсивного выпаса вблизи населенных пунктов и объектов животноводческой инфраструктуры [35, 33]. Пространственная неоднородность развития пожаров также обусловлена режимами природопользования; например, объектами повышенной пожарной опасности являются особо охраняемые природные территории [9, 18, 36], растительность которых, как правило, характеризуется большими запасами фитомассы на фоне окружающих сбитых пастбищ.

Очевидно, что продуктивность степных сообществ во многом определяется положением относительно широтно-зональной структуры ландшафтов [37, 38, 39], что во многом объясняет явление зональности в развитии пожаров. В связи с этим определенный интерес представляет устойчивость различных видов и групп видов, особенно выступающих в качестве доминантов в степных и пустынных сообществах. Обращают внимание разночтения по этому поводу – одни авторы указывают на постпирогенное внедрение злаков (особенно ковылей) в полынные сообщества [40, 41], другие [42] отмечают диаметрально противоположную реакцию – сокращение доли крупнодерновинных злаков (ковылей, типчака) и разнотравья, увеличение в 2-3 раза доли полыней, мятлика луковичного, эфемеров и сорных видов.

Высокие пирогенные качества травостоя дерновинно-злаковых степных сообществ подтверждены картографическим сопоставлением многолетней горимости ковыльных и преимущественно полынных сообществ на участке, охватывающем холмистый массив Мугоджар и прилегающие аккумулятивные равнины Прикаспия [10].

Формирование фонда залежных земель. Для земледельческих районов формирование пожарных обстановок происходит на фоне фрагментации потенциально пирогенных пространств пахотными угодьями. Значительная часть пахотных угодий на просторах

Заволжья, Урала, Сибири и Северного Казахстана была освоена в период целинной кампании; проблематике и оценке экологических последствий этого мегапроекта посвящено множество работ, например [30, 43]. В связи с распадом плановой экономики СССР последовали негативные процессы в сельскохозяйственном производстве, что привело к прекращению возделывания пахотных земель и формированию пирогенно-опасных массивов разновозрастных залежей. Оценке масштабов формирования залежей в странах и регионах постсоветского пространства посвящены исследования [44, 45]. Проведенное на основе [46] тематическое картографирование [47] позволило конкретизировать расположение основных ареалов залежных земель в Заволжско-Уральском регионе, сформировавшихся с 2000 по 2019 гг., – главным образом это южная периферия ареала устойчивого земледелия, равнинные участки восточных предгорий Южного Урала, район Месягутовской лесостепи и др. Были рассчитаны площади потерь пашни в зональных ландшафтах, а также проанализированы другие источники данных: наборы растровых данных по классам земель ESA Land Cover, региональные сведения от Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO) и государственных органов статистики.

Еще одним вопросом, связанным с пирогенными качествами растительности, является продолжительность восстановительных сукцессий на залежах до состояния, способного поддерживать распространение огня. Пирогенность залежных земель тесным образом связана с активностью внедрения степных злаков, в первую очередь ковыля, в бурьянистые сообщества молодых залежей. По нашим наблюдениям, этот процесс занимает от 8-10 до 15 лет, в зависимости от положения бывшей пашни относительно степных участков – поставщиков семенного материала.

Использование данных дистанционного зондирования Земли при оценке состояния растительного покрова. При всех достоинствах данных по поголовью скота, этот источник остается лишь условным показателем состояния растительного покрова применительно к какой-либо административной территории. В связи с этим очевидный интерес представляют материалы ДЗЗ и различного рода вегетационные индексы на их основе. Основная проблема состоит в том, что в настоящее время отсутствует однозначное понимание взаимосвязей между значениями спектральных вегетационных индексов и фактическими фитоценотическими параметрами степных сообществ. Заметим, что подобные исследования немногочисленны и локальны по охвату ввиду их трудоемкости – необходимости верификации данных ДЗЗ посредством организации систематических геоботанических исследований, в оптимальном варианте – с проведением укусов надземной фитомассы, выявлением спектрально-отражательных свойств растительности (сообществ, отдельных видов и групп растений) наземным способом, получением схем распределения спектральных либо хроматических растительных индексов при помощи беспилотных летательных аппаратов.

Так, сопоставление значений NDVI Landsat и результатов мониторинговых исследований в Буртинской степи (заповедник «Оренбургский») с мая по сентябрь в 2015-2020 гг. позволило авторам достигнуть понимания степени информативности NDVI применительно к сообществам двух формаций (*Stipeta zaleskii* и *Stipeta lessingiana*) в условиях заповедного режима [48]. В частности, подтвержден возможный (не всегда проявляющийся) экранирующий эффект от степной ветоши, выявлена тесная взаимосвязь NDVI и отношения зеленой фитомассы (главным образом разнотравья) к надземной мортмассе, а также неодинаковая информативность NDVI в различные сезоны года. В работах [49, 50] выявлены особенности спектрального отклика различных фитоценозов пустынь Северного Прикаспия в зависимости от их проективного покрытия и фитомассы по данным Sentinel-2 и MODIS и результатов инструментальных замеров спектрорадиометром. Использование беспилотных летательных аппаратов предоставляет возможность детализации информации о пространственной структуре степных сообществ с учетом высоких корреляций цветных вегетационных индексов и NDVI [51].

По нашим представлениям, любой из вегетационных индексов в первую очередь фиксирует часть спектра, относящуюся к зеленой фитомассе, в связи с чем должен соотноситься лишь с таким фитоценотическим показателем, как проективное покрытие зеленой растительности. В то же время в аспекте пирогенной опасности гораздо более важными параметрами являются количество сухой фитомассы и степень сомкнутости травостоя. Единственным выходом из данной методологической проблемы является использование вегетационных индексов (например, широко распространенного NDVI) в качестве отложенного во времени (с учетом отмирания зеленой растительности) условного показателя запасов сухой фитомассы. Данный подход неоднократно использовался в пирологических исследованиях для выявления взаимосвязей между межгодовой и сезонной динамикой продуктивности травяных сообществ (с учетом метеорологических условий) и развитием пожаров. Так, в уже упоминавшемся исследовании по северным пустыням Прикаспия за 1986-2006 гг. [6, 34] выявлены тесные корреляционные связи между уровнем горимости и значениями весенних (апрель-май) и осенних (сентябрь предшествующего года) NDVI. Исходя из этого, многолетние данные NDVI могут быть использованы как условный показатель состояния растительного покрова, находящегося под совокупным воздействием пастбищной нагрузки, климатических трендов и межгодовых метеорологических вариаций. Результаты систематизации многолетних полевых обследований [52] и анализа значений NDVI [35, 53, 54, 55] во многом объясняют предпосылки пространственно-временной неоднородности развития пожаров в степях и пустынях России и Казахстана, связанные с изменением условий увлажнения, температуры воздуха и уровня пастбищных нагрузок.

Климатические тренды и метеорологические показатели пожароопасности.

Очевидно, что наиболее благоприятными для возникновения и распространения пожаров являются жаркие и засушливые условия. Вместе с тем результаты сопоставления климатических и метеорологических показателей с данными о развитии пожаров неоднозначны и в редких исключениях подтверждаются значимыми корреляциями. Так, в исследовании по Западному Казахстану [18] указывается отсутствие значимой связи между горимостью, среднегодовой и максимальной температурой, средней температурой вегетационного периода, суммами осадков за календарный, гидрологический год, за вегетацию. Было выявлено, что аномально жаркие и засушливые 2010 и 2021 гг. не выделялись по степени горимости степных и пустынных ландшафтов [56]; исключением стало обширное распространение пожаров в лесных и лесостепных низкогорьях Южного Урала в 2021 г. и в сосновых борах Зауралья в 2022 г. В обзорном исследовании по степям, лесостепям и пустыням Северной Евразии за 1961-2020 гг. [57] было подтверждено последовательное нарастание температуры воздуха и усиление аномальности, увеличение продолжительности пожароопасного сезона и количественных показателей волн тепла. Таким образом, наблюдаемые тенденции предполагают усложнение пожароопасных обстановок. Вместе с тем отсутствие статистически значимых взаимосвязей между показателями развития пожаров и гидротермическими условиями являются свидетельством того, что последние не являются определяющим фактором уровня горимости.

Причины возникновения пожаров. В свою очередь, более закономерным выглядит внутригодовой ход возгораний, косвенно указывающий на антропогенную природу большинства возгораний, пики которых совпадают с началом и окончанием сельскохозяйственных работ либо других видов природопользования. Данная взаимосвязь указывается во многих публикациях, рассматривающих сезонное распределение пожаров. Так, в обзорном исследовании по степям, лесостепям и пустыням Северной Евразии [11] показаны особенности посуточного распределения возгораний применительно к природным регионам. В исследовании по аридным ландшафтам России [16] отражены особенности многолетней динамики термоточек относительно укрупненных типов земного покрова (согласно геоинформационному продукту USGS Land Use / Land Cover System) с распределением по административным областям – урбанизированные территории, пашни, мозаика пашни, пастбища, леса, водно-болотные угодья. В работе [29] сделан акцент на

особенностях развития весенних пожаров в России в 2020 г. с отдельным анализом по крупным типам растительности (согласно геоинформационному продукту Европейского космического агентства ESA land cover). Для степей и лесов Юга Сибири, в т.ч. Даурии и Тывы, также прослеживается взаимосвязь между сезонными пиками пожаров и отдельными видами природопользования – сельскохозяйственные палы после схода снега [25, 26], в лесной части – в период сбора таежных ягод в июле и ореха в сентябре-октябре [28]. Другие авторы [58] осуществляют попытку вычленения сельскохозяйственных палов на пахотных угодьях в аспекте традиционной практики землепользования. Отдельные работы, например [59], акцентированы на обосновании оптимальных сроков проведения сельскохозяйственных палов в степных регионах. Таким образом, анализ сезонности пожаров важен для понимания источников возгораний и традиций степного природопользования. Очевидно, что часть фиксируемых возгораний имеет преднамеренный характер – уничтожение пожнивных остатков для облегчения обработки пахотных угодий, улучшение кормовых качеств пастбищных и сенокосных угодий.

В то же время помимо сельскохозяйственных возгораний неопределенное количество пожаров связано с неосторожным обращением с огнем, поджогами, аварийными ситуациями (обрыв линий электропередач, автомобильные аварии и др.), неисправностью сельхозтехники, военными действиями и учениями, воздействием грозовых разрядов и др. Нами [60, 61] разработан и апробирован на двух территориях (степное Предуралье и Зауралье) алгоритм картографирования мест возникновения (очагов) пожаров, несущий информацию о возможных причинах возгораний посредством сопоставления с характерными природными и антропогенными объектами.

Особенности постпирогенного состояния степных ландшафтов и биоты. В отечественной науке длительное время основная часть исследований ограничивалась оценкой особенностей постпирогенного состояния растительного покрова. Обширный перечень литературы содержится в обзорных статьях [40, 62, 63] и в коллективных монографиях [64, 65]. Так, в [63] обобщены результаты исследований, посвященных вопросам зональных и региональных особенностей воздействия пожаров на растительность, оценки сезонного времени развития и частоты повторяемости пожаров на динамику растительности; отмечается отсутствие единства мнений об эффектах воздействия пожаров на степные фитоценозы и различия в интерпретации результатов. Авторами очерка в [65] указывается, что в зависимости от уровня пирогенного воздействия отмечается два типа реакций степной растительности – пирогенные флуктуации и сукцессии, продолжительность которых занимает от нескольких (?) лет до 8-15 (до 30) лет соответственно. Для степных сообществ Тывы продолжительность восстановительных сукцессий по видовому составу оценивается в 10-20 лет [66], для разнотравно-злаковых сообществ Заволжья – около 5 лет [40]. Для заповедных сообществ Южного Предуралья установлено, что общие запасы живой надземной фитомассы восстанавливаются по массе на второй год (за счет разнотравья), а по запасам ветоши злаков – на шестой год после пожара [67, 68]. В то же время для территорий сухих степей Донского природного парка указывается практически полное уничтожение бобовых и разнотравья после единичного пожара на 2-4 года, восстановление запасов гумуса занимает от 2-3 до 5 лет в зависимости от гидротермических условий [42].

Наш опыт картографирования гарей свидетельствует о том, что устойчивое распространение пожаров наблюдается уже на третий год после предыдущего пожара. Примерно за это время практически исчезают визуальные различия между горевшими и негоревшими участками [66], что означает восстановление запасов надземной фитомассы до уровня, достаточного для поддержания распространения огня. Ряд исследований на основе многолетних инструментальных измерений температуры и влажности воздуха и почвенного профиля [69] и использования материалов ДЗЗ (температура и спектральные индексы) [70, 71, 72] подтверждают данное заключение, а также свидетельствуют о формировании особого гидротермического режима постпирогенных степных ландшафтов. Сходные результаты получены по тепловым каналам спутниковых изображений Landsat 8 для южных

степей Терско-Кумской низменности [73]. Результаты полевых исследований и анализ ДЗЗ сверхвысокого разрешения по различным типам лесных массивов в степях Предуралья, Южного Урала и Зауралья свидетельствуют об их достаточно высокой способности к восстановлению после пожаров при условии достаточного подземного увлажнения [74]. Полученные ранее сведения о повторности пожаров дают право констатировать, что, независимо от многолетней вариабельности распространения пожаров, уровень пирогенного воздействия как минимум за последние 30 лет превышает темпы постпирогенного восстановления степных экосистем. Таким образом, пирогенный фактор является одним из наиболее значимых и способен привести к коренным изменениям в структуре и функционировании степных ландшафтов, их компонентов и элементов.

На фоне разрозненности и локальности исследований, неоднозначности выводов и интерпретаций результатов положительный опыт взаимодействия становится возможным при реализации целевых программ. Для степей российской части Северной Евразии таковым стал Проект ПРООН/ГЭФ/Минприроды РФ «Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме России», в рамках которого фондом «Центр охраны дикой природы» были систематизированы актуальные на то время проблемы степных регионов, в т.ч. подготовлены предложения по управлению пожарами [65]. Заметим, что при всей полноте работы региональные обзоры формировались исключительно на данных по заповедным территориям, без какого-либо пространственно-временного анализа развития пожаров. В рамках отдельной темы проекта была заложена методологическая основа комплексного мониторинга на участке «Буртинская степь» заповедника «Оренбургский» после пожара 2014 г., реализуемая сотрудниками Института степи УрО РАН (в части ботанического блока исследований) до настоящего времени.

Также следует констатировать, что при всем интересе к проблематике степных пожаров, большинство квалификационных научных работ относится к более значимым в ресурсном плане объектам – лесам, в т.ч. степных и лесостепных регионов. Подготовленные работы чаще всего соответствуют специальности 06.03.03 – Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними [75-79]. Непосредственно степной растительности посвящены единичные диссертации по специальности 03.02.01 – Ботаника [80, 81].

Оценка экологической роли пожаров уже длительное время остается крайне дискуссионным вопросом, видимо, не имеющим однозначного решения. Многими исследователями подчеркивается тот факт, что степные экосистемы и их аналоги являются пирогенными образованиями, формирующимися и эволюционирующими под воздействием огня [3, 82, 83]. С начала земледельческого освоения степных пространств Евразии проведение сельскохозяйственных палов стало практически традиционным элементом степного природопользования, во многом привнесенным жителями других регионов России.

Заключение

Перечисленные выше публикации по отдельным направлениям отражают современный опыт и достижения пирогеографических исследований применительно к степям Северной Евразии. Безотносительно тематической направленности уже проведенных исследований следует обобщить актуальные задачи пирогеографии, определяющие перспективы развития данного научного направления.

1. Пространственно-временная неоднородность развития пожаров. Геоинформационные базы данных по пожарам, содержащие сведения о времени их распространения и площадях гарей, являются наиболее важным инструментом пирогеографических исследований. Открытые базы данных по пожарам (площади гарей и точечные тепловые аномалии) специфичны по информативности и степени достоверности, что следует учитывать при выборе источников данных и при интерпретации получаемых результатов. Крайне важным параметром баз данных является их продолжительность, обеспечивающая достоверность выводов о значимости факторов формирования пожарных

обстановок. Данные о пожарах ограничены 35-40-летним периодом, подкрепленным достаточным количеством спутниковых снимков Landsat. Данный отрезок времени для степей Северной Евразии охватывает несколько фаз активности пожаров, обусловленных кардинальной трансформацией социально-экономической обстановки в последние годы существования СССР и в странах постсоветского пространства. Геоинформационные базы данных по пожарам, находящиеся в открытом доступе, содержат сведения с 2000-2001 гг. и отражают относительно однородную пожарную обстановку, вариативность которой определяется преимущественно метеорологическими факторами. Следовательно, первоочередной задачей пирогеографических исследований является обеспечение объективности получаемых результатов (в зависимости от пространственного уровня исследований) посредством формирования по возможности максимально продолжительных баз данных, подготовленных на основе экспертного дешифрирования спутниковых изображений, либо использования ландшафтно-адаптированных спектральных индексов применительно к снимкам высокого разрешения.

2. *Пирогенность растительного покрова.* Исходя из сведений, содержащихся в литературных источниках, и из результатов наших исследований следует, что наиболее значимым фактором пирогенности степей является относительное количество запасов растительной массы. Под «относительностью» в данном случае мы подразумеваем пространственную неоднородность растительного покрова и изменение запасов фитомассы во времени, в обоих случаях – под действием природных и антропогенных факторов. Отдельные аспекты данного направления достаточно изучены, главным образом это зависимость горимости от состояния растительного покрова под пастбищной нагрузкой. Многолетние геоботанические исследования имеют важное значение, в т.ч. и как способ верификации данных ДЗЗ, но по объективным причинам имеют локальный уровень. Наиболее высокую информативность имеют комплексные работы, выполненные посредством наземных и дистанционных методов оценки – сочетание геоботанических описаний, укосов фитомассы, наземной и дистанционной (БПЛА) спектральной съемки, расчета вегетационных индексов спутниковых изображений.

3. *Источники возгораний.* Для понимания причин формирования пожарных обстановок важными являются сведения об источниках возникновения возгораний. Данная информация не выявляется и не систематизируется ни одним из ведомств, по-видимому, ввиду отсутствия значительного материального ущерба от степных пожаров. Очевидно, что метод опросов в случае с пожарами вряд ли можно будет считать достаточно объективным. В этой связи нами наработан опыт выявления предполагаемых источников пожаров посредством косвенных данных – в ходе идентификации и картографирования очагов (мест возникновения) возгораний. Считаем, что данный алгоритм может быть впоследствии автоматизирован геоинформационными методами, что позволит получить необходимые сведения на региональном и обзорном уровнях.

4. *Распространение пожаров.* К довольно слабоизученным аспектам следует отнести вопрос распространения пожаров, тесно связанный с пирогенностью растительного покрова степей, сельскохозяйственных угодий и других типов земель. Соответственно, в данном блоке исследований должны быть затронуты проблемы выявления пространственной структуры угодий, характера восстановительных процессов на залежных землях, показателей фрагментации пирогенно-опасных пространств и многие другие вопросы. В частности, анализ пространственного положения границ гарей позволит выявить лимитирующую роль природных и антропогенных объектов в распространении огня.

5. *Метеорологические условия пожарной опасности и климатически обусловленные тренды.* Результаты исследований фиксируют наличие в последние десятилетия тенденций, предполагающих ухудшение пожарных обстановок в большинстве степных регионов Северной Евразии. Вместе с тем, практически повсеместно наблюдается постепенное снижение горимости, что свидетельствует о неоднозначном характере влияния метеорологических условий и климатических тенденций на возникновение и распространение

пожаров. Большинство из рассматриваемых метеорологических параметров не имеет значимых корреляционных связей с показателями горимости. К этому следует добавить необходимость корректировки формулы расчета комплексного балла пожарной опасности применительно к условиям степей.

6. *Постпирогенное восстановление.* Наземные мониторинговые исследования являются составной частью смежного научного направления – пирозкологии, позволяют выявить важные особенности постпирогенного состояния рассматриваемых групп биоты и оценить продолжительность восстановительных процессов. Такого рода исследования немногочисленны и имеют локальный характер, соответственно получаемые результаты относятся к непосредственному локальному участку наблюдений и применимы к условиям охватываемого временного отрезка. Пространственный охват могут обеспечить данные ДЗЗ, позволяющие выявить характерные черты постпирогенного состояния растительного покрова с учетом ландшафтного разнообразия исследуемой территории. Таким образом, в общих чертах можно оценить тяжесть воздействия и восстановительные способности отдельных элементов ландшафта. При этом главной задачей остается подбор спектральных индексов, наиболее чувствительных к особенностям постпирогенного состояния поверхности.

Несмотря на очевидные успехи в области пирогеографических исследований, авторы нередко указывают на сложность и неоднозначность причинно-следственных связей между пожароопасными обстановками и, собственно, возникновением и развитием пожаров, например [84]. Обозначенные выше проблемы пирогеографических исследований в совокупности приводят к тому, что многие промежуточные заключения и конечные выводы формулируются на основании косвенных признаков, а результаты часто не имеют подтверждения статистическими методами.

Тем не менее, пирогеография имеет значимый потенциал для дальнейшего развития и в настоящее время находится на этапе перехода от накопления данных о пространственно-временных особенностях развития пожаров к отработке методологических приемов получения необходимых результатов и попыткам их объективной интерпретации. Данное научное направление является междисциплинарным и затрагивает актуальные проблемы устойчивого экологического развития степных регионов и проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности, а получаемые результаты могут служить обоснованием необходимости пожарного блока в структуре государственного экологического мониторинга, а также быть использованы для развития ряда актуальных научных направлений – постпирогенное восстановление отдельных групп биоты, проблема углеродного баланса, отклик на изменение регионального и глобального климата и др. Полученные результаты могут быть востребованы в экологических и социально-экономических исследованиях, в качестве основы для территориального планирования и при разработке мер по управлению пожароопасными обстановками.

В заключение следует отметить, что развитие высокотехнологичных подходов к исследованиям и к реализации конкретных мероприятий не приводит к полному решению проблемы пожарной безопасности. В этой связи также стоит согласиться с А.А. Тишковым [85], указывающим на то, что причины активизации природных пожаров в России не ограничиваются лишь неблагоприятными природными факторами, но и обусловлены институциональными проблемами в области природопользования, охраны природы и управления пожарными ситуациями.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» № ГР АААА-А21-121011190016-1.

Список литературы

1. Zhao J., Yue C., Wang J., Hantson S., Wang X., He B., Li G., Wang L., Zhao H., Luysaert S. Forest fire size amplifies postfire land surface warming // *Nature*. 2024. Vol. 633. P. 828-834. DOI: 10.1038/s41586-024-07918-8.
2. Fire management: principles and strategic actions. Voluntary guidelines for fire management. Fire Management Working Paper 17. Rome / FAO. 2007. URL: <https://www.fao.org/4/j9255r/J9255R00.htm#TopOfPage> (дата обращения: 10.02.2025).
3. Gibson D.J. Grasses and grassland ecology. Oxford University Press, 2009. 323 p.
4. Landsat Data Distribution Policy, 2008. URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-data-distribution-policy> (дата обращения: 05.02.2025).
5. Дубинин М.Ю., Лушчекина А.А., Раделоф Ф.К. Оценка современной динамики пожаров в аридных экосистемах по материалам космической съемки (на примере Черных Земель) // *Аридные экосистемы*. 2010. Т. 16. № 3 (43). С. 5-16.
6. 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. Vol. 114. P. 1638-1648.
7. Павлейчик В.М. Условия распространения и периодичность возникновения травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // *География и природные ресурсы*. 2017. № 2. С. 56-65.
8. Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Steppe Fires in Conditions the Regime of Reserve and Under Changing Anthropogenic Impacts // *Geography and Natural Resources*. 2018. Vol. 39. No. 3. P. 212-221. DOI: 10.1134/S1875372818030046.
9. Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т. Проблемы обеспечения пожарной безопасности участков государственного природного заповедника «Оренбургский» // *Заповедники Оренбуржья в природоохранном каркасе России. Труды ФГБУ «Заповедники Оренбуржья»*. 2019. Вып. 2. С. 185-193.
10. Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т. Многолетняя динамика пожаров в южных степях Северного Прикаспия и Мугоджар // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. 2023. Т. 44. С. 88-106. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.44.88.
11. Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia // *Doklady Earth Sciences*. 2022. Vol. 505. Part. 2. P. 591-597. DOI: 10.1134/S1028334X22080141.
12. Шинкаренко С.С. Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 1. С. 138-146. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-138-146.
13. Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 2. С. 98-110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110.
14. Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. 2021. Т. 6. № 3. С. 23-44. DOI: 10.24189/ncr.2021.035.
15. 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.
16. 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.
17. Пичейкин А.Н., Шинкаренко С.С. Тенденции горимости ландшафтов Терско-Кумской низменности (Северо-Западный Прикаспий) // *Вопросы степеведения*, 2024. № 2. С. 14-25. DOI: 10.24412/2712-8628-2024-2-14-25.

18. 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. Vol. 13. No. 1. P. 29-38. DOI: 10.1134/S2079096123010122.
19. Берденгалиева А.Н. Анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги по данным информационных продуктов спутникового детектирования активного горения и выгоревших площадей // *Интеркарто. Интергис*, 2022. Т. 28. № 1. С. 346-358. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-346-358.
20. Берденгалиева А.Н., Берденгалиев Р.Н. Тренды горимости пойменных ландшафтов Нижнего Дона по данным дистанционного зондирования // *Природные системы и ресурсы*. 2022. Т. 12. № 1. С. 67-76. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2022.1.8.
21. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Иванов Н.М. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. № 1. С. 143-157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.
22. Dara A., Baumann M., Hölzel N. et al. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes // *Ecosystems*. 2020. Vol. 23. No. 3. DOI: 10.1007/s10021-019-00447-w.
23. 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. Vol. 27. P. 1-14. DOI: 10.1111/GCB.15411.
24. Xu Y., Lin Z., Wu C. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. No. 2. P. 313. DOI: 10.3390/rs13020313
25. Валендик Э.Н., Кисильхов Е.К., Пономарев Е.И., Косов И.В., Лобанов А.И., Дугаржав Ч. Природа степных пожаров в Сибири и Монголии // *Сибирский лесной журнал*. 2018. № 4. С. 3-12. DOI: 10.15372/SJFS20180401.
26. Ткачук Т.Е. Динамика площадей степных пожаров на юге Даурии в первом десятилетии XXI века // *Уч. зап. Забайкал. гос. ун-та*. 2015. № 1 (60). С. 72-79.
27. Ткачук Т.Е. Проблема степных пожаров в трансграничье России, Монголии и Китая // *Записки Забайкальского отделения Русского географического общества*. Вып. 135: Географические исследования пригранично-периферийных районов в рыночных условиях. Чита: ЗабГУ, 2016. С. 97-103.
28. Куулар Х.Б., Пономарев Е.И. Пожары растительности в Республике Тыва // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. № 1. С. 111-117.
29. Glushkov I., Zhuravleva I., McCarty J.L., Komarova A., Drozdovsky A., Drozdovskaya M., Lupachik V., Yaroshenko A., Stehman S.V., Prishchepov A.V. Spring fires in Russia: Results from participatory burned area mapping with Sentinel-2 imagery // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3287.
30. Левыкин С.В., Семенов Е.А., Чибилёв А.А.(мл.), Петрищев В.П. Проблемы землепользования и пространственного развития степных регионов. М.: Русайнс, 2018. 216 с.
31. Brinkert A., Hölzel N., Sidorova T.V., Kamp J. Spontaneous steppe restoration on abandoned cropland in Kazakhstan: grazing affects successional pathways // *Biodivers Conserv*. 2016. Vol. 25. P. 2543-2561. DOI: 10.1007/s10531-015-1020-7.
32. Hankerson B.R., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Dong C., Eisfelder C., Müller D. Modeling the spatial distribution of grazing intensity in Kazakhstan // *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14(1). P. e0210051. DOI: 10.1371/journal.pone.0210051.
33. Dara A., Baumann M., Freitag M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Müller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T. Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure // *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 239. P. 111667. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111667.
34. Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // *Ecosystems*. 2011. Vol. 14. P. 547-562. DOI: 10.1007/s10021-011-9427-9.

35. Кулик К.Н., Есмагулова Б.Ж., Кошелева О.Ю., Мушаева К.Б., Шинкаренко С.С. Изменение фитоценозов Волго-Уральского междуречья под влиянием пастбищных нагрузок // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. № 4. С. 25-32.
36. Павлейчик В.М. Степные пожары как угроза экологической безопасности заповедных территорий (на примере участка «Предуральская степь» заповедника «Оренбургский») // Вопросы степеведения, 2019. № 15. С. 245-249. DOI: 10.2441/9999-006A-2019-11535.
37. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 296 с.
38. Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Копотева Т.А., Магомедова Л.Н., Миронычева-Токарева Н.П., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н.В., Тишков А.А., Тран Т., Хакимзянова Ф.И., Шатохина Н.Г., Шмакова Е.И. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Новосибирск: Наука, 1988. 134 с.
39. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.
40. Опарин М.Л., Опарина О.С. Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экологический журнал. 2003. № 2. С. 158-171.
41. Маштыков К.В., Уланова С.С. Постпирогенные сукцессии и антропогенная трансформация пастбищных фитоценозов в пустынной зоне Республики Калмыкия // Степи Северной Евразии: Материалы междунар. симпозиума. Оренбург, 2018. С. 633-635.
42. Рябинина Н.О. Влияние пожаров на степные и полупустынные ландшафты Юго-Востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 38-46. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(38-46).
43. Чибилёв А.А. (мл.) Структура земельного фонда и образование неиспользуемых сельскохозяйственных земель в регионах степной зоны в Европейской части России // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 127-133.
44. 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. Vol. 7. P. 269-278.
45. Lesiv M., Schepaschenko D., Moltchanova E., Bun R., Dürauer M., Prishchepov A., Schierhorn F., Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Kussul N., Shchepashchenko M., Kutovaya O., Martynenko O., Karminov V., Shvidenko A., Havlik P., Kraxner F., See L., Fritz S. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries // Scientific Data. 2018. Vol. 3. No. 5. P. 180056. DOI: 10.1038/sdata.2018.56.
46. Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C., Tyukavina A., Zalles V., Khan A., Song X.-P., Pickens A., Shen Q., Cortez J. Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century // Nature Food. 2021. Vol. 3. DOI: 10.1038/s43016-021-00429-z.
47. Павлейчик В.М., Святоха Н.Ю., Сивохип Ж.Т. Залежные земли в аспекте формирования пожарных обстановок в Заволжско-Уральском регионе // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: Географ. факультет МГУ, 2024. Т. 30. Ч. 2. С. 236-251. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-236-251.
48. Хорошев А.В., Калмыкова О.Г., Дусаева Г.Х. Оценка индекса NDVI как источника информации о наземной фитомассе в степях // Исследование земли из космоса. 2023. № 3. С. 27-43. DOI: 10.31857/S020596142303003x.
49. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Анализ взаимосвязи структурных и спектрально-отражательных характеристик растительности аридных пастбищных ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 171-187. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-171-187.
50. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Анализ влияния видового состава, проективного покрытия и фитомассы растительности аридных пастбищных ландшафтов на их спектрально-отражательные свойства по данным наземных измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 176-192. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.

51. Аюржанаев А.А., Алымбаева Ж.Б., Жарникова М.А., Содномов Б.В. О возможности оценки надземной фитомассы степной растительности с помощью цветных вегетационных индексов (по данным съемки с беспилотных систем) // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2021. Т. 68. № 4. С. 45-53. DOI: 10.18101/2587-7143-2021-4-45-53.
52. Тишков А.А. Глобальные изменения климата и деградация степных экосистем // Аридные экосистемы. 1996. № 2. С. 30-38.
53. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. Соотношение между климатическим и антропогенным факторами восстановления растительного покрова Юго-Востока Европейской России // Аридные экосистемы. 2007. Т. 13. № 33-34. С. 7-16.
54. Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 16-24. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10091.
55. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Многолетняя динамика NDVI аридных пастбищных ландшафтов Европейской России и сопредельных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 6. С. 108-123. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-108-123.
56. Павлейчик В.М., Языкбаев Э.Р., Сивохип Ж.Т., Падалко Ю.А. Особенности формирования и реализации пожароопасных обстановок в Урало-Каспийском регионе в аномально жаркие и засушливые годы // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2023. Т. 43. С. 62-78. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.43.62.
57. Павлейчик В.М., Языкбаев Э.Р., Сивохип 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.
58. Hall J.V., Loboda T.V., Giglio L., McCarty G.W. A MODIS-based burned area assessment for Russian croplands: Mapping requirements and challenges // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 184. P. 506-521. DOI: 10.1016/j.rse.2016.07.022.
59. Зданчук В.А., Артамонова А.И. Влияние выжигания на степную растительность и улучшение пастбищных угодий // Кормодобывание: Сб. тр. отдела кормодобывания Оренбургского науч.-иссл. ин-та мясо-молочного скотоводства. Оренбург: Оренб. книж.-журн. изд-во, 1938. С. 3-20.
60. Павлейчик В.М. Опыт картографирования очагов степных пожаров (методология исследований и практические аспекты) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 3. С. 13-24. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/3/13-24.
61. Pavleichik V.M. Development of Pyrological Research Based on the Results of Fire Identification and Analysis of Geospatial Data // Arid Ecosystems. 2025. Vol. 15. No. 1. P. 26-35. DOI: 10.1134/S2079096124700549.
62. Ильина В.Н. Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20. № 2. С. 4-30.
63. Дусаева Г.Х., Калмыкова О.Г. Влияние пожаров на растительный покров степей Евразии: обзор литературы // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2021. Т. 126. Вып. 2. С. 25-37.
64. Рябинина З.Н., Янтурин С.А., Рябцов С.Н., Абдулина Х.К., Юнусбаев У.Б. Роль степных пожаров в формировании растительного покрова Южного Урала. Уфа: Гилем, 2010. 219 с.
65. Степные пожары и управление пожарной ситуацией в степных ООПТ: экологические и природоохранные аспекты. Аналитический обзор. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2015. 144 с.
66. Самбуу А.Д., Нажик М.К. Постпирогенная трансформация растительности в степных экосистемах Тувы // Степи Северной Евразии: Материалы X междунар. симпозиума. Оренбург, 2024. С. 1156-1160. DOI: 10.24412/cl-37200-2024-1156-1160.

67. Дусаева Г.Х. Влияние пожара на запасы ветоши злаков в степных фитоценозах (на примере участка «Буртинская степь» ГПЗ «Оренбургский») в 2015-2020 гг. // Вопросы степеведения. 2022. № 4. С. 66-75. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-66-75.
68. Дусаева Г.Х., Калмыкова О.Г. Многолетняя динамика запасов живой надземной фитомассы степных фитоценозов после пожара (на примере участка «Буртинская степь» заповедника «Оренбургский») // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 2 (95). С. 67-76. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-2-67-76.
69. Павлейчик В.М., Калмыкова О.Г., Сорока О.В. Особенности микроклиматического режима степных гарей на заповедном участке «Буртинская степь» // Проблемы региональной экологии, 2016. № 4. С. 69-74.
70. Павлейчик В.М., Мячина К.В. Особенности термического режима земной поверхности после степных пожаров по данным спутников Landsat // Вестник ОГУ. 2016. № 4 (192). С. 83-89.
71. Павлейчик В.М., Падалко Ю.А. Аномальное малоснежье и пыльно-снежная буря в Заволжско-Уральском регионе зимой 2017-2018 годов (условия формирования и потенциальные последствия) // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 2. С. 89-96.
72. Павлейчик В.М., Ряхов Р.В. Спектральные показатели постпирогенного состояния степных участков (на примере ключевой территории в Южном Зауралье) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: Географ. факультет МГУ, 2024. Т. 30. Ч. 2. С. 282-298. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-282-298.
73. Биарсланов А.Б., Джалалова М.И., Гаджиев И.Р., АсгEROва Д.Б., Осипова С.В. Применение космических снимков в исследованиях постпирогенных территорий Северо-Западного Прикаспия // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2022. № 4-2 (216-2). С. 4-12. DOI: 10.18522/1026-2237-2022-4-2-4-12.
74. Павлейчик В.М. Устойчивость древесно-кустарниковых элементов степных экосистем к пирогенному фактору (на примере заповедного участка «Буртинская степь») // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18. Вып. 4. С. 228-233. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-4-228-233.
75. Григорьев В.В. Горимость лесов Челябинской области и пути повышения эффективности охраны их от пожаров: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2007. 24 с.
76. Щеглова Е.Г. Влияние пожаров на лесные биоценозы степной зоны: на примере Оренбургской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01. Оренбург, 2013. 22 с.
77. Танков Д.А. Лесные пожары и их влияние на древесно-кустарниковую растительность в лесах Оренбуржья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2014. 16 с.
78. Тюрин С.В. Ветрорегулирующая эффективность и влияние на ландшафтные пожары лесных полос степной зоны: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Волгоград, 2021. 25 с.
79. Рябова Д.В. Влияние травянистой растительности на ветровую тень полезащитных лесных полос и ландшафтные пожары в степной зоне: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Волгоград, 2022. 24 с.
80. Рябцов С.Н. Влияние пирогенной нагрузки на растительный покров степи Южного Предуралья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Оренбург, 2005. 20 с.
81. Дусаева Г.Х. Динамика степных фитоценозов в первые годы после пожара: на примере участка «Буртинская степь» ГПЗ «Оренбургский»: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Тольятти, 2018. 18 с.
82. Тишков А.А. Пожары в степях и саваннах // Вопросы степеведения. 2009. Вып. 7. С. 79-83.
83. Мордкович В.Г. Степные экосистемы / Отв. ред. И.Э. Смелянский. 2-е изд., испр. и доп. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. 170 с.
84. Archibald S., Lehmann C., Gomez-Dans J., Bradstock R. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes // PNAS. 2013. Vol. 110. No. 16. P. 6442-6447. DOI: 10.1073/pnas.1211466110.

85. Тишков А.А. Природные пожары 2010 года в Европейской России: всегда ли виновата жара? // Электронный журнал BioDat. 2010. № 4. Дата депонирования: 01.08.2010. URL: <https://biodat.ru/doc/lib/tishkov4.htm> (дата обращения: 10.02.2025).

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

Поступила в редакцию 15.02.2025

Принята к публикации 19.06.2025

CURRENT STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS OF PYROGEOGRAPHIC RESEARCH IN THE STEPPES OF NORTHERN EURASIA (LITERATURE REVIEW)

V. Pavleichik

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

The article is of an overview nature; it contains the results of the analysis and systematization of scientific research related to the development of wildfires in the steppe regions of Northern Eurasia and in the adjacent territories of forest-steppe and desert natural zones. The article focuses on the problems and prospects of the development of a relatively new scientific field – pyrogeography, which tasks include ensuring the interrelationships between geographical, ecological, biological and socio-economic sciences in solving the problems of managing modern pyrological situations. It is noted that over the past 5-10 years, a number of Russian and foreign research teams and authors have obtained significant results while studying the spatial and temporal dynamics of fires, and the basic principles and approaches of research have been formed. Any author, without exception, points to the key role of pasture load on land, which has determined the pyrogenic state of vegetation cover and the peculiarities of the formation of regional fire situations. The levels of pasture load are uneven both in space and in time, which determines the variability of the burning indicators. The article deals with the issues of seasonal fire conditioning, sources of ignition, climatic trends and the influence of meteorological conditions, the duration of post-pyrogenic restoration processes in steppe landscapes and biota. It is stated that the assessment of the ecological role of fires has been a controversial issue for a long time, which does not have an unambiguous solution. Pyrogeography touches on topical issues of sustainable ecological development of steppe regions and the problems of ensuring the safety of life, and the obtained results can be used to develop a number of relevant scientific areas.

Key words: pyrogeography, grass fires, post-pyrogenic recovery, long-term dynamics, regional features, Northern Eurasia, environmental safety.

References

1. Zhao J., Yue C., Wang J., Hantson S., Wang X., He B., Li G., Wang L., Zhao H., Luyssaert S. Forest fire size amplifies postfire land surface warming. *Nature*. 2024. Vol. 633. P. 828-834. DOI: 10.1038/s41586-024-07918-8.
2. Fire management: principles and strategic actions. Voluntary guidelines for fire management. Fire Management Working Paper 17. Rome. FAO. 2007. URL: <https://www.fao.org/4/j9255r/J9255R00.htm#TopOfPage> (data obrashcheniya: 10.02.2025).
3. Gibson D.J. Grasses and grassland ecology. Oxford University Press, 2009. 323 p.
4. Landsat Data Distribution Policy, 2008. URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-data-distribution-policy> (data obrashcheniya: 05.02.2025).

5. Dubinin M.Yu., Lushchekina A.A., Radelof F.K. Otsenka sovremennoi dinamiki pozharov v aridnykh ekosistemakh po materialam kosmicheskoi s'emki (na primere Chernykh Zemel'). Aridnye ekosistemy. 2010. T. 16. N 3 (43). S. 5-16.
6. 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. Vol. 114. P. 1638-1648.
7. Pavleichik V.M. Usloviya rasprostraneniya i periodichnost' vzniknoveniya travyanykh pozharov v Zavolzhsko-Ural'skom regione. Geografiya i prirodnye resursy. 2017. N 2. S. 56-65.
8. Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Steppe Fires in Conditions the Regime of Reserve and Under Changing Anthropogenic Impacts. Geography and Natural Resources. 2018. Vol. 39. No. 3. P. 212-221. DOI: 10.1134/S1875372818030046.
9. Pavleichik V.M., Sivokhip Zh.T. Problemy obespecheniya pozharnoi bezopasnosti uchastkov gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Orenburgskii". Zapovedniki Orenburzh'ya v prirodookhrannom karkase Rossii. Trudy FGBU "Zapovedniki Orenburzh'ya". 2019. Vyp. 2. S. 185-193.
10. Pavleichik V.M., Sivokhip Zh.T. Mnogoletnyaya dinamika pozharov v yuzhnykh stepyakh Severnogo Prikaspiya i Mugodzhara. Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o Zemle". 2023. T. 44. S. 88-106. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.44.88.
11. Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia. Doklady Earth Sciences. 2022. Vol. 505. Part. 2. P. 591-597. DOI: 10.1134/S1028334X22080141.
12. Shinkarenko S.S. Otsenka dinamiki ploshchadei stepnykh pozharov v Astrakhanskoi oblasti. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. T. 15. N 1. S. 138-146. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-138-146.
13. Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N. Analiz mnogoletnei dinamiki stepnykh pozharov v Volgogradskoi oblasti. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2019. T. 16. N 2. S. 98-110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110.
14. Shinkarenko S.S., Ivanov N.M., Berdengalieva A.N. Prostranstvenno-vremennaya dinamika vygorevshikh ploshchadei na federal'nykh OOPT yugo-vostoka Evropeiskoi Rossii. Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka. 2021. T. 6. N 3. S. 23-44. DOI: 10.24189/ncr.2021.035.
15. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N. Dinamika ploshchadi garei v zonal'nykh landshaftakh yugo-vostoka evropeiskoi chasti Rossii. Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2022. T. 86. N 1. S. 122-133. DOI: 10.31857/S2587556622010113.
16. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A. Dinamika gorimosti aridnykh landshaftov Rossii i sopredel'nykh territorii po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2021. T. 18. N 1. S. 149-164. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
17. Picheikin A.N., Shinkarenko S.S. Tendentsii gorimosti landshaftov Tersko-Kumskoi nizmennosti (Severo-Zapadnyi Prikaspii). Voprosy stepovedeniya, 2024. N 2. S. 14-25. DOI: 10.24412/2712-8628-2024-2-14-25.
18. 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. Vol. 13. No. 1. P. 29-38. DOI: 10.1134/S2079096123010122.
19. Berdengalieva A.N. Analiz gorimosti poimennykh landshaftov Nizhnei Volgi po dannym informatsionnykh produktov sputnikovogo detektirovaniya aktivnogo goreniya i vygorevshikh ploshchadei. Interkarto. Intergis, 2022. T. 28. N 1. S. 346-358. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-346-358.
20. Berdengalieva A.N., Berdengaliyev R.N. Trendy gorimosti poimennykh landshaftov Nizhnego Dona po dannym distantsionnogo zondirovaniya. Prirodnye sistemy i resursy. 2022. T. 12. N 1. S. 67-76. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2022.1.8.
21. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Ivanov N.M. Prostranstvenno-vremennoi analiz gorimosti poimennykh landshaftov Nizhnei Volgi. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2022. T. 19. N 1. S. 143-157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.

22. Dara A., Baumann M., Hölzel N. et al. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes. *Ecosystems*. 2020. Vol. 23. No. 3. DOI: 10.1007/s10021-019-00447-w.
23. 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. Vol. 27. P. 1-14. DOI: 10.1111/GCB.15411.
24. Xu Y., Lin Z., Wu C. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. No. 2. P. 313. DOI: 10.3390/rs13020313
25. Valendik E.N., Kisilyakhov E.K., Ponomarev E.I., Kosov I.V., Lobanov A.I., Dugarzhav Ch. Priroda stepnykh pozharov v Sibiri i Mongolii. *Sibirskii lesnoi zhurnal*. 2018. N 4. S. 3-12. DOI: 10.15372/SJFS20180401.
26. Tkachuk T.E. Dinamika ploshchadei stepnykh pozharov na yuge Daurii v pervom desyatiletii XXI veka. *Uch. zap. Zabaikal. gos. un-ta*. 2015. N 1 (60). S. 72-79.
27. Tkachuk T.E. Problema stepnykh pozharov v transgranich'e Rossii, Mongolii i Kitaya. *Zapiski Zabaikal'skogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva. Vyp. 135: Geograficheskie issledovaniya prigranichno-periferiinykh raionov v rynochnykh usloviyakh*. Chita: ZabGU, 2016. S. 97-103.
28. Kuular Kh.B., Ponomarev E.I. Pozhary rastitel'nosti v Respublike Tyva. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. N 1. S. 111-117.
29. Glushkov I., Zhuravleva I., McCarty J.L., Komarova A., Drozdovsky A., Drozdovskaya M., Lupachik V., Yaroshenko A., Stehman S.V., Prishchepov A.V. Spring fires in Russia: Results from participatory burned area mapping with Sentinel-2 imagery. *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3287.
30. Levykin S.V., Semenov E.A., Chibilev A.A. (ml.), Petrishchev V.P. *Problemy zemlepol'zovaniya i prostranstvennogo razvitiya stepnykh regionov*. M.: Rusains, 2018. 216 s.
31. Brinkert A., Hölzel N., Sidorova T.V., Kamp J. Spontaneous steppe restoration on abandoned cropland in Kazakhstan: grazing affects successional pathways. *Biodivers Conserv*. 2016. Vol. 25. P. 2543-2561. DOI: 10.1007/s10531-015-1020-7.
32. Hankerson B.R., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Dong C., Eisfelder C., Müller D. Modeling the spatial distribution of grazing intensity in Kazakhstan. *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14(1). P. e0210051. DOI: 10.1371/journal.pone.0210051.
33. Dara A., Baumann M., Freitag M., Hölzel N., Hostert P., Kamp J., Müller D., Prishchepov A.V., Kuemmerle T. Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure. *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 239. P. 111667. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111667.
34. Dubinin M., Lushchekina A., Radloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*. 2011. Vol. 14. P. 547-562. DOI: 10.1007/s10021-011-9427-9.
35. Kulik K.N., Esmagulova B.Zh., Kosheleva O.Yu., Mushaeva K.B., Shinkarenko S.S. *Izmenenie fitotsenozov Volgo-Ural'skogo mezhdurech'ya pod vliyaniem pastbishchnykh nagruzok*. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2016. N 4. S. 25-32.
36. Pavleichik V.M. Stepnye pozhary kak ugroza ekologicheskoi bezopasnosti zapovednykh territorii (na primere uchastka "Predural'skaya step'" zapovednika "Orenburgskii"). *Voprosy stepovedeniya*, 2019. N 15. S. 245-249. DOI: 10.2441/9999-006A-2019-11535.
37. Bazilevich N.I., Grebenshchikov O.S., Tishkov A.A. *Geograficheskie zakonomernosti struktury i funktsionirovaniya ekosistem*. M.: Nauka, 1986. 296 s.
38. Titlyanova A.A., Bazilevich N.I., Snytko V.A., Dubynina S.S., Kopoteva T.A., Magomedova L.N., Mironycheva-Tokareva N.P., Nefed'eva L.G., Semenyuk N.V., Tishkov A.A., Tran T., Khakimzyanova F.I., Shatokhina N.G., Shmakova E.I. *Biologicheskaya produktivnost' travyanykh ekosistem*. Novosibirsk: Nauka, 1988. 134 s.
39. Tishkov A.A. *Biosfernye funktsii prirodnnykh ekosistem Rossii*. M.: Nauka, 2005. 309 s.

40. Oparin M.L., Oparina O.S. Vliyanie palov na dinamiku stepnoi rastitel'nosti. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*. 2003. N 2. С. 158-171.
41. Mashtykov K.V., Ulanova S.S. Postpirogennyye suksessii i antropogennaya transformatsiya pastbishchnykh fitotsenozov v pustynnoi zone Respubliki Kalmykiya. *Stepi Severnoi Evrazii: Materialy mezhdunar. simpoziuma*. Orenburg, 2018. S. 633-635.
42. Ryabinina N.O. Vliyanie pozharov na stepnye i polupustynnye landshafty Yugo-Vostoka Russkoi ravniny (na primere prirodnkh parkov Volgogradskoi oblasti). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2018. N 4. S. 38-46. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(38-46).
43. Chibilev A.A. (ml.) Struktura zemel'nogo fonda i obrazovanie neispol'zuemykh sel'skokhozyaistvennykh zemel' v regionakh stepnoi zony v Evropeiskoi chasti Rossii. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2017. N 10. S. 127-133.
44. 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. Vol. 7. P. 269-278.
45. Lesiv M., Schepaschenko D., Moltchanova E., Bun R., Dürauer M., Prishchepov A., Schierhorn F., Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Kussul N., Shchepashchenko M., Kutovaya O., Martynenko O., Karminov V., Shvidenko A., Havlik P., Kraxner F., See L., Fritz S. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. *Scientific Data*. 2018. Vol. 3. No. 5. P. 180056. DOI: 10.1038/sdata.2018.56.
46. Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C., Tyukavina A., Zalles V., Khan A., Song X.-P., Pickens A., Shen Q., Cortez J. Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century. *Nature Food*. 2021. Vol. 3. DOI: 10.1038/s43016-021-00429-z.
47. Pavleikhik V.M., Svyatokha N.Yu., Sivokhip Zh.T. Zalezhnye zemli v aspekte formirovaniya pozharnykh obstanovok v Zavolzhsko-Ural'skom regione. *InterKarto. InterGIS. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoichivogo razvitiya territorii*. M.: Geograf. fakul'tet MGU, 2024. T. 30. Ch. 2. S. 236-251. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-236-251.
48. Khoroshev A.V., Kalmykova O.G., Dusaeva G.Kh. Otsenka indeksa NDVI kak istochnika informatsii o nadzemnoi fitomasse v stepyakh. *Issledovanie zemli iz kosmosa*. 2023. N 3. S. 27-43. DOI: 10.31857/S020596142303003x.
49. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Analiz vzaimosvyazi strukturnykh i spektral'no-otrazhatel'nykh kharakteristik rastitel'nosti aridnykh pastbishchnykh landshaftov. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2024. T. 21. N 3. S. 171-187. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-171-187.
50. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Analiz vliyaniya vidovogo sostava, proektivnogo pokrytiya i fitomassy rastitel'nosti aridnykh pastbishchnykh landshaftov na ikh spektral'no-otrazhatel'nye svoistva po dannym nazemnykh izmerenii. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2023. T. 20. N 3. S. 176-192. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.
51. Ayurzhanayev A.A., Alymbayeva Zh.B., Zharnikova M.A., Sodnomov B.V. O vozmozhnosti otsenki nadzemnoi fitomassy stepnoi rastitel'nosti s pomoshch'yu tsvetnykh vegetatsionnykh indeksov (po dannym s"emki s bespilotnykh sistem). *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, geografiya*. 2021. T. 68. N 4. S. 45-53. DOI: 10.18101/2587-7143-2021-4-45-53.
52. Tishkov A.A. Global'nye izmeneniya klimata i degradatsiya stepnykh ekosistem. *Aridnye ekosistemy*. 1996. N 2. S. 30-38.
53. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V. Sootnoshenie mezhdru klimaticheskimi i antropogennymi faktorami vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova Yugo-Vostoka Evropeiskoi Rossii. *Aridnye ekosistemy*. 2007. T. 13. N 33-34. S. 7-16.
54. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. Geoinformatsionnyi analiz opustynivaniya Severo-Zapadnogo Prikaspiya. *Aridnye ekosistemy*. 2020. T. 26. N 2 (83). S. 16-24. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10091.
55. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Mnogoletnyaya dinamika NDVI aridnykh pastbishchnykh landshaftov Evropeiskoi Rossii i sopredel'nykh territorii. *Sovremennyye problemy distantsionnogo*

- zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2022. T. 19. N 6. S. 108-123. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-108-123.
56. Pavleichik V.M., Yazykbaev E.R., Sivokhip Zh.T., Padalko Yu.A. Osobennosti formirovaniya i realizatsii pozharoopasnykh obstanovok v Uralo-Kaspiiskom regione v anomal'no zharkie i zasushlivye gody. Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o Zemle". 2023. T. 43. S. 62-78. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.43.62.
57. Pavleichik V.M., Yazykbaev E.R., Sivokhip Zh.T. Termicheskie usloviya formirovaniya i realizatsii pozharnykh obstanovok v stepnykh regionakh Severnoi Evrazii. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2025. N 1. S. 99-107.
58. Hall J.V., Loboda T.V., Giglio L., McCarty G.W. A MODIS-based burned area assessment for Russian croplands: Mapping requirements and challenges. Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 184. P. 506-521. DOI: 10.1016/j.rse.2016.07.022.
59. Zdanchuk V.A., Artamonova A.I. Vliyanie vyzhiganiya na stepnuyu rastitel'nost' i uluchshenie pastbishchnykh ugodii. Kormodobyvanie: Sb. tr. otdela kormodobyvaniya Orenburgskogo nauch.-issl. in-ta myaso-molochnogo skotovodstva. Orenburg: Orenb. knizh.-zhurn. izd-vo, 1938. S. 3-20.
60. Pavleichik V.M. Opyt kartografirovaniya ochagov stepnykh pozharov (metodologiya issledovaniy i prakticheskie aspekty). Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2023. N 3. S. 13-24. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/3/13-24.
61. Pavleichik V.M. Development of Pyrological Research Based on the Results of Fire Identification and Analysis of Geospatial Data. Arid Ecosystems. 2025. Vol. 15. No. 1. P. 26-35. DOI: 10.1134/S2079096124700549.
62. Il'ina V.N. Pirogennoe vozdeistvie na rastitel'nyi pokrov. Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii. 2011. T. 20. N 2. S. 4-30.
63. Dusaeva G.Kh., Kalmykova O.G. Vliyanie pozharov na rastitel'nyi pokrov stepei Evrazii: obzor literatury. Byul. Mosk. o-va ispytatelei prirody. Otd. biol. 2021. T. 126. Vyp. 2. S. 25-37.
64. Ryabinina Z.N., Yanturin S.A., Ryabtsov S.N., Abdulina Kh.K., Yunusbaev U.B. Rol' stepnykh pozharov v formirovanii rastitel'nogo pokrova Yuzhnogo Urala. Ufa: Gilem, 2010. 219 s.
65. Stepnye pozhary i upravlenie pozharnoi situatsiei v stepnykh OOPT: ekologicheskie i prirodookhrannye aspekty. Analiticheskii obzor. M.: Izd-vo Tsentra okhrany dikoi prirody, 2015. 144 s.
66. Sambuu A.D., Nazhik M.K. Postpirogennaya transformatsiya rastitel'nosti v stepnykh ekosistemakh Tuvy. Step'i Severnoi Evrazii: Materialy X mezhdunar. simpoziuma. Orenburg, 2024. S. 1156-1160. DOI: 10.24412/cl-37200-2024-1156-1160.
67. Dusaeva G.Kh. Vliyanie pozhara na zapasy vetoshi zlakov v stepnykh fitotsenozakh (na primere uchastka "Burtinskaya step'" GPZ "Orenburgskii") v 2015-2020 gg. Voprosy stepovedeniya. 2022. N 4. S. 66-75. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-66-75.
68. Dusaeva G.Kh., Kalmykova O.G. Mnogoletnyaya dinamika zapasov zhivoi nadzemnoi fitomassy stepnykh fitotsenozov posle pozhara (na primere uchastka "Burtinskaya step'" zapovednika "Orenburgskii"). Aridnye ekosistemy. 2023. T. 29. N 2 (95). S. 67-76. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-2-67-76.
69. Pavleichik V.M., Kalmykova O.G., Soroka O.V. Osobennosti mikroklimaticheskogo rezhima stepnykh garei na zapovednom uchastke "Burtinskaya step'". Problemy regional'noi ekologii, 2016. N 4. S. 69-74.
70. Pavleichik V.M., Myachina K.V. Osobennosti termicheskogo rezhima zemnoi poverkhnosti posle stepnykh pozharov po dannym sputnikov Landsat. Vestnik OGU. 2016. N 4 (192). S. 83-89.
71. Pavleichik V.M., Padalko Yu.A. Anomal'noe malosnezh'e i pyl'no-snezhnaya burya v Zavolzhsko-Ural'skom regione zimoi 2017-2018 godov (usloviya formirovaniya i potentsial'nye posledstviya). Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii. 2018. N 2. S. 89-96.
72. Pavleichik V.M., Ryakhov R.V. Spektral'nye pokazateli postpirogennogo sostoyaniya stepnykh uchastkov (na primere klyuchevoi territorii v Yuzhnom Zaural'e). InterKarto. InterGIS. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoichivogo razvitiya territorii. M.: Geograf. fakul'tet MGU, 2024. T. 30. Ch. 2. S. 282-298. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-282-298.

73. Biarslanov A.B., Dzhahalova M.I., Gadzhiev I.R., Asgerova D.B., Osipova S.V. Primenenie kosmicheskikh snimkov v issledovaniyakh postpirogennykh territorii Severo-Zapadnogo Prikaspiya. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki. 2022. N 4-2 (216-2). S. 4-12. DOI: 10.18522/1026-2237-2022-4-2-4-12.
74. Pavleichik V.M. Ustoichivost' drevesno-kustarnikovykh elementov stepnykh ekosistem k pirogenomu faktoru (na primere zapovednogo uchastka "Burtinskaya step"). Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle. 2018. T. 18. Vyp. 4. S. 228-233. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-4-228-233.
75. Grigor'ev V.V. Gorimost' lesov Chelyabinskoi oblasti i puti povysheniya effektivnosti okhrany ikh ot pozharov: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.03. Ekaterinburg, 2007. 24 s.
76. Shcheglova E.G. Vliyanie pozharov na lesnye biotsenozy stepnoi zony: na primere Orenburgskoi oblasti: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.01. Orenburg, 2013. 22 s.
77. Tankov D.A. Lesnye pozhary i ikh vliyanie na drevesno-kustarnikovuyu rastitel'nost' v lesakh Orenburzh'ya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.03. Ekaterinburg, 2014. 16 s.
78. Tyurin S.V. Vetroreguliruyushchaya effektivnost' i vliyanie na landshaftnye pozhary lesnykh polos stepnoi zony: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.03. Volgograd, 2021. 25 s.
79. Ryabova D.V. Vliyanie travyanistoi rastitel'nosti na vetrovuyu ten' polezashchitnykh lesnykh polos i landshaftnye pozhary v stepnoi zone: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.03.03. Volgograd, 2022. 24 s.
80. Ryabtsov S.N. Vliyanie pirogennoi nagruzki na rastitel'nyi pokrov stepi Yuzhnogo Predural'ya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.05. Orenburg, 2005. 20 s.
81. Dusaeva G.Kh. Dinamika stepnykh fitotsenozov v pervye gody posle pozhara: na primere uchastka "Burtinskaya step" GPZ "Orenburgskii": avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.08. Tol'yatti, 2018. 18 s.
82. Tishkov A.A. Pozhary v stepyakh i savannakh. Voprosy stepovedeniya. 2009. Vyp. 7. S. 79-83.
83. Mordkovich V.G. Stepnye ekosistemy. Otv. red. I.E. Smelyanskii. 2-e izd., ispr. i dop. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo "Geo", 2014. 170 s.
84. Archibald S., Lehmann C., Gomez-Dans J., Bradstock R. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. PNAS. 2013. Vol. 110. No. 16. P. 6442-6447. DOI: 10.1073/pnas.1211466110.
85. Tishkov A.A. Prirodnye pozhary 2010 goda v Evropeiskoi Rossii: vseгда li vinovata zhara? Elektronnyi zhurnal BioDat. 2010. N 4. Data deponirovaniya: 01.08.2010. URL: <https://biodat.ru/doc/lib/tishkov4.htm> (data obrashcheniya: 10.02.2025).

Сведения об авторе:

Павлейчик Владимир Михайлович

К.г.н., ведущий научный сотрудник отдела ландшафтной экологии, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0002-2846-0442

Pavleichik Vladimir

Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Department of Landscape Ecology, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Для цитирования: Павлейчик В.М. Современное состояние, проблемы и перспективы пирогеографических исследований в степях Северной Евразии // Вопросы степеведения. 2025. № 2. С. 13-36. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-2-13-36