

ПОЖАРЫ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: НОВЫЕ ОЦЕНКИ, РОЛЬ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

А. А. Тишков, С. В. Титова

Институт географии РАН (Москва, Российская Федерация)

Для цитирования

Тишков А. А., Титова С. В. Пожары в Арктической зоне Российской Федерации: новые оценки, роль изменений климата и возможные последствия // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 1. — С. 98—108. — DOI: 10.25283/2223-4594-2025-1-98-108.

Статья поступила в редакцию 2 ноября 2024 г.

Рассматриваются разные аспекты распространения и динамики пожаров в российской Арктике в XX в. С использованием архивов космической съемки сенсора MODIS со спутников Terra и Aqua построена карта термических аномалий в 2000–2024 гг., уточнена статистика пожаров в арктических регионах. За последние 25 лет в Арктической зоне Российской Федерации огнем пройдено около 36,5 млн га, из которых около 13,3 млн га в лесах. Выявлены наиболее «горимые» территории и динамика возникновения на них пожаров. Показано, что в условиях климатических изменений на фоне потепления климата в российской Арктике отмечался рост продуктивности (на 10–15%), экспансия кустарников в тундру и соответственно рост запасов надземных растительных остатков. На фоне роста засушливости и частоты гроз с молниями, особенно в континентальных областях Якутии и Чукотки, наблюдается тренд расширения площади пожаров и их негативных последствий. Результаты исследований помогут в мониторинге и борьбе с пожарами. В связи с приостановлением сотрудничества России с Арктическим советом отмечена необходимость сохранения международных контактов в области контроля пожаров в Арктике.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ), тундровые и торфяные пожары, лесотундра, северная граница леса, изменение климата, биоразнообразие.

Введение

По данным Глобальной информационной системы о пожарах (Fire Information for Resource Management System — FIRMS) [1], с 2018 г. на большей части Арктики количество пожаров увеличилось более чем в три раза. В отдельных районах, где пожары раньше не наблюдались, сформировались постоянно растущие очаги горения. В последнее десятилетие количество и площадь пожаров в российской Арктике растет. R. C. Scholten с соавторами в журнале «Nature Geoscience» в 2024 г. опубликовали «Бореально-Арктический атлас пожаров», который

отражает пространственно-временную изменчивость пожаров в регионе [2]. Показано, что лучшим предиктором пожаров в Арктике является дефицит давления водяного пара, а в отдельных регионах — плотность гроз с молниями, запасы надземной растительной массы и в целом хозяйственная освоенность территории.

Другие аспекты проблемы арктических пожаров постоянно рассматривают специалисты в области изменений климата, которые видят в росте числа пожаров в Арктике угрозу ее статусу как одного из основных мировых поглотителей углерода и поставщика «черного углерода» [3]. По оценкам [4; 5], на

© Тишков А. А., Титова С. В., 2025

долю пожаров в «Бореально-Арктическом биоме» может приходиться до 7% глобальных выбросов углерода, т. е. из поглотителя CO₂ экосистемы Арктики могут превратиться в его источник.

Важным фактором динамики арктических экосистем пожары могут стать в случае блокирования развития древесно-кустарниковой растительности на водоразделах и в целом при экспансии леса на север в условиях потепления климата. На это в последние годы обращали внимание многие исследователи [6; 7], в том числе и мы [8—10]. Пожары рассматривались и рассматриваются как один из важнейших факторов деградации мерзлоты, усиления эмиссии углерода и метана из арктических почв и формирования, «полосы относительного безлесья» (200—300 км) вдоль северной границы тайги [11; 12].

Участившиеся пожары становятся проблемой номер один в отношении сохранения биоразнообразия, репродукции и миграций арктических млекопитающих и птиц, функционирования охраняемых природных территорий Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ).

Несмотря на наличие глобальных (NASA-FIRM, GeoMap, AirNow Fire and Smoke Map, <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3.0z>), региональных (например, европейской European Forest Fire Information System, <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/>) и национальных систем мониторинга пожаров в России — МЧС, Минприроды России, НИИ Аэрокосмос (<https://fire.ru>, <http://fire.minprirody.ru>, <http://pro.fires.ru>, <http://aerokosmos.info> и др.), фиксировать и анализировать динамику пожаров в АЗРФ крайне сложно. В национальной статистике Росстата (<https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13209>) и Рослесхоза (https://rosleshoz.gov.ru/rates/forest_fires/area) арктические пожары (в тундрах, стланиках, на торфяниках и пр.) не выделяются. Особенностью пожаров последних десятилетий за полярным кругом стали «пожары-зомби» — внесезонные торфяные пожары, функционирующие даже в морозный период и сохраняющие потенциал горимости круглогодично. В границах тундровой зоны много торфяников с мощностью 0,3—1,0 м и более, которые в засушливый период высыхают и образуют очаги постоянного горения.

Ранее проблема пожаров в АЗРФ затрагивалась нами в монографии «Экологическая реставрация нарушенных экосистем Севера» [12] в отношении возможностей восстановления растительности после пирогенных нарушений и палов для улучшения оленьих пастбищ, а позднее — в связи с обсуждением (1) «позеленения» Арктики в XXI в. [8], (2) биогеографических эффектов «быстрых» изменений климата [9], (3) взаимоотношения тундры и леса [15; 16] и (4) изменений продуктивности тундр [10].

В XXI в. в Арктике прогнозируется увеличение частоты экстремальных погодных явлений [13; 14],

в том числе рост интенсивности и продолжительности пожаров, особенно в высоких северных широтах [2; 15]. Поэтому актуально проанализировать динамику пожаров на территории АЗРФ в последние десятилетия, роли в их возникновении и распространении изменений климата и более широко рассмотреть возможные последствия роста числа пожаров для хозяйства и арктической природы. Этим проблемам и посвящена настоящая статья.

Материалы и методы

Поскольку для тундровых пожаров (к таким участкам относится значительная часть территории АЗРФ за исключением Мурманской и отдельных районов Архангельской областей, Республики Коми и улусов Якутии) не собираются статистические данные, оценить их динамику можно только по данным дистанционного космического мониторинга. На сайтах администраций арктических регионов в пожароопасный период фиксируются случаи и площади пожаров, но, как правило, эта информация неполна (<https://gov-murman.ru/>, <https://agip.sakha.gov.ru/>, <https://web.archive.org/web/20200814114755/> <https://dvinaland.ru/gov/adm/> и др.)

Наибольшую временную продолжительность наблюдений имеют данные о температурных аномалиях сенсора MODIS со спутников Terra и Aqua. Для целей настоящего исследования использовались производные продукты MODIS Active Fire — MOD14A2 и MYD14A2 за период с 18 февраля 2000 г. по 25 ноября 2024 г. (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod14a2v006/>), что охватывает полностью пожарные сезоны в АЗРФ за 25 лет.

Обработка данных проводилась в среде Google Earth Engine, для чего была написана программа на Java Script, которая выполнила подсчет пересечений площадей исходных растровых данных о термических аномалиях с подаваемыми на вход векторными данными с границами АЗРФ и типами растительности. Листинг программы и алгоритм расчетов был приложен к рукописи и представлен в редакцию журнала.

Оценки запасов надземной мортмассы и подстилки проводились с привлечением материалов нашей базы данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии» на сайте www.biodat.ru [17]. Коррекция данных по мортмассе проводилась на основе выявленных ранее закономерностей формирования живой и мертвой фитомассы в арктических экосистемах [18], особенностей возникновения и функционирования лесных и торфяных пожаров на территории России [19; 20] и прогноза продуктивности Арктики [10].

Результаты и их обсуждение

География территорий, пройденных пожарами в АЗРФ. Результат анализа пространственного распределения зафиксированных пожаров за период наблюдений 2000—2024 гг. приведен на рис. 1.

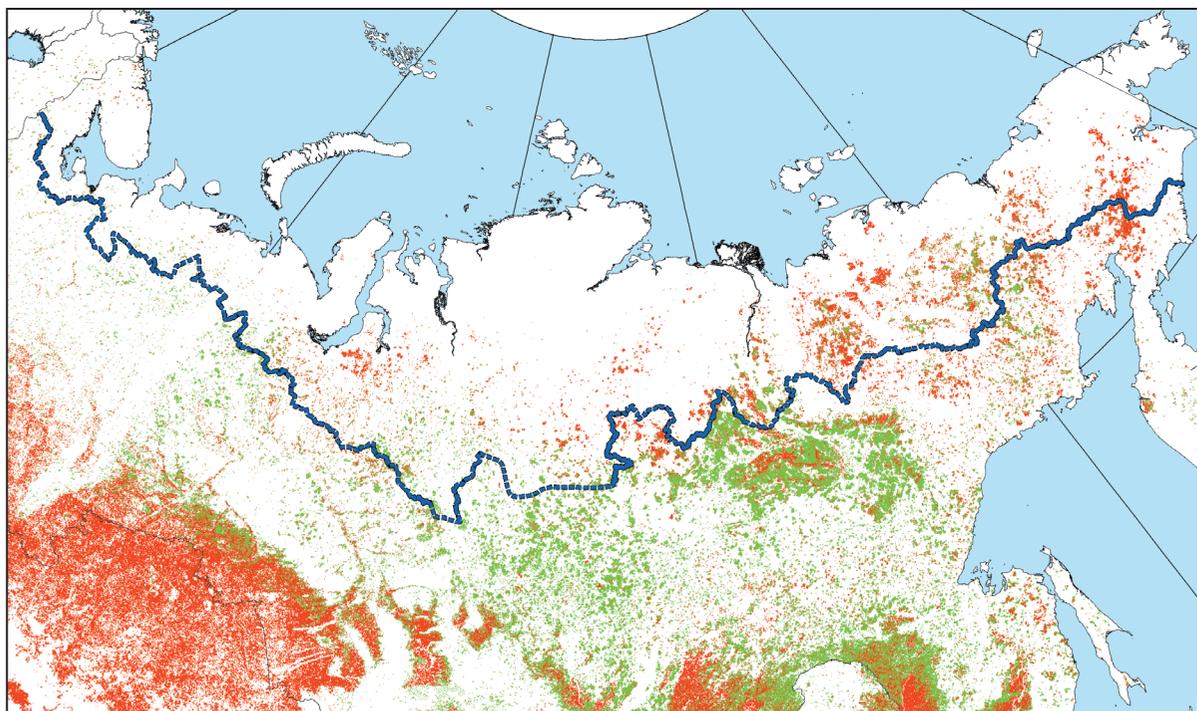


Рис. 1. Пожары (термические аномалии, термоточки), возникшие в пределах российской Арктики с 2000 по 2024 гг. с разделением на возникшие на покрытых лесом площадях (зеленый цвет) и вне их (красный). Контур южной границы Арктической зоны Российской Федерации представлен синим цветом

Fig. 1. Fires (thermal anomalies, thermal points) that occurred within the Russian Arctic from 2000 to 2024, divided into those that occurred in forested areas (green) and outside them (red). The outline of the southern border of the Russian Arctic is shown in blue

Основные территории АЗРФ представлены полярно-пустынной, тундровой и болотной растительностью. В ее южной полосе также обычны лесотундра, острова леса, редколесий, стлаников и кустарников, которые и становятся в основном объектами природных и антропогенных пожаров. Большая часть

пожаров в рассматриваемый период произошла вне лесопокрытых площадей АЗРФ (табл. 1). По суммарной площади лидируют северные улусы Республики Саха (Якутия), Чукотский автономный округ (АО), Ямало-Ненецкий АО и Таймырский АО. Везде преобладали пожары вне лесопокрытых территорий.

Таблица 1. Площадь, пройденная пожарами в АЗРФ за 2000—2024 гг., га

Table 1. The area covered by fires in the Russian Arctic in 2000—2024, ha

Регион	Вне леса (тундры, торфяники, луга), га	На лесопокрытой площади (лесные острова, редколесья), га	Всего, га
Мурманская область	123 453	124 113	247 566
Республика Карелия	28 824	92 041	120 866
Архангельская область	100 307	234 913	335 221
Ненецкий АО	109 343	11 512	120 856
Республика Коми	120 311	294 120	414 432
Ямало-Ненецкий АО	4 106 505	2 509 403	6 615 908
Север Красноярского края	2 575 276	3 477 810	6 053 086
Республика Саха (Якутия)	13 097 860	5 202 488	18 300 348
Чукотский АО	3 868 945	394 458	4 263 404
Итого	24 130 824	13 340 858	36 471 487

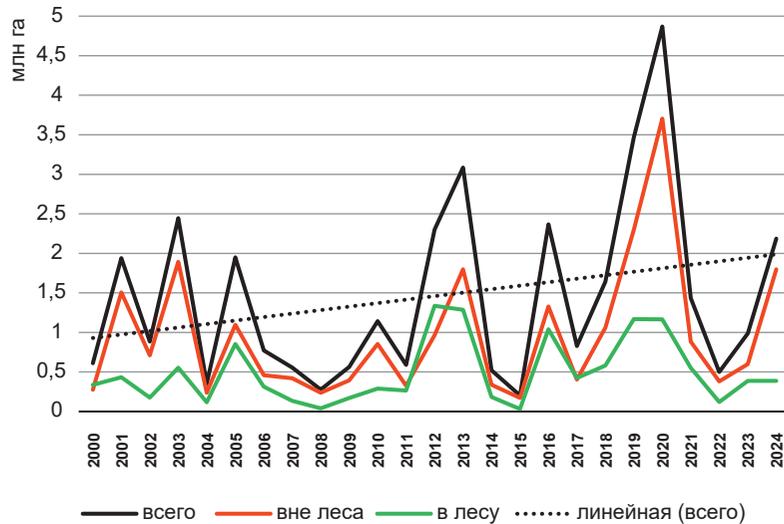


Рис. 2. Динамика площади пожаров в АЗРФ в XXI в.
Fig. 2. Dynamics of the fire areas in the Russian Arctic in the 21st century

Динамика пожаров в АЗРФ. На рис. 2 и 3 представлены результаты дистанционного анализа динамики площади пожаров в АЗРФ в XXI в. по годам и регионам соответственно. Несмотря на выявляемую пространственную и временную неравномерность данных, рост здесь частоты и площади пожаров проявляется как в целом для всей АЗРФ, так и отдельно для регионов, в том числе на покрытых лесом территориях и вне их (см. рис. 2). Более выраженным тренд стал после 2010 г., когда в отдельных арктических регионах участились случаи засух и гроз с молниями. По данным Всемирной сети местоположения молний, адаптированных для циркумполярной Арктики [21], за последнее десятилетие количество гроз с молниями здесь выросло в восемь раз. В соответствии с этим выросло число стихийных возгораний вне зоны хозяйственной деятельности человека, фиксируемых нами с помощью дистанционных методов.

Статистическая информация о динамике природных пожаров вдоль южной границы АЗРФ в ограниченном виде представлена и в ежегодных государственных докладах о состоянии окружающей среды (https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okrughayushchey_sredy_rossiyskoj_federatsii). В последнем случае речь идет о текущих данных для отдельных арктических регионов. Например, в 2022—2023 гг. по сравнению с 2021 г. выявлен рост частоты природных пожаров: на беломорском побережье Республики Карелия — с 19 до 114, в Республике Коми — с 99 до 104, в Ненецком АО — с 1 до 27, в Мурманской области — со 138 до 610, в Чукотском АО — с 3 до 17. В Ямало-Ненецком АО число фиксируемых возгораний в природе сохранилось прежнем уров-

не (152 и 148 соответственно) при росте площади. В 2024 г. тенденция сохранилась, особенно в засушливый период начала лета в Таймырском АО, северных улусах Якутии, Чукотском АО и др.

По данным Минприроды Мурманской области (<https://murmansk.rbc.ru/murmansk/04/10/2024/66ff95629a794730ae8bfe74>), по итогам пожароопасного сезона 2024 г. в области ликвидированы 102 пожара на землях лесного фонда, что почти в полтора раза больше, чем в 2023 г. (73 пожара). На землях иных категорий (тундры, болота) ликвидировано 67 пожаров (в 2023 г. их было 38). Всего же за текущий пожароопасный сезон устранены 172 ландшафтных пожара на общей площади около 4,5 тыс. га. Число общих возгораний и «накопленные» площади гарей не представлены.

Пожары и текущие изменения климата Арктики. В проекте Арктического совета по изучению пожаров [22] считают, что пожары — естественная часть арктической экосистемы, но в связи с изменениями климата (потеплением) меняются сам характер пожаров, их сезонная приуроченность, масштабность и продолжительность. Растут частота пожаров и так называемый оборот огня, который определяет возможность восстановления зональной растительности через пирогенную сукцессию. Ориентируясь на данные «Программы арктического мониторинга и оценки» [22], материалы «Третьего оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» [13] и оценки климатологов [23], можно заключить, что рост пожаров в российской Арктике — одно из проявлений последствий глобального потепления, связанное не только непосредственно с ростом температур, но и с возрастанием сухости в теплый пожароопасный сезон, особенно на северо-востоке

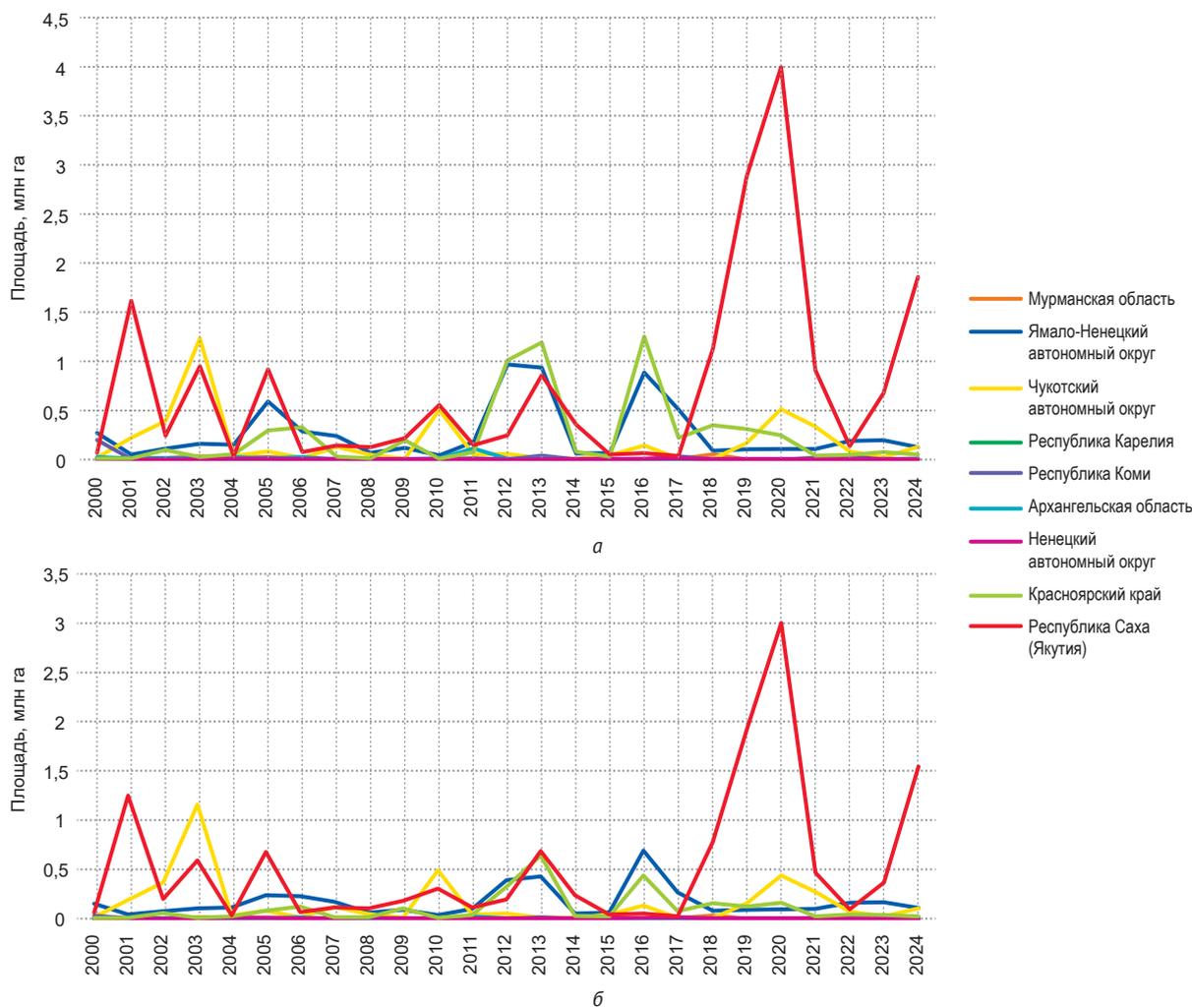


Рис. 3. Динамика площади пожаров в регионах АЗРФ: а – общая площадь, б – вне лесопокрытой территории
 Fig. 3. Dynamics of the fire areas in the Russian Arctic regions: а – total area, б – outside the forested area

Сибири, где и так количество осадков составляет не более 300 мм в год [13; 15].

В последние десятилетия над Арктикой чаще формируются антициклоны (так проявляются циклы атмосферной циркуляции), а в периоды малой облачности в полярный день поверхность земли не успевает охладиться, влажность воздуха остается сравнительно низкой, происходит иссушение верхних слоев почвы и торфа, в растительном покрове усиливается эвапотранспирация [13–16]. При росте продуктивности, особенно количества подстилки и ветоши, как следствия потепления климата в первое десятилетие XXI в. вероятность возникновения пожаров в Арктике растет.

Восприимчивость арктических экосистем к «быстрым» изменениям климата привела к тому, что и их последствия проявляются также сравнительно быстро [15]. Одно из них — пожары, которые, по образному выражению некоторых исследователей после первых десятилетий потепления, «возвращаются» в Арктику [24].

По нашим данным [10] и материалам других авторов [25–29 и др.], с конца XX в. в Арктике наблюдался повсеместный рост продуктивности растительного покрова. Изменение вегетационного индекса NDVI в российской Арктике и в высоких широтах Северной Америки к этому периоду составило около +10–15%, что адекватно такому же росту первичной продукции экосистем. Сохранение такого уровня продуктивности растительности способствовало накоплению дополнительно от 0,2 до 0,5 т/га надземных мертвых растительных остатков, масса которых в зональных типичных и южных (кустарниковых) тундрах может составлять от 3–5 до 8–15 т/га. К началу 2010-х годов рост продуктивности приостановился, а его тренд сменился погодичными колебаниями вокруг нового уровня средних показателей [10]. С учетом этого в экосистему поступают излишки горючей растительной массы, которые разлагаются медленнее, несмотря на рост температуры и таяние мерзлоты, и стимулируют накопление горючей подстилки и ветоши.

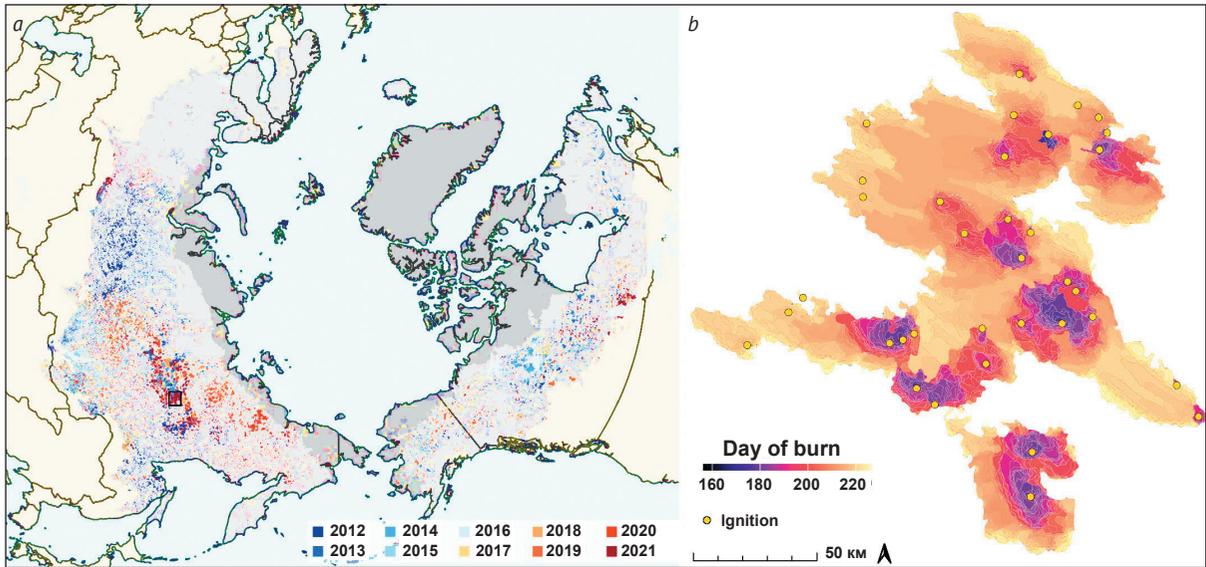


Рис. 4. Пожары 2012–2021 гг. на карте циркулярной Арктики (а) и детальная карта продолжительности пожаров в этот период в Якутии (б). Из [2]
Fig. 4. Fires of 2012–2021 on the map of the circumpolar Arctic (a) and a detailed map of the fire duration during this period in Yakutia (b). From [2]

Также одним из важных вопросов для Арктики в связи с проблемой «изменения климата и пожары» остается вопрос о поступлении больших объемов углекислого газа в атмосферу Земли. Так, по данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), только за июнь 2019 г. от арктических пожаров в атмосферу было выброшено до 50 млн т углекислого газа, в основном от пожаров на северо-востоке Сибири (<https://tass.ru/obschestvo/6663794>). Это больше, чем выбросы CO_2 от всех летних пожаров, произошедших в Арктике с 2010 по 2018 гг. Понятно, что рост числа пожаров в АЗРФ из-за изменения климата может превратить тундры из традиционного поглотителя углерода в их источник, как считают некоторые авторы [29].

С нашей точки зрения, в последних публикациях западных коллег [2; 5; 30; 31 и др.] отмечается некоторая тенденциозность в отношении оценок выбросов CO_2 от пожаров в АЗРФ. Практически в каждой из международных публикаций на эту тему отмечается негативная роль пожаров именно в российской Арктике и Восточной Сибири (рис. 4, по [2]). В Парижском соглашении 2015 г., сменившем Киотский протокол, российские тундровый биом и торфяные болота, играющие глобальную климаторегулирующую роль мощных поглотителей CO_2 никак не учитываются при расчетах поглощения углерода.

Известно, что доля России в выбросах парниковых газов суммарно составляет 5%. В Парижских соглашениях задачи для России сформулированы так, и ориентированы только на леса: «Долгосрочной целью ограничения антропогенных выбросов парниковых газов в Российской Федерации может быть показатель в 70–75% выбросов 1990 г. к 2030 г.

при условии максимально возможного учета поглощающей способности лесов» (https://www.gazeta.ru/science/2017/08/07_a_10822279.shtml).

Но постепенно в научных статьях наших коллег появляется тенденция в отрицании позитивной роли российской Арктики в глобальном поглощении излишков углерода из атмосферы и в сглаживании эффектов «антропогенного» потепления. Особенно остро эти акценты в дискуссии о причинах изменений климата и фиксируемых объемах выбросов CO_2 звучали накануне и во время Конференции сторон Конвенции об изменениях климата в Баку 11–22 ноября 2024 г., к началу которой, собственно, и появились некоторые публикации [2; 31; 32]

И это в то время, как сами американские и канадские ученые рассчитали, что арктические и boreальные лесные пожары в Канаде только в 2023 г. охватили площадь более 18 млн га (рис. 5; [31]), стали причиной выброса в атмосферу 2,4 млрд т CO_2 . Это выше объема ежегодных промышленных выбросов таких стран, как Россия, Япония, Иран, Германия, Индонезия, Южная Корея и других развитых стран [32]. Этот момент обсуждения результатов наших исследований можно считать важным с позиций необходимости реальных оценок всех причин и последствий глобальных климатических изменений. После приостановки участия России в программах Арктического совета в 2022 г. страну по сути отстранили от участия в циркулярных исследованиях в Арктике, в том числе от циркулярного мониторинга климатической и экологической обстановки, позволяя коллегам из других арктических стран политизировать результаты. Так, на фоне того, что практически все арктические

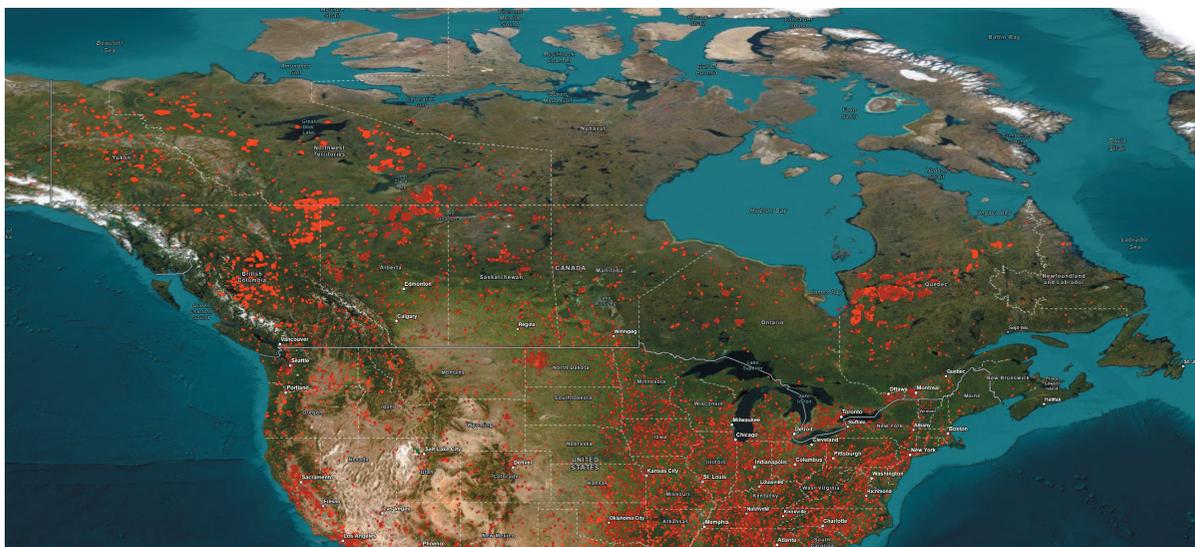


Рис. 5. Актуальная карта пожаров в Канаде, июль 2023 г. [31–33]
Fig. 5. Current map of fires in Canada, July 2023 [31–33]

тические государства приняли на государственном уровне соответствующие документы с рекомендациями ограничивать деятельность России в Арктике, в том числе научную, любые односторонние результаты и выводы исследований арктических пожаров требуют верификации и «очищения» от тенденциозности. К этому следует добавить, что 28—31 октября 2024 г. в Рейкьявике прошла сессия Северного совета, на которой Дания, Швеция, Финляндия, Норвегия, Исландия прямо декларировали противодействие росту потенциала России в Арктике, поэтому ждать объективности в оценках климатогенных изменений природы АЗРФ от этих стран также не стоит. Кроме того, НАТО прямо обвиняет Россию в нежелании делиться текущей информацией об изменениях климата в российском секторе Арктики, собираемой сетью из 95 арктических метеостанций The International Network for Terrestrial Research and Monitoring in the Arctic (INTERACT) (<https://www.forbes.ru/biznes/523978-v-nato-obvinili-rossiu-v-vosprepatstvovanii-sboru-klimaticheskikh-dannyh-v-arktike>).

Заключение и выводы

Постепенный рост числа и площади ежегодных пожаров в АЗРФ наблюдается с начала XXI в., но наибольших масштабов они достигли в его второе десятилетие, когда в отдельных регионах участились летние засухи и грозы с молниями. Большинство исследователей связывает это с глобальными изменениями климата, которые наиболее остро с большим трендом годовых температур (до 2—4°C в 10 лет) проявляются именно в АЗРФ [34].

В XXI в. в АЗРФ выросли частота и площади пожаров, которые по разным источникам определяются как тундровые, торфяные, ландшафтные, реже, в областях распространения лесной растительно-

сти, — как лесные. Государственная статистика по этим категориям не ведется, региональные службы арктических субъектов Федерации фиксируют лишь те пожары, которые попадают в их поле зрения и связаны с населенными пунктами и коммуникациями. Единственным способом оценки масштабов развития пожаров в АЗРФ остается анализ данных дистанционного космического мониторинга, способного фиксировать из космоса температурные аномалии, а также измерять оперативно роль пожаров в росте атмосферной концентрации CO₂ [35]. Это подтверждается результатами исследований и других авторов [35—38].

Проведенный нами анализ архивов сенсора MODIS со спутников Terra и Aqua и производные продукты MODIS Active Fire — MOD14A2 и MYD14A2 за период с 18 февраля 2000 г. по 25 ноября 2024 г. показал, что за это время в АЗРФ огнем пройдено около 36,5 млн га, из которых только около 13,3 млн — в границах лесопокрываемой площади. Примерно 18 млн га — это пожары в северных улусах Республики Саха (Якутия), по 6 млн га — пожары в Ямало-Ненецком АО и на севере Красноярского края, причем в последнем преобладали пожары на лесопокрываемых территориях (лесотундра, редколесья).

Расширению площадей, пройденных пожарами в тундрах и на болотах АЗРФ в эти годы, способствовало и накопление мертвых растительных остатков, ветоши и подстилки в результате климатогенного роста уровня продукции в условиях потепления. Дополнительно в экосистемы по разным оценкам поступило от 0,2 до 0,5 т/га надземных мертвых растительных остатков, масса которых в зональных типичных и южных (нустарниковых) тундрах составляет в среднем от 3—5 до 8—15 т/га соответственно.

В связи с обсуждением нормативно-правовых документов по совершенствованию законодательного регулирования вопросов мониторинга состояния многолетней (вечной) мерзлоты и оптимизации сети соответствующих полигонов необходимо некоторые из них сосредоточить в зоне с наиболее частым возникновением пожаров, чтобы оценивать их последствия для мерзлоты. Кроме того, при выявляемом в границах АЗРФ росте возникновения внесезонных торфяных пожаров («пожаров-зомби»), тушение которых в удаленных безлюдных районах российской Арктики затруднено, становятся актуальными проблемы их влияния на состояние многолетней мерзлоты. В целом требуется отдельная программа, которая объединит эти актуальные направления исследований.

К сожалению, в последние годы после приостановки участия России в программах Арктического совета наша страна сократила участие в циркумполярных исследованиях пожаров в Арктике и позволяет коллегам из приарктических государств тенденциозно представлять их результаты по российской Арктике. Одним из важных выводов нашей статьи может стать рекомендация восстановления международного научного сотрудничества в Арктике во всех его сферах, в том числе касающихся циркумполярного мониторинга арктических пожаров. Речь идет о полноценном участии России в проекте Арктического совета «The Arctic wildland fire ecology mapping and monitoring project» (ARCTICFIRE). Это позволит более аргументированно отстаивать интересы России в международных климатических программах и объективно оценивать вклад ее природных экосистем в смягчение последствий глобальных изменений климата и его устойчивость. Большая часть оценок по российским арктическим пожарам, принимаемых во внимание международными научными и общественными организациями, так или иначе принадлежат нашим западным коллегам.

Финансирование

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 22-17-00168 «Биогеографические последствия изменений климата в Российской Арктике». Статистические данные и космическая информация собраны в рамках темы государственного задания Института географии РАН № FMGE-2024-0007.

Литература/References

1. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Available at: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3.0z>.
2. Scholten R. C., Veraverbeke S., Chen Yang et al. Spatial variability in Arctic-boreal fire regimes influenced by environmental and human factor. *Nature geoscience*, 2024, vol. 17, pp. 866—873.
3. Поповичева О. Б., Чичаева М. А., Ковач Р. Г. и др. Лесные пожары как источник черного углерода

в Арктике летом 2022 г. // *Арктика: экология и экономика*. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 257—270. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-2-257-270.

- Popovicheva O. B., Chichaeva M. A., Kovach R. G. et al. The forest fires as black carbon sources in Arctic by summer 2022. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 257—270. (In Russian).
4. Köster E., Köster K., Berninger F. et al. Changes in fluxes of carbon dioxide and methane caused by fire in Siberian boreal forest with continuous permafrost. *J. of environmental management*, 2018, vol. 228, pp. 405—415. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.051.
 5. Veraverbeke S., Delcourt C. J. F., Kukavskaya E. et al. Direct and longer-time carbon emission from arctic-boreal fires: A short review of recent advances. *Current opinion in environmental sciences and health*, 2021, vol. 23.
 6. Kharuk V. I., Dvinskaya M. L., Im S. T. et al. Wildfires in the Siberian Arctic. *Fire*, 2022, vol. 5, iss. 4, pp. 106—110. DOI: 10.3390/fire5040106.
 7. Moskovchenko D., Moskovchenko M., Aref'ev S. P., Yurtaev A. Spatiotemporal analysis of wildfires in the forest tundra of western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, vol. 13 (2), pp. 193—203.
 8. Тишков А. А., Кренке-мл. А. Н. «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // *Арктика: экология и экономика*. — 2015. — № 4 (20). — С. 28—38.
 9. Тишков А. А., Кренке-мл. А. Н. «Greening» of the Arctic in the XXI century as a synergistic effect of global warming and economic development. *Arctic: Ecology and Economy*, 2015, no. 4, no. 20, pp. 28—38. (In Russian).
 10. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты // *Арктика: экология и экономика*. — 2018. — № 2 (30). — С. 31—44.
 11. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. et al. «Greening» of tundra as driver of current dynamic of arctic biota. *Arctic: Ecology and Economy*, 2018, no. 2 (30), pp. 31—44.
 12. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Кренке А. Н. и др. Изменения биологической продуктивности наземных экосистем российской Арктики в XXI в. // *Арктика: экология и экономика*. — 2021. — № 1. — С. 29—41. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-29-40. (In Russian).
 13. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Кренке А. Н. et al. Changes of biological productivity of Russian Arctic terrestrial ecosystems in XXI century. *Arctic: Ecology and Economy*, 2021, no. 1, pp. 31—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-29-40.
 14. Крючков В. В. Чуткая Субарктика. — М.: Наука, 1976. — 137 с.
 15. Крючков В. В. Чуткая Субарктика [Sensitive Subarctic]. Moscow, Nauka, 137 p. (In Russian).
 16. Тишков А. А. Экологическая реставрация нарушенных экосистем Севера. — М.: УРАО, 1996. — 115 с.

Tishkov A. A. *Ekologicheskaya restavratsiya narushennykh ekosistem Severa* [Ecological restoration of disturbed ecosystems of North]. Moscow, University of Russian Academy of Education, 1996, 115 p. (In Russian).

13. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — СПб.: Научное. технологии, 2022. — 124 с.

The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. St. Petersburg: High-tech technologies, 2022, 124 p. (In Russian).

14. Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. Bonn, 2019, 41 p.

15. Тишков А. А., Белонковская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. Региональные биогеографические эффекты «быстрых» изменений климата в российской Арктике в XXI в. // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 31—44.

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Waisfeld M. A. et al. Regional biogeographic effects of “rapid” climate changes in the Russian Arctic in the 21st century. Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 2 (38), pp. 31—44. (In Russian).

16. Тишков А. А., Вайсфельд М. А., Глазов П. М. и др. Биотически значимые тренды климата и динамика биоты российской Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 1 (33). — С. 71—87. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-71-87.

Tishkov A. A., Vaisfeld M. A., Glazov P. M. et al. Biotic significant climate trends and biota dynamics of the Russian Arctic. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 1 (33), pp. 71—87. (In Russian).

17. Продуктивность экосистем Северной Евразии. — URL: <http://biodat.ru/db/prod/prod.php>.

Produktivnost' ekosistem Severnoi Evrazii [Productivity of northern Eurasia ecosystems]. Available at: <http://biodat.ru/db/prod/prod.php>.

18. Bazilevich N. I., Tishkov A. A. Live and dead reserves and primary production in polar desert, tundra and forest tundra of the former Soviet Union. Ecosystems of the world 3. Polar and alpine tundra. Ed.: F. E. Wielgolaski. Amsterdam — Lausanne — New York — Oxford — Shannon — Singapore — Tokyo, Elsevier publ., 1997, pp. 509—539.

19. Tishkov A. Forest Fires and Dynamic of Forest Cover. Encyclopedia of Life Support Systems, 2005. Natural disasters. Ed. by V. M. Kotlyakov. Available at: http://www.eolss.net/eolss_booklet.aspx.

20. Tishkov A. Sub-surface Peat Fires. Encyclopedia of Life Support Systems, 2005. Natural disasters. Ed. by V. M. Kotlyakov. Available at: http://www.eolss.net/eolss_booklet.aspx.

21. Holzworth R. H., Brundell J. B., McCarthy M. P. et al. Lightning in the Arctic. Geophysical Research Letters, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1029/2020GL091366>.

22. Изменение климата в Арктике. Обновление 2021: основные тенденции и воздействия. Краткий обзор для органов управления / Арктический совет. Программа арктического мониторинга и оценки (AMAR). — [Б. м.], 2021. 16 с.

Changes of climate in Arctic. Update 2021: Key trends and impacts. A brief overview for government authorities. Arctic Council. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAR). [S. l.], 2021, 16 p. (In Russian).

23. Климат Арктики: процессы и изменения / Под ред. И. И. Мохова и В. А. Семенова. — М.: Физматкнига, 2022. — 360 с.

Arctic climate: processes and changes. Ed. by I. I. Mikhova and V. A. Semenov. Moscow, Fizmatkniga, 2022, 360 p. (In Russian).

24. McCarty J. L., Smith T. E. L., Turetsky M. R. Arctic fires re-emergin. *Natura Geosciences*, 2020, vol. 13, pp. 658—660.

25. Елсаков В. В., Телятников М. Ю. Межгодовые изменения индекса NDVI на территории европейского северо-востока России и западной Сибири в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2013. — Т. 10, № 3. — С. 260—271.

Elsakov V. V., Telyatnikov M. Yu. Interannual changes in the NDVI index on the territory of the European North-east of Russia and Western Siberia in the conditions of climatic fluctuations of recent decades. Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 260—271. (In Russian).

26. Анисимов О. С., Жильцова Е. Л., Разживин В. Ю. Моделирование биопродуктивности в Арктической зоне России с использованием спутниковых наблюдений // Исследования Земли из космоса. — 2015. — № 3. — С. 60—70.

Anisimov O. S., Zhiltsova E. L., Razzhivin V. Yu. Modeling of bioproductivity in the Arctic zone of Russia using satellite observations. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, no. 3, pp. 60—70. (In Russian).

27. Иванова К. В. Динамика индекса NDVI для разных классов территориальных единиц растительности типичных тундр // Современ. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. — 2019. — Т. 16, № 5. — С. 194—202.

Ivanova K. V. Dynamics of the NDVI index for different classes of territorial vegetation units of typical tundras. Modern problems of remote sensing of the Earth from space, 2019, vol. 16, no. 5, pp. 194—202.

28. Bhatt U. S., Walker D. A., Rayngolds M. K. et al. Recent declines in warming and arctic vegetation greening trends over pan-Arctic tundra. *Remote Sens. (Special NDVI3g Iss.)*, 2013, № 5, pp. 4229—4254.

29. Пожары в Арктике могут стать углеродной бомбой замедленного действия. — 2021. — URL: <https://ecologyofrussia.ru/arktika-mozhet-stat-istochnikom-ugleroda>. Fires in the Arctic can become a carbon time bomb. 2021. Available at: <https://ecologyofrussia.ru/arktika-mozhet-stat-istochnikom-ugleroda/>. (In Russian).
30. Hu F. Sh., Higuera Ph. E., Duffy P. et al. Arctic tundra fire: natural variability and responses to climate change. *Frontiers Ecol. Environ.*, 2015, vol. 3 (7), pp. 369—377. DOI: 10.1890/150063.
31. Kolden C. A., Abatzoglou J. T., Jones M. W. et al. “Wildfires in 2023”. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2024, vol. 5 (4), apr. 4, pp. 238—240. DOI: 10.1038/s43017-024-00544-y.
32. Из-за пожаров в лесах Канады в атмосферу попало более 2,4 млрд тонн CO₂. — 2024. — URL: <https://forestcomplex.ru/forestry/v-atmosfyeru-popalo-bolyeye-24-mlrd-tonn-so2/>. Fires in Canada’s forests have released more than 2.4 billion tons of CO₂ into the atmosphere. 2024. Available at: <https://forestcomplex.ru/forestry/v-atmosfyeru-popalo-bolyeye-24-mlrd-tonn-so2/>. (In Russian).
33. Canadian wildfire maps show where 2023’s fire continue to burn across Quebec, Ontario and other provinces. 2023. Available at: <https://www.cbsnews.com/news/map-canadian-wildfires-2023-where-are-the-fires-ontario-quebec>.
34. Арктика стала гореть по-новому. Что это значит? — 2020. — URL: https://hi-tech.mail.ru/news/51104-arctica_gorit/. The Arctic began to burn in a new way. What does it mean? 2020. Available at: https://hi-tech.mail.ru/news/51104-arctica_gorit/. (In Russian).
35. Юрганов Л. Катастрофические природные пожары 2021 года: случайные аномалии или новая норма // Наука и жизнь. — 2022. — № 5. — С. 41—46. Yurganov L. Katastroficheskie prirodnye pozhary 2021 goda: sluchainye anomalii ili novaya norma. *Nauka i zhizn'*, 2022, no. 5, pp. 41—46. (In Russian).
36. Voronova O. S., Gordo K. A., Zima A. L., Feoktistova N. V. Strong Wildfires in the Russian Federation in 2021 Detected Using Satellite Data. *Izv. Atmos. Ocean Phys.*, 2022, vol. 58, pp. 1065—1076, Available at: <https://doi.org/10.1134/S0001433822090225>.
37. Bondur V. G., Mokhov I. I., Voronova O. S., Sitnov S. A. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes. *Doklady Earth Sciences*, 2020, vol. 492 (1), pp. 370—375.
38. Silver B., Arnold S. R., Reddington C. L., Emmons L. K., Conibear L. Large transboundary health impact of Arctic wildfire smoke. *Commun. Earth Environ*, 2024, vol. 5. Available at: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01361-3>.

Информация об авторах

Тишков Аркадий Александрович, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 29), e-mail: tishkov@igras.ru.

Титова Светлана Владимировна, научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 29), e-mail: canoruss@yandex.ru.

FIRES IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: NEW ASSESSMENTS, THE ROLE OF CLIMATE CHANGE AND POSSIBLE CONSEQUENCES

Tishkov, A. A., Titova, S. V.

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on November 2, 2024

For citing

Tishkov A. A., Titova S. V. Fires in the Arctic zone of the Russian Federation: new assessments, the role of climate change and possible consequences. *Arctic: Ecology and Economy*, 2025, vol. 15, no. 1, pp. 98—108. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-1-98-108. (In Russian).

Abstract

The article examines various aspects of the spread and dynamics of fires in the Russian Arctic in the 21st century. Using the archives of the MODIS sensor, the researchers have constructed a map of the distribution of thermal anomalies (thermal points) for the period 2000—2024, and updated the statistics of fires in the Arctic regions. According to the analysis of the archives of the MODIS sensor from the Terra and Aqua satellites over the past 25 years (2000—2024), fires have covered about 36 million hectares in the Russian Arctic, of which about 12 million hectares are forests. The most “burnable” territories and the dynamics of fires there have been identified. Under climate change and intense climate warming in the Russian Arctic (the trend of annual temperatures up to 0,7—1.0°C over 10 years), an increase has been reported in vegetation productivity (by 10—15%), expansion of shrubs into the tundra and, accordingly, an increase in the reserves of above-ground plant residues (combustible materials). In the last decade, against the background of increasing aridity and frequency of thunderstorms with lightning, especially in the continental regions of Yakutia and Chukotka, a trend of expansion of the area of Arctic fires and their negative consequences is observed. The research results will help in monitoring and fighting fires. In connection with the suspension of Russia’s cooperation with the Arctic Council, the authors emphasize the need to maintain international contacts in the field of fire monitoring in the Arctic and the unification of their control methods.

Keywords: *Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), tundra and peat fires, forest tundra, northern forest boundary, climate change, biodiversity.*

Funding

The article was prepared with the support of the Russian Science Foundation grant no. 22-17-00168 “Biogeographic effects of climate change in the Russian Arctic”. Statistical data and space information were collected within the framework of the topic of the state assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences no. FMGE-2024-0007.

Information about the authors

Tishkov, Arkadiy Alexandrovich, Doctor of Geography, Professor, Corresponding Member of the RAS, Chief Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (29, Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017), e-mail: tishkov@igras.ru.

Titova, Svetlana Vladimirovna, Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (29, Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017), e-mail: canopuss@yandex.ru.

© Tishkov A. A., Titova S. V., 2025