

УДК 630*431:504.4(571.621)

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. БИРОБИДЖАНА

Зубарева Анна Михайловна¹,
anna-doroshenko@yandex.ru

Глаголев Владимир Александрович¹,
glagolev-jar@yandex.ru

Жучков Дмитрий Витальевич¹,
dmitriy.zhuchkov.2000@mail.ru

¹ Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
Россия, 679016, г. Биробиджан, ул. Шолом-Алейхема, 4.

Актуальность. На территории г. Биробиджана и в десятикилометровой зоне от его границы проживает около 50 % населения Еврейской автономной области. В связи с этим актуально проанализировать особенности пространственно-временного распространения пожаров растительности в окрестностях города и интенсивность дымового воздействия на атмосферу г. Биробиджана.

Цель: анализ влияния пожаров растительности на состояние атмосферного воздуха г. Биробиджана.

Объекты: пожары растительности в десятикилометровой зоне от границы г. Биробиджана.

Методы. В основу работы положены данные о количестве пожаров в окрестностях г. Биробиджана за 2010–2015 и 2017–2020 гг. по данным Департамента управления лесами правительства Еврейской Автономной Области. Для отображения распространения пожаров была выполнена карта горимости растительности на исследуемой территории в геоинформационной системе MapInfo Professional 9.0. Анализ дымового переноса проведен с помощью направлений ветра, отраженных в графиках розы ветров. Основой для построения картосхем, отражающих дымовое воздействие, послужила модернизированная формула для моделирования выбросов Саттона и методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных примесей ОНД-86. Авторский алгоритм выполнен в среде программирования MapBasic, который входит в пакет геоинформационной системы MapInfo Professional 9.0. Получена шкала интенсивности дымового воздействия на атмосферу для исследуемой территории.

Результаты. На основании пространственно-временного анализа определены наиболее и наименее пожароопасные месяцы в период 2010–2015 и 2017–2020 гг. Отмечены территории, постоянно подвергаемые действию пожаров растительности. В соответствии с графиками розы ветров выполнены картосхемы, отражающие интенсивность дымового воздействия на атмосферу г. Биробиджана.

Ключевые слова:

Пожары растительности, пожароопасность, горимость территории, дымовой перенос, дымовое воздействие, г. Биробиджан, направление ветра.

Введение

Растительные сообщества являются важнейшим компонентом биосферы, который поддерживает ее стабильность и устойчивость. Вмешательство человека в природные экосистемы приводит к их преобразованию и разрушению. Одним из примеров можно считать возникновение пожаров растительности, которые изменяют характер и динамику фитоценозов. Термин «пожары растительности», под которым понимается распространение горения по территории, обусловленное морфологической структурой растительного покрова, является устоявшимся в литературе [1–9]. В результате горения растительных материалов образуется множество загрязняющих веществ, создающих дополнительную экологическую нагрузку на атмосферный воздух [2, 10–13]. Частицы дымов способны образовывать группы вредных веществ, вызывая ухудшение здоровья у людей [5, 6, 12, 14, 15]. По прогнозам ООН, ежегодно около 300000 человеческих смертей происходит от дымов пожаров растительности [16]. В связи с этим проблема изучения распространения продуктов горения в результате пожаров растительности весьма актуальна.

Еврейская автономная область (ЕАО) относится к южной и наиболее горимой части Дальнего Востока. На её территории проводился анализ пожаров растительности и причин их возникновения без экологической оценки [7, 17, 18]. В связи с этим целью данной работы является анализ влияния пожаров растительности на состояние атмосферного воздуха г. Биробиджана.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить пирологическое воздействие на атмосферный воздух г. Биробиджана как регионального центра и места сосредоточения большей части населения в ЕАО, поэтому территорией для анализа выбрана десятикилометровая зона от его границы. Выбор района работ основан на данных исследований отечественных и зарубежных специалистов, установивших, что десятикилометровая зона от границы городов на 70 % [19] подвержена воздействию пожаров растительности [2, 14, 15, 17], а их количество зависит от освоенности территории [2, 7]. Исследуемая зона относится к Биробиджанскому лесхозу Городского участкового лесничества, для которых характерны высокие показатели плотности дорожной сети (0,195 км/км²), населения (20 чел/км²), населенных пунктов (38) [7, 17].

Объектом исследования выбраны пожары растительности, возникшие в окрестностях города за период 2010–2015 и 2017–2020 гг.

Для средних городов юга Дальнего Востока подобные исследования не проводились. В связи с этим требуется дальнейшая проработка вопроса, в котором будет отражено влияние пожаров растительности на состояние атмосферного воздуха городов. Полученные результаты позволят проводить систематическую экологическую оценку.

Материалы и методы

В работе использовали статистику пожаров растительности на исследуемой территории по данным учета Департамента управления лесами правительства ЕАО за 2010–2015 и 2017–2020 гг. (данные о пожарах за 2016 г. отсутствуют, так как возникли сложности с их первичной обработкой и вводом в геоинформационную систему «Пожары»). Инвентаризационные карты выполнены в геоинформационной системе MapInfo Professional 9.0. сотрудниками лаборатории региональных геоэкологических исследований Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, в структуру которой входят авторские цифровые базы данных горельников. В работе использовалась классификация пожаров растительности по площади их действия, га: загорание – 0,1–0,2, малый пожар – 0,2–5, небольшой – 5,1–20, средний – 20,1–200, большой – 201–1000, крупный – 1000–10000, катастрофический более 10000 [20].

Направления воздушных потоков определялись по графикам розы ветров, построение которых выполнялось в программе Microsoft Excel 2016 [21].

Визуализация электронных картосхем интенсивности дымового воздействия основана на модернизированной формуле для моделирования выбросов вредных примесей Саттона и методики расчета концентрации вредных примесей в атмосферном воздухе ОНД-86, модифицированных применительно к неорганизованным площадным источникам загрязнения [22, 23].

$$l = R * \frac{P}{P_0},$$
$$R = \frac{5 - F}{4} dH,$$

где l (м) – расчетный размер полигона; R (м) – расчетный размер участка местности в данном направлении; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; H – высота источника выбросов над уровнем земли (м); P (%) – среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба; P_0 (%) – повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров [21].

Оценка дымового воздействия проводилась в операционно-территориальных единицах (ОТЕ) размером 0,5*0,5 км, построенных в 10 км буферной зоне вокруг г. Биробиджана. Метеорологические характеристики (дневная температура воздуха, направление и скорость ветра) получены по данным стационарной

метеостанции города. Электронные картосхемы интенсивности дымового воздействия созданы по авторскому алгоритму: нанесение источников загрязнения; построение полигональной области максимального загрязнения вокруг источников загрязнения; преобразование каждой области максимального воздействия в ОТЕ с учетом направления розы ветров и скорости ветра в день воздействия; определение количества источников загрязнения в каждой ОТЕ; тематическая обработка картосхем с выделением ОТЕ с различной интенсивностью воздействия: 1–3 – очень низкая, 4–6 – низкая, 7–9 – средняя, 10–12 – высокая, 13–15 – очень высокая. Реализация алгоритма выполнена в среде программирования MapBasic, входящей в пакет геоинформационной системы MapInfo Professional 9.0. Для подключения модуля к реляционной базе данных использована система управления Microsoft Access 2010.

Информация метеостанции хранится в таблицах «Погодные условия» и «Роза ветров». По данным таблицы «Горельники» создаются полигональные области дымового воздействия, и их итоговая декомпозиция размещается в таблице «Операционно-территориальные единицы». Для выполнения агрегирующих операций на электронных картосхемах применяются географические атрибуты MapInfoID.

Результаты

В системе пирологического районирования Российской Федерации исследуемая территория относится к Инскому пирологическому району [24], для которого характерны различные по устойчивости к пожарам классы растительных формаций [25]. Например, к I-му классу (неустойчивые) относятся черноберзовые дубово-лиственничные редколесья в сочетании с ерником и ивовыми зарослями, осоково-вейниковые разнотравные луга, ко II-му (относительно неустойчивые) – кедрово-широколиственные леса, дубово-черноберзовые леса и к III-му (устойчивые) – белоберзовые леса. Из-за высокой плотности населенных пунктов приведенные формации находятся под постоянным антропогенным воздействием, например, рекреационным и хозяйственным. На основании данных об антропогенной пожароопасности в ЕАО исследуемая территория относится к I-ому (высокому) классу [7, 17]. Поэтому возникает необходимость в изучении региональных особенностей пожароопасности территории в окрестностях г. Биробиджана.

За анализируемый период на исследуемой территории зафиксировано 53 случая возгорания растительных горючих материалов с общей площадью 6360 га. Средний размер одного горельника составляет 120 га. Максимальное количество пожаров растительности приходилось на 2018 г. (12 возгораний). В наиболее пожароопасном месяце (апрель) средняя площадь горельника составляет 238 га, а в наименее пожароопасном (ноябрь) – 2,5 га (рис. 1).

Пожароопасность растительности на исследуемой территории в течение года распределена неравномерно. В весенний период (март–май) среднее количе-

ство пожаров за 10 лет составляет 1,3 возгораний со средней площадью горельника 204 га, а в осенний период (октябрь–ноябрь) – 0,7 возгораний и 10,5 га соответственно.

Для определения мест скопления пожаров растительности необходимо рассмотреть их пространственно-временное распределение по территории. Основное сосредоточение отмечено в западной, юго-западной и южной частях, что связано с близостью населенных пунктов, автомобильных и железнодорожных путей. В большинстве случаев горельники представлены точечно, многие из которых являются средними по размеру (21–200 га). В северо-западной и юго-восточной частях горельники представлены малыми по площади (0,2–5 га), крупные очаги возгорания (свыше 200 га) фиксировались на юго-западе и востоке (рис. 2).

Частота дымового воздействия на исследуемой территории зависит от изменения повторяемости направлений ветра. Анализ графиков розы ветров позволит выявить направления дымового переноса (рис. 3).

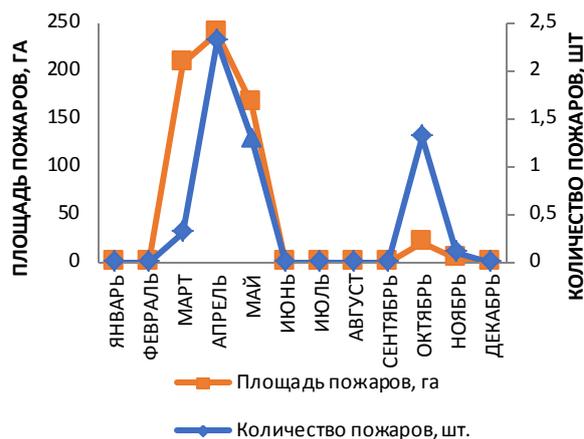


Рис. 1. Среднемесячная динамика пожаров в десятикилометровой зоне от г. Биробиджана за 2010–2015 и 2017–2020 гг.

Fig. 1. Average monthly dynamics of fires in a 10-kilometer zone from Birobidzhan for 2010–2015 and 2017–2020



Рис. 2. Горимость территории за 2010–2015 и 2017–2020 гг. в радиусе десятикилометровой зоны от г. Биробиджана

Fig. 2. Burning of the territory for 2010–2015 and 2017–2020 within a radius of 10-kilometer zone from Birobidzhan

Весной и осенью преобладают западные направления ветра (рис. 3, А, Б), а в мае – восточные (рис. 3, А). В результате дымовой перенос, соответствующий весеннему и осеннему периодам, фиксируется с запада на восток и с северо-запада на юго-восток. В мае

наблюдается противоположная ситуация. Построение картосхем, отражающих дымовое воздействие, выполнялось по вышеуказанным методикам на основе пространственно-временного анализа появления пожаров растительности в момент обнаружения (рис. 4).

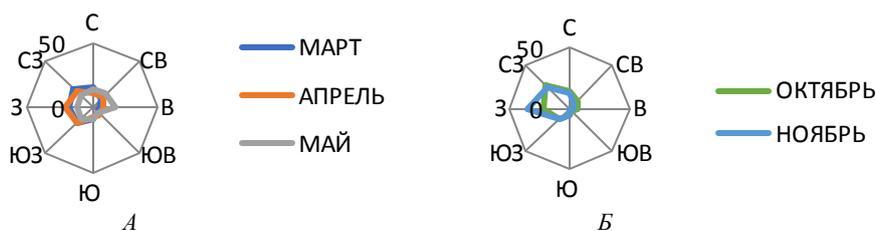


Рис. 3. Повторяемость направлений ветра на территории г. Биробиджана за пожароопасные периоды: А) весенний; Б) осенний

Fig. 3. Frequency of wind directions on the territory of Birobidzhan for fire periods: A) spring; B) autumn

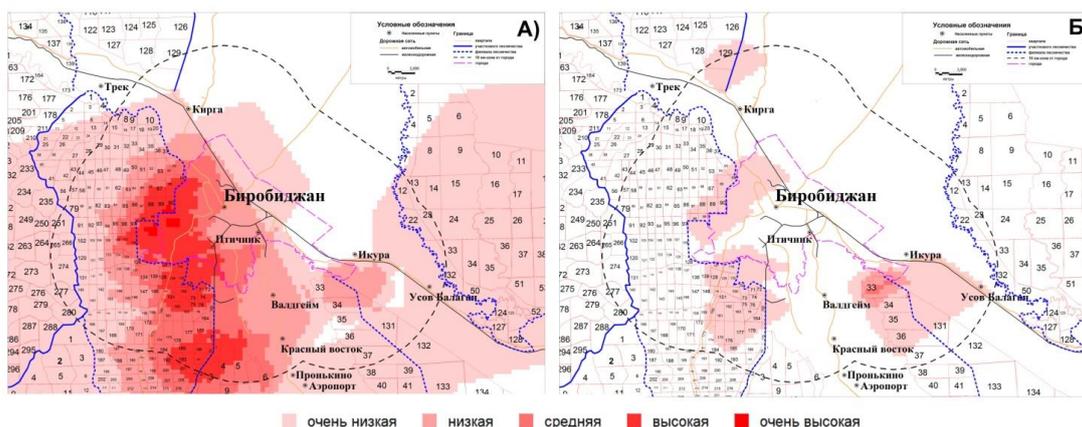


Рис. 4. Дымовое воздействие горельников на территории г. Биробиджана в пожароопасные периоды: А) весенний; Б) осенний

Fig. 4. Smoke impact of burners on the territory of Birobidzhan during fire periods: A) spring; B) autumn

Построение картосхем, отражающих интенсивность дымового воздействия, выполнялось на основе пространственно-временного анализа появления пожаров растительности в момент обнаружения (рис. 4). В весенний период было рассмотрено 39 случаев возгорания, в осенний – 14. Каждое возгорание является площадным источником, охватывающим кварталы лесничеств с таксационными характеристиками [26]. В качестве параметра для оценки мощности выброса площадных источников использован оксид углерода (СО) [22], значения которого получены по расчетной методике загрязнения выбросов при распространении лесного пожара А.М. Гришина в максимальной модели леса [27]. В результате получено, что в весенний период средняя мощность выброса СО составляла 4578,77 г/с, в осенний – 472,71 г/с. При анализе интенсивности дымового воздействия в пожароопасные периоды на территории г. Биробиджана проведено функциональное зонирование каждого источника для выделения зон различной интенсивности загрязнения по модели ОНД-86. Максимальные показатели зафиксированы в весенний период (рис. 4, А). Основная площадь дыма (87 %) сосредоточена в городской черте. Высокая интенсивность (11 % от площади города), которая фиксируется в природно-рекреационных зонах (городские леса) и индивидуальной застройке на юго-западе, характерна для западной части города. Для 20 % территории города характерна средняя интенсивность, которая отмечена в северо-западных и южных городских лесах и в индустриальной части на северо-западе.

Центральная жилая застройка города охвачена низкой интенсивностью дымового воздействия (25 %). Атмосферный воздух в северной и северо-восточной части города испытывает очень низкое дымовое воздействие (31 %). Задымление не фиксировалось на 13 % территории города.

В осенний период 73 % города не подвержено задымлению, а также отсутствуют максимальные степени интенсивности дымового воздействия на атмосферу (рис. 4, Б). На западных, южных и восточных окраинах фиксируется очень низкая интенсивность (26 %), а также небольшие площади города (1 %) на востоке подвержены низкому воздействию.

Заключение

Таким образом, в работе проведен пространственно-временной анализ появления пожаров растительности в десятикилометровой зоне от границы г. Биробиджана. За 10 лет максимальное количество пожаров растительности отмечено в весенний период (39 случаев), а наименьшее в осенний (14). Наибольшее количество возгораний фиксировалось в западной, юго-западной и южной частях исследуемой территории, особенно вблизи автомобильных и железнодорожных путей и населенных пунктов. В большинстве случаев горельники в северо-западной и юго-восточной частях представлены малыми (0,2–5 га), небольшими (5,1–20 га) и средними (7–9 га) по размеру, а на юго-западе крупными со средней площадью 630 га в год, крупные пожары (свыше 200 га).

Проведена оценка мощности выброса угарного газа по сезонам, наибольшее значение зафиксировано весной – 4578,77 г/с. Построение электронных картосхем интенсивности дымового воздействия в зависимости от направления ветра позволило определить районы города с разным уровнем загрязнением атмосферного воздуха. Весной максимальные показатели характерны для западной части города (городские леса и индивидуальная жилая застройка), а минимальные отмечаются на всей территории города в осенний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gonzalez S., Aller S.A., Chermant L. Fire hazard assessment at different scales in the wildland-urban interface of semiarid areas of northern Patagonia // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2022. – V. 5. – P. 1–14. DOI: 10.3389/ffgc.2022.855790.
- Vegetation fire in the Anthropocene / D.M.J.S. Bowman, C.A. Kolden, J.T. Abatzoglou, F.N. Johnston, van der Werf, M. Flannigan // *Nature Reviews Earth and Environment*. – 2020. – V. 1 (10). – P. 500–515. DOI: 10.1038/s43017-020-0085-3.
- Телицын Г.П., Острошенко В.В. К оценке экологических последствий лесных пожаров // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2008. – № 21-3. – С. 130–133.
- Forest fire occurrence prediction in China based on machine learning methods / Y. Pang, Y. Li, Z. Feng, Z. Zhao, S. Chen, H. Zhang // *Remote Sens*. – 2022. – V. 14 (21). – P. 5546. DOI: 10.3390/rs14215546
- Fowler C. Human health impacts of forest fires in the Southern United States: a literature review // *Journal of Ecological Anthropology*. – 2003. – V. 7. – P. 36–63. DOI: 10.5038/2162-4593.7.1.3.
- Вакуров А.Д. Лесные пожары на Севере. – М.: Наука, 1975. – 100 с.
- Зубарева А.М., Фетисов Д.М. Оценка антропогенной пожароопасности природно-территориальных комплексов Еврейской автономной области // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. – 2017. – № 5 (195). – С. 88–96.
- Шлотгауэр С.Д., Крюкова М.В. Воздействие пирогенного фактора на состояние растительного покрова в бассейне Амура // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. – 2008. – № 1 (137). – С. 59–68.
- Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. – Новосибирск: Наука, 1990. – 205 с.
- Herbert C., Butsic V. Assessing the effectiveness of green landscape buffers to reduce fire severity and limit fire spread in California: case study of Golf courses // *Fire*. – 2022. – V. 5 (2). – P. 44. DOI: 10.3390/fire5020044.
- Bivolarski V. Environmental and social economic consequences of forest fires on the territory of Stara Zagora region // *Trakia Journal of Sciences*. – 2019. – V. 17 (2). – P. 159–164. DOI: 10.15547/tjs.2019.02.009.
- Дубровин Д.В., Гармышев В.В., Тимофеева С.С. Загрязнение атмосферы в результате горения лесных горючих материалов в селитенной, ландшафтно-рекреационной, пригородной зонах городов и населенных пунктов Иркутской области // *XXI век. Техносферная безопасность*. – 2018. – Т. 3. – № 2 (10). – С. 35–43. DOI: 10.21285/2500-1582-2018-2-35-43.
- Махоткина Е.Л. Изменение мутности атмосферы во время лесных пожаров // *География и природные ресурсы*. – 1996. – № 3. – С. 19–24.
- Барановский Н.В. Прогнозирование лесной пожарной опасности в условиях антропогенной нагрузки. – Новосибирск: СО РАН, 2021. – 302 с.
- Numerical modelling of the impact on wildland-urban interface fires on Coimbra air quality / A.L. Miranda, J.H. Amorin, V. Martins, C. Pimentel, R. Rodrigues, R. Tavares, C. Borrego // *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. – 2008. – V. 119. – P. 333–342. DOI: 10.2495/FIVA080331.
- Effects of long-range transported air pollution from vegetation fires on daily mortality and hospital admissions in the Helsinki metropolitan area, Finland / V. Kollanus, P. Tiittanen, J.V. Niemi, T. Lanki // *Environment Research*. – 2016. – V. 151. – P. 351–358. DOI: 10.1016/j.envres.2016.08.003.
- Дорошенко А.М. Антропогенная пожароопасность растительности на территории Еврейской автономной области // *Региональные проблемы*. – 2011. – Т. 14. – № 2. – С. 78–81.
- Zubareva A.M., Glagolev E.A., Grigorieva E.A. Characteristics of the spatial and temporal distribution of fire regime in one of the MOST fire prone region of the Russian Far East // *Geography, Environment, Sustainability*. – 2021. – V. 14. – № 2. – P. 74–82. DOI: 10.24057/2071-9388-2020-159.
- Прогноз вероятности возникновения очагов природных пожаров // *МЧС России. Главное управление по Еврейской автономной области*. URL: <https://79.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/pozharoопасnyy-period/prognoz-veroyatnosti-vozniknoveniya-ochagov-prirodnih-pozharov> (дата обращения 25.12.2022).
- Шешуков М.А. Лесопожарное районирование Дальнего Востока. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1982. – 31 с.
- Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. – Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 2000. – 174 с.
- Зайченко О.В. Разработка методов оценки воздействия лесного пожара на воздушную среду населенных территорий: дис. ... канд. техн. наук. – Владивосток, 2005. – 132 с.
- Коган Р.М., Глаголев В.А. Использование ГИС для обработки данных по экологическому состоянию городской территории // *География и природные ресурсы*. – 2004. – Спец. Вып. – С. 167–171.
- Шешуков М.А. Виды, интенсивность пожаров и определяющие их факторы // *Лесное хозяйство*. – 1977. – № 5. – С. 68–72.
- Дорошенко А.М. Анализ факторов, влияющих на пространственное распространение пожаров растительности на территории Еврейской автономной области // *Региональные проблемы*. – 2008. – № 9. – С. 83–87.
- Лесной план Еврейской автономной области. URL: https://www.eao.ru/upload/medialibrary/5ef/proekt_2018_19s.pdf (дата обращения 19.01.2023).
- Гришин А.М., Долгов А.А., Цимбалюк А.Ф. Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров. – Москва: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1997. – 26 с.

Поступила: 10.01.2023 г.

Дата рецензирования: 10.02.2023 г.

Информация об авторах

Зубарева А.М., кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геологических и геоэкологических исследований Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН.

Глаголев В.А., кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геологических и геоэкологических исследований Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН.

Жучков Д.В., младший научный сотрудник лаборатории геологических и геоэкологических исследований Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН.

UDC 630*431:504.4(571.621)

INFLUENCE OF VEGETATION FIRES ON THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN BIROBIDZHAN

Anna M. Zubareva¹,
anna-doroshenko@yandex.ru

Vladimir A. Glagolev¹,
glagolev-jar@yandex.ru

Dmitriy V. Zhuchkov¹,
dmitriy.zhuchkov.2000@mail.ru

¹ Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences,
4, Sholom-Aleikhem street, Birobidzhan, 679016, Russia.

The relevance. About 50 % of the population of the Jewish Autonomous Region lives on the territory of Birobidzhan and a 10-kilometer zone from its border. In this regard, it is important to analyze the features of the spread of vegetation fires in the vicinity of the city and the intensity of smoke exposure.

The main aim: analysis of the influence of vegetation fires on the state of atmospheric air in Birobidzhan.

Objects: vegetation fires in a 10-kilometer zone from the border of Birobidzhan.

Methods. The work is based on the data about the number of fires in the vicinity of Birobidzhan for 2010–2015 and 2017–2020 according to the Department of Forest Management of the Government of the Jewish Autonomous Region. To display the spread of fires, a vegetation burnability map was made in the study area in the MapInfo Professional 9.0 geoinformation system. The analysis of smoke transport was carried out using wind rose graphs. The basis for the construction of maps reflecting the smoke effect was an upgraded formula for modeling Sutton emissions and a method for calculating concentrations of harmful impurities in the atmospheric air OND-86. The author's algorithm is implemented in the MapBasic programming environment, which is included in the MapInfo Professional 9.0 geoinformation system package. A scale of the intensity of smoke exposure to the atmosphere for the studied area is obtained.

Results. The most and least fire-hazardous months for 2010–2015 and 2017–2020 were identified. Territories that are constantly exposed to vegetation fires were marked. In accordance with the graphs of the wind rose, cartograms reflecting the intensity of the smoke effect on the atmosphere of Birobidzhan were made.

Key words:

Vegetation fires, fire hazard, burning of the territory, smoke transfer, smoke exposure, Birobidzhan, wind direction.

REFERENCES

- Gonzalez S., Aller S.A., Chermant L. Fire hazard assessment at different scales in the wildland-urban interface of semiarid areas of northern Patagonia. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022, pp. 1–14. DOI: 10.3389/ffgc.2022.855790.
- Bowan D.M.J.S., Kolden C.A., Abatzoglou J.T., Johnston F.N., Van der Werf C.R., Flannigan M. Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2020, vol. 1 (10), pp. 500–515. DOI: 10.1038/s43017-020-0085-3.
- Telicyn G.P., Ostroshenko V.V. To assess the environmental consequences of forest fires. *Actual problems of the forest complex*, 2008, no. 21-3, pp. 130–133. In Rus.
- Pang Y., Li Y., Feng Z., Feng Z., Zhao Z., Chen S., Zhang H. Forest fire occurrence prediction in China based on machine learning methods. *Remote Sens*, 2022, vol. 14 (21), pp. 5546. DOI: 10.3390/rs14215546.
- Fowler C. Human health impacts of forest fires in the Southern United States: a literature review. *Journal of Ecological Anthropology*, 2003, vol. 7, pp. 36–63. DOI: 10.5038/2162-4593.7.1.3.
- Vakurov A.D. *Lesnye pozhary na Severe* [Forest fires in the North]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 100 p.
- Zubareva A.M., Fetisov D.M. Assessment of anthropogenic fire hazard of natural-territorial complexes of the Jewish Autonomous Region. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2017, no. 5 (195), pp. 88–96. In Rus.
- Schlotgauer S.D., Kryukova M.V. The effect of the pyrogenic factor on the state of vegetation cover in the Amur basin. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2008, no. 1 (137), pp. 59–68. In Rus.
- Sofronov M.A., Volokitina A.B. *Pirologicheskoe rayonirovanie v tayozhnoy zone* [Pyrological zoning in the taiga zone]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 205 c.
- Herbert C., Butsic V. Assessing the effectiveness of green landscape buffers to reduce fire severity and limit fire spread in California: case study of Golf courses. *Fire*, 2022, vol. 5 (2), pp. 44. DOI: 10.3390/fire5020044.
- Bivolarski B. Environmental and social economic consequences of forest fires on the territory of Stara Zagora region. *Trakia Journal of Sciences*, 2019, vol. 17 (2), pp. 159–164. In Rus. DOI: 10.15547/tjs.2019.02.009.
- Dubrovina D.V., Garmyshev V.V., Timofeeva S.S. Zagryaznenie atmosfery v rezultate goreniya lesnykh goryuchikh materialov v selitebnoy, landshaftno-rekreatsionnoy, prigorodnoy zonakh gorodov i naseleennykh punktov Irkutskoy oblasti [Atmospheric pollution as a result of burning of forest combustible materials in residential, landscape and recreational, suburban areas of cities and settlements of the Irkutsk region]. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost*, 2018, vol. 3, no. 2 (10), pp. 35–43.
- Makhotkina E.L. Izmenenie mutnosti atmosfery vo vremya lesnykh pozharov [Change in atmospheric turbidity during forest fires]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1996, no. 3, pp. 19–24.
- Baranovskiy N.V. *Prognozirovanie lesnoy pozharoy opasnosti v usloviya antropogennoy nagruzki* [Forecasting of forest fire danger in conditions of anthropogenic load]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2021. 302 p.
- Miranda A.L., Amorim J.H., Martins V., Pimentel C., Rodrigues R., Tavares R., Borrego C. Numerical modelling of the impact on wildland-urban interface fires on Coimbra air quality. *Modelling, WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2008, vol. 119, pp. 333–342. DOI: 10.2495/FIV.A080331.
- Kollanus V., Tiittanen P., Niemi J.V., Lanki T. Effects of long-range transported air pollution from vegetation fires on daily mortality and hospital admissions in the Helsinki metropolitan area, Finland. *Environment Research*, 2016, vol. 151, pp. 351–358. DOI: 10.1016/j.envres.2016.08.003.
- Doroshenko A.M. Antropogennaya pozharoopasnost rastitelnosti na territorii Evreyskoy avtonomnoy oblasti [Anthropogenic fire hazard of vegetation on the territory of the Jewish Autonomous Region]. *Regionalnye problemy*, 2011, vol. 14, no. 2, pp. 78–81.

18. Zubareva A.M., Glagolev E.A., Grigorieva E.A. Characteristics of the spatial and temporal distribution of fire regime in one of the MOST fire prone region of the Russian Far East. *Geography, Environment, Sustainability*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 74–82. DOI: 10.24057/2071-9388-2020-159.
19. *Forecast of the probability of occurrence of foci of natural fires* [Forecast of the probability of occurrence of natural fires]. Available at: <https://79.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/pozharoопасnyy-period/prognoz-veroyatnosti-vozniknoveniya-ochagov-prirodnih-pozharov> (accessed 25 December 2022).
20. Sheshukov M.A. *Lesopozharnoe rayonirovanie Dalnego Vostoka* [Forest fire zoning of the Far East]. Khabarovsk, DalNILX, 1982. 31 p.
21. Petrov E.S., Novorotskiy P.V., Lenshin V.T. *Klimat Khabarovskogo kraya i Evreyskoy avtonomnoy oblasti* [The climate of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region]. Vladivostok, Khabarovsk, Dalnauka Publ., 2000. 174 p.
22. Zaychenko O.V. *Razrabotka metodov otsenki vozdeystviya lesnogo pozhara na vozdushnyu sredu naselennykh territoriy*. Diss. Kand. nauk [Development of methods for assessing the impact of forest fire on the air environment of populated areas. Cand. Diss.]. Vladivostok, 2005. 132 p.
23. Sheshukov M.A. Vidy, intensivnost pozharov i opredelyayushchie ikh faktory [Types, intensity of fires and their determining factors]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1977, no. 5, pp. 68–72.
24. Kogan R.M., Glagolev V.A. Ispolzovanie GIS dlya obrabotki dannykh po ekologicheskomu sostoyaniyu gorodskoy territorii [Using GIS to process data on the ecological state of the urban area]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2004, Special Issue, pp. 167–171.
25. Doroshenko A.M. Analiz faktorov, vliyayushchikh na prostanstvennoe rasprostranenie pozharov rastitelnosti na territorii Evreyskoy avtonomnoy oblasti [Analysis of factors affecting the spatial spread of vegetation fires in the territory of the Jewish Autonomous Region]. *Regionalnye problemy*, 2008, no. 9, pp. 83–87.
26. *Lisnoj plan Evrejskoj avtonomnoj oblasti* [Forest plan of the Jewish Autonomous Region]. Available at: https://www.eao.ru/upload/medialibrary/5ef/proekt_2018_19s.pdf (accessed 19 January 2023).
27. Grishin A.M., Dolgov A.A., Cimbalyuk A.F. *Metodika opredeleniya i rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ot lesnykh pozharov* [Methodology for determining and calculating emissions of pollutants from forest fires]. Moscow, Gosudarstvenny komitet Rossiyskoy Federatsii po okhrane okruzhayushchey sredy, 1997. 26 p.

Received: 10 January 2023.

Reviewed: 10 February 2023.

Information about the authors

Anna M. Zubareva, Cand. Sc., senior researcher, Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences.

Vladimir A. Glagolev, Cand Sc., senior researcher, Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences.

Dmitriy V. Zhuchkov, junior research, Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences.