

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 630*43:528.2(571.61/.64)

ПРОГНОЗ АНТРОПОГЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

В.А. Глаголев

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: glagolev-jar@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1424-552X>

В данном исследовании проведен пространственно-временной анализ данных дистанционного мониторинга индивидуальных пожаров растительности с 2013 по 2023 гг. на основе спутниковых снимков MODIS и географических данных ресурса OpenStreetMap на территории субъектов юга Дальнего Востока России. Открытые тематические карты территории исследования представлены векторными слоями населенных пунктов и автомобильных дорог. Пространственные объекты карт разделены на 12 категорий, отобранных по численности жителей населенных пунктов (*hamlet, village, town, city*) и типу автомобильных дорог (*unclassified, tertiary, secondary, primary, trunk*). Для детерминированно-вероятностной методики прогноза появления пожаров растительности предложен алгоритм определения антропогенной нагрузки в заданные временные периоды пожароопасного сезона в кварталах лесничеств и участках нелесного фонда, расположенных на расстоянии вблизи автомобильных дорог до 12 км и населенных пунктов до 9 км. Выполнена декомпозиция полилинейных объектов автомобильных дорог в виде регулярной сети с разрешением 0.025 градусов в картографической проекции WSG84. Выделены населенные пункты и участки автомобильных дорог для проведения лесоохранных мероприятий федеральными и муниципальными организациями на территории Еврейской автономной области. Наибольшая протяженность дорог с высокой пожарной опасностью наблюдается в Ленинском и Октябрьском районах в апреле и октябре, наиболее высокая пожарная опасность фиксируется вблизи населенного пункта Екатерино-Никольское. Верификация методики выполнялась на примере пожароопасного сезона 2023 года, выявлена удовлетворительная зависимость появления пожаров растительности на выделенных участках протяженностью до 9 км.

Ключевые слова: растительность, автомобильные дороги, населенные пункты, базы данных, пожары, пожароопасный сезон, лесоохранные мероприятия.

Образец цитирования: Глаголев В.А. Прогноз антропогенной пожарной опасности растительности по данным спутниковых снимков юга Дальнего Востока России // Региональные проблемы. 2024. Т. 27, № 4. С. 72–78. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-4-72-78.

На Дальнем Востоке России ежегодно наблюдается повышенная пожарная опасность территории. Труднодоступность кварталов лесничеств и ограниченность метеостанций оказывает влияние на своевременное обнаружение и тушение пожаров растительности. Одним из вариантов решения данной проблемы является определение мест пожароопасной антропогенной деятельности вблизи населенных пунктов, автомобильных

и железных дорог, баз отдыха на основе анализа многомерных массивов пространственно-временной информации за многолетний период, а также своевременное развитие детерминированно-вероятностных моделей прогноза появления пожаров растительности в кварталах лесничеств и на территории нелесного фонда по природно-антропогенным условиям [11]. Авторские модели входят в состав специализированных геоинформацион-

ных систем (ГИС), которые позволяют осуществлять сбор данных наземного и дистанционного мониторинга, анализ тематических карт регионов и квартальных сетей лесничеств, обрабатывать фактические и прогнозные метеорологические данные с заданной заблаговременностью [3, 6]. В силу незначительности объема сведений наземного мониторинга за пожарами растительности для определения антропогенной нагрузки вблизи автомобильных дорог и населенных пунктов в работе рассмотрен альтернативный способ использования данных спутниковых снимков, а также интеграция наборов открытых данных тематических слоев международных и федеральных агентств.

Целью исследования является разработка алгоритма определения антропогенной нагрузки в авторской детерминированно-вероятностной модели пожарной опасности растительности по данным спутникового мониторинга индивидуальных пожаров растительности, возникших вблизи автомобильных дорог и населенных пунктов.

Материалами исследования послужили тематические карты ресурса OpenStreetMap (<http://openstreetmap.com>). Открытые данные электронных карт структурированы тегами OpenStreetMap и разделены по округам Российской Федерации (РФ) в проекции WSG 84.

Тематические карты региона OpenStreetMap представлены векторными слоями в формате геонформационной системы компании Esri. Населенные пункты изображены в точечном (places), автомобильные дороги в полигональном (places_a) слоях, атрибуты пространственных объектов содержат глобальный идентификатор (osm_id); наименование (name); тип объекта (fclass); численность жителей на год переписи (population). Согласно спецификации OpenStreetMap атрибут fclass содержит 12 значений, из них для работы отобраны по численности жителей следующие населенные пункты: hamlet, village, town и city. В полиномиальном слое автомобильных дорог (road) из значений атрибута fclass выбраны: unclassified, tertiary, secondary, primary и trunk [9, 10].

Индивидуальные пожары растительности зафиксированы по данным спутникового мониторинга MODIS и получены с сайтов агентства NASA (<https://daac.ornl.gov>) и Института космических исследований РАН (<https://aviales.ru>) с 2013 по 2023 г. Атрибутивные данные индивидуальных пожаров содержат глобальный идентификатор, координаты центра, область возгорания, дату обнаружения и ликвидации, лесную и нелесную площадь [4].

Для декомпозиции антропогенных факторов, представленных в виде полилинейных источников, построена электронная карта оперативно-территориальных единиц (ОТЕ) на территории субъектов Дальнего Востока России с разрешением $0,025^\circ$ градусной сети (2,75 км на 1,5 км). При определении пожароопасных участков растительности применяются участки квартальной сети субъектов Дальнего Востока России из открытых источников федеральных организаций субъектов РФ.

Визуализация прогноза появления пожаров растительности построена на модификации детерминированно-вероятностной модели [2, 5, 8]:

$$F_{i,j}(B) = \begin{cases} F_{i,j}(C) [(F_{i,j}(N)F_{i,j}(B/N) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M))] & \text{при } R_N \leq R_{cr} \\ F_{i,j}(C) [(F_{i,j}(D)F_{i,j}(B/D) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M))] & \text{при } R_N > R_{cr} \end{cases}$$

где i – день расчета; j – номер квартала лесничества; $F_{i,j}(B)$ – вероятность появления пожаров растительности (событие B); $F_{i,j}(C)$ – вероятность возгорания растительности при определенном значении метеорологического индекса пожарной опасности (событие C); $F_{i,j}(N)$, $F_{i,j}(D)$ – вероятность появления антропогенного источника огня в кварталах от ближайших населенных пунктов или железных и автомобильных дорог (события N и D); $F_{i,j}(B/N)$, $F_{i,j}(B/D)$ – вероятность возгорания вследствие появления антропогенных источников огня; $F_{i,j}(M)$, $F_{i,j}(B/M)$ – вероятность появления природного источника (событие M) и возгорания вследствие его появления; R_N – расстояние от квартала до ближайшего населенного пункта, R_{cr} – минимальное расстояние между кварталом и населенным пунктом или железными и автомобильными дорогами, после которого значительно уменьшается количество пожаров.

При расчете вероятности $F_{i,j}(N)$, $F_{i,j}(D)$ появления антропогенного источника учитывается распределение расстояний от пожаров растительности до антропогенного источника в пределах 50 км. Отсутствие антропогенной пожароопасной нагрузки от населенного пункта предполагается на расстоянии более 9 км от него, далее от этого расстояния причиной возникновения пожаров считалось нарушение правил пожарной безопасности населением на расстоянии не более 12 км от ближайшей автомобильной дороги [1].

Алгоритм определения антропогенной нагрузки вблизи участков автомобильных дорог состоит из следующих этапов: построение базы данных индивидуальных пожаров растительности по данным спутниковых снимков; расчет расстояния от пожаров растительности до населенных пун-

ктов и автомобильных дорог; определение наиболее пожароопасных кварталов лесничеств вблизи населенных пунктов и автомобильных дорог; расчет частоты появления антропогенных источников на участках автомобильных дорог от пожароопасных кварталов лесничеств на расстоянии до 9 км в весенний и осенний периоды; выделение населенных пунктов и участков дорог для регламентации лесоохранных мероприятий [7].

Построение буферной зоны вокруг пожаров растительности радиусом 12 км позволило в ОТЕ зафиксировать пересечение с каждым пожаром и провести частотный анализ появления пожаров вблизи конкретного населенного пункта или участка автомобильной дороги.

Для регламентации лесоохранных мероприятий особое внимание уделено предотвращению доступа населения к кварталам участков лесничеств, расположенных на расстоянии 3÷9 км от населенных пунктов и в пределах 0÷3 км от ближайшей к кварталу автомобильной дороги, а также в ОТЕ антропогенных источников.

Верификация алгоритма выполнена на территории субъектов юга Дальнего Востока России: Амурская и Еврейская автономная области, Хабаровский и Приморский края. В данных субъектах расположено 1830 населённых пунктов, а общая протяженность автомобильных дорог составляет 29557,9 км (табл. 1).

За период с 2013 по 2023 гг. зафиксировано 152225 индивидуальных пожаров растительности. Значительная часть пожаров расположена вблизи населенных пунктов (Приморский край – 93,2% общего числа пожаров в субъекте РФ) и автомобильных дорог (Еврейская автономная область – 26,9%). Наибольшая концентрация антропогенных источников сосредоточена в кварталах

участковых лесничеств на расстоянии 3÷6 км от населенных пунктов и принимала значения от 275 до 1142 случаев возгорания в сезоне и 0÷3 км от автомобильных дорог от 55 до 104 случаев в пожароопасном сезоне (табл. 2).

В целях регулирования лесоохранных мероприятий особое внимание было уделено предотвращению доступа населения к участкам лесного фонда, расположенным на расстоянии 0÷9 км от населенных пунктов и в пределах 0÷12 км от дорожной сети. В соответствии с этим проведена градация территории Еврейской автономной области по концентрации антропогенных источников огня на расстоянии (а) от населенных пунктов: 0÷3 км – низкая, 3÷6 км – высокая, 6÷9 км – высокая; (б) от дорожной сети: 0÷3 км – высокая, 3÷6 км – средняя, 6÷9 км и 9÷12 км – низкая. Ниже на рис. 1 представлен фрагмент карты буферных зон на территории Еврейской автономной области.

Пожароопасные зоны с высокой концентрацией антропогенных источников сосредоточены в южной и северной частях территории Еврейской автономной области. Наименьшая концентрация наблюдается в наиболее удаленных единицах и в окрестностях населенных пунктов. На основании произведенных расчетов относительных частот $F_{i,j}(N)$ и $F_{i,j}(D)$ выделены зоны различной антропогенной пожарной опасности на территории области. Наибольшая относительная частота появления антропогенных источников огня наблюдается в зонах, расположенных на расстоянии 3÷9 км от населенных пунктов и в пределах 0÷3 км от ближайшей к ОТЕ дорожной сети.

На рис. 2 построены электронные карты ОТЕ, преобразованных полилиний автомобильных дорог и степень возможного их антропогенного воздействия на появление пожаров расти-

Площадь региона и протяженность автомобильных дорог на территории субъектов юга Дальнего Востока России

Таблица 1

Area of the region and the length of highways in the subjects of the Russian Far East south

Table 1

№	Субъект РФ	Площадь региона (тыс. км ²)	Протяженность автомобильных дорог (км)	Количество населенных пунктов	Количество кварталов лесничеств
1	Амурская область	360,1	16248	627	38785
2	Еврейская автономная область	36,03	2600	112	4396
3	Приморский край	163,6	6767	655	22609
4	Хабаровский край	786,5	10520	436	58781

Относительная частота появления индивидуальных пожаров
растительности за пожароопасный сезон юга Дальнего Востока России

Relative frequency of separate vegetation fires occurrence during the fire season in the south of the Russian Far East

№	Субъект РФ	Общее количество пожаров	Количество пожаров вблизи антропогенных источников*	Относительная частота появления пожаров за сезон						
				От дорожной сети, км				От населенного пункта, км		
				0–3	3–6	6–9	9–12	0–3	3–6	6–9
1	Амурская область	24299	$\frac{15246 (62,7\%)}{4522 (18,6\%)}$	55	27	41	36	987	1142	432
2	Еврейская автономная область	11503	$\frac{6947 (60,3\%)}{3091 (26,9\%)}$	83	57	58	72	209	291	203
3	Приморский край	27514	$\frac{25642 (93,2\%)}{1616 (5,8\%)}$	160	106	95	89	483	656	381
4	Хабаровский край	13033	$\frac{7012 (53,8\%)}{2784 (21,3\%)}$	104	68	72	63	198	275	229

Примечание: * – от населенных пунктов в пределах 9 км / от автомобильных дорог в пределах 12 км

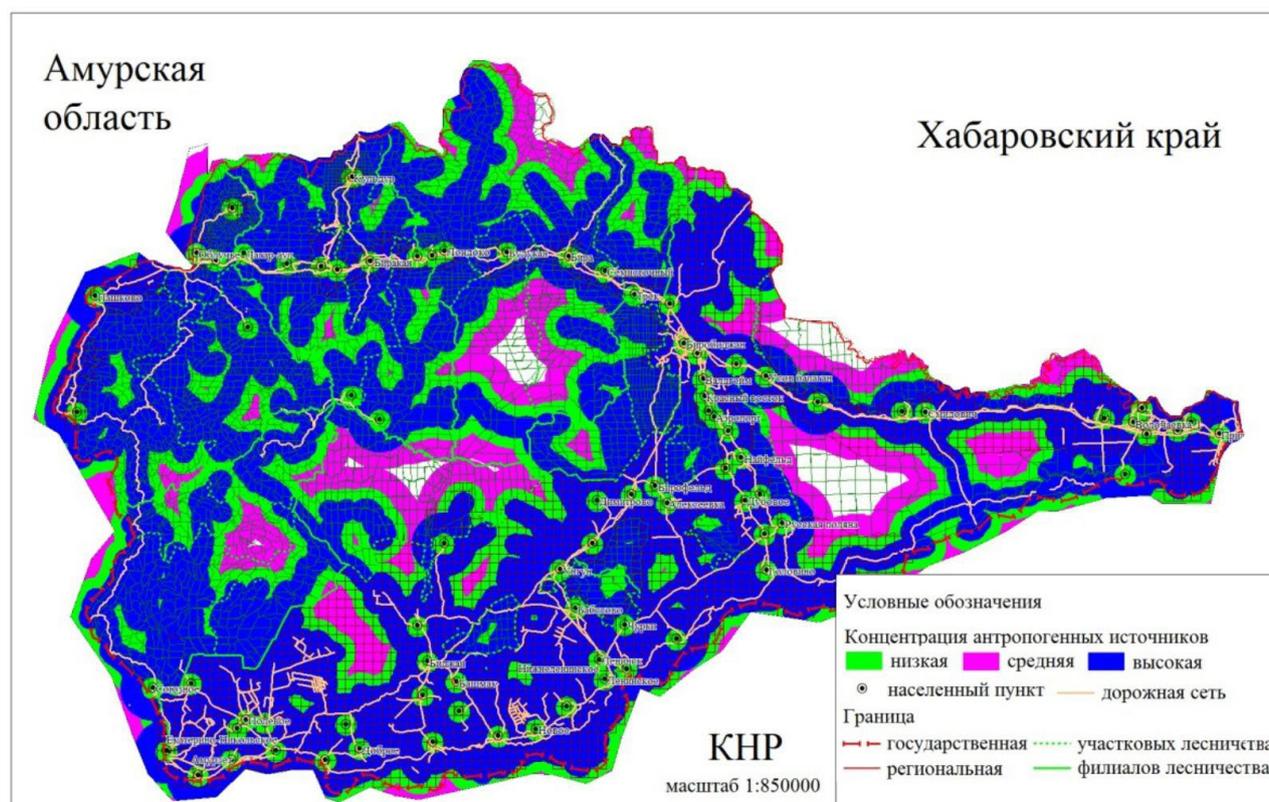


Рис. 1. Электронная карта пожароопасных зон на территории Еврейской автономной области

Fig. 1. Electronic map of fire risk areas in the Jewish Autonomous region

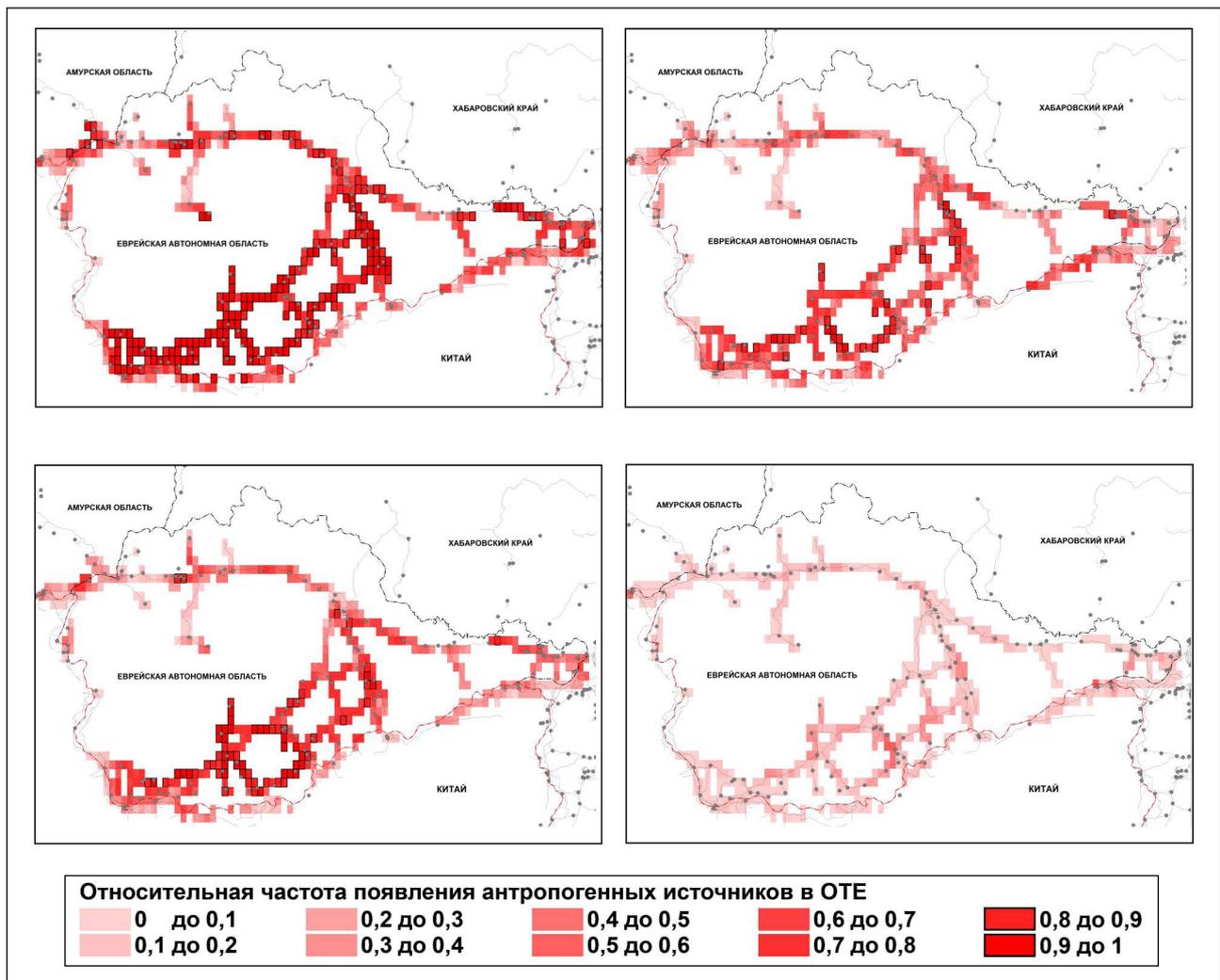


Рис. 2. Электронная карта относительной частоты появления антропогенных источников: апрель (а), май (б), сентябрь (в), октябрь (г) на территории Еврейской автономной области, 2013–2022 гг.

Fig. 2. Electronic map of the relative frequency of occurrence of anthropogenic sources: April (a), May (b), September (c), October (d) in the Jewish Autonomous Region, 2013–2022

тельности в пожароопасный сезон на примере Еврейской автономной области. В работе проведен анализ пространственно-временного распределения 10 568 пожаров растительности; в зависимости от расстояния от очага пожара до ближайшего участка дороги были выделены: 3 км (58%), 6 км (21%), 9 км (11%), 12 км (6%), 50 (4%) км. В ходе декомпозиции дорог в Еврейской автономной области было получено 356 оперативно-территориальных единиц, при этом территория населенных пунктов не учитывалась.

Наибольшая пожароопасность растительности вблизи автомобильных дорог наблюдалась в апреле и октябре. Высокая частота антропогенных источников вблизи зарегистрированных участков

дорожной сети составила 115 км и 25 км. В южной части региона участки дорог подвержены постоянному воздействию, но в течение 20–25 апреля и 19–25 октября между населенными пунктами Столбовое – Унгун и Ленинское – Биджан определенно наблюдаются временные изменения.

Таким образом, предложенный алгоритм определения антропогенной нагрузки вблизи участков растительности актуален для южных субъектов Дальнего Востока России при моделировании возникновения пожаров растительности по природно-антропогенным условиям и формирования противопожарных рекомендаций на особо удаленных и труднодоступных территориях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреев Ю.А., Ларченко Г.Ф. Социально-психологические аспекты рекреационных посещений леса и возникновение пожаров // Лесные пожары и борьба с ними. М.: ВНИИ ПОМ-лесхоз, 1987. С. 251–263.
2. Глаголев В.А., Коган Р.М. Система пожарного мониторинга лесных участков Еврейской автономной области // Технологии техносферной безопасности. 2015. Вып. 5 (63). С. 104–112. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2015-5/2015-5.html> (дата обращения: 14.10.2024).
3. Егармин П.А. Система детальной оценки пожарной опасности лесной территории: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. 21 с.
4. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 14.10.2024).
5. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: СО РАН, 2009. 301 с.
6. Подольская А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П. Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 118–126.
7. Рекомендации по лесопожарной профилактике и тушению лесных пожаров в зоне наземной охраны лесов Дальнего Востока / М.А. Шешуков, И.З. Найкруг, И.И. Перевейтайло, Е.Е. Дунда. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1983. 44 с.
8. Фильков А.И. Детерминированно-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2005. 24 с.
9. Geofabric Download Server OpenStreetMap. URL: <https://download.geofabrik.de/russia.html> (дата обращения: 14.10.2024).
10. Venter O., Sanderson E.W., Magrath A., Allan J.R., Beher J., Jones K.R., ... & Watson J.E. Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009 // Scientific data. 2016. N 3 (1). P. 1–10.
11. Zubareva A.M., Glagolev V.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 and Sustainability. 2021. Vol. 14, N 2. P. 74–82.

REFERENCES:

1. Andreev Yu.A., Larchenko G.F. Socio-psychological aspects of recreational visits to the forest and the occurrence of fires, in *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* (Forest fires and their control). Moscow: VNIИ POM-leskhoz Publ., 1987, pp. 251–263. (In Russ.).
2. Glagolev V.A., Kogan R.M. Fire Monitoring System of Forest Plots of Jewish Autonomous Region. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2015, no. 5 (63), pp. 104–112. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2015-5/2015-5.html> (accessed: 14.10.2024). (In Russ.).
3. Egarmin P.A. The system of detailed assessment of fire danger of the forest territory. *Extended Abstract of Cand. Sci. (technical) Dissertation*. Krasnoyarsk, 2005. 21 p. (In Russ.).
4. *Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva* (Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency). Available at: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (accessed: 14.10.2024). (In Russ.).
5. Kuznetsov G.V., Baranovsky N.V. *Prognoz vozni-knoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* (Forecast of forest fires and their environmental consequences). Novosibirsk: SB RAS, 2009. 301 p. (In Russ.).
6. Podolskaya A.S., Ershov D.V., Shuliak P.P. Forest Fire Occurrence Probability Assessment: Method and Approach in Russian Remote Monitoring Information System (Isdm-Rosleskhoz). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, no. 1, pp. 118–126. (In Russ.).
7. *Rekomendatsii po lesopozharnoi profilaktike i tusheniyu lesnykh pozharov v zone nazemnoi okhrany lesov Dal'nego Vostoka* (Recommendations on forest fire prevention and extinguishing of forest fires in the zone of ground protection of forests of the Far East), M.A. Sheshukov, I.Z. Naikrug, I.I. Pereveitailo, E.E. Dunda. Khabarovsk: DalnIILKH, 1983. 44 p. (In Russ.).
8. Filkov A.I. Deterministic probabilistic system of forecasting forest fire danger. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Physical and Mathematical) Dissertation*. Tomsk, 2005. 24 p. (In Russ.).
9. *Geofabric Download Server OpenStreetMap*. Available at: <https://download.geofabrik.de/russia.html> (accessed: 14.10.2024).
10. Venter O., Sanderson E.W., Magrath A., Allan J.R., Beher J., Jones K.R., ... & Watson J.E. Glob-

- al terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009. *Scientific data*, 2016, no. 3 (1), pp. 1–10.
11. Zubareva A.M., Glagolev V.A., Grigorieva E.A. Characteristics of the spatial and tem-

poral distribution of fire regime in one of the most fire prone region of the Russian Far East Geography. *Environment and Sustainability*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 74–82.

FORECAST OF ANTHROPOGENIC FIRE DANGER
FOR VEGETATION ACCORDING TO SATELLITE IMAGES
OF THE SOUTH OF THE RUSSIAN FAR EAST

V.A. Glagolev

In this study, a spatial – temporal analysis of separate vegetation fires monitoring data from 2013 to 2023 was carried out on the basis of MODIS satellite images and geographical data from the Open Street Map resource for the subjects in the Russian Far East south. Open thematic maps of the study area are represented by vector layers of settlements and highways. The map spatial objects are subdivided into 12 categories, according to the number of population in the localities (hamlet, village, town) and the type of highways (unclassified, tertiary, secondary, primary, trunk). To create the deterministic probabilistic methodology for predicting the vegetation fires occurrence, the author has proposed an algorithm for determining the anthropogenic load during specified time periods at a fire season in forest and non-forest areas located at a distance up to 12 km near highways and up to 9 km from settlements. The decomposition of multilinear highway objects in the form of a regular network with a resolution of 0.025 degrees in the WSG84 cartographic projection is performed by the author. It is defined the settlements and highway sections in need of forest protection measures – for federal and municipal organizations of the Jewish Autonomous region to perform them. The longest sections of roads characterizes by a high fire danger in April and October are situated in Leninsky and Oktyabrsky districts; the highest fire danger is recorded near the settlement of Yekaterino-Nikolskoye. The methodology verification was made on the example of the fire season in 2023. It was revealed a satisfactory dependence of vegetation fires occurrence in the selected sections with a length of up to 9 km.

Keywords: *vegetation, adjacent areas, settlements, databases, fires, fire season, forest protection measures.*

Reference: Glagolev V.A. Forecast of anthropogenic fire danger for vegetation according to satellite images of the south of the Russian Far East. *Regional'nye problemy*, 2024, vol. 27, no. 4, pp. 72–78. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-4-72-78.

Поступила в редакцию 15.10.2024

Принята к публикации 17.12.2024