

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 630*43(571.621)

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СОПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫМ УСЛОВИЯМ

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>

На основе детерминированно-вероятностной модели оценки возникновения пожаров сопряженных участков растительности по природно-антропогенным условиям разработана геоинформационная система, состоящая из базы данных и блоков сбора открытых данных, поиска смежных кварталов, расчета метеорологической и антропогенной пожарной опасности, регламентации лесоохранных мероприятий. Базы данных содержат сведения о пожарах растительности, информацию гидрометеостанций и антропогенных источников. Для учета влияния сопряженных участков на пожарную опасность использовался комплекс с алгоритмом поиска кварталов растительности и проведена его интеграция с блоками геоинформационной системы. Архитектура геоинформационной системы построена на трехзвенном взаимодействии, включающем сервер баз данных с поддержкой API-доступа, брокера приложений и приложения визуализации результатов расчетов. API-сервер хранит структурированные данные открытых источников, доступные по прикладным протоколам обмена, брокер приложений содержит функции для сбора данных, расчета показателей и их визуализации в сторонних приложениях. Для построения электронных карт использованы открытые данные ресурса OpenStreetMap по округам Российской Федерации в картографической проекции WSG 84. Индивидуальные пожары растительности получены по данным спутникового мониторинга MODIS с 2013 по 2022 гг. Атрибутивные данные пожаров содержат идентификатор, координаты центра, область возгорания, дату обнаружения и ликвидации. Верификацию геоинформационной системы планируется выполнить в пожароопасном сезоне 2019–2023 гг.

Ключевые слова: растительность, сопряженные участки, система, базы данных, пожары, пожароопасный сезон, лесоохранные мероприятия.

Образец цитирования: Глаголев В.А. Геоинформационная система оценки возникновения пожарной опасности сопряженных участков растительности по природно-антропогенным условиям // Региональные проблемы. 2023. Т. 26, № 3. С. 72–78. DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-3-72-78.

Введение

Организация эффективного взаимодействия лесоохранных служб по предупреждению пожаров растительности невозможна без детальной оценки пожарной опасности участков растительности. Формирование массива данных смежных участков растительности связано с наборами разнообразных переменных, описывающих пространственные характеристики как природного, так и антропогенного генезиса, которые определя-

ют вероятность появления источников возгорания. Выделение смежных участков растительности включает интеграцию динамических показателей, описывающих закономерности внутригодовых и межсезонных условий возникновения пожаров растительности в операционно-территориальных единицах (субъекты РФ, муниципальные районы, филиалы лесничества, участковые лесничества, участок растительности).

Целью данной работы является разработка системы оценки возникновения пожарной опасности смежных участков растительности на основе детерминированно-вероятностной модели по природно-антропогенным условиям.

Для этого необходимо выполнить следующие задачи: предложить методику определения пожарной опасности смежных участков растительности; спроектировать архитектуру геоинформационных систем; реализовать структуру базы данных смежных участков растительности; реализовать геоинформационную систему на примере территории Еврейской автономной области (ЕАО).

Методика определения пожарной опасности смежных участков растительности

Материалами исследования послужили тематические карты ресурса OpenStreetMap (OSM) [14]. Открытые данные электронных карт структурированы тегами OSM и разделены по округам Российской Федерации (РФ) в картографической проекции WSG 84.

Индивидуальные пожары растительности фиксируются по данным спутникового мониторинга MODIS с сайтов агентств NASA [15] и ИКИ РАН ИСДМ – Рослехоз [6] с 2013 по 2022 гг. Атрибутивные данные пожаров содержат идентификатор, координаты центра, область возгорания, дату обнаружения и ликвидации, лесную и нелесную площадь.

Для декомпозиции антропогенных источников использована электронная карта операционно-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 [8].

Определение противопожарных рекомендаций на смежных участках растительности выполняется на основе вероятности появления пожаров растительности на участках лесного фонда. Алгоритм расчета включает следующие этапы:

- построение сети ОТЕ на территории лесного и нелесного фонда и поиск смежных участков ОТЕ выделенного участка;
- расчет фактических и прогнозных значений комплексного показателя пожарной опасности по методу В.Г. Нестерова по условиям погоды в центрах ОТЕ лесного фонда [7, 10];
- вычисление в каждом ОТЕ вероятности по-

явления пожаров растительности на определённый день;

- выделение участка растительности в случае превышения порогового значения вероятности возникновения пожаров;
- построение маршрута патрулирования территории, в площадь обзора которого попадает максимальное количество пожароопасных ОТЕ.

Для определения вероятности появления пожаров растительности смежных участков используется детерминированно-вероятностная модель прогноза возникновения пожаров растительности по природно-антропогенным условиям [1, 3, 12]. В модели учтено происхождение источника огня и введено понятие «критического расстояния» (R_{cr}) – минимальное расстояние между исследуемой ОТЕ и населенными пунктами или железными и автомобильными дорогами, после которого значительно уменьшается количество пожаров:

$$F_{i,j}(B) = \left\{ \begin{array}{l} F_{i,j}(C)[F_{i,j}(N)F_{i,j}(B/N) + \\ F_{i,j}(C)[F_{i,j}(D)F_{i,j}(B/D) + \\ + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M)] \text{ при } R_N \leq R_{cr} \\ + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M)] \text{ при } R_N > R_{cr} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где i – день расчета; j – номер ОТЕ; $F_{i,j}(B)$ – вероятность появления пожаров растительности (событие B); $F_{i,j}(C)$ – вероятность возгорания растительности при определенном значении комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды (событие C); $F_{i,j}(N)$, $F_{i,j}(D)$ – вероятность появления антропогенного источника огня в смежных ОТЕ от ближайших населенных пунктов или железных и автомобильных дорог (события N и D) [2, 5]; $F_{i,j}(B/N)$, $F_{i,j}(B/D)$ – 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 ОТЕ до ближайшего населенного пункта.

Вероятность возникновения пожара $F_{i,j}(C)$ в j -й ОТЕ равна единице, если ежедневный комплексный показатель P_i в центре ОТЕ превышает значение показателя P_{cr} , либо вычисляется по формуле:

$$F_{i,j}(C) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } P_i \geq P_{cr}, \\ \frac{P_i}{P_{cr}}, \text{ если } P_i < P_{cr} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где P_{cr} – минимальное значение комплексного показателя пожарной опасности, при котором возможно появление пожаров на данном участке в за-

висимости от степени природной пирологической пожарной опасности растительности в ОТЕ [4].

Вероятность появления источников огня $F_{ij}(M)$, $F_{ij}(N)$ и $F_{ij}(D)$ в j -й ОТЕ определяется по относительной частоте появления молниевых разрядов и возникновения пожаров от антропогенной деятельности жителей ближайших населенных пунктов и прибывших по дорожной сети:

$$F_{ij}(N) = \frac{Q N_R}{Q}, F_{ij}(D) = \frac{Q D_R}{Q}, F_{ij}(M) = \frac{Q M_{ij}}{Q}, \quad (3)$$

где Q – количество сезонов за базовый период; $Q N_R$, $Q D_R$ – количество сезонов, в которых были зафиксированы пожары, возникшие в пожароопасной зоне в радиусе R (км) от населенного пункта или дорожной сети; $Q M_{ij}$ – количество сезонов, в которых наблюдались молниевые разряды.

Вероятность возгорания вследствие появления молниевых разрядов либо от населения из близлежащих пунктов или дорожной сети вычисляется следующим образом:

$$F_{ij}(B/M) = \frac{NMP_{ij}}{NP}, F_{ij}(B/N) = \frac{NNP_{ij}}{NP}, F_{ij}(B/D) = \frac{NDP_{ij}}{NP}, \quad (4)$$

где $F_{ij}(B/M)$, $F_{ij}(B/N)$ и $F_{ij}(B/D)$ – вероятности появления огня от разных источников; NMP_{ij} , NNP_{ij} , NDP_{ij} – количество пожаров от молниевых разрядов, антропогенной деятельности жителей населенных пунктов или прибывших по дорожной сети; NP – общее количество пожаров за базовый период.

Включение смежных кварталов осуществляется согласно условию, при котором на фиксированном участке территории в прошлом возникали пожары растительности, то этот и смежные с ним участки следует считать потенциально опасными. При этом считается, что суммарная выгоревшая площадь мала по сравнению с площадью охраняемой территории, таким образом, каждый пожар рассматривается в виде ОТЕ. Степень пожарной опасности максимальна для участка, где зафиксирован пожар растительности за предыдущие периоды времени и убывает с увеличением расстояния до центра данного участка. С каждым имевшим место в прошлом пожаром растительности связывается некоторый потенциал пожарной опасности, определяемый потенциальной функцией $U(x,y)$, действующий в определенной окрестности участка возникновения пожара S с координатами в центре x,y .

В работе П.А. Егармина [5] вычисление потенциальной функции U происходит с учетом радиуса окружности вокруг точки возникновения пожара в прошлом. Внутри окружности рассчитывается потенциал по формуле (5), а по всем точкам окружности – потенциал равен нулю. Радиус окружности выбирается экспериментально в зависимости от посещаемости леса и состояния растительности:

$$U(x,y,x_i,y_i) = \frac{1}{\pi R_i^2}. \quad (5)$$

В силу того, что идентификация пожаров растительности осуществляется по ОТЕ их возникновения, то пожароопасными участками считаются смежные ОТЕ.

Для регламентации лесоохранных мероприятий [9, 11, 13] выбираются границы населенных пунктов и участки дорожной сети, находящихся вблизи ОТЕ с высокой вероятностью появления пожаров растительности.

Архитектура геоинформационной системы

Архитектура геоинформационной системы построена на трехзвенном распределении, включающем сервер баз данных с поддержкой API-доступа, брокера приложений и приложения визуализации результатов расчетов. API-сервер хранит структурированные данные, доступные по прикладным протоколам обмена, брокер приложений содержит функции для сбора данных, расчета показателей и их визуализации в сторонних приложениях.

Геоинформационная система состоит из пяти блоков: базы данных, сбора открытых данных, поиска смежных кварталов, расчета метеорологической и антропогенной пожарной опасности, регламентации лесоохранных мероприятий. На рис. 1. показано взаимодействие блоков № 1 и 3.

Блок № 1 представлен интегрированными реляционными базами данных, которые содержат данные о пожарах растительности, данные гидрометеостанций и антропогенных источников. Базы данных состоят из таблиц, связанных тематическими и географическими ключами MapInfoId.

На рис. 2 представлена логическая структура базы данных растительности, в которой каждая таблица присоединена к одноименному векторному слою тематической карты региона. В центре логической структуры находится таблица «ОТЕ». Местоположение пожара указывается с помощью атрибутов *долгота* и *широта* либо атрибута *idOTE*, который может принимать одно или более

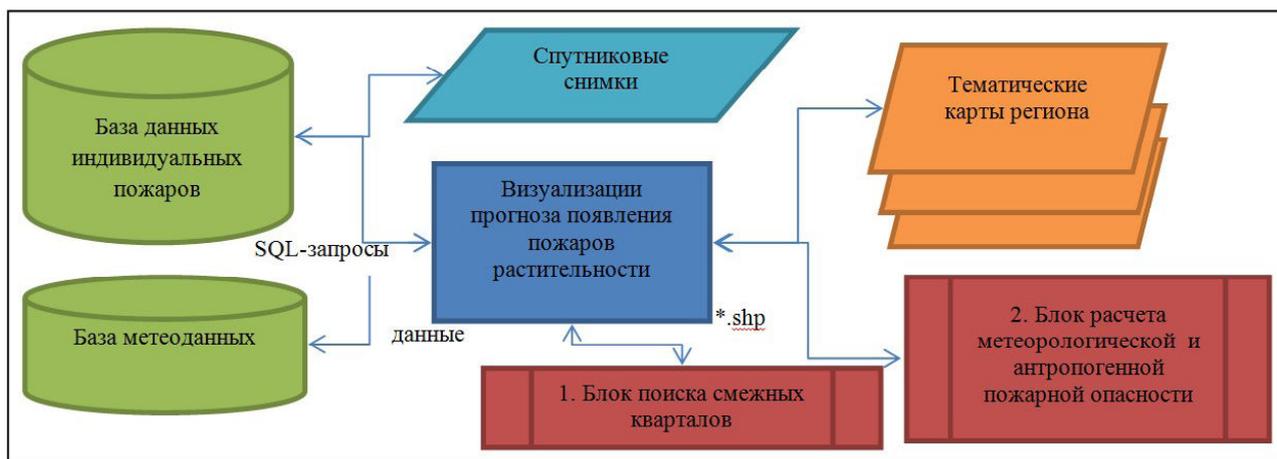


Рис. 1. Концептуальная модель геоинформационной модели

Fig. 1. Conceptual model of the geoinformation model

значений, разделенных запятой.

Блок № 2 предназначен для сбора открытых данных по прикладным протоколам глобальной сети Интернет. Спецификация OSM содержит тематические карты населенных пунктов (places) и их ареалов (places_a), железнодорожных (railway) и автомобильных дорог (roads). Тематические карты региона представлены векторными слоями в формате shp. Населенные пункты изображены в точечном (places) и полигональном (places_a)

слоях, атрибуты пространственных объектов содержат идентификатор (osm_id); наименование (name); тип объекта (fclass); численность жителей на год переписи (population). Согласно стандарту OSM атрибут fclass содержит 12 значений, из них отобраны по численности жителей: hamlet, village, town и city. В полиномиальном слое автомобильных дорог (road) из значений атрибута fclass выбраны: unclassified, tertiary, secondary, primary и trunk.

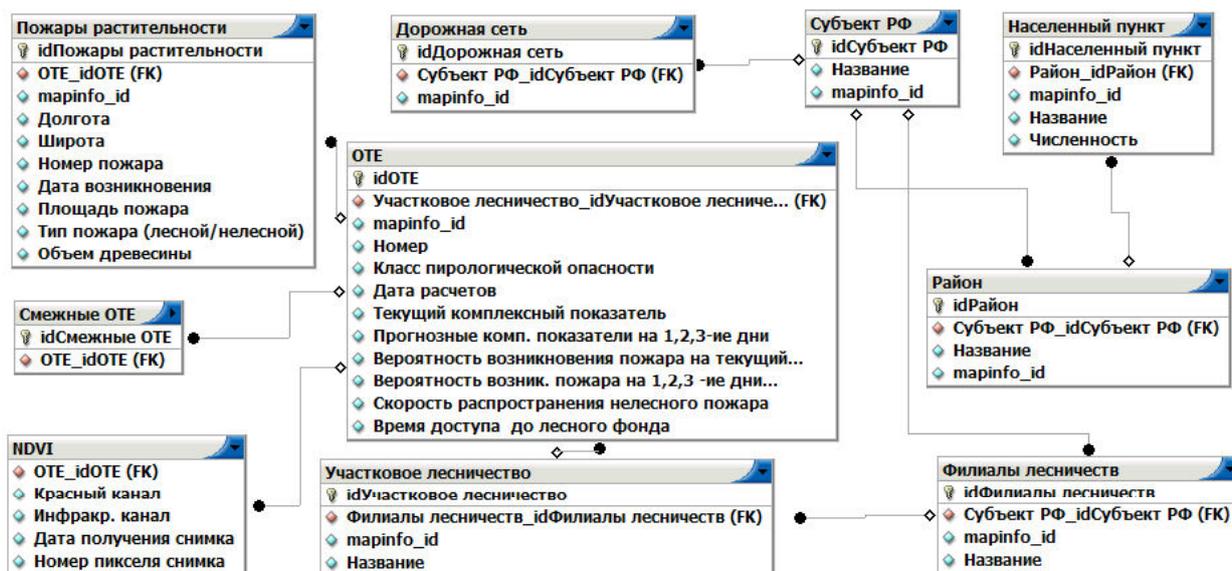


Рис. 2. Логическая структура базы данных пожаров растительности

Fig. 2. Logical structure of the vegetation fires database

В блоке № 3 при нахождении смежных участков растительности используются методы поиска ближайших пространственных объектов (соседей). В первом методе поиск выполняется с учетом узлов полигонов участков растительности по алгоритму Hierarchical Navigable Small World. В каждом пронумерованном узле участка выполняется поиск смежных участков, при объединении данных пересечений получается список пересекающихся пространственных объектов: узел пересечения, номера участка. В данном способе достигается максимальная пространственная прорисовка узлов участков в проекции WSG 84. Во втором методе определяются центроиды участка и обрабатывается пересечение линий, соединённых через центроиды по алгоритму Asymmetric distance computation. Центроиды разделяют электронную карту на пространство отдельных участков. Совокупность векторов участков аппроксимируется центроидами и при декомпозиции территории на участки учитывается расстояние от запроса до группы векторов, попавших в выделенный участок, и расстояние до центроида, образующего данный участок.

В блоке № 4 выполняется расчет метеорологических индексов пожарной опасности и характеристик антропогенной пожарной опасности на основе авторских функций динамических библиотек программного обеспечения.

В блоке № 5 реализуются противопожарные рекомендации и мероприятия в виде электронных отчетов, отправляемых муниципальным и частным организациям: определение участков растительности с высокой пожарной опасностью (от 0,5 до 1); выявление дат с высокой пожарной опасностью, во время которых в определенных участках растительности наблюдается наибольшая вероятность возникновения пожаров; построение маршрутов авипатрулирования пожароопасных участков растительности.

На территории Еврейской автономной области в течение 2019–2023 гг. планируется провести ретроспективный анализ появления пожаров растительности по природно-антропогенным условиям с использованием уточнения смежных кварталов.

Таким образом, предложенная геоинформационная система оценки возникновения пожарной опасности смежных участков растительности имеет практическую значимость и может быть дополнительно использована для разработки противопожарных рекомендаций и мероприятий на территории субъектов РФ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Барановский Н.В. Математическое моделирование наиболее вероятностных сценариев и условий возникновения лесных пожаров: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2007. 19 с.
2. Глаголев В.А., Коган Р.М. Система пожарного мониторинга лесных участков Еврейской автономной области // Технологии техносферной безопасности. 2015. Вып. 5 (63). С. 1–9.
3. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. 218 с.
4. Дорошенко А.М., Коган Р.М. Влияние антропогенных факторов на пожароопасность растительности Еврейской автономной области // Лесное хозяйство. 2011. № 3. С. 37–39.
5. Егармин П.А. Система детальной оценки пожарной опасности лесной территории: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. 21 с.
6. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 14.03.2023).
7. Нестеров В.Г., Гриценко М.В., Шабунина Т.А. Использование температуры точки росы при расчете показателя горимости леса // Гидрология и метеорология. 1968. № 9. С. 102–104.
8. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
9. Софронов М.А. Пожароуправление: учеб. пособие для студентов / М.А. Софронов, А.В. Волокитина, Т.М. Софронова. Красноярск: СибГТУ, 2005. 144 с.
10. Стародумов А.М. Шкала пожарной опасности погоды для условий Хабаровского края, Приморья и Амурской области // Сборник трудов ДальНИИЛХ. 1964. № 6. С. 176–185.
11. Телицын Г.П., Карпов А.И., Попович С.В. Программный комплекс для моделирования процессов распространения и тушения лесных пожаров // Охрана лесов от пожаров в современных условиях: междунар. практ. конф. Хабаровск: Изд-во КПБ, 2002. С. 151–153.
12. Фильков А.И. Детерминированно-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности: автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2005. 24 с.
13. Ходаков В.Е. Лесные пожары: методы исследования / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 410 с.

14. Geofabric Download Server OpenStreetMap. URL: <https://download.geofabrik.de/russia.html> (дата обращения: 14.03.2023).
 15. Global Fire Atlas with Characteristics of Individual. URL: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1642 (дата обращения: 14.03.2023).
- REFERENCES:
1. Baranovsky N.V. Mathematical modeling of the most probabilistic scenarios and conditions of occurrence of forest fires. Extended Abstract of cand. Sci. (physical and mathematical) Dissertation. Tomsk, 2007. 19 p. (In Russ.).
 2. Glagolev V.A., Kogan R.M. System of fire monitoring of forest areas of the Jewish Autonomous Region. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2015, issue 5 (63), pp. 1–9. (In Russ.).
 3. Grishin A.M. *Fizika lesnykh pozharov* (Physics of forest fires). Tomsk: Publishing House Tomsk un-t, 1994. 218 p. (In Russ.).
 4. Doroshenko A.M., Kogan R.M. The influence of anthropogenic factors on the fire hazard of vegetation of the Jewish Autonomous Region. *Lesnoe khozyaistvo*, 2011, no. 3. pp. 37–39. (In Russ.).
 5. Egarmin P.A. The system of detailed assessment of fire danger of the forest territory: abstract. Extended Abstract of cand. Sci. (technical) Dissertation. Krasnoyarsk, 2005. 21 p. (In Russ.).
 6. *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: 14.03.2023). (In Russ.).
 7. Nesterov V.G., Gritsenko M.V., Shabunina T.A. The use of dew point temperature in calculating the index of forest burnability. *Gidrologiya i meteorologiya*, 1968, no. 9, pp. 102–104. (In Russ.).
 8. *Sovremennoe sostoyanie lesov rossiiskogo Dal'nego Vostoka i perspektivy ikh ispol'zovaniya* (The current state of the forests of the Russian Far East and prospects for their use). Khabarovsk: FEFRI, 2009. 470 p. (In Russ.).
 9. Sofronov M.A., Volokitina A.V., Sofronova T.M. *Pozharoupravlenie: ucheb. posobie dlya studentov* (Fire management: studies. a manual for students), M.A. Sofronov, A.V. Volokitina, T.M. Sofronova. Krasnoyarsk: SibSTU, 2005. 144 p. (In Russ.).
 10. Starodumov A.M. The scale of fire danger of weather for the conditions of the Khabarovsk Territory, Primorye and Amur region. *Sbornik trudov Dal'NILKh*, 1964, no. 6, pp. 176–185. (In Russ.).
 11. Telitsyn G.P., Karpov A.I., Popovich S.V. A software package for modeling the processes of spreading and extinguishing forest fires, in *Okhrana lesov ot pozharov v sovremennykh usloviyakh: mezhdunar. prakt. konf.* (Protection of forests from fires in modern conditions: international. practical conf.). Khabarovsk: Publ. House of the CPB, 2002, pp. 151–153. (In Russ.).
 12. 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.).
 13. Khodakov V.E. *Lesnye pozhary: metody issledovaniya* (Forest fires: research methods), V.E. Khodakov, M.V. Zharikova. Kherson: Grin D.S. Publ., 2011. 410 p. (In Russ.).
 14. Geofabric Download Server OpenStreetMap. Available at: <https://download.geofabrik.de/russia.html> (accessed: 14.03.2023).
 15. *Global Fire Atlas with Characteristics of Individual*. Available at: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1642 (accessed: 14.03.2023).

GEOINFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING THE OCCURRENCE OF FIRE DANGER OF INTERCONNECTED VEGETATION AREAS ACCORDING TO NATURAL AND ANTHROPOGENIC CONDITIONS

V.A. Glagolev

On the basis of a deterministic-probabilistic model for assessing the occurrence of fires of interconnected vegetation areas according to natural and anthropogenic conditions, a geoinformation system has been developed, consisting of a database and blocks for access to open data and searching adjacent neighborhoods, calculating meteorological and anthropogenic fire danger, and for regulating forest protection measures. Databases contain information about vegetation fires, data from hydrometeorological stations and anthropogenic sources. To account for the influence of interconnected areas on fire danger, a complex with an algorithm for searching vegetation quarters was used and its integration with the blocks of the geoinformation system was carried out. The architecture of the geoinformation system is based on a three-tier distribution, including a database server with API access support, an application broker and an application for visualization of calculation results. The API server stores structured data from open sources accessible via application exchange protocols, the application broker contains functions for data collection, calculation of indicators and their visualization in third-party applications. To build electronic maps, open data from the OpenStreetMap resource for the districts of the Russian Federation in the WSG 84 cartographic projection was used. Individual vegetation fires were obtained according to MODIS satellite monitoring data from 2013 to 2022. The attribute data of fires contain the identifier, the coordinates of the center, the area of ignition, the date of detection and elimination, the forest and non-forest area. Verification of the system is planned to be carried out in the fire season 2023–2024.

Keywords: *vegetation, interconnected areas, system, databases, fires, fire season, forest protection measures.*

Reference: Glagolev V.A. Geoinformation system for assessing the occurrence of fire danger of interconnected vegetation areas according to natural and anthropogenic conditions. *Regional'nye problemy*, 2023, vol. 26, no. 3, pp. 72–78. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-3-72-78.

Поступила в редакцию 03.07.2023

Принята к публикации 19.09.2023