



ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Т. С. Станкевич, канд. техн. наук, доцент, tatiana.stankevich@klgtu.ru
БГАРФ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье выполнена оценка риска возникновения лесного пожара в зависимости от влияния факторов внешней среды посредством кластеризации данных глобального дистанционного зондирования. Получены результаты пространственного распределения лесных пожаров с учетом данных о природных и антропогенных факторах среды: широта; долгота; дата получения данных; время получения данных; Fire Weather Index; минимальное расстояние до населенного пункта; минимальное расстояние до автомобильных, железных дорог; минимальное расстояние до акватории; праздничный / выходной день.

лесной пожар, возникновение пожара, глобальное дистанционное зондирование, кластеризация, метод k-means, природные факторы, антропогенные факторы

ВВЕДЕНИЕ

Лесной пожар – это явление, представляющее угрозу для жизни и здоровья людей, оказывающее разрушительное воздействие на функционирование экосистем и наносящее значительный социально-экологический ущерб [1]. Например, как видно из статистических данных Федерального агентства лесного хозяйства и МЧС России [2], в Российской Федерации за 2018 г. ущерб от лесных пожаров составил 19,84 млрд. руб. и превысил потери от техногенных пожаров на 5,62 млрд. руб. При этом расходы на защиту лесов от пожаров за период с 2009 по 2018 г. возросли с 3,57 до 7,09 млрд. руб., т. е. наблюдается двукратный рост расходов.

Современные исследователи [3-6] отмечают, что, несмотря на негативный эффект, лесные пожары являются частью естественной динамики лесных экосистем и представляют собой мощную эволюционную силу.

Однако при этом многие ученые сообщают об изменениях пожарного режима районов в сторону роста повторяемости пожаров и увеличения частоты крупных событий [7, 8]. Например, авторы работы [9] проанализировали данные о площадях пожаров на западе США за период с 1984 по 2015 г. и установили их увеличение на 4,2 млн. га, а также сделали вывод, что тенденция роста площадей лесных пожаров обусловлена изменением климата за рассматриваемый временной промежуток. Исследователи в работе [10] особо подчеркнули, что изменение климата, повышение температуры и снижение влажности воздуха приведут в будущем к удвоению уничтоженных лесными пожарами площадей в Европе.

Таким образом, хотя лесные пожары являются естественным компонентом лесных экосистем и не могут быть полностью устранены, в настоящее время выявлено снижение регулирующей функции лесного пожара и рост его деструктивной функции.

Увеличение риска лесных пожаров во многих регионах вызвало озабоченность и стало причиной всестороннего обсуждения, как адаптироваться к этим изменениям [11] и как выполнять профилактическую оценку риска лесных пожаров.

Цель представленного исследования заключается в оценке риска возникновения лесного пожара в зависимости от влияния факторов внешней среды посредством применения кластеризации данных глобального дистанционного зондирования.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Есть два вида факторов, которые вызывают возникновение пожара: человеческие и природные. Согласно данным из [12, 13], в большинстве случаев пожары (95%) вызваны человеческими факторами, при этом лишь небольшая часть – природными факторами, но масштаб пожара определяют именно погодные условия. В соответствии с данными Федерального агентства лесного хозяйства [2] доля лесных пожаров, возникших по вине граждан, в общем количестве лесных пожаров за 2016 г. составила 46,7%, т. е. примерно в половине случаев причиной возникновения лесного пожара были человеческие факторы. Подобное распределение обусловлено тем, что пожары широко используются для активного управления ландшафтом, особенно в целях сельского хозяйства, в том числе для расчистки территорий [14] и уничтожения сельскохозяйственных отходов [15].

В последние годы стало доступно большое количество данных о глобальном распространении лесных пожаров [16-18], в большей степени благодаря глобальному дистанционному зондированию. Дистанционное зондирование как спутниковая технология играет очень важную роль в оценке лесных пожаров, которая включает: обнаружение пожара, оценку воздействия пожара, систему раннего оповещения, план управления пожарами, а также план восстановления после пожара [19]. Увеличение количества спутников, их пространственного разрешения, а также количества одновременно наблюдаемых спектральных полос обеспечивает устойчивый рост объемов данных и возможностей применения их для решения задач различной сложности в области обеспечения пожарной безопасности лесов.

Для оценки риска возникновения лесного пожара предложено выполнить пространственную группировку данных, полученных от спутника, и сформировать кластеры лесных пожаров. Данные предоставляются от 36-канального спектрорадиометра с умеренным спектральным разрешением MODIS через EFFIS [20] и содержат следующие параметры внешней среды: широту; долготу; дату и время получения данных. Набор данных включает в себя 20 записей за период с 01.06.2019 по 31.08.2019 г. для Испании. При этом использованы данные с максимальной оценкой достоверности, когда пожар определен с высокой достоверностью. В качестве дополнительных параметров, используемых при кластеризации для оценки влияния внешней среды на возможность успешного воспламенения, применены следующие: Fire Weather Index («1» – очень низкий уровень опасности; «2» – низкий уровень опасности; «3» – средний уровень опасности; «4» – высокий уровень опасности; «5» – очень высокий уровень опасности; «6» – экстремально высокий уровень опасности); минимальное расстояние до населенного пункта; минимальное расстояние до дороги (автомобильной или железной); минимальное расстояние до акватории; праздничный / выходной день («1» – рабочий день; «2» – праздничный или выходной день). Данные о коэффициенте Fire Weather Index получены с использованием https://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis_current_situation/public/index.html [21]. Данные о расстояниях (до населенного пункта, до дороги, до водной акватории) доступны в Google Maps [22]. Итоговый набор данных представлен в табл. 1.

Современные исследователи указывают в работах [23, 24], что кластеризация данных – сложная задача, включающая выбор различных методов, параметров и показателей эффективности, имеющих значение для многих реальных проблем. При этом именно методы кластеризации, которые являются более требовательными, чем контролируемые подходы, дают больше информации о сложных данных и предназначены для работы с шумными, неполными и выборочными данными в многомерном пространстве. В качестве метода кластеризации предложено применить метод k-means (метод k-средних).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выполнена кластеризация данных посредством применения метода k-means с использованием пакета Matlab. Параметры кластеризации заданы следующие: количество кластеров – 3; количество итераций – 100; количество объектов для кластеризации – 20. Результаты кластеризации представлены в табл. 2.

Таблица 1 – Данные для кластеризации лесных пожаров

№ п/п	Широта	Долгота	Дата получения данных (номер дня)	Время получения данных (мин)	FWI	Минимальное расстояние до населенного пункта, м	Минимальное расстояние до дороги, м	Минимальное расстояние до акватории, м	Праздничный / выходной день
1	40.918	0.699	161	660	6	1580	270	40	1
2	37.799	-6.931	167	720	5	647	143	15	2
3	41.201	0.635	177	760	6	218	4	278	1
4	40.280	-4.885	179	1310	5	581	94	453	1
5	39.974	-3.393	184	665	6	721	108	253	1
6	39.935	-5.902	187	130	5	375	262	14	2
7	38.790	-6.998	194	1365	5	382	128	121	2
8	40.352	-4.608	194	1365	5	4210	1230	615	2
9	36.925	-2.635	195	180	5	830	415	430	2
10	38.734	-0.773	196	790	5	569	237	226	1
11	42.059	-6.075	201	810	4	1040	121	265	2
12	38.588	-3.653	203	795	6	340	144	433	1
13	41.780	-0.563	204	840	6	4280	361	997	1
14	40.161	-5.767	207	1335	6	2290	1820	23	1
15	39.694	-2.003	211	1310	5	6260	357	121	1
16	37.832	-3.511	214	1340	6	371	5	191	1
17	40.828	-3.837	216	765	6	467	217	212	2
18	28.023	-15.614	222	1390	5	473	105	424	2
19	40.999	-6.638	224	815	4	1770	435	191	1
20	27.944	-15.513	224	1375	5	666	644	337	1

Таблица 2 – Результаты кластеризации

№ п/п	Широта	Долгота	Дата получения данных (номер дня)	Время получения данных (мин)	FWI	Минимальное расстояние до населенного пункта, м	Минимальное расстояние до дороги, м	Минимальное расстояние до акватории, м	Праздничный / выходной день	Кластер
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	40.918	0.699	161	660	6	1580	270	40	1	3
2	37.799	-6.931	167	720	5	647	143	15	2	1
3	41.201	0.635	177	760	6	218	4	278	1	1
4	40.280	-4.885	179	1310	5	581	94	453	1	1
5	39.974	-3.393	184	665	6	721	108	253	1	1
6	39.935	-5.902	187	130	5	375	262	14	2	1
7	38.790	-6.998	194	1365	5	382	128	121	2	1
8	40.352	-4.608	194	1365	5	4210	1230	615	2	2
9	36.925	-2.635	195	180	5	830	415	430	2	1
10	38.734	-0.773	196	790	5	569	237	226	1	1
11	42.059	-6.075	201	810	4	1040	121	265	2	1
12	38.588	-3.653	203	795	6	340	144	433	1	1
13	41.780	-0.563	204	840	6	4280	361	997	1	2
14	40.161	-5.767	207	1335	6	2290	1820	23	1	3
15	39.694	-2.003	211	1310	5	6260	357	121	1	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	37.832	-3.511	214	1340	6	371	5	191	1	1
17	40.828	-3.837	216	765	6	467	217	212	2	1
18	28.023	-15.614	222	1390	5	473	105	424	2	1
19	40.999	-6.638	224	815	4	1770	435	191	1	3
20	27.944	-15.513	224	1375	5	666	644	337	1	1

Как наглядно видно из табл. 2, в результате применения кластеризации данных глобального дистанционного зондирования сформированы три кластера: первый кластер включает в себя 15 объектов (объекты под номерами № 2 – 12, № 16 – 18, № 20), второй кластер – два объекта (объекты № 13 и № 15), а третий кластер – три объекта (объекты № 1, № 14 и № 19).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье выполнена оценка риска возникновения лесного пожара в зависимости от влияния факторов внешней среды посредством кластеризации данных глобального дистанционного зондирования.

Предложено учесть влияние не только природных факторов внешней среды (а именно: широты; долготы; даты и времени получения данных; Fire Weather Index), но и антропогенных факторов. К ключевым антропогенным факторам отнесены минимальные расстояния до населенного пункта; автомобильных, железных дорог; до акватории; праздничный / выходной день.

Получены результаты пространственного распределения лесных пожаров с учетом данных о природных и антропогенных факторах среды в виде трех кластеров. В состав первого кластера вошли три объекта; второго кластера – пятнадцать объектов; третьего – два объекта. Большинство объектов (лесных пожаров) вошли в кластер № 1 и характеризуются незначительным удалением от населенных пунктов, что наглядно демонстрирует ключевую роль антропогенных факторов в возникновении лесных пожаров.

В дальнейшем исследовании планируется для оценки риска возникновения лесных пожаров на территории стран, подверженных поджогам (например, Российская Федерация, Бразилия), ввести дополнительный параметр, учитывающий стоимость пород древесины.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00035 «мол_а».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tendim F., Xanthopoulos G., Leone V. (2015). Forest fires in Europe: facts and challenges. In: Paton D., Mccaffrey S., Tedim F., Büergelt P. (eds.). *Wildfire hazards, risks, and disasters*. Elsevier. p. 77–93. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410434-1.00005-1>.
2. Ведомства. ЕМИСС. Государственная статистика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/organizations/> (дата обращения: 30.11.2019).
3. Noss, R.F., Franklin, J.F., Baker, W.L., Schoennagel, T., and Moyle, P.B. 2006. Managing fire-prone forests in the western United States. *Front. Ecol. Environ.* 4: 481-487. doi:10.1890/1540-9295(2006)4[481:MFFITW]2.0.CO;2.
4. Turner, M.G. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91(10): 2833–2849. doi:10.1890/10-0097.1. PMID:21058545.
5. Johnstone, J.F., Allen, C.D., Franklin, J.F., Frelich, L.E., Harvey, B.J., Higuera, P.E., Mack, M.C., Meentemeyer, R.K., Metz, M.R., Perry, G.L., Schoennagel, T., and Turner, M.G. 2016. Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Front. Ecol. Environ.* 14(7): 369–378. doi:10.1002/fee.1311.

6. Bond, W. J., and Keeley, J. E. (2005). Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* 20, 387–394. doi: 10.1016/j.tree.2005.04.025.
7. Moreno J.M., Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (central Spain), *Forest Ecology Management*, 2001, 147, pp. 55-65.
8. Lloret F., Pausas J.G., Vila M., Responses of Mediterranean plant species to different fire frequencies in Garraf Natural Park (Catalonia, Spain): Field observations and modeling predictions, *Plant Ecology* 2003, 167, pp. 223-235.
9. Abatzoglou J.T., Williams A.P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(42): 11770–11775. <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>.
10. Forest Fire in Europe, Middle East and North Africa [Электронный ресурс]. URL: http://forest.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/9/FireReport2012_Final_2.pdf (дата обращения: 30.11.2019).
11. Smith, A. M. S., Kolden, C. A., Paveglio, T. B., Cochrane, M. A., Bowman, D. M., Moritz, M. A., Abatzoglou, J. T. (2016). The science of firescapes: Achieving fire-resilient communities. *BioScience*, 66(2), 130–146 <http://doi.org/10.1093/biosci/biv182>.
12. Syaufina L. Kebakaran hutan dan lahan di Indonesia. Malang: Bayumedia Publishing; 2008. In Bahasa.
13. Wotton B.M. (2009). Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications. *Environmental and Ecological Statistics* 16(2): 107–131. <https://doi.org/10.1007/s10651-007-0084-2>.
14. Cochrane, M.A. Fire science for rainforests. *Nature* 2003, 421, pp. 913–919.
15. Yevich, R.; Logan, J.A. An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world. *Glob. Biogeochem. Cycles* 2003, 17, 1095 p.
16. Bond WJ, Keeley JE, 2005. Fire as a global «herbivore»: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol Evol* 20(7): 387-394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>.
17. Krawchuk ME, Moritz MA, Parisien MA, Van Dorn J, Hayhoe K, 2009. Global Pyrogeography: the Current and Future Distribution of Wildfire. *Plos ONE* 4(4): e5102. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0005102>.
18. Archibald S, Lehmann CER, Gómez-Dans JL, Bradstock RA, 2013. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *PNAS* 110(16): 6442-6447. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1211466110>.
19. Lailan Syaufina, Imas Sukaesih Sitanggang, Lusi Maulana Erman. Challenges in satellite-based research on forest and land fires in Indonesia: frequent item set approach. *Procedia Environmental Sciences* 33 (2016), pp. 324-331.
20. Data and services. EFFIS [Электронный ресурс]. URL: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-and-services/> (дата обращения: 27.11.2019).
21. Current Situation. EFFIS [Электронный ресурс]. URL: https://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis_current_situation/public/index.html (дата обращения: 27.11.2019).
22. Google Maps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.ru/maps> (дата обращения: 27.11.2019).
23. Raykov Y.P., Boukouvalas A., Baig F., Little M.A. What to Do When K-Means Clustering Fails: A Simple yet Principled Alternative Algorithm. *PLoS ONE*. 2016; 11(9):1–28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162259>.
24. Arruda GF, Costa LF, Rodrigues FA. A complex networks approach for data clustering. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2012; 391(23):6174—6183. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2012.07.007>.

SPATIAL DISTRIBUTION OF FOREST FIRES USING CLUSTERIZATION OF GLOBAL REMOTE SENSING DATA

T.S. Stankevich, Ph.D., Associate Professor, tatiana.stankevich@klgtu.ru
BFFSA, Kaliningrad State Technical University

In the article, the author assessed the risk of a forest fire depending on the influence of environmental factors using clusterization of global remote sensing data. The spatial distribution of forest fires was obtained taking into account data on natural and anthropogenic environmental factors: latitude; longitude; acquisition date; acquisition time; Fire Weather Index; minimum distance to the village; minimum distance to roads, railways; minimum distance to the water area; holiday / day off.

forest fire, fire, global remote sensing, clusterization, k-means method, natural factors, man-made factors

ACKNOWLEDGEMENTS

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-37-00035 «mol_a».