

Картирование лесных пожаров в совокупности с антропогенными объектами и лесными породами в окрестностях Восточно-Сибирской железной дороги

А. В. Базаров^{1,2}, Р. С. Сычев^{1,3}, А. С. Базарова¹, О. В. Базарова⁴

¹ *Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ, 670047, Россия*

² *Бурятская государственная сельскохозяйственная академия
им. В. Р. Филиппова, Улан-Удэ, 670024, Россия
E-mail: alebazaro@gmail.com*

³ *Рослесинфорг, Бурятский филиал, Улан-Удэ, 670031, Россия
E-mail: roman1594@mail.ru*

⁴ *Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Улан-Удэ, 670013, Россия
E-mail: ouyna78@gmail.com*

Рассматривается применение результатов картографических методов в качестве данных для количественного анализа условий возникновения лесных пожаров. Построены векторные карты локаций лесных пожаров, населённых пунктов, сети автомобильных дорог, железной дороги на основе спутниковых снимков, цифровых карт и информационных систем, находящихся в открытом доступе. Участки лесных массивов с преобладающими лесными породами были картированы по геоданным спутникового сервиса коллективного пользования «Вега-Science». Векторные слои с точками очагов пожаров с 2011 по 2020 г. построены по данным информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства «ИСДМ-Рослесхоз». Использование данных релевантных информационных систем даёт большое преимущество при организации геоинформационных слоёв на обширных территориях по сравнению с рутинной обработкой массивов спутниковых снимков. Методами геоинформационного анализа построены ряды данных по удалённости пожаров от объектов инфраструктуры и распределению пожаров по лесным породам. Проведён статистический анализ построенных рядов данных. Показано, что близость к инфраструктуре влияет на количество пожаров и что хвойные породы (сосна и лиственница) оказываются наиболее подверженными пожарам на исследуемой территории.

Ключевые слова: лесные пожары, картирование, «Вега-Science», ИСДМ-Рослесхоз, расстояние, железная дорога, автомобильные дороги, населённые пункты, статистика

Одобрена к печати: 27.09.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-89-100

Введение

Пожары представляют собой одно из крупнейших экологических бедствий, затрагивающих лесные ресурсы (Aka et al., 2017). Среди основных причин возникновения лесных пожаров можно назвать деятельность населения, в том числе лесозаготовителей, — более 90 % (Катаева, 2007). Лесные пожары часто происходят в районах с высокой плотностью населения или с интенсивной хозяйственной деятельностью. Чаще всего они возникают вблизи населённых пунктов (Bistinas et al., 2013), вдоль автомобильных (Матвейчук, 2019) и железных дорог (Szczygieł et al., 2014). Для наиболее эффективной борьбы с лесными пожарами необходимо выделять и анализировать предпосылки и факторы, их провоцирующие (Badia-Perpinyà, Pallares-Barbera, 2006). Например, в работе (Castillo Soto, 2012) предложен метод определения территорий, подверженных лесным пожарам, по сочетанию трёх территориальных переменных: пространственной локализации пожаров, дорожной сети и населённых пунктов. Антропогенное влияние сильнее выражено в зоне большей доступности, т. е. чем короче расстояние от инфраструктурных объектов до очагов лесных пожаров, тем больше степень антропогенного влияния.

Подходящим источником данных для дальнейшего моделирования возникновения лесной пожарной опасности в условиях антропогенной нагрузки (Chuvieco, Salas, 1996) становится картографический анализ совокупности геоинформационных слоёв пространственного распределения очагов лесных пожаров, инфраструктуры и породного лесного состава. Для достижения поставленных целей такое исследование должно опираться на наборы данных об объектах инфраструктуры, растительном покрове, топографии и т.д. с подробной пространственной информацией, полученной в том числе из спутниковых измерений (Pereira et al., 2014).

Цель работы заключается в определении наиболее пожароопасных зон путём построения комплексных карт (Берлянт, 2002) лесных пожаров, населённых пунктов, сети автомобильных дорог, железной дороги и преобладающих лесных пород для расчёта геоинформационными методами расстояний от пожаров до этих объектов инфраструктуры, а также количества пожаров, попадающих в те или иные области с преобладающими лесными породами; построении рядов данных и проведении статистического анализа.

Материалы и методы

В качестве геоданных по преобладающим лесным породам использованы результаты обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), предоставленные уникальным инструментом научного анализа данных спутниковых наблюдений «Вега-Science» Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) (<http://sci-vega.ru>). Инструмент «Вега-Science» проводит картографирование преобладающих древесных пород в лесах на основе данных ежедневных спутниковых наблюдений прибором MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) — стандартные продукты MOD09GA и MOD09GQ, предоставляющие информацию о коэффициенте спектральной яркости земной поверхности с коррекцией влияния атмосферы. Распознавание древесных пород основано на различиях сезонной динамики спектрально-отражательных характеристик лесов (Барталев и др., 2016). Данные по Иркутской обл. и Республике Бурятия были получены в виде растрового изображения в формате GeoTIFF, на основе которого построен векторный слой лесных пород. Слой содержит пространственное распределение лесных пород: сосны, лиственницы, ели, берёзы, сибирского кедра, редкой лиственницы, осины, кедрового стланика, пихты, лиственных кустарников.

В качестве данных по лесным пожарам мы использовали результаты обработки данных ДЗЗ в Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) (Блок мониторинга пожарной опасности за 2002 г.). ИСДМ-Рослесхоз в своей работе использует следующие спутниковые данные: AVHRR (*англ.* Advanced Very-High-Resolution Radiometer), спутники NOAA (*англ.* National Oceanic and Atmospheric Administration); MODIS, спутники Terra и Aqua; SPOT-Vegetation, HRV (*англ.* High-Resolution Visible) и HRVIR (*англ.* High-Resolution Visible and Infrared sensor), спутник SPOT (*фр.* Satellite Pour l'Observation de la Terre); ETM+ (*англ.* Enhanced Thematic Mapper Plus), Landsat и «Ресурс-ДК» (Ершов и др., 2004). При необходимости в систему также поступают данные других спутников (Барталев и др., 2008). Для построения карт локаций лесных пожаров использован точечный способ, который хорошо передаёт реальные особенности размещения явления: его количество, локализацию, группировку или концентрацию (Берлянт, 2002). По координатам лесных пожаров, которые находятся в Реестре лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз в разделе «Точка регистрации; Координаты», построены векторные слои с точками очагов пожаров с 2011 по 2020 г. Координаты точки регистрации пожаров отражают местонахождение центра области очага пожара, впервые детектированного спутником (https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml). Расстояние от начальной точки очага пожара до инфраструктурных сооружений лучше отражает степень антропогенного влияния, чем от центра полигонов пожаров, размеры которых более подвержены влиянию природных факторов. Каждая нанесённая точка имеет атрибуты, содержащие: координаты, муниципальное

образование, на территории которого произошёл лесной пожар, наименование ближайшего населённого пункта, расстояние до него (км), площадь (га), дата и др.

Векторный геоинформационный слой, содержащий автомобильные дороги, был отрисован по оцифрованным топографическим картам в масштабе 1:100 000 и спутниковым снимкам Sentinel-2.

Восточно-Сибирская железная дорога (ВСЖД) — это филиал ОАО «Российские железные дороги», она пролегает главным образом по территории Иркутской обл. (ИО) и Республики Бурятии (РБ). Эксплуатационная длина превышает 3800 км, развёрнутая длина главных путей — более 6300 км (<https://vszd.rzd.ru/ru/1891#s1>). Часть дороги идёт вдоль оз. Байкал. В границах ВСЖД проходят Транссибирская (Транссиб) и Байкало-Амурская (БАМ) магистрали. Слои Восточно-Сибирской железной дороги построены по геоданным ГИС-пакетов (ГИС — геоинформационные системы) Информационных ресурсов Всероссийского научно-исследовательского геологического института (<http://atlaspacket.vsegei.ru/#c90c625bdf1913c99>). Так как полотно железной дороги — это линейный объект, т.е. не имеет ширины и, соответственно, площади, для определения территории исследования используется построение буфера как наиболее подходящего инструмента векторного пространственного анализа (Саттон и др., 2009) (рис. 1).

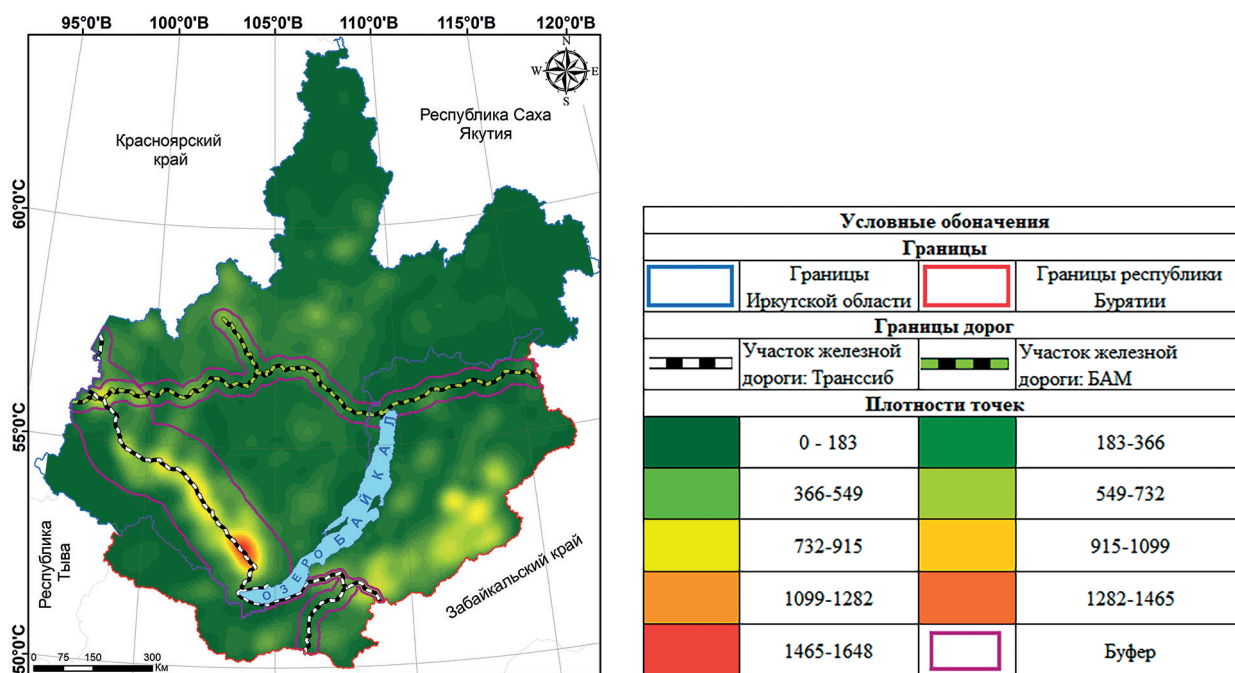


Рис. 1. Определение ширины буферной зоны по плотности точек очагов лесных пожаров в окрестностях ВСЖД

Размеры буферов были определены следующим образом. Во-первых, весь линейный объект был поделён на четыре участка: ИО — Транссиб, ИО — БАМ, РБ — Транссиб, РБ — БАМ, для каждого из которых определено своё буферное расстояние. На совокупную территорию Иркутской обл. и Бурятии были нанесены точки пожаров и построены карты плотности точек.

В Иркутской обл., на равнинной её части, повышенные значения плотности точек явно тяготеют к Транссибу. Для определения местоположения границы буферной зоны ИО — Транссиб значения с цветом, отражающим наименьший диапазон в легенде карты, были отсечены. Таким образом, мы определили ширину буферной зоны в самой широкой её части. Здесь область повышенной плотности точек в окрестностях железнодорожной линии имеет радиус 90 км, поэтому ширина буферной зоны для этого слоя составляет 180 км.

Границы буфера нанесены параллельно железной дороге на этом расстоянии. На протяжении всего участка плотность точек возле железной дороги выше, чем на окраинах буфера. Таким образом, охвачены все очаги пожаров, тяготеющие к железной дороге.

В Республике Бурятия и на севере Иркутской обл. такого тяготения не наблюдается. Эти участки ВСЖД пролегают в гористой местности, преимущественно по долинам, ограниченными прилегающими горными хребтами. Переход линии железной дороги из долины в долину осуществляется через тоннели. Таким образом, ширина их буферной зоны ограничена прилегающими горными хребтами (рис. 2) и составляет для слоёв ИО – БАМ и РБ – Транссиб 50 км (по 25 км с каждой стороны) и для слоя РБ – БАМ – 60 км (30 + 30 км).

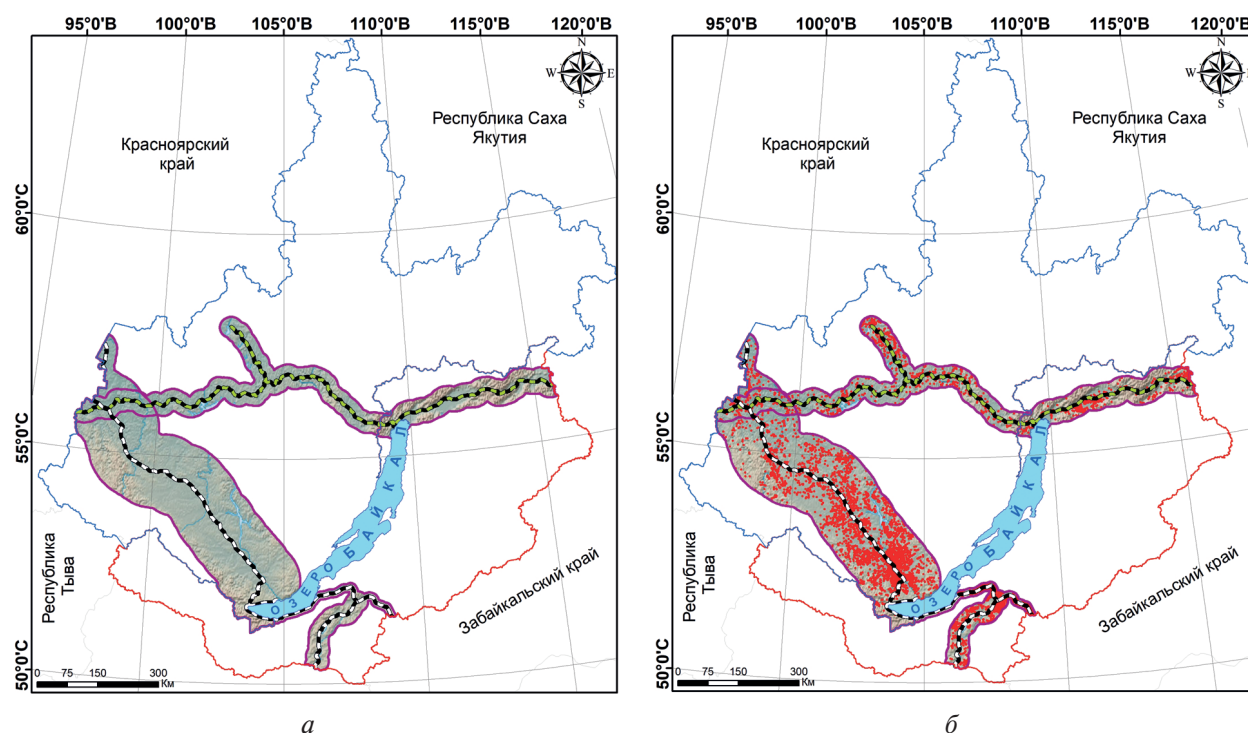


Рис. 2. Определение ширины буферной зоны по прилегающим горным хребтам к ВСЖД (а), то же самое с нанесёнными точками пожаров (б)

Описанный выше способ позволил определить территорию, в границах которой проведение исследования.

Информация по удалённости пожаров от населённых пунктов взята из ИСДМ-Рослесхоз. Расстояния удалённости пожаров от автомобильных дорог и линий ВСЖД вычислены методом поиска ближайшего объекта, при котором от объектов одного слоя (точек пожаров) вычисляются кратчайшие расстояния до ближайших объектов соответствующего слоя. Ряды данных удалённости точек пожаров от населённых пунктов, автомобильных дорог и линий ВСЖД представляют собой расстояния, выраженные в километрах. Попадание точки в лесную область с конкретной преобладающей породой определяется с помощью пространственного анализа «Пересечение». В результате построены ряды данных по расстояниям удалённости пожаров от населённых пунктов, от автомобильных дорог и от линии железной дороги ВСЖД, а также распределение по лесным породам.

Ряды данных расстояний проанализированы методами описательной статистики. Рассчитано распределение пожаров по полигонам с преобладающими лесными породами.

Результаты и обсуждения

Ширина и длина каждой буферной зоны различны, соответственно неравны их площади и количество пожаров в каждой из них. Необходимо нормирование количества очагов пожаров на площадь. С этой целью рассчитана плотность пожаров согласно (ГОСТ..., 1985): отношение числа лесных пожаров к единице лесной площади за пожароопасный сезон.

Результаты приведены в *табл. 1*.

Мы использовали размерность для площади в сотнях квадратных километров для более удобной записи численных значений плотности пожаров. Таким образом, значения плотности отражают количество пожаров на 100 км². Данные, приведённые в *табл. 1*, показывают, что плотность пожаров на участках Транссиба выше, чем на участках БАМа Иркутской обл. в 1,5 раза, а Республики Бурятия — в 2,4 раза.

Таблица 1. Количество и плотность пожаров на разных участках исследуемой территории за период 2011–2020 гг.

Параметр	Иркутская обл.		Республика Бурятия	
	БАМ	Транссиб	БАМ	Транссиб
Количество пожаров	1055	4006	309	476
Площадь, сотни км ²	541,92	1375,93	287,44	187,04
Плотность пожаров	1,95	2,91	1,08	2,54

Таблица 2. Описание данных

Расстояние	Иркутская обл.		Республика Бурятия	
	БАМ	Транссиб	БАМ	Транссиб
до населённого пункта	$R_{town}(IO-B)$	$R_{town}(IO-T)$	$R_{town}(RB-B)$	$R_{town}(RB-T)$
до автодороги	$R_{road}(IO-B)$	$R_{road}(IO-T)$	$R_{road}(RB-B)$	$R_{road}(RB-T)$
до железной дороги	$R_{railw}(IO-B)$	$R_{railw}(IO-T)$	$R_{railw}(RB-B)$	$R_{railw}(RB-T)$

Таблица 3. Описательная статистика распределений рядов данных

Параметр	Иркутская обл.						Республика Бурятия					
	БАМ			Транссиб			БАМ			Транссиб		
	$R_{town}(IO-B)$	$R_{road}(IO-B)$	$R_{railw}(IO-B)$	$R_{town}(IO-T)$	$R_{road}(IO-T)$	$R_{railw}(IO-T)$	$R_{town}(RB-B)$	$R_{road}(RB-B)$	$R_{railw}(RB-B)$	$R_{town}(RB-T)$	$R_{road}(RB-T)$	$R_{railw}(RB-T)$
Длина ряда N	1055	1055	1055	4006	4006	4006	309	309	309	476	476	476
Среднее	10,92	0,82	9,71	5,32	0,59	27,95	10,64	3,56	11,31	5,79	3,48	7,80
Медиана	8,90	0,49	7,86	4,40	0,41	21,25	7,10	2,50	9,82	5,20	2,89	5,99
Стандартное отклонение	8,08	1,01	7,57	4,00	0,70	23,90	8,85	3,35	8,55	3,36	2,73	6,74
Асимметрия	0,84	3,80	0,43	2,70	6,69	0,78	1,25	1,43	0,47	1,34	0,90	0,83
Стандартная ошибка асимметрии	0,08	0,08	0,08	0,04	0,04	0,04	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11
Экссесс	0,04	29,66	−1,19	12,20	95,34	−0,45	0,97	2,35	−1,02	2,50	0,14	−0,40
Критерий нормальности p	0,000											

Построены ряды данных по расстояниям от очагов пожаров до объектов инфраструктуры, пригодные для статистического анализа. Перед тем как описывать количественные данные, необходимо провести проверку распределения «на нормальность», т. е. на соответствие распределения наших данных нормальному (гауссовому) распределению. Под видом распределения понимают функцию, связывающую значения переменной случайной величины с вероятностью их появления в совокупности (Гржибовский, 2008). Для проведения статистического анализа для каждого ряда данных назовем специальное обозначение (табл. 2).

Статистика распределений с уровнем достоверности 95 % приведена в табл. 3. В последнем ряду таблицы дано значение критерия нормальности для каждого распределения.

При нормальном распределении, которое симметрично, значения медианы и среднего должны быть одинаковы, а значения асимметрии и эксцесса равны нулю (Гржибовский, 2008). В нашем случае этого не наблюдается. Более того, во всех распределениях значение асимметрии более чем вдвое превышает её стандартную ошибку, что указывает на наличие асимметрии распределения (<https://www.ibm.com/docs/ru/spss-statistics/25.0.0?topic=descriptives-options>). Тест на нормальность проводился с помощью критерия Колмогорова – Смирнова, так как длина рядов N больше 50 (при $N < 50$ используется критерий Шапиро – Уилкса) (Гржибовский, 2008). При применении этого критерия за нулевую гипотезу принимается гипотеза о том, что изучаемое распределение не отличается от нормального, следовательно, если достигнутый уровень значимости при проверке гипотезы будет меньше, чем критический уровень значимости ($p < 0,05$ при уровне достоверности 95 %), то нулевая гипотеза о сходстве распределений отвергается, а значит, распределение отличается от нормального. Соответственно, если $p > 0,05$, то распределение не отличается от нормального (Гржибовский и др., 2017). В нашем случае для всех распределений критерий нормальности $p = 0,000 < 0,05$, все распределения данных для расстояний от населённых пунктов, автодорог и железной дороги до очагов возникновения лесных пожаров не подчиняются закону нормального распределения.

Таблица 4. Квартили, процентиля распределения и максимальное расстояние

Переменная	Квартили							$R_{\max}$
			Q1	Q2	Q3			
	Процентили							
	5	10	25	50	75	90	95	
$R_{\text{town}}(\text{IO-B})$	1,50	2,20	4,10	8,90	16,50	23,00	26,12	41,70
$R_{\text{town}}(\text{IO-T})$	1,30	1,70	2,90	4,40	6,70	9,30	12,70	40,90
$R_{\text{town}}(\text{RB-B})$	1,35	2,00	4,20	7,10	15,45	24,80	29,30	42,70
$R_{\text{town}}(\text{RB-T})$	1,50	2,17	3,50	5,20	7,10	10,40	11,10	19,90
$R_{\text{road}}(\text{IO-B})$	0,03	0,07	0,21	0,49	1,05	1,99	2,71	13,73
$R_{\text{road}}(\text{IO-T})$	0,03	0,07	0,18	0,41	0,78	1,28	1,64	14,23
$R_{\text{road}}(\text{RB-B})$	0,16	0,31	0,93	2,50	5,52	7,93	10,37	17,86
$R_{\text{road}}(\text{RB-T})$	0,22	0,46	1,20	2,89	5,06	7,45	9,21	12,53
$R_{\text{railw}}(\text{IO-B})$	0,52	1,04	2,71	7,86	16,50	21,17	22,94	24,97
$R_{\text{railw}}(\text{IO-T})$	0,88	2,04	7,55	21,25	44,35	66,08	76,06	89,95
$R_{\text{railw}}(\text{RB-B})$	0,50	1,32	3,49	9,82	18,06	24,14	27,37	30,23
$R_{\text{railw}}(\text{RB-T})$	0,48	0,81	2,08	5,99	12,11	18,73	21,49	24,94

В связи тем, что распределение расстояний отлично от нормального, использовать для представления данных среднее значение и стандартное отклонение будет некорректным. В этом случае для описания данных целесообразно использовать медиану и кварти-

ли. Медиана — значение признака, которое делит распределение пополам: одна половина значений признака располагается слева от медианы, а другая — справа. 25-й процентиль (или первый квартиль, Q1) отсекает четверть самых низких значений признака, а 75-й процентиль (или третий квартиль, Q3) — четверть самых высоких значений (медиана является 50-м процентилем, или вторым квартилем, Q2). Между 1-м и 3-м квартилями располагается 50 % значений признака (Гржибовский и др., 2016). Конкретно для нашего случая отметим, что асимметрия всех распределений больше нуля, что свидетельствует о скошенности вправо, в сторону начала координат, где находятся объекты инфраструктуры (населённые пункты, автодороги и железная дорога). Таким образом, можно говорить, что в пределах расстояния от инфраструктур, которое характеризуют первые три квартиля, находится 75 % пожаров. Значения квартилей и процентилей приведены в табл. 4, в которой признаки сгруппированы по инфраструктурным объектам. В последнем столбце даны значения наблюдаемых максимумов расстояний для каждой переменной.

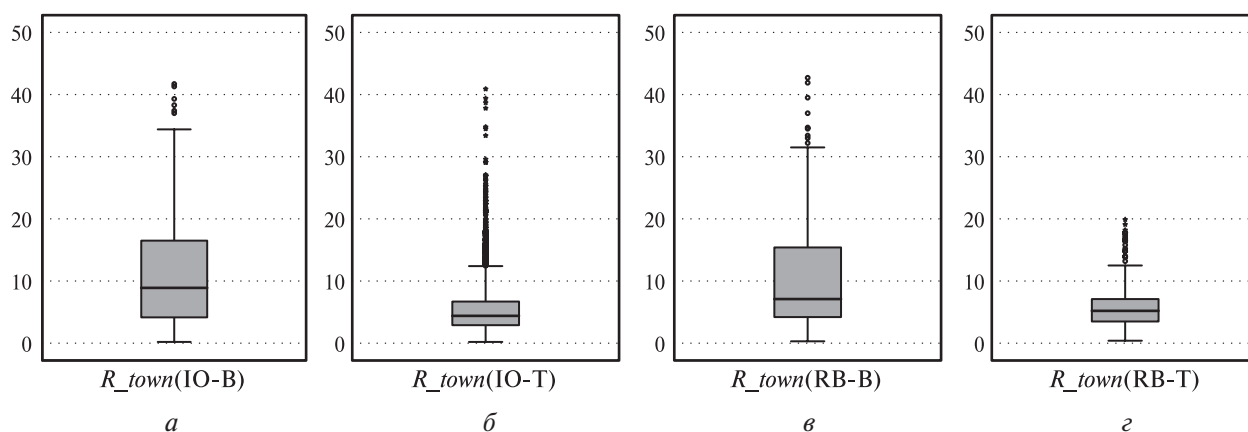


Рис. 3. Квартильная диаграмма переменных R_{town} : а — $R_{town}(IO-B)$; б — $R_{town}(IO-T)$; в — $R_{town}(RB-B)$; г — $R_{town}(RB-T)$

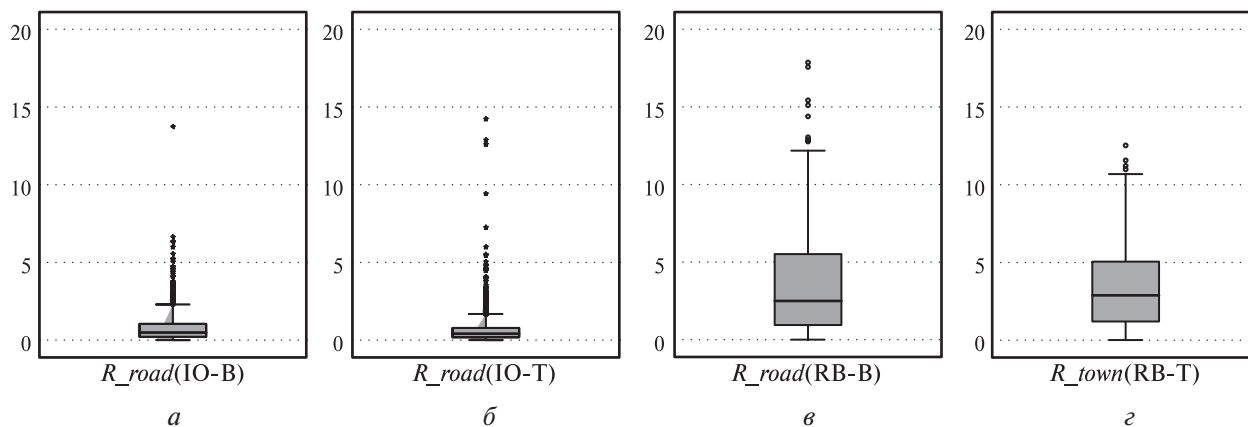


Рис. 4. Квартильная диаграмма переменных R_{road} : а — $R_{road}(IO-B)$; б — $R_{road}(IO-T)$; в — $R_{road}(RB-B)$; г — $R_{road}(RB-T)$

Графическое представление значений признака, имеющего распределение, отличное от нормального, даёт квартильная диаграмма («ящик с усами») (Гржибовский и др., 2016). На рис. 3 представлены квартильные диаграммы R_{town} , на рис. 4 и 5 (см. с. 96) — квартильные диаграммы R_{road} и R_{railw} соответственно. Точки, расположенные выше верхней границы диаграммы, представляют собой значения, превышающие уровень 90-го процентиля. Оси ординат на рис. 3 и 4 выровнены по максимальному значению для всех участков, на рис. 5 оси ординат соответствуют ширине буферных зон.

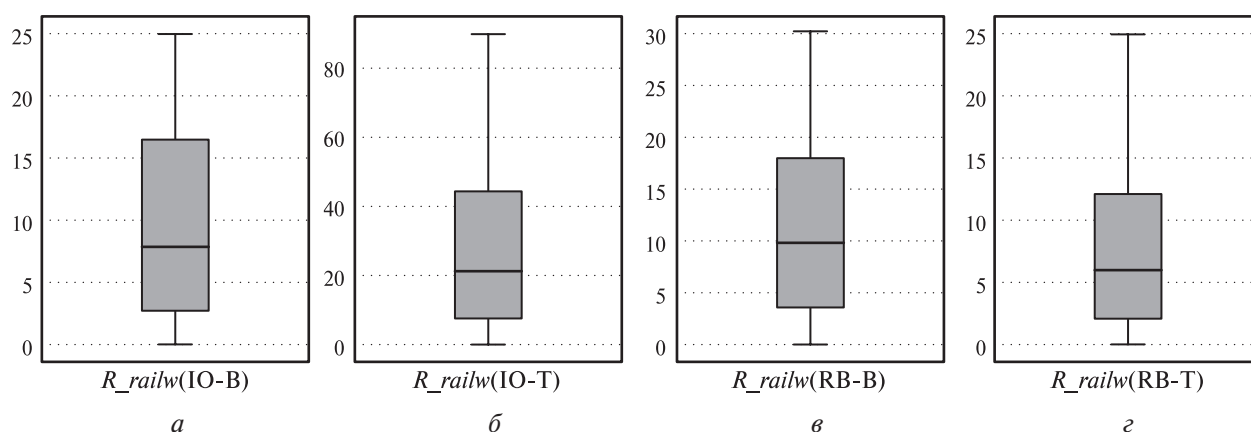


Рис. 5. Квартильная диаграмма переменных R_{railw} : а — $R_{railw}(IO-B)$; б — $R_{railw}(IO-T)$; в — $R_{railw}(RB-B)$; г — $R_{railw}(RB-T)$

На квартильных диаграммах (см. рис. 3–5) расстояний от объектов инфраструктуры до очагов лесных пожаров необходимо рассматривать значения «ящика» и «нижнего уса» совместно, которые в совокупности представляют расстояние от объектов инфраструктуры, на которое приходится 75 % очагов пожаров.

Далее определим, на каком километре от инфраструктур в каждом участке территории исследования находится максимальное количество пожаров. Для этого округлим все значения расстояний до ближайшего большего целого и найдём моду; найденная таким образом мода определяет километровый диапазон, в котором количество очагов пожаров наибольшее для каждой буферной зоны (табл. 5).

Таблица 5. Километровый диапазон с наибольшим количеством очагов пожаров

Расстояние	Иркутская обл.		Республика Бурятия	
	БАМ	Транссиб	БАМ	Транссиб
до населённого пункта	4 (85)	4 (617)	6 (33)	6 (77)
до автодороги	1 (774)	1 (3329)	1 (81)	1 (98)
до железной дороги	2 (103)	1 (216)	2 (29)	1 (59)

Примечание: в скобках указано количество пожаров, приходящихся на данный километр.

Полученные результаты статистического анализа рядов данных по расстояниям, рассчитанных методами геоинформационного анализа, показывают следующее. 75 % очагов пожаров на участках транссибирской магистрали расположены более чем вдвое ближе к населённым пунктам, чем на участках БАМа (см. рис. 3). Наибольшее количество пожаров начинается на четвёртом километре от населённых пунктов в Иркутской обл. и на шестом — в Республике Бурятия. Третий квартиль количества пожаров приходится на первый километр от автомобильных дорог в Иркутской обл., тогда как в Бурятии три первых квартиля растянуты на 5–5,5 км от автодорог (см. рис. 4). Максимумы количества пожаров на всех участках территории исследования расположены в пределах 1 км. Что же касается железной дороги, то три четверти пожаров на участках Транссиба в обоих регионах занимают ближайшие 49 %, а на БАМе в Иркутской обл. и в Республике Бурятия — первые 66 и 60 % от размера буферной зоны соответственно (см. рис. 5). По результатам анализа можно судить о сходстве и различиях распределений очагов пожаров от инфраструктурных объектов на участках исследуемой территории.

Рассчитано распределение пожаров по полигонам с преобладающими лесными породами. На рис. 6 (см. с. 97) представлены результаты в виде графиков для каждой буфер-

ной зоны. Лесные породы на графиках зашифрованы для удобочитаемости: «Сос» — сосна, «Лис» — лиственница, «Ель» — ель, «Бер» — берёза, «Кдр» — сибирский кедр, «Р_л» — редкая лиственница, «Осн» — осина, «К_с» — кедровый стланик, «Пхт» — пихта, «Л_к» — лиственные кустарники.

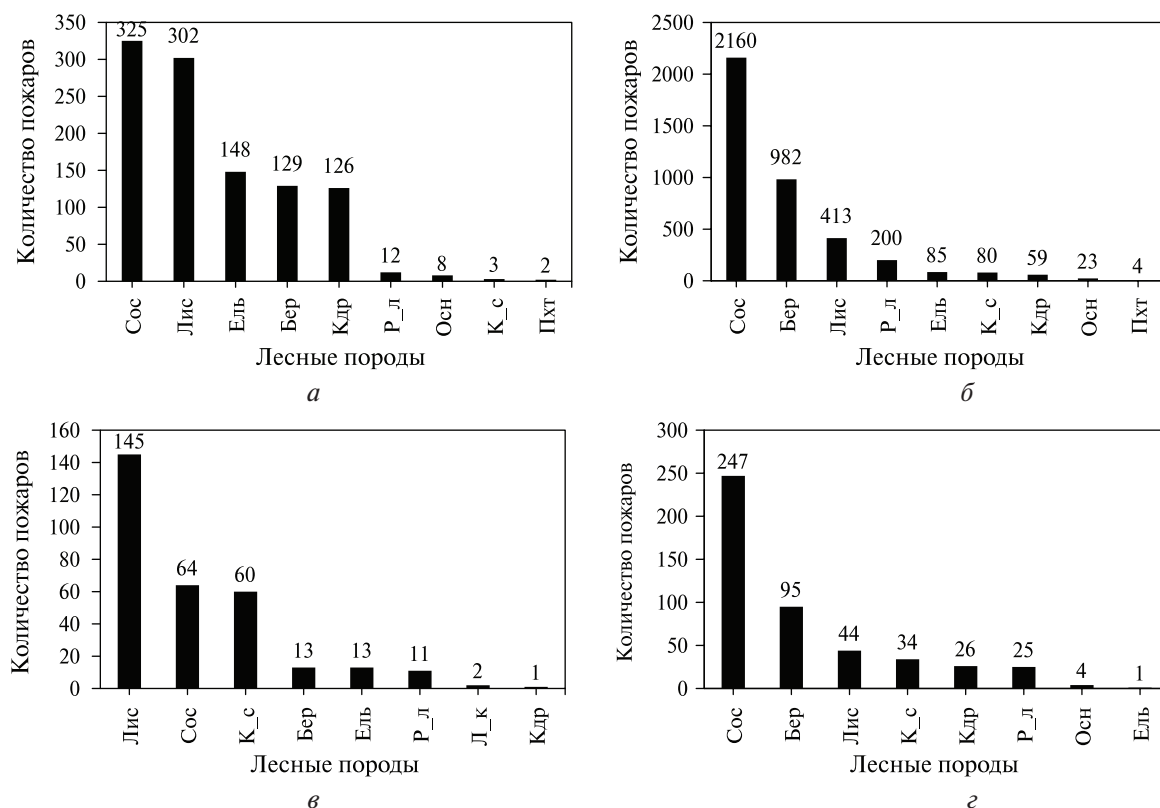


Рис. 6. Распределение количества лесных пожаров по лесным породам на участках ВСЖД: а — Иркутская область — БАМ; б — Иркутская область — Транссиб; в — Республика Бурятия — БАМ; г — Республика Бурятия — Транссиб

Диаграммы на рис. 6 показывают, что наибольшее количество очагов пожаров возникает в сосновых, берёзовых и лиственничных лесах Транссибирской магистрали. На участках БАМа наибольшие показатели в Иркутской обл.: сосна, лиственница, ель, берёза, сибирский кедр; для Бурятии — лиственница, сосна, кедровый стланик. Распределение количества лесных пожаров по лесным породам показывает, что наиболее подверженными пожарам являются хвойные породы (сосна и лиственница), что согласуется, например, с работой (Петров, 1985).

Таким образом, картирование лесных пожаров в совокупности с антропогенными объектами и лесными породами предоставляет необходимую информацию для статистического анализа. Исследования в данном направлении необходимы для определения местонахождения критических областей с целью географического анализа потенциального риска возникновения лесных пожаров под антропогенным влиянием.

Заключение

Результаты исследования показывают возможности картографо-статистического метода для определения областей антропогенного воздействия на возникновение лесных пожаров. Использование результатов обработки ДЗЗ ИСДМ-Рослесхоз и «Вега-Science» даёт преимущество при организации геоинформационных слоёв на обширных территориях по сравне-

нию с тематической обработкой массивов спутниковых снимков. Подбор релевантных источников информации существенно повышает возможности проведения подобных работ. В частности, впервые получены количественные характеристики по пространственному распределению очагов лесных пожаров для территории ВСЖД. Выявлено, что в геопрограммном распределении данных очагов лесных пожаров в зонах хозяйственной деятельности присутствуют свои региональные особенности. Дальнейшие планы развития исследований в этом направлении подразумевают использование большего количества типов данных. К ним относятся, например, природные факторы, в частности метеорологические или топографические данные. Кроме того, необходима более тонкая организация антропогенных данных, например учёт численности (плотности) населения, характер хозяйственной деятельности и др. Такие данные могут также внести свой вклад в определение пространственных причин пожаров в будущих исследованиях. Этот метод полностью применим к другим районам и в других географических масштабах. Всё, что требуется от входящих данных, — это полная и актуальная база данных о пожарах с дополнительной пространственной и, возможно, временной информацией.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Научно-технологического университета «Сириус», ОАО «Российские железные дороги» и Образовательного фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-31-51001.

Литература

1. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 419–429.
2. Барталев С. А., Ершов Д. В., Коровин Г. Н., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Шетинский В. Е. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
3. Берлянт А. М. Картография. М.: Аспект Пресс, 2002. 336 с.
4. Гржибовский А. М. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика // Экология человека. 2008. № 1. С. 52–58.
5. Гржибовский А. М., Иванов С. В., Горбатова М. А. Описательная статистика с использованием пакетов статистических программ Statistica и SPSS: и проверка распределения // Наука и здравоохранение. 2016. № 1. С. 7–23.
6. Гржибовский А. М., Унгуряну Т. Н., Данных А. Б. Анализ биомедицинских данных с использованием пакета статистических программ SPSS. Архангельск: Изд-во Северного гос. мед. ун-та, 2017. 296 с.
7. ГОСТ 17.6.1.01-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. 1985. 6 с.
8. Ершов Д. В., Коровин Г. Н., Лупян Е. А., Мазуров А. А., Тащилин С. А. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т. 1. № 1. С. 47–57.
9. Катаева Л. Ю. Решение задачи краткосрочного прогнозирования лесных пожаров на территории Нижегородской области // Наука и техника транспорта. 2007. № 4. С. 47–54.
10. Матвейчук О. С. Мониторинг лесных пожаров // Проблемы техносферной безопасности. Воронеж: Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2019. С. 104–108.
11. Петров В. В. Жизнь леса и человека. М.: Наука, 1985. 132 с.
12. Samton T., Daccay O., Samton M. Пространственный анализ векторных данных: построение буферов // Краткое введение в ГИС: пер. с англ. А. Еськова. Бишо, ЮАР, 2009. Ч. 9. С. 87–93.
13. Akay A. E., Wing M. G., Zengin M., Kose O. Determination of fire-access zones along road networks in fire-sensitive forests // J. Forestry Research. 2017. V. 28. No. 3. P. 557–564. DOI: 10.1007/s11676-016-0283-5.
14. Badia-Perpinyà A., Pallares-Barbera M. Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: The case of Catalonia // Intern. J. Wildland Fire. 2006. V. 15. No. 2. P. 187–196. DOI: 10.1071/WF04008.
15. Bistinas I., Oom D., Sá A. C. L., Harrison S. P., Prentice I. C., Pereira J. M. C. Relationships between human population density and burned area at continental and global scales // PLoS One. 2013. V. 8. No. 12. P. 1–12. DOI: 10.1371/journal.pone.0081188.

16. Castillo Soto M. E. The identification and assessment of areas at risk of forest fire using fuzzy methodology // *Applied Geography*. 2012. V. 35. No. 1–2. P. 199–207. DOI: 10.1016/j.apgeog.2012.07.001.
17. Chuvieco E., Salas J. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS // *Intern. J. Geographical Information Systems*. 1996. V. 10. No. 3. P. 333–345. DOI: 10.1080/02693799608902082.
18. Pereira M. G., Aranha J., Amraoui M. Land cover fire proneness in Europe // *Forest Systems*. 2014. V. 23. No. 3. P. 598–610. DOI: 10.5424/fs/2014233-06115.
19. Szczygieł R., Piwnicki J., Kwiatkowski M. Zagrożenie pożarowe lasu od transportu kolejowego i ocena efektywności pasów przeciwpożarowych // *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. 2014. No. 34. P. 65–77. DOI: 10.12845/bitp.34.2.2014.6.

Mapping of forest fires in conjunction with anthropogenic objects and forest species in the vicinity of the Eastern Railway

A. V. Bazarov^{1,2}, R. S. Sychev^{1,3}, A. S. Bazarova¹, O. V. Bazarova⁴

¹ *Institute of Physical Materials Science SB RAS, Ulan-Ude 670047, Russia*

² *Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Philippov
Ulan-Ude 670024, Russia
E-mail: alebazaro@gmail.com*

³ *Roslesinfor, Buryat Branch, Ulan-Ude 670031, Russia
E-mail: roman1594@mail.ru*

⁴ *East Siberia State University of Technology and Management
Ulan-Ude 670013, Russia
E-mail: ouyna78@gmail.com*

The article discusses the application of the results of cartographic methods as data for a quantitative analysis of the conditions for the occurrence of forest fires. Vector maps of forest fire locations, settlements, a network of roads, and a railway were built based on satellite images, digital maps and information systems that are in the public domain. Forest areas with predominant forest species were mapped using the geodata of the VEGA-Science shared satellite service. Vector layers with points of fires from 2011 to 2020 were built according to the information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency “ISDM-Rosleskhoz”. The use of data from relevant information systems provides a great advantage in organizing geoinformation layers over vast areas in comparison with the routine processing of arrays of satellite images. Geoinformation analysis methods were used to build data series on the distance of fires from infrastructure facilities and on the distribution of fires by forest species. A statistical analysis of the constructed data series was carried out. It is shown that proximity to infrastructure affects the number of fires, and that conifers (pine and larch) are the most fire-prone in the study area.

Keywords: forest fires, mapping, VEGA-Science, ISDM-Rosleskhoz, distance, railway, road, settlements, statistics

Accepted: 27.09.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-89-100

References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V., Information system for remote monitoring of forest fires of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation (state and development prospects), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Vol. 5, No. 2, pp. 419–129 (in Russian).
2. Bartalev S. A., Ershov D. V., Korovin G. N., Kotelnikov R. V., Loupian E. A., Shchetinsky V. E., *Sputnikovo kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p. (in Russian).

3. Berlyant A. M., *Kartografiya* (Cartography), Moscow: Aspect Press, 2002, 336 p. (in Russian).
4. Grzhibovsky A. M., Data types, control of distribution and descriptive statistics, *Ekologiya cheloveka*, 2008, No. 1, pp. 52–58 (in Russian).
5. Grzhibovsky A. M., Ivanov S. V., Gorbatova M. A., Descriptive statistics using statistica and SPSS software, *Nauka i zdavookhranenie*, 2016, No. 1, pp. 7–23 (in Russian).
6. Grzhibovsky A. M., Unguryanu T. N., Dannikh A. B., *Analiz biomeditsinskikh dannykh s ispol'zovaniyem paketa statisticheskikh programm SPSS* (Analysis of biomedical data using the SPSS statistical software package), Arkhangelsk: Izd. Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta, 2017, 296 p. (in Russian).
7. *GOST 17.6.1.01–83. Okhrana i zashchita lesov. Terminy i opredeleniya* (Nature protection. Forest protection and preservation. Terms and definitions), USSR standard, 1985, 6 p. (in Russian).
8. Ershov D. V., Korovin G. N., Loupian E. A., Mazurov A. A., Tashchilin S. A., Russian satellite monitoring system for forest fires, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, Vol. 1, No. 1, pp. 47–57 (in Russian).
9. Kataeva L. Yu., On short-term prediction of forest fires in the Nizhny Novgorod Region, *Nauka i tekhnika transporta*, 2007, No. 4, pp. 47–54 (in Russian).
10. Matveychuk O. S., Forest fire monitoring, *Problems of technosphere safety*, Voronezh: Rostov State Transport University, 2019, pp. 104–108 (in Russian).
11. Petrov V. V., *Zhizn' lesa i cheloveka* (The life of the forest and man), Moscow: Nauka, 1985, 132 p. (in Russian).
12. Sutton T., Dassau O., Sutton M., Vector Spatial Analysis (Buffers), *A Gentle Introduction to GIS*, 2009, Pt. 9, pp. 83–90.
13. Akay A. E., Wing M. G., Zengin M., Kose O., Determination of fire-access zones along road networks in fire-sensitive forests, *J. Forestry Research*, 2017, Vol. 28, No. 3, pp. 557–564, DOI: 10.1007/s11676-016-0283-5.
14. Badia-Perpinyà A., Pallares-Barbera M., Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: The case of Catalonia, *Intern. J. Wildland Fire*, 2006, Vol. 15, No. 2, pp. 187–196, DOI: 10.1071/WF04008.
15. Bistinas I., Oom D., Sá A. C. L., Harrison S. P., Prentice I. C., Pereira J. M. C., Relationships between human population density and burned area at continental and global scales, *PLoS ONE*, 2013, Vol. 8, No. 12, pp. 1–12, DOI: 10.1371/journal.pone.0081188.
16. Castillo Soto M. E., The identification and assessment of areas at risk of forest fire using fuzzy methodology, *Applied Geography*, 2012, Vol. 35, No. 1–2, pp. 199–207, DOI: 10.1016/j.apgeog.2012.07.001.
17. Chuvieco E., Salas J., Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS, *Intern. J. Geographical Information Systems*, 1996, Vol. 10, No. 3, pp. 333–345, DOI: 10.1080/02693799608902082.
18. Pereira M. G., Aranha J., Amraoui M., Land cover fire proneness in Europe, *Forest Systems*, 2014, Vol. 23, No. 3, pp. 598–610, DOI: 10.5424/fs/2014233-06115.
19. Szczygieł R., Piwnicki J., Kwiatkowski M., Forest fire hazard caused by rail transport and evaluation of the effectiveness of fire belts, *Bezpechen'stvo i Tekhnika. Pozharnicha*, 2014, No. 34, pp. 65–77, DOI: 10.12845/bitp.34.2.2014.6.