Информационно-аналитическая система оценки напряженности пожароопасных сезонов

Р. М. Коган, В. А. Глаголев

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН
Биробиджан, Россия koganrm@mail.ru*

Information-analytical system assessment of tension fire seasons

Kogan R. M., Glagolev V.A.,

*Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences
Birobidzhan, Russia
koganrm@mail.ru*

Abstract.

The method for calculating the complex index of tension fire seasons on the basis of the analysis of natural conditions and the concentration of natural and anthropogenic sources of vegetation fires using the "desirability» is developed.

Geographic information system created for the calculation of indicators and indexes, the analysis of their dynamics, mapping tensions highlight areas of high risk. Verification procedure conducted by the example of the Khabarovsk Krai and the Jewish Autonomous Region

Пожары относятся к факторам, непосредственно определяющим состояние растительности, нижних слоев атмосферы, почв, гидрологического режима в районах их возникновения и распространения, и опосредовано влияющим на значительные территории вследствие непрерывного взаимодействия между компонентами биосферы, превращаясь при этом в значимый экологический компонент устойчиво функционирования экосистем. Одновременное сочетание экологического, экономического и демографического ущерба определяет многообразие подходов и методов, направленных на прогноз возникновения, минимизацию и своевременную локализацию пожаров, основными из которых являются разработка непрерывных дистанционных методов фиксирования возгораний, анализ природно-антропогенной пожарной опасности, разработка систем показателей и индексов для прогноза возникновения пожаров в зависимости от природных особенностей и степени освоенности территории и их экологических последствий пожаров и геоинформационное обеспечение прогнозов. Наиболее известные из них реализованы в Европе, Америке и Австралии, например: канадская CFFDRS [Волокитина, Софронов, 2001; Stocks, 1987], американская NFDRS [Deeming et al, 1978; Курбатский, Костырина, 1977], французская Numerical Risk [Viegas et al., 1999], австралийская FDRS [Linacre E., 1999], испанская DER [Garcia Dies E.L. et al, 1999], итальянские IMPI и IREPI INDEX [Bovio et al, 1984], португальская PORT [Goncalves, Lourenco, 1990], финская FFMI [Heikinheimo, 1998] и др. Значительно меньшее количество работ посвящено исследованию характеристик пожароопасных сезонов, необходимость знания о которых возникает при сравнительной оценке территорий для оптимизации распределения средств пожаротушения, при ежегодной оценке деятельности оперативных отделений и участковых лесничеств по борьбе с лесными пожарами, а также при долгосрочном прогнозировании пожарной опасности растительности вследствие изменения климатических и экономических условий.

Целью работы является разработка геоинформационной системы для оценки напряженности пожароопасных сезонов.

Пожарная опасности территории определяется комплексом достаточно хорошо изученных факторов, например, типами горючих материалов [Волокитина, Софронов, 2002], климатическими особенностями и текущими погодными условиями [Софронов, Волокитина, 1990; Валендик, Иванова, 1996; Вонский и др., 1981], для оценки которых используются критерии, которые в определенном временном периоде (например, пожароопасном сезоне) могут быть статическими или динамическими [Софронов, 1990]. К статическим относят пирологические свойства растительности, вид, запас и структуру растительных горючих материалов, зависящих от географической широты и морфологических особенностей местности; концентрацию и распределение по территории антропогенных источников возгорания, определяемые показателями освоенности территории; к динамическим – ежедневно изменяющиеся погодные условия, от которых зависят процессы перехода растительности в состояние «пожарной зрелости».

Набор показателей должен соответствовать следующим требованиям: соответствие основным общепринятым в отечественной и международной практике критериям и индикаторам пожарной опасности; связь с причинами возникновения пожаров растительности; значимость для оценки формирования пожароопасных сезонов, достоверность, объективность и независимость друг от друга; возможность количественного расчета; способность отражать региональные особенности, а также территориальные и временные различия в формировании пожароопасных сезонов и периодов; возможность определения «желательного» или «нежелательного» направления изменения показателей, возможность создания

непрерывных рядов ежедневных данных за базовый (30–40 лет) и текущий периоды; наличие достоверной и полной информации, на которой базируется расчет показателей и возможность получения ее из независимых источников (данные лесничеств, отделений Авиалесохраны, дистанционного зондирования, гидрометеостанций); возможность использования на различных территориальных уровнях: лесничество, административный район, субъект Федерации.

В соответствии выше перечисленными требованиями для оценки напряженности пожароопасных сезонов предложено использовать следующие семь показателей:

I. Показатели природной пожарной опасности: продолжительность сезона по природным факторам (дни); «суровость» или продолжительность сезона с высокой пожарной опасностью по условиям погоды (дни); количество дней с грозами.

1. Показатели антропогенной пожарной опасности: продолжительность сезона по датам возникновения первого и последнего пожаров (дни); плотность населения (чел. кв. км.)

2. Показатели фактической горимости: относительное число пожаров растительности (пож./100 тыс. га.); относительная площадь пожаров растительности (га/100 тыс. га).

Продолжительность сезона по природным условиям определяется по датам схода и появления снежного покрова. Под длительностью сезона природно-антропогенным условиям понимается часть календарного года, на которую приходится 95% всех возникающих лесных пожаров. Она определяется путем построения эмпирических рядов лесных пожаров по датам их обнаружения и нахождения 2,5% квантилей этих распределений, которые считались датами начала и окончания пожароопасного сезона [Коровин, Зукерт, 2003].

Суровость сезонов, т.е. совокупность дней, при которых вся растительность на данной территории находится в состоянии «пожарной зрелости», т.е. способна к воспламенению при наличии источника огня; она зависит как от погодных условий, так и от свойств растительности. Строгие оценки влияния погодных условий на число пожаров и величину охватываемой огнем площади могут быть получены только в результате математического моделирования процессов возникновения, развития, обнаружения и тушения пожаров в сезоны с различной суровостью (напряженностью) [Коровин, Зукерт, 2003], что достаточно сложно, как вследствие выбора модели расчета, так и отсутствия данных для ее реализации. Выделение особоопасных периодов можно проводить на основе исследования эмпирических зависимостей между ежедневными (или суммарными) классами пожарной опасности и количеством возникших при этом пожаров; при этом следует иметь в виду, что результат зависит и от пирологических свойств растительности и, следовательно, анализ должен проводиться на каждой территории за базовый период.

Из представленных выше показателей необходимо выбрать значимые на основе тесноты корреляционной связи между каждым из них и количеством пожаров в сезонах за базовый период (40 и более лет).

Расчет напряженности относится к многокритериальным задачам и для ее решения необходимо использовать методы построения интегрального показателя – комплексного индекса напряженности пожароопасных сезонов (в дальнейшем индекса). Одним из наиболее удобных способов обобщения выступают функции желательности, построенные по принципу преобразования и интеграции показателей, измеренных в различных единицах, в безразмерную шкалу, основанную на соответствии между полученными и желательными значениями по отношению к их пороговой величине, которые нашли широкое применение в геоэкологических исследованиях [Адлер, 1976; Воробейчик, 1984; Гелашвили, 2006]. Для ее расчета необходимо определить «желаемое» направление изменения индекса к максимальному, минимальному или среднему значениям.

Для сравнения сезонов на разных территориях можно использовать стандартную шкалу Харрингтона: $0 \div 0,2$ – очень низкая; $0,2 \div 0,36$ – низкая; $0,37 \div 0,62$ – удовлетворительная; $0,63 \div 0,79$ – высокая; $0,8 \div 1$ – очень высокая напряженность [Адлер, 1976].

Тенденции изменения напряженности можно характеризовать интервалами ранжирования среднеквадратического отклонения (σ) углов (α) многолетних линейных трендов индексов: от $\bar{\alpha} \pm 3\sigma$ до $\bar{\alpha} \pm 2\sigma$ (аномальное понижение или повышение); от $\bar{\alpha} \pm 2\sigma$ до $\bar{\alpha} \pm \sigma$ (понижение или повышение); от $\bar{\alpha} \pm \sigma$ до $\bar{\alpha} \pm 0,5\sigma$ (слабое понижение или повышение); от $\bar{\alpha} - 0,5\sigma$ до $\bar{\alpha} + 0,5\sigma$ (стабильная).

Сравнение с многолетними природными и антропогенными характеристиками территории позволит определить основные причины этих изменений и учесть их при планировании долгосрочных программ пожарной безопасности.

Алгоритм расчета напряженности каждого пожароопасного сезона можно представить следующим образом:

1. Создание баз данных природных и антропогенных характеристик территории за базовый и текущий периоды
2. Расчет и интерполяция показателей
3. Определение значимых показателей, их минимального, максимального и среднего многолетних значений
4. Расчет комплексного индекса на основе частных и обобщенной функции желательности
5. Анализ тенденций изменения показателей и комплексного индекса.

Проектирование и разработка ГИС основаны на методологии IDEF0 (Integration Definition Metodology) функциональной модели SADT с использованием различных видов инструментальных информационных систем (ИС), программ пространственного отображения информации MapInfo Professional, ESRI ArcView, Панорама и др., систем управлений атрибутивными данными в MySQL, MSSQL, Oracle, Access и т.д. и объектно-ориентированных сред программирования, например, MapBasic, Microsoft Visual Studio, Embarcadero RAD Studio 2010 и др.

Архитектура информационно-аналитической системы для реализации предлагаемой методики состоит из следующих пяти подсистем: сбор данных (1); их хранение (2); расчет показателей и комплексных индексов (3); построение карт напряженности сезонов (4); анализ тенденции изменений показателей и индекса (5) (рис).

Подсистема (1) содержит четыре смежных баз данных:

1. 1. Метеорологические параметры (БМД): температура, точка росы, объем осадков, даты появления и схода снежного покрова; грозовая активность. БМД включает большой массив ежедневно обновляющихся исходных данных; при построении логической и физической структуры реализованы алгоритмы аналитической обработки - On-Line Analytical Processing (OLAP), основанные на предварительном отборе информации из БМД, проведении математической обработки, структуризации данных и расчетных величин в виде многомерных кубов [Codd, 1970].
2. Пожары растительности (БДПР): относительное число (пож. /100 тыс. га.) и относительная площадь пожаров растительности (га /100 тыс. га/) по данным наземного и дистанционного зондирования мониторинга; даты возникновения первого и последнего пожаров;
3. Антропогенные источники возгораний (БАИВ): ежегодные или по переписям данные о плотности населения в субъектах различного уровня (чел/км²), плотность дорожной сети (км/км²) и их изменение за базовый период
4. Характеристики территории (БЭКТ): физическая карта, расположение ГМС, зоны ответственности и репрезентативности ГМС, квартальная сеть лесхозов, сети территориальных операционных единиц (ОТЕ) необходимого масштаба, населенные пункты, дорожная сеть, плотность населения.

Подсистема 2 предназначена для хранения реляционных баз данных. Все таблицы имеют первичные ключи для реализации связи «один ко многим». Подключение таблиц к векторным слоям ГИС осуществляется посредством внешнего ключа Mapinfo_id. Выборка и обновление данных выполняется авторскими SQL-запросами с использованием агрегирующих функций: max, min и avg.

Подсистема 3. Расчет показателей и индексов содержит 7 модулей

1. Метеорологические показатели пожарной опасности по условиям погоды. Производится расчет ежедневных показателей метеорологической опасности по методике, выбранной для данного типа климата, определение классов опасности (КПО) по региональным шкалам в зонах репрезентативности ГМС или их интерполирование вне этих зон (Глаголев, Коган, 2012).
2. Суровость. Проводится расчет суровости по сумме дней с экстремальными классами пожарной опасности
3. Продолжительность сезонов. Определение длительности сезонов проводится по датам появления – схода снежного покрова и по срокам возникновения первого и последнего пожаров
4. Выбор значимых показателей на основе тесноты их связи с пожарами растительности
5. Расчет средних, максимальных и минимальных значений значимых показателей
6. Расчет частных функций желательности
7. Расчет комплексного индекса напряженности на основе обобщенной функции желательности

Подсистема 4 Построение карт. Электронные карты создаются на основе векторных слоев подсистем № 3 и № 5. Совокупность векторных слоев образует «рабочий набор», содержащий параметры отображения отчетов, легенды и тематическое содержание. В подсистеме запроектированы рабочие слои показателей напряженности и комплексного индекса, которые могут быть использованы для любого пожароопасного сезона.

Подсистема 5 Анализа тенденций изменения напряженности сезонов. Проводится по величине углов линейных трендов показателей и индекса после проверки их соответствия нормальному распределению и наличию трендовой составляющей.

Подсистема 6 Причины изменения напряженности. Устанавливается корреляционная связь динамики напряженности и природных факторов, определяющих пирологические свойства территории.

Рис. Архитектура информационно-аналитической системы оценки напряженности пожароопасных сезонов

Верификация система была проведена на территории муниципальных районов Хабаровского края и в Еврейской автономной области. Базовый период – 1976-2012 гг.

Сформированы базы ежедневных данных. Первая (БМД) содержит фактические (ГМС) и прогнозные - сайты ГУ Гидрометцентра России [<http://meteoinfo.ru>] и ИКИ РАН [<http://meteo.infospace.ru>] метеоданные: дневная температура воздуха и точки росы в 13-15 часов местного времени, суточный объем осадков с 9 часов утра предыдущего дня до 9 часов утра текущего дня. Во второй (БДПР) представлены сведения о пожарах растительности по материалам КГУ «ДВ авиабаза» (1970-2009 гг.), ОГБУ «Лесничество ЕАО» (1997 по 2009 гг.), и космоснимкам с сайтов NASA [<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>] и ФАЛХ «Авиалесоохрана» [<http://aviales.ru>], которые включают даты обнаружения и ликвидации пожара, номера кварталов лесничеств или ОТЕ, тип пожара (лесной/не лесной), а также относительное число (пож./100 тыс. га.) и относительная площадь пожаров растительности (га/100 тыс. га). В третьей (БАИВ) собирается информация о возможных антропогенных источниках возгораний: ежегодные или по переписям данные о плотности населения в муниципальных районах Хабаровского края и в ЕАО (чел/км²), плотность дорожной сети (км/км²). Характеристики территории (БЭКТ) представлены картами: физическая, расположение ГМС, зоны ответственности и репрезентативности ГМС, квартальная сеть лесхозов, населенные пункты, плотность населения.

Показатели метеорологической пожарной опасности в зонах репрезентативности ГМС рассчитаны по методике В. Нестерова [Нестеров, 1949], вне этих зон – по работе [Глаголев, 2013], для определения классов пожарной опасности использованы шкалы, предложенные для Дальнего Востока России [Соколова, 2009; Глаголев, 2011].

Оценка суровости сезонов осуществлялась по сумме дней с IV и V КПО, поскольку она наиболее тесно связана с количеством пожаров (коэффициент корреляции R равен 0,61). Суровость лежит в пределах 70 - 90 дней, экстремальная наблюдалась в весенний период в 1984 г. в Аяно-Майском, Ульчском, им. Полины Осипенко, Комсомольском, Амурском, Нанайском районах и в 2009 г. – на территории Хабаровского, Нанайский районов Хабаровского края и в ЕАО.

Исследовано влияние гидротермического режима атмосферы изменение на суровость каждого месяца пожароопасного сезона с 1976 по 2012 гг. Показано, что на севере Хабаровского края ее увеличение синхронно связано с увеличением температурных параметров при стабильности количества осадков. Для субъектов Федерации, расположенных в центральной части, наибольшее увеличение напряженности в конце лета и осенью (август, сентябрь) определяется одновременным увеличением температуры и снижением осадков. На юге суровость увеличивается в течение всего сезона, кроме августа и октября под влиянием уменьшения количества осадков на фоне возрастающей температуры.

Продолжительность сезона по природным условиям, в среднем, составила 194 дня, наименьшая наблюдалась на севере Хабаровского края (164 дня, Охотский муниципальный район), наибольшая - на территории ЕАО; продолжительность по природно-антропогенным условиям изменяется от 59 до 197 дней. Найденны функции зависимости продолжительности сезонов по природным (y) и природно-антропогенным (y^*) условиям от географической широты (47° и 48° с.ш.) центров муниципальных районов(x) (R равен 0,8 и 0,87 соответственно)

$$y = 1,03x^2 - 120,54x + 35929$$

$$y^* = 0,41x^2 - 50,43x + 16878$$

Минимальные показатели фактической горимости характерны для малоосвоенных районов севера Хабаровского края с небольшой плотностью населения. Средняя частота и высокая площадь пожаров наблюдалась в южных районах, максимальные значения зафиксированы в центральной части Хабаровского края - 14,3 пожаров/100 тыс. га и 16005,5 га/100 тыс. га соответственно.

Выбор значимых показателей проведен корреляционным анализом с количеством пожаров. Наиболее тесная связь присутствует между относительным числом пожаров и суровостью пожароопасных сезонов ($R=0,6$), продолжительностью по природно-антропогенным факторам ($R=0,51$) и плотностью населения ($R=0,53$); при этом она отсутствует с количеством дней с грозами (0,23), поэтому данный показатель при расчете комплексного индекса не учитывался. Показатель продолжительности по природным факторам не проверялся, поскольку использованы средние многолетние данные.

Рассчитаны максимальные, средние и минимальные многолетние значения показателей за базовый период (табл. 1). В качестве пороговых использованы максимальные значения показателей, в качестве желательного направления принято уменьшение напряженности, расчеты частных и обобщенной функций желательности проведены по формулам (1, 2) [Гелашвили, 2006].

$$d_{z,j} = \frac{2X_{z,j} \cdot X'_{z,j}}{X_{z,j}^2 + X'^2_{z,j}} \quad (1) \quad D_j = \sqrt{\prod_{z=1}^n d_{z,j}} \quad (2),$$

где: $d_{z,j}$ - частная функция желательности z -го показателя; z – номер показателя; j – номер операционно-территориальной единицы (ОТЕ); $X_{z,j}$ – значение z -го показателя; $X'_{z,j}$ – максимальное значение z -го показателя; D_j обобщенная функция желательности, n – количество показателей.

Таблица 1

Средние многолетние пороговые значения показателей напряженности пожароопасных сезонов на территории Хабаровского края и Еврейской автономной области

№	Субъект ДФО	Показатели													
		Продолжительность сезона, дни								Плотность населения, чел. км².		Число пожаров, /100 тыс. га		Отн. площадь пожаров, га./100 тыс. га.	
		Природная		Антропогенная		Суровость		Количество дней с грозами							
		Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Хабаровский край (муниципальный район)															
1	Охотский	135	195	0	232	3	74	3	27	0,05	0,14	0	0,2	0	12,1
2	Аяно-Майский	121	173	27	162	4	84	49	89	0,01	0,02	0	0,3	0	54,5
3	Тугуро-Чумиканский	102	192	1	214	0	66	57	99	0,02	0,03	0	0,3	0	169
4	Николаевский	130	184	5	133	0	87	4	15	1,02	2,19	0,2	4,6	0	12132,1
5	Ульчский	155	214	1	235	3	90	5	42	0,46	0,71	0,1	4,2	0,2	16005,5
6	Им. Полины Осипенко	157	198	51	244	0	73	21	59	0,15	0,23	0,1	6,6	0,3	401,9
7	Солнечный	173	214	18	262	4	71	22	49	1,06	1,22	0,3	3,4	1	2627,2
8	Верхнебуреинский	173	214	109	258	4	60	71	114	0,42	0,72	0,5	2,7	11,8	1310,9
9	Советско-Гаванский	176	214	1	210	8	89	1	10	1,35	2,89	0,3	9,4	0	10262,6
10	Ванинский	173	214	1	305	0	64	4	33	1,42	1,68	0,1	2,8	0	10652,7
11	Комсомольский	172	214	8	254	4	78	5	41	1,15	1,28	0,9	14,3	13,2	14057,7
12	Хабаровский	196	214	50	309	4	58	50	88	2,57	3,92	0,5	8,3	2,7	9091,7
13	Амурский	167	214	35	238	0	65	16	66	2,77	4,58	0,6	6,5	4,2	12834,9
14	Нанайский	173	214	25	241	6	72	25	79	0,62	0,77	0,1	2,6	0,2	6677,5
15	Им. Лазо	173	214	1	269	1	60	30	74	1,28	1,71	0	3,2	0,1	15866,7
16	Бикинский							11	21	1,04	10,95				
17	Вяземский							10	44	5,12	8,69				
Еврейская автономная область		203	214	175	234	8	70	52	90	2,6	3,32	0,9	8,7	0	1951,3

В табл.2 приведен фрагмент расчетов комплексного индекса D_j для сезонов 2008-2012 гг. Пространственное распределение индексов D_j и количества возникших пожаров растительности для всех муниципальных районов имеет высокую корреляционную связь ($R = 0,69-0,91$).

Сезоны с наименьшей напряженностью формируются в северной части Хабаровского края; к самым опасным следует отнести южную часть региона – районы им. Лазо, Бикинский, Вяземский и Еврейскую

автономную область. В рассматриваемый временной интервал наиболее пожароопасными являлись 2008 и 2012гг., когда высокая и очень высокая напряженность наблюдалась в 10 районах Хабаровского края и на территории ЕАО

Таблица 2

Значения комплексного индекса оценки напряженности сезонов на территории Хабаровского края и Еврейской автономной области (2008 - 2012 гг.)

№	Субъект ДФО	Год													
		2008		2009		2010		2011		2012					
		<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>N</i>
I	Хабаровский край (муниципальный район)														
1	Охотский	0	О Н	0	0	О Н	2	0	О Н	0	0	О Н	0	0	О Н
2	Аяно-Майский	0	О Н	0	0	О Н	0	0	О Н	0	0	О Н	0	0	О Н
3	Тугуро-Чумиканский	0	О Н	0	0	О Н	0	0	О Н	0	0	О Н	1	0	О Н
4	Николаевский	0,83	О В	30	0,31	Н	7	0,26	Н	5	0,69	В	7	0,97	О В
5	Ульчский	0,71	В	16	0,81	О В	33	0,58	У	12	0,8	О В	25	0,98	О В
6	Им. Полины Осипенко	0,80	О В	13	0,73	В	16	0,49	У	8	0,78	В	20	0,96	О В
7	Солнечный	0,91	О В	34	0,74	В	40	0,62	У	18	0,85	О В	34	1,00	О В
8	Верхнебуреинский	0,90	О В	65	0,67	В	29	0,86	О В	67	0,93	О В	107	0,97	О В
9	Советско-Гаванский	0,65	В	31	0,38	У	7	0,75	В	20	0,6	У	9	0,80	О В
10	Ванинский	0,99	О В	43	0,56	У	12	0,88	О В	33	0,93	О В	34	0,98	О В
11	Комсомольский	0,88	О В	132	0,66	В	43	0,55	У	22	0,78	В	54	0,86	О В
12	Хабаровский	0,82	О В	62	0,69	В	71	0,56	У	12	0,65	В	22	0,75	В
13	Амурский	0,85	О В	36	0,56	У	10	0,69	В	17	0,89	О В	55	0,81	О В
14	Нанайский	0,91	О В	51	0,80	О В	37	0,53	У	15	0,83	О В	40	0,83	О В
15	Им. Лазо	0,88	О В	37	0,68	В	21	0,77	В	18	0,79	В	23	0,81	О В
16	Бикинский														
17	Вяземский														
II	Еврейская автономная область	0,83	О В	76	0,94	О В	17 4	0,95	О В	11 7	0,93	О В	127	0,81	О В
	<i>R</i>	0,62		0,81		0,77		0,79		0,77					

Примечание: *D* – комплексный индекс напряженности, *N*- количество пожаров, напряженность пожароопасных сезонов: ОН – очень низкая; Н - низкая; У – удовлетворительная; В – высокая, ОВ – очень высокая; *R* - коэффициент корреляции между индексом (*D*) и количеством пожаров (*N*)

Таким образом, созданная методика и ГИС для ее реализации позволяют проводить оценку напряженности пожароопасных сезонов по комплексу природно-антропогенных факторов, делать сравнительный анализ условий их формирования на различных территориях в различные временные периоды, анализировать тенденции и причины их изменения Они могут быть использованы для разработки программ долгосрочного и /или оперативного взаимодействия между противопожарными организациями различного уровня по предупреждению и ликвидации пожаров растительности.

Литература

1. Bovio, G. Individuazione di un indice di previsione per il pericolo / G. Bovio, A. Quaglino, A. Nosenzo // Monti e Boschi. - 1984. - №4(35). - P. 39-44.
2. Canadian forest fire danger rating system / B.J. Stocks et al. - Ontario: Canadian Forestry servise, 1987. - 500 p.
3. Codd E.F. A relational model for large shared data banks // Comm. ACM. - 1970. - P. 377-387.

4. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe / D.X. Viegas et al. // *Int. J. Wildland Fire*. - 1999. - V.9, №4. - P. 235-246.
5. Deeming, J.E. The national fire-danger rating system / J.E. Deeming, K.E. Burgan, J.D. Cohen.- Ogden. Utah: USDA Forest Service, General Technical Report. Int-39, 1978. - 66 p.
6. Goncalves, Z.J. Meteorological index of forest fire risk in the Portuguese mainland territory / Z.J. Goncalves, L. Lourenco // *Proceedings of the international conference on forest fire research*. - Coimbra. -1990. - V.7. - P.1.
7. Heikinheimo, M. Renewing the system for forest fire risk assessment at the Finnish Meteorological Institute // *International Forest Fire News*. - 1998. - №18. - P. 65-67.
8. Linacre, E. Predicting bushfires in Australia [[http://www-as.uwo.edu/~geerts/cwx/ notes/ chap16/ oz_bush.html](http://www-as.uwo.edu/~geerts/cwx/notes/chap16/oz_bush.html)]. 1999.
9. Prediction of the dially numbers of forest fires / Garcia Dies E.L. et al. // *Int. J. Wildland Fire*. - 1999. - V.9, №3. - P. 207-211.
10. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 270 с.
11. Валендик, Э.Н. Пожарный режим в лесах Сибири и Дальнего Востока / Э.Н. Валендик, Г.А. Иванова // *Лесоведение*. - 2001. - №4. - С. 69-76.
12. Волокитина, А.В. Канадская система прогнозирования развития лесных пожаров / А.В. Волокитина, М.А. Софронов // *Лесное хозяйство*. - 2001. - №1. - С. 46-48.
13. Волокитина, А.В. Классификация и картографирование растительных горючих материалов / А.В. Волокитина, М.А. Софронов. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. - 314 с.
14. Вонский, С.Н. Определение природной пожарной опасности в лесу / С.Н. Вонский, В.А. Жданко, В.И. Корбут. - Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. - 52 с.
15. Воробейчик, Е.А. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.А. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. - Екатеринбург: Наука, 1984. - 280 с.
16. Гелашвили, Д.Б. Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщенной функции желательности (на примере Нижегородской области) / Д.Б. Гелашвили, А.А. Королев, В.А. Басуров // *Поволжский экологический журнал*. - 2006. - №2/3. - С. 120-138.
17. Глаголев В. А., Коган Р. М. Информационно-аналитическая система прогноза пожаров растительности // *ИнтерКарто -ИнтерГис -18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. мат-лы межд. конф. Смоленск, 2012. С.314-317*
18. Глаголев, В.А. Интерполяция комплексного показателя пожарной опасности на территории Еврейской автономной области и Хабаровского края / В.А. Глаголев, Р.М. Коган // *Региональные проблемы*. - 2013. - Т. 16, №2. - С. 84-90.
19. Глаголев, В.А. Модификация региональной шкалы классов пожарной опасности для территории Среднего Приамурья (на примере Еврейской автономной области) / В.А. Глаголев, Р.М. Коган // *Региональные проблемы*. - 2011. - Т.14, № 1. - С. 48-53.
20. Коровин Г.Н. , Зукерт Н.В. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России // *Климатические изменения: взгляд из России. Под ред. Данилова-Данильяна В.И.. М.: ТЕИС, 2003. С. 69–98*.
21. Курбатский, Н.П. Национальная система расчета пожарной опасности США / Н.П. Курбатский, Т.В. Костырина // *Обнаружение и анализ лесных пожаров*. - Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1977. - С. 38-90.
22. Нестеров, В.Г. Горимость лесов и методы ее определения. - М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. - 74 с.
23. Соколова, Г.В. Пожарная опасность территории Среднего Приамурья: оценка, прогноз, параметры мониторинга / Г.В. Соколова, Р.М. Коган, В.А. Глаголев. - Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2009. - 265 с.
24. Софронов, М.А. Пирологическое районирование в таежной зоне / М.А. Софронов, А.В. Волокитина. - Новосибирск: Наука, 1990. - 204 с.