

О СОЗДАНИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

^{1,2}Барановский Н.В.

¹Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики

Томского государственного университета

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

firedanger@narod.ru

Введение

Ежегодно лесные пожары в различных регионах РФ уничтожают государственный лесной фонд, загрязняют атмосферу и приводят к гибели людей и повреждению сельских населенных пунктов [1]. Возможны чрезвычайные ситуации, когда необходимо принимать решения в сжатые сроки (от нескольких десятков минут до нескольких дней). Это тот временной интервал, когда трудно или невозможно осуществить оперативную консультацию со специалистами. В этом случае необходимую поддержку в принятии решения в условиях ограниченных ресурсов (прежде всего временных ограничений) могут оказать компьютерные системы [2]. С целью минимизации экологического, экономического ущерба, числа жертв, а также рационального использования средств на охрану лесов от пожаров следует осуществлять прогноз лесной пожарной опасности. Для решения указанных задач в различных странах мира разработаны индексы и системы оценки пожарной опасности в лесах (например, в Канаде [3], США [4], Европе [5]). В РФ в качестве ГОСТа [6] применяется критерий Нестерова [7]. Однако он физически не содержателен и не учитывает антропогенной нагрузки и грозовой активности.

Предлагается создание распределенного информационно-вычислительного аппаратно-программного комплекса прогноза лесопожарных ситуаций. Распределенная компонента включает терминалы лесхозов и/или лесничеств, систем регистрации грозовой активности, а обработка осуществляется централизованно на многопроцессорной вычислительной системе.

Цель настоящей работы – создание концептуального проекта отечественной системы прогноза лесной пожарной опасности на базе детерминированно-вероятностного подхода.

Предпроектное исследование

Министерство природных ресурсов Канады в настоящее время оперирует двумя национальными информационными системами для управления лесными пожарами [8]: канадская информационная система по лесным пожарам (Canadian Wildland Fire Information System – CWFIS) и система моделирования, мониторинга и картирования пожаров (Fire M3). Обе системы включают компоненты канадской системы оценки лесной пожарной опасности (Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS) [3] и используют движок системы пространственного управления пожарами (Spatial Fire Management System – sFMS) [8] для получения, управления, моделирования, анализа и презентации данных. Метеорологические параметры с точечных источников измерений (сеть Канады и северной части США насчитывает около 900 метеорологических станций) интерполируются для получения пространственной детализации ячеек в 1 км.

Канадская система CFFDRS состоит из двух основных подсистем (модулей) – Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System [9] и Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System [8]. В рамках первой подсистемы FWI прогнозируется влагосодержание основных лесных горючих материалов (ЛГМ) в зависимости от погодных условий, а в рамках FBP – поведение очага пожара для различных лесных фитоценозов. Два других элемента (Accessory Fuel Moisture System и Canadian Forest Fire Occurrence Prediction (FOP) System) не разработаны для всей территории страны, но существуют региональные версии данных подсистем [8]. Первая предназначена для оценки влагосодержания второстепенных ЛГМ, а вторая для предсказания возгораний от антропогенной нагрузки и грозовой активности. В последнее время для описания суточного изменения индекса пожарной опасности используется математический аппарат цепей Маркова [10].

Система sFMS разработана для поддержки принятия решений по ликвидации лесных пожаров [8] и может функционировать как самостоятельное приложение или интегрироваться в существующие информационные системы. sFMS преимущественно работает с текущей метеорологической информацией, чтобы подготовить дневные или почасовые карты пожарной опасности, поведения пожаров, вероятности зажигания. Система также используется с кратко- и долгосрочными климатическими прогнозами для предсказания влияния климатических изменений на уровень лесной пожарной опасности, выгоревшую

площадь, потребление ЛГМ и эмиссию парниковых газов. Система может использоваться в различных масштабах (от локального до глобального) [8].

Мониторинговый компонент Fire M3 использует спутниковые данные NOAA (AVHRR – advanced very high-resolution radiometer) с пространственным разрешением 1км для обнаружения активных лесных пожаров. Компонент картирования предназначен для оценки выгоревшей площади. Моделирующие компоненты интегрируют данные системы CWFIS для оценки условий пожарной погоды, лесной пожарной опасности и возможного поведения пожара [8].

Выходные данные канадской национальной системы доступны для заинтересованных лиц и организаций через Интернет (сайт Канадской лесной службы <http://cfs.nrcan.gc.ca>). Канадская методика используется в различном объеме в таких странах, как США, Новая Зеландия, Фиджи, Аргентина, Мексика, Индонезия, Малайзия [11]. Система была успешно использована и в Финляндии, Швеции [11]. Канадская методика прогнозирования лесной пожарной опасности построена с учетом анализа большого количества статистических данных и достаточно точно предсказывает пожарную опасность [3,8-11] .

В США в 1972 г. была разработана методика определения пожарной опасности на разных лесных территориях (National Fire Danger Rating System – NFDRS) [4]. Структура американской системы представляет собой абстрактную модель влияния различных факторов и условий на процесс возникновения и распространения пожаров. Система выдает четыре индекса [4]: индекс возникновения пожара по вине человека (Man-caused fire occurrence index – MCOI), индекс возникновения пожара в результате грозовой активности (Lightning-caused fire occurrence index – LOI), индекс горения (Burning index – BI) и индекс пожарной нагрузки (Fire load index – FLI). Индексы MCOI и LOI определяются с учетом компонента воспламенения (Ignition component – IC) и позволяют оценить ожидаемое число лесных пожаров. Все ЛГМ разделены на типичные модели. В системе вводится ряд пирологических характеристик ЛГМ, которые позволяют косвенно учитывать процесс зажигание. Итоговая оценка пожарной опасности (FLI) определяется в зависимости от значений индексов MCOI, LOI и BI по 100-бальной шкале. Таким образом, в системе используется большое количество поправок, полученных на основе эмпирических данных. Результаты, основанные на расчетах в рамках NFDRS, используются в системе оценки лесных пожаров (Wildland Fire Assessment System – WFAS). Некоторые результаты доступны в сети Интернет (официальный сайт <http://www.wfas.net>).

К началу 2000 года было проведено сравнительное исследование различных методов прогноза лесной пожарной опасности, разработанных в Южной Европе [12]. Все методы представляют численный индекс, который растет с увеличением опасных условий. Южноевропейские методы оценки пожарной опасности [12], в основе которых лежат метеорологические факторы, были протестированы, используя статистические данные за период 3-9 лет. Кроме методов, принятых во Франции, Италии, Португалии и Испании, в сравнительный анализ был включен и канадский метод [9]. Для каждой области имелись ежедневные значения числа пожаров и выгоревшей площади, которые зависят не только от метеопараметров. Считалось, что дополнительные факторы (особенно антропогенная нагрузка) не оказывают взаимного влияния [12]. Канадский метод и модифицированный метод Нестерова (Португалия) показали наилучшие общие эксплуатационные качества [12]. Вслед за этим исследованием была разработана так называемая Европейская система – European Forest Fire Risk Forecasting System (EFFRFS), которая применялась на территории Южной Европы. Основу системы составили методы, разработанные в Италии, Франции, Испании, Португалии [12] и канадский метод [9]. Указанные методы применяются в совокупности. В настоящее время применяется модификация Европейской системы, которая дополнительно учитывает данные со спутников и называется European Forest Fire Information System (EFFIS) [5]. Для сравнения все индексы приведены к 100 бальной шкале. В последние годы система стала применяться в некоторых странах Западной Европы. Результаты работы системы доступны в сети Интернет (официальный сайт <http://effis.jrc.ec.europa.eu>). Надо полагать, что несовершенство национальных методов заставило создателей европейской системы включить канадский метод в качестве одного из основных компонентов. Поскольку наиболее качественный компонент представлен канадским методом, то преимущества и недостатки европейской системы аналогичны, что и у североамериканских. Канадская и американская системы похожи друг на друга в своей структуре, в подходах и принципах построения индекса пожарной опасности. Поэтому обе они обладают схожими как достоинствами, так и недостатками. Основной недостаток заключается в том, что явления сушки и зажигания слоя ЛГМ не моделируются с учетом реальных физико-химических процессов. Основное достоинство – учет таких значимых факторов, как антропогенная нагрузка, грозовая активность и долговременная эксплуатация в реальных условиях, которая показала эффективность применения этих систем.

Степень пожарной опасности, обусловленная пожарной зрелостью лесного участка, в лесной пирологии определяется с помощью индекса горимости Нестерова (комплексного метеорологического показателя – КМП) [7]:

$$\Gamma_j = \Gamma_{j-1} \xi_j + T_j (T_j - T_{pj})$$

Здесь Γ_j – комплексный метеорологический показатель пожарной опасности; T_j , T_{pj} – температуры воздуха и точки росы в 13-15 ч местного времени для текущего дня; ξ – коэффициент учета осадков, который равен нулю, если сумма осадков за прошедшие сутки $f_j > 3$ мм, или 1, если $f_j < 3$ мм; индекс j соответствует текущему дню пожароопасного сезона. Вероятность возникновения лесного пожара и его интенсивность возрастают с увеличением комплексного показателя Γ_j . В 1999 году принят ГОСТ Р 22.1.09-99 “Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования” [6], который используется по настоящее время. Данный стандарт основан на приведенном выше комплексном метеорологическом показателе [7]. Основной недостаток настоящего стандарта в том, что игнорируется влияние факторов антропогенной нагрузки и грозовой активности. В этом отношении методика существенно уступает зарубежным аналогам. Вторым недостатком (игнорирование реальных физико-химических механизмов сушки и зажигания слоя ЛГМ) характерен как для российской методики, так и для зарубежных систем. Можно сделать вывод, что официально принятая российская методика прогноза лесной пожарной опасности совершенно не соответствует современному уровню развития технологий в данной области.

Необходимые требования к современной системе прогноза лесной пожарной опасности

Результаты предпроектного исследования показывают, что создание в обозримой перспективе отечественной системы прогноза лесной пожарной опасности, обладающей конкурентно способными качествами, потребует привлечения современных информационно-вычислительных технологий и физически-содержательных моделей и критериев. Основными требованиями, которые необходимо выполнить на пути создания системы прогноза лесной пожарной опасности, являются:

1. Наличие государственной концепции создания и развития отечественной системы прогноза лесной пожарной опасности.

2. Наличие физико-математических моделей сушки и зажигания ЛГМ источниками природного и антропогенного характера
3. Наличие сети регистрации наземных грозовых разрядов, а также методик оценки вероятности прохождения грозы на конкретной территории.
4. Наличие физико-математических моделей учета антропогенной нагрузки на лесопокрытые территории.
5. Наличие физически и математически обоснованного критерия оценки уровня лесной пожарной опасности.
6. Наличие базы исходных данных для моделирования физико-химических процессов, протекающих при возникновении лесных пожаров.
7. Методика должна быть реализована в виде программного комплекса, позволяющего осуществлять прогноз лесной пожарной опасности в режиме, опережающем реальное время развития процесса.
8. Методика прогноза лесной пожарной опасности и ее программная реализация должны обладать возможностью модернизации и обновления отдельных моделей и подсистем.
9. Наличие ГОСТа не на конкретную методику со всеми фиксированными компонентами, а на спецификацию соответствия методики определенным требованиям.
10. Наличие стандартов, спецификаций на файлы входной, промежуточной и выходной информации в системе прогноза лесной пожарной опасности.
11. Наличие технологий, позволяющих потребителям оперативно получать прогнозную информацию.
12. Наличие технологий, позволяющих отслеживать степень достоверности получаемых прогнозов.
13. Наличие соответствующим образом подготовленных специалистов, способных обслуживать систему.
14. Доступность понимания прогнозной информации для лиц, принимающих управленческие решения (возможно, не имеющих специальной физико-математической подготовки).

Модельная концепция прогноза лесной пожарной опасности

В рамках настоящего исследования предлагается модельная концепция создания и развития отечественной системы прогноза лесной пожарной опасности

[13]. Концепция предполагает создание и развитие отечественной системы прогноза лесной пожарной опасности с целью повышения экологической, экономической безопасности государства посредством мониторинга и управления уровнем пожарной опасности с учетом основных значимых факторов и климатических изменений. Основные задачи концепции естественным образом вытекают из сформулированных выше требований к современной системе прогноза лесной пожарной опасности. Следует отметить, что очень важное значение имеет наличие исходных данных для расчетных моделей. В рамках настоящей концепции предлагается объединить в единую систему (распределенный аппаратно-программный комплекс) как информационно-вычислительное ядро (параллельный программный комплекс (ППК) для многопроцессорной вычислительной системы (МВС), так и необходимые для функционирования инструментальные средства регистрации наземных грозозовых разрядов. Известно, что развитие сети грозопеленгаторов запланировано Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Усиление влияния антропогенного фактора обязывает при создании комплексов прогноза лесной пожарной опасности уделить внимание разработке системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки (С.У.Д.А.Н.) с целью оценки ее пространственно-временной динамики. Технологическая база модельной концепции представлена на рис. 1.

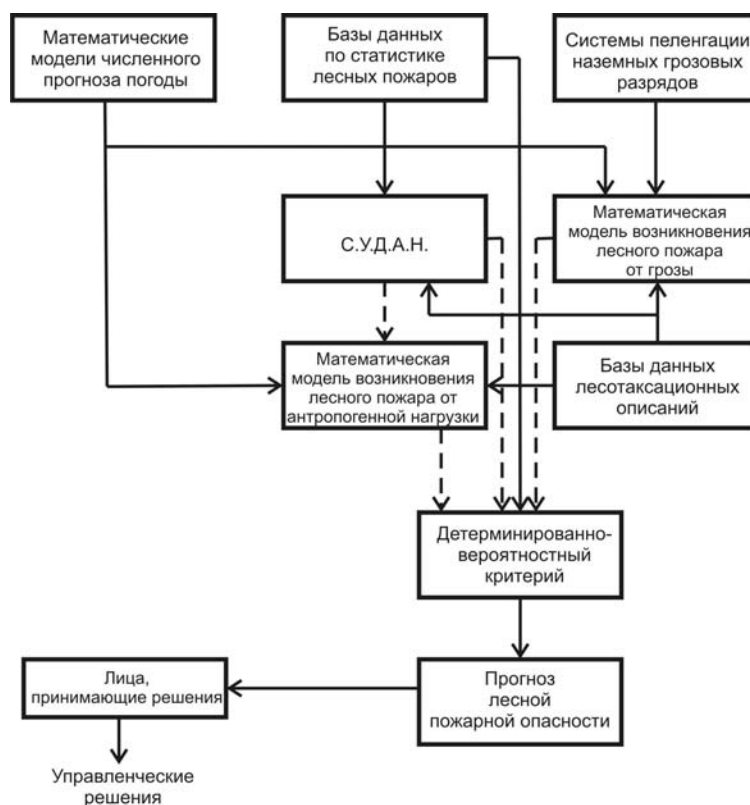


Рис. 1. Технологическая база новой концепции прогноза лесной пожарной опасности

Физическая модель лесной пожарной опасности

Анализ лесопожарных происшествий позволил выделить основные факторы и сформулировать физическую модель лесной пожарной опасности [14] (рис. 2). Следует внести уточнения в эту достаточно общую модель и предложить более подробные механизмы возникновения очагов лесных пожаров. Грозовая активность создает напряженную лесопожарную обстановку в горных и малообжитых регионах [15]. Причиной возгораний являются разряды класса облако-земля [16]. На рис. 3 представлен обобщенный механизм возникновения очага лесного пожара в результате грозовой активности, который учитывает в совокупности первичные и вторичные источники зажигания и режим тления слоя ЛГМ после удара молнии.

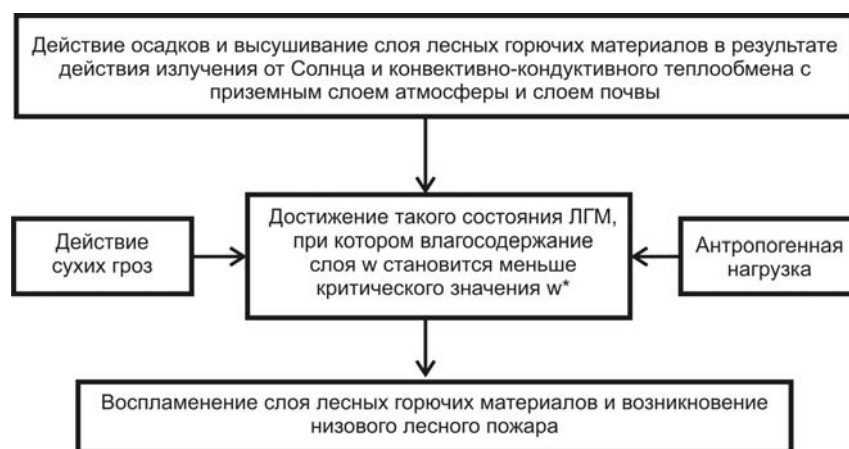


Рис. 2. Физическая модель лесной пожарной опасности [14]

Антропогенная нагрузка в настоящее время является основным фактором, приводящим к возникновению лесных пожаров. Заметим, что антропогенные причины достаточно многообразны. На рис. 4 представлен обобщенный механизм возникновения очага лесного пожара в результате антропогенной нагрузки, который имеет детерминированно-вероятностную природу. Первоначально лесопокрытые территории подвергаются пассивному воздействию с точки зрения возникновения пожаров (если речь идет о населенном пункте, то говорят о посещаемости лесной территории жителями). Следующая фаза имеет вероятностный характер и определяет сценарий выбора причины возникновения на первом этапе, а вероятный источник зажигания на втором. А вот процесс зажигания ЛГМ конкретным источником с учетом метеорологических условий может быть описан детерминированной математической моделью. Чтобы не загромождать схему многочисленными связями в результате реализации конкретной причины и конкретного источника зажигания, в таблице 1 приведены основные источники зажигания в соответствии с причиной антропогенного характера.

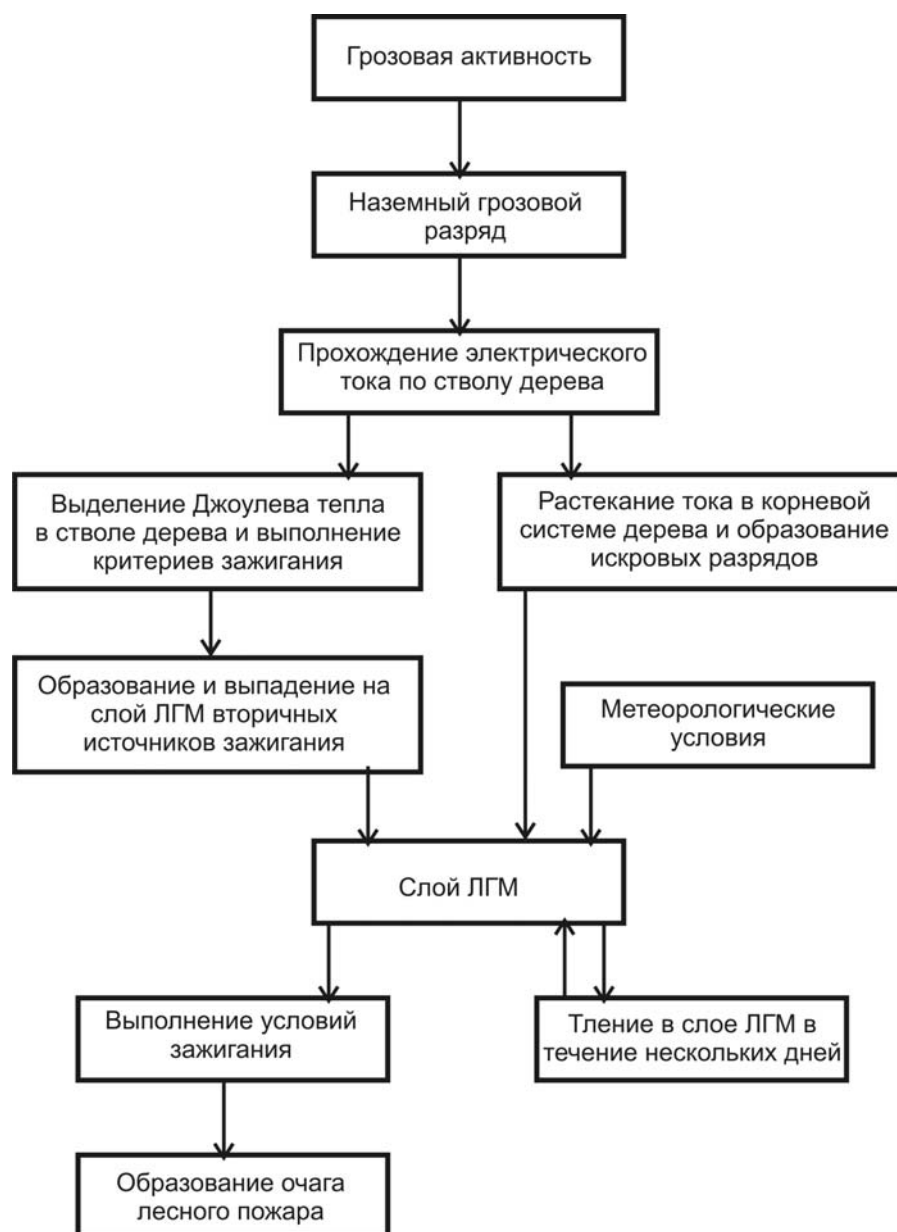


Рис. 3. Обобщенный механизм возникновения очага лесного пожара в результате грозовой активности

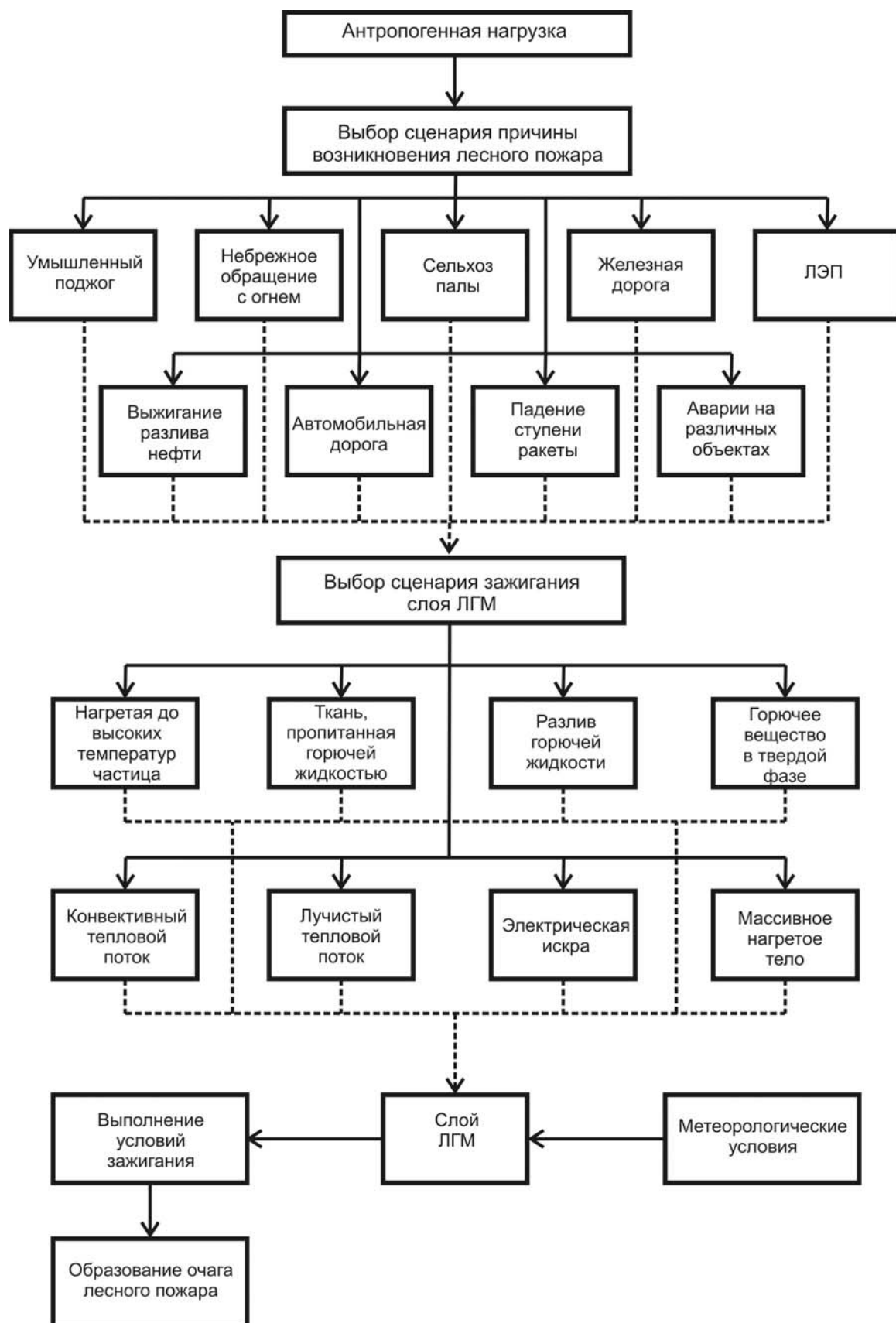


Рис. 4. Обобщенный механизм возникновения очага лесного пожара в результате антропогенной нагрузки

Таблица 1 Источники зажигания для конкретных антропогенных причин возникновения лесных пожаров

Антропогенная причина возникновения лесного пожара	Источники зажигания
Умышленный поджог, А ₁	Нагретая до высоких температур частица
	Ткань, пропитанная горючей жидкостью
	Горючее вещество в твердой фазе
	Разлитое на слой ЛГМ горючее вещество
Небрежное обращение с огнем, А ₂	Нагретая до высоких температур частица
	Ткань, пропитанная горючей жидкостью
	Горючее вещество в твердой фазе
	Разлитое на слой ЛГМ горючее вещество
Сельскохозяйственные палы, А ₃	Нагретая до высоких температур частица
	Конвективный тепловой поток
	Лучистый тепловой поток
Влияние железной дороги, А ₄	Нагретая до высоких температур частица
Линия электропередачи, А ₅	Нагретая до высоких температур частица
	Электрическая искра
Выжигания разливов нефти, А ₆	Разлитое на слой ЛГМ горючее вещество
	Конвективный тепловой поток
	Лучистый тепловой поток
Влияние автомобильных дорог, А ₇	Нагретая до высоких температур частица
	Разлитое на слой ЛГМ горючее вещество
Падение ступени ракеты, А ₈	Нагретая до высоких температур частица
	Массивное нагретое тело
Аварии на технологических объектах, расположенных на лесопокрытых территориях, А ₉	Нагретая до высоких температур частица
	Ткань, пропитанная горючей жидкостью
	Горючее вещество в твердой фазе
	Разлитое на слой ЛГМ горючее вещество
	Конвективный тепловой поток
	Лучистый тепловой поток
	Электрическая искра
Массивное нагретое тело	

Комбинации ЛГМ в образовании слоев достаточно обширны [17]. Одним из возможных вариантов упрощения множества исходных данных является ввод эталонного слоя ЛГМ. Такой подход уже использован при разработке канадской системы [9] и российских лесопожарных показателей засухи [7]. Основную опасность представляют пожары в хвойных и смешанных лесах. Будет логичным ввести эталонный слой почвенного ЛГМ из опада хвои. Сосна во многих регионах является преобладающей породой, а ее ареал охватывает практически всю территорию бореальных лесов России [18].

Фундаментальная научная база системы

Как было указано выше, зарубежные индексы [3,4] и критерий Нестерова [7] в качестве результата выдают числовое значение в пределах какой-либо шкалы (которая не всегда имеет четкие верхние границы) и не являются физически содержательными. Последнее время автором интенсивно развивается детерминированно-вероятностный подход к прогнозу лесной пожарной опасности. Выходные значения в результате такой оценки являются вероятностью возникновения лесных пожаров, а не абстрактным числовым значением. Факторы антропогенная нагрузка и грозовая активность с точки зрения теории вероятностей могут быть как несовместными, так и совместными событиями. Первый случай соответствует следующему сценарию поведения человека в лесу [19]: с наступлением грозы человек стремится покинуть лесную территорию или укрыться (то есть антропогенная нагрузка в соответствии с этим сценарием отсутствует в момент грозовой активности). Для учета различных сценариев было разработано три поколения детерминированно-вероятностных критериев оценки лесной пожарной опасности [19-21].

Анализ статистики возникновения лесных пожаров в результате антропогенной нагрузки [22,23] позволил выделить основные причины и создать модель дифференцированной оценки лесной пожарной опасности. В дополнение к событиям из таблицы 1 введено событие A_{10} , характеризующее неустановленные причины. Считается, что возникновения лесных пожаров по различным причинам есть совместные и независимые события. В этом случае можно записать вероятность возникновения лесных пожаров по антропогенным причинам через

противоположное событие. В итоге вероятность возникновения лесных пожаров по совокупности антропогенных причин определится по следующей формуле:

$$P(\text{ЛП}) = 1 - \prod_{i=1}^{10} (1 - P(\text{ЛП}_i)),$$

где ЛП_i – возникновение лесного пожара по i -ой антропогенной причине, ЛП – возникновение лесных пожаров по всей совокупности антропогенных причин. Вероятность лесного пожара по конкретной антропогенной причине определится по формуле:

$$P(\text{ЛП}_i) = P(A)P(A_{j,i} / A)P(\text{ЛП} / A, A_{j,i}),$$

где $P(A)$ – вероятность антропогенной нагрузки, $P(A_{j,i}/A)$ – вероятность i -ой антропогенной причины при условии посещения лесной территории в j -ый день недели, $P(\text{ЛП}/A, A_{j,i})$ – вероятность лесного пожара в j -ый день по i -ой антропогенной причине. Последняя вероятность определяется по формуле:

$$P(\text{ЛП} / A, A_{j,i}) = P(C)P(Z_i / C),$$

где $P(C)$ – вероятность того, что ЛГМ достаточно сухой, $P(Z_i/C)$ – вероятность зажигания ЛГМ в результате действия i -ой причины антропогенной нагрузки при условии, что ЛГМ достаточно сухой.

Модель может быть достаточно просто распространена на общий случай учета грозовой активности – введением события A_{11} – грозовая активность.

$$P(\text{ЛП}_{11}) = P(M)P(M_k / M)P(\text{ЛП} / M, M_k),$$

где $P(M)$ – вероятность сухих гроз, $P(M_k/M)$ – вероятность наземного грозового разряда на k -ый час суток при условии прохождения грозы, $P(\text{ЛП}/M, M_k)$ – вероятность лесного пожара на k -ый час суток при условии прохождения грозы, которая определяется по формуле:

$$P(\text{ЛП} / M, M_k) = P(C)P(Z_M / C),$$

где $P(C)$ – вероятность того, что ЛГМ достаточно сухой, $P(Z_M/C)$ – вероятность зажигания ЛГМ наземным грозовым разрядом при условии, что ЛГМ достаточно сухой.

Детерминированно-вероятностный подход позволяет учитывать не только статистические данные, но и результаты экспериментов и численных расчетов по зажиганию ЛГМ [24]. Разработаны базовые физико-математические модели зажигания дерева наземным грозовым разрядом [25] и напочвенного покрова горячими частицами [26]. Анализируя таблицу 1 легко понять, что нагретые до высоких температур частицы являются самыми распространенными источниками

зажигания. Для оценки лесной пожарной опасности в различных масштабах от минимальной лесотаксационной единицы до глобального разработана модель интегральной оценки вероятности возникновения лесных пожаров на контролируемой лесопокрытой территории [27]. В соответствии с требованиями к современной системе прогноза лесной пожарной опасности разработан проблемно-ориентированный подход ландшафтного распараллеливания [28], в рамках которого развивается комплекс прогноза лесной пожарной опасности.

Задачу совместного учета данных наблюдений и прогностической модели для наиболее точного описания пространственно-временного распределения метеополей называют задачей усвоения данных (в зарубежной литературе *data assimilation*) [29]. При разработке системы прогноза лесной пожарной опасности первостепенное значение имеют исследования в области создания С.У.Д.А.Н. Следует заметить, что детали реализации такой системы для целей прогноза лесной пожарной опасности могут отличаться от реализации систем усвоения данных в метеорологии. Предполагается, что на первом этапе осуществляется сбор и анализ статистической информации о возникновении лесных пожаров по вине человека. Фаза анализа осуществляет пространственную детализацию исходных данных с помощью сплайнов в рамках модели компандер-экспандер [30]. В качестве сравнения могут быть приведены системы усвоения данных на базе оптимальной интерполяции [31]. Завершающий этап предполагает получение прогнозной информации о пространственно-временной динамике антропогенной нагрузки на контролируемые лесопокрытые территории с помощью детерминированной математической модели [32]. Процессы принятия решений и поведения, несмотря на влияние многообразных факторов, не являются случайными [33], так как всем людям присущи общие реакции на информацию о структуре и качествах пространства, общие механизмы восприятия этой информации для принятия решения. Люди со сходными полями информации проявляют сходные предпочтения мест отдыха, то есть ведут себя в географическом пространстве почти одинаково.

Информационно-вычислительное ядро системы

ППК является ядром информационно-вычислительной системы прогноза лесной пожарной опасности. Работу начинает корневой процесс параллельной программы, который считывает информацию из файлов, содержащих исходные данные. Прогностические поля метео данных Гидрометцентра РФ представлены в

коде GRIB и необходимо конвертирование входных данных во внутренний формат ППК. Для балансировки вычислительной нагрузки между ветвями параллельной программы в настоящее время используется статический алгоритм. Показано, что основное влияние на время сушки слоя ЛГМ (и соответственно на время расчета) оказывает его начальное влагосодержание [19]. Этот факт также может быть положен в основу эвристики алгоритма балансировки. На следующем этапе корневой процесс осуществляет подготовку и рассылку информационных пакетов с исходными данными по всем ветвям параллельной программы. В каждой такой ветви для каждого лесотаксационного выдела определяются времена сушки (t_c) и зажигания антропогенным (t_3^A) и природным (t_3^M) источниками, которые используются для определения вероятности возникновения пожара. Для задания некоторых параметров следует использовать генератор псевдослучайных чисел. На завершающем этапе корневой процесс собирает информационные пакеты со всех ветвей параллельной программы, проводит интегральную оценку лесной пожарной опасности и выводит данные в файлы результатов. Алгоритм функционирования ППК представлен на рис. 5.

Заключение

Существующий уровень разработки детерминированно-вероятностного подхода [13,19-21,24-28,30,32,34,35] позволяет говорить о возможности создания отечественной системы прогноза лесной пожарной опасности. Зарубежный опыт показывает, что эксплуатация таких систем в национальном масштабе позволяет снижать затраты на охрану лесов и минимизировать экологический, экономический ущерб [11]. Разработка новой физически-обоснованной системы прогноза лесной пожарной опасности будет соответствовать задачам Концепции развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003 – 2010 годы [36] в части внедрения достижений науки для обеспечения интенсивного, комплексного использования лесных ресурсов при сохранении экологического потенциала лесов. Настоящее исследование решает эти задачи в части разработки и совершенствования методов прогноза возникновения пожароопасных ситуаций в лесах. В отличие от канадской, американской систем существующий ГОСТ РФ на прогноз лесной пожарной опасности совершенно не учитывает уровень грозовой активности и антропогенной нагрузки [37]. Таким образом, проведенные проектные исследования соответствуют приоритетам, обозначенным в Концепции [36], в части приведения российских стандартов в сфере лесного хозяйства в соответствие с мировыми.

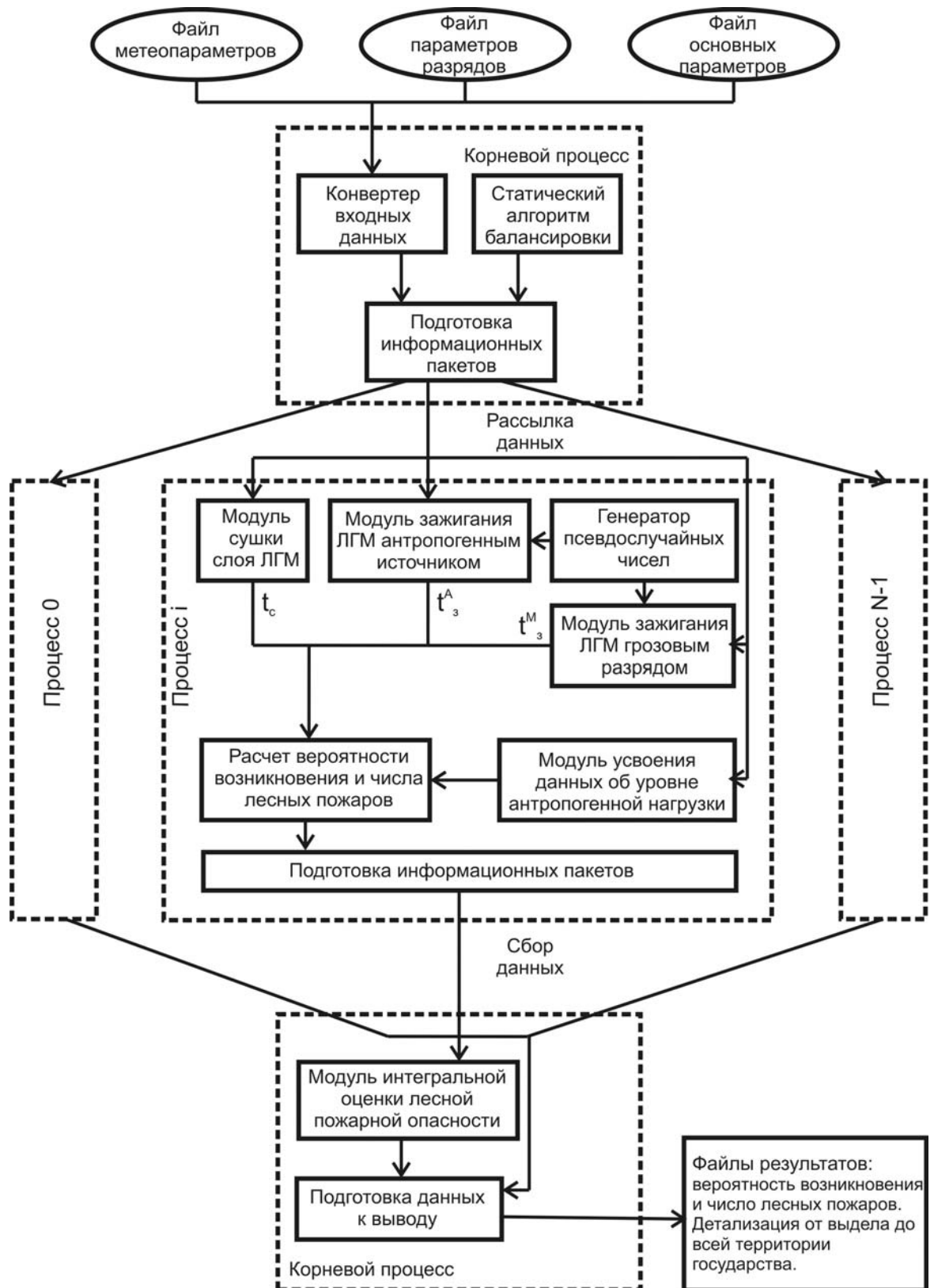


Рис. 5. Алгоритм работы параллельного программного комплекса

Литература

1. Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне. Материалы Международного научно-практического семинара (Хабаровск, Россия. 9–12 сентября 2003 г.). М.: Изд-во Алекс, 2004. 208 С.
2. Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. – М.: Едиториал УРСС, 2001. 304 С.
3. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B.J. Stocks, M.E. Alexander, R.S. McAlpine at all. – Canadian Forestry service, 1987. – 500 P.
4. Deeming J.E., Burgan K.E., Cohen J.D. The national fire danger rating system. Ogden, Utah: USDA Forest Service, General Technical report. INT-39. 1978. 66 P.
5. Camia A., Barbosa P., Amatulli G., San-Miguel-Ayanz J. Fire Danger Rating in the European Forest Fire Information System (EFFIS): Current developments // Forest Ecology and Management. 2006. Vol. 234. Supplement 1. P. S20.
6. ГОСТ Р 22.1.09-99 “Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования”
7. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 76 С.
8. Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C., Lynham T.J., Stocks B.J., Englefield P. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada // Computers and Electronics in Agriculture. 2002. Vol. 37. N 1-2. P. 185 – 198.
9. Van Wagner C.E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System / Petawawa. Canadian Forest Service. Technical report 35. – Ontario, 1987. 37 P.
10. Martell D.L. A Markov Chain Model of Day to Day Changes in the Canadian Forest Fire Weather Index // International Journal of Wildland Fire. 1999. Vol. 9. N 4. P. 265 – 273.
11. Taylor S.W., Alexander M.E. Science, technology and human factors in fire danger rating: the Canadian experience // International Journal of Wildland Fire. 2006. Vol. 15. N 1. P. 121 – 135.

12. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe // *International Journal of Wildland Fire*. 1999. Vol. 9. N 4. P. 235 – 246
13. Барановский Н.В. Прогноз лесной пожарной опасности на основе новой концепции // *Материалы Международной научно-практической конференции “Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов в системе устойчивого развития”*. Беларусь, Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2007. С. 129 – 132.
14. Гришин А.М. Математическое моделирование и прогноз катастроф: Методическое пособие. Томск: Центр образования и исследований по механике реагирующих сред и экологии Томского госуниверситета, 1999. 24 с.
15. Larjavaara M., Kuuluvainen T., Rita H. Spatial distribution of lightning-ignited fires in Finland // *Forest Ecology and Management*. 2005. Vol. 208. N 1-3. P. 177 – 188.
16. Mardiana R., Kawasaki Z.-I., Morimoto T. Three-dimensional lightning observations of cloud-to-ground flashes using broadband interferometers // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2002. Vol. 64. N 1. P. 91 – 103.
17. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 С.
18. Абаимов В.Ф. Дендрология: учеб. Пособие для студентов ВУЗов. 3-е изд., перераб. М.: Издательский центр “Академия”, 2009. 368 С.
19. Барановский Н.В. Математическое моделирование наиболее вероятных сценариев и условий возникновения лесных пожаров. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: Томский государственный университет. 2007. 153 С.
20. Барановский Н.В. Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // *Пожарная безопасность*. 2009. № 1. С. 93 – 99.
21. Барановский Н.В. Модель прогноза и мониторинга лесной пожарной опасности // *Экология и промышленность России*. 2008. № 9. С. 59 – 61.
22. Pew K.L., Larsen C.P.S. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada // *Forest Ecology and Management*. 2001. Vol. 140. N 1. P. 1 – 18.
23. Янко И.В. Пирологическая оценка территории Томской области. Дисс. ... канд. геог. наук. Томск: Томский государственный педагогический университет, 2005. 174 С.

24. Барановский Н.В. Влияние продолжительности действия электрического разряда на вероятность возникновения лесных пожаров // Инженерная физика. 2009. № 4. С. 43 – 46.
25. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 3. С. 41 – 45.
26. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. 2006, Т. 15. № 4, С. 42 – 46.
27. Барановский Н.В. Интегральная по пространству оценка лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 6. С. 38 – 42.
28. Барановский Н.В. Ландшафтное распараллеливание и прогноз лесной пожарной опасности // Сибирский журнал вычислительной математики. 2007. Том 10, № 2. С. 141 – 152.
29. Климова Е.Г. Восстановление метеорологических полей по данным наблюдений. Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. Новосибирск: ИВТ СО РАН. 2005. 233 С.
30. Барановский Н.В. Модель компандер-экспандер для системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки на контролируемой лесопокрытой территории. // Современные проблемы информатизации в моделировании и анализе сложных систем: Сб. трудов. Вып. 12. Воронеж: “Научная книга”, 2007. С. 149 – 152.
31. Flemming J., Reimer E., Stern R. Data assimilation for CT-Modelling based on optimum interpolation // Preprints of 25th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application. Belgium, Louvain-la-Neuve: Catholic University of Louvain. 2001. P. 173 – 1180.
32. Барановский Н.В. Прогностическая математическая модель для системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки на лесопокрытые территории // Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: Сб. трудов. Вып. 13. Воронеж: Научная книга, 2008. С. 202 – 207.
33. Андреев Ю.А., Ларченко Г.Ф. Социально-психологические аспекты рекреационных посещений леса и возникновение пожаров // Лесные пожары и борьба с ними. М.: ВНИИЛМ, 1987. С. 251-263.

34. Барановский Н.В., Кузнецов Г.В. Влияние М-компонентов наземного грозового разряда на процесс зажигания дерева хвойной породы // Инженерная физика. 2009. № 5. С. 47 – 51.
35. Барановский Н.В., Кузнецов Г.В. Математическое моделирование зажигания лиственного дерева наземным грозовым разрядом с учетом локализации реактивной древесины // Инженерная физика. 2009. № 5. С. 52 – 58.
36. Концепция развития лесного хозяйства России на 2003 – 2010 годы (Внесенные изменения). М.: МПР. Рослесхоз. 2007. 12 С.
37. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 С.