

Белорусский государственный университет

УДК 519.8:630*43 (043.3)

БАРОВИК
Дмитрий Валентинович

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ГЕОВИЗУАЛИЗАЦИИ
ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

Минск, 2010

Работа выполнена в Белорусском государственном университете.

Научный руководитель – ТАРАНЧУК Валерий Борисович,
доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой компьютерных
технологий и систем Белорусского
государственного университета.

Официальные оппоненты: ГРИНЧИК Николай Николаевич,
доктор физико-математических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник отделения
теплофизики Государственного научного
учреждения «Институт тепло- и массообмена
имени А.В.Лыкова» НАН Беларуси;

ШУШКЕВИЧ Геннадий Чеславович,
доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой информатики и
компьютерного моделирования учреждения
образования «Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы».

Оппонирующая организация – учреждение образования «Международный
государственный экологический университет
имени А.Д.Сахарова».

Защита состоится 10 декабря 2010 г. в 10:00 на заседании совета по
защите диссертаций Д.02.01.02 при Белорусском государственном
университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8 (корпус
юридического факультета), ауд. 407.

Телефон ученого секретаря совета: (+375 17) 209-57-09, e-mail: cheb@bsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке
Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «__» ноября 2010 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
канд. физ.-мат. наук, доцент

Е.С.Чеб

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Леса являются одним из важнейших национальных богатств Беларуси и наиболее привлекательным видом рекреационных территорий. Лесами покрыто более 38% всей территории Республики Беларусь. Пожары из множества природных и антропогенных факторов оказывают доминирующее негативное влияние на состояние и динамику лесных экосистем, наносят государству значительный материальный и экологический ущерб.

Для научно-обоснованных, успешных действий, направленных на предупреждение, прогнозирование и ликвидацию лесных пожаров, требуется разработка соответствующих математических моделей и программных средств. За рубежом научными школами разработан ряд математических моделей распространения лесных пожаров, на их основе созданы и внедрены программные комплексы (Behave, Farsite, FireLab и др.). Однако большинство используемых моделей являются эмпирическими, область их применения ограничена, точность прогноза не высока. Некоторыми научными школами разработаны теоретические модели лесных пожаров, в которых достаточно полно учитываются имеющие место процессы тепло и массообмена, излучения, физико-химических реакций и превращений. Такие модели трудно реализуемые, требуют значительных вычислительных мощностей и пока не достигли уровня практического применения в программных комплексах, работающих в реальном времени.

Целью настоящей работы является развитие технологии геовизуализации, применение соответствующего инструментария при анализе и адаптации существующих математических моделей лесных пожаров, разработка таких численных методов их решения и программных средств, которые позволили бы моделировать процессы распространения лесных пожаров в реальном времени, использовать полученные математические модели и программные средства в системах поддержки принятия решений, в системах прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций, геоинформационных системах различных служб Республики Беларусь. Кроме того в диссертационной работе на основе вычислительных экспериментов исследуется эффективность некоторых способов предупреждения и ликвидации лесных пожаров.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами

Тема диссертационной работы утверждена ученым советом факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 27 ноября 2008 г.) и соответствует приоритетным

направлениям научных исследований «6.1. Математические модели и их применение к анализу систем и процессов в природе и обществе», «6.5. Аппаратные и программные комплексы и системы для информационного обеспечения», «8.4. Методы мониторинга окружающей среды, прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера» согласно Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 гг., утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 мая 2005 г. № 512.

Работа выполнена в рамках:

- ГПФИ «Математические модели», задание № 12.2 «Развитие методов и инструментария математического моделирования, решение начально-краевых задач геоэкологии», (№ гос. регистрации 20061281, сроки выполнения 2006–2010 гг.).
- ГПОФИ «Природопользование», задание № 20 «Разработка математических методов моделирования экологического риска с использованием компьютерных технологий, оценка рисков, обусловленных экстремальными климатическими явлениями по территории Беларуси» (№ гос. регистрации 2008397, сроки выполнения 2006–2010 гг.).
- ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций», задание № 43 «Разработать методику и программный комплекс для расчета и визуализации динамики лесного пожара» (№ гос. регистрации 2092950, сроки выполнения 2009–2010 гг.).

Цель и задачи исследования

Цель работы – развитие физико-математической модели распространения верховых лесных пожаров, учитывающей фундаментальные законы физики, химические процессы; разработка методов ее численного решения; программная реализация в системе компьютерной алгебры; исследование методами вычислительных экспериментов эффективности некоторых мер по предупреждению и ликвидации лесных пожаров; развитие полуэмпирической методики Роттермела, создание на ее основе программного комплекса для моделирования в реальном времени распространения лесных пожаров с отображением на электронных картах местности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Анализ современного состояния проблемы моделирования лесных пожаров.
- Детализация физико-математической модели распространения вершинных верховых лесных пожаров с учетом упрощающих предположений.
- Разработка и программная реализация численных методов для решения полученной системы дифференциальных уравнений.

- Проектирование универсальной схемы хранения результатов вычислительных экспериментов в реляционных базах данных, создание программных модулей для работы с ней.
- Программирование библиотеки графической поддержки геовизуализации.
- Разработка программного комплекса по моделированию динамики вершинных верховых лесных пожаров.
- Обоснование и тестирование разработанных моделей, вычислительных алгоритмов, программных средств, предложенных методик прогноза развития пожара.
- Численное исследование динамики верховых лесных пожаров, эффективности мер по их предупреждению и ликвидации.
- Создание с использованием полуэмпирической методики программного комплекса оперативного прогноза распространения лесных пожаров.
- Внедрение результатов диссертационной работы в различные сферы жизнедеятельности.

Объект исследования – процессы тепломассопереноса, физико-химических превращений, происходящие в охваченных пожарами лесных массивах.

Предмет исследования – уравнения математических моделей, методы и алгоритмы их численного решения, средства разработки программных комплексов, хранения и геовизуализации результатов.

Выбор объекта и предмета исследования обоснован актуальностью проблемы борьбы с лесными пожарами, необходимостью разработки прикладных математических моделей, учитывающих широкий спектр происходящих физико-химических процессов. Компьютерное моделирование применяется при решении ряда задач, связанных с вопросами защиты окружающей среды и людей, а также с экологической безопасностью лесного биогеоценоза. Моделирование позволяет: прогнозировать скорость распространения лесного пожара, определять конфигурацию его контура; рассчитывать периметр и площадь выгоревшего леса, объем поврежденной древесины; оценивать необходимые для ликвидации пожара объемы воды, химических реагентов, техники, авиации, оказывать помощь в принятии решений по эффективным местам и регламенту их использования; рассчитывать выделившиеся из фронта пожара объемы загрязняющих веществ, направление и скорость их распространения и оседания; моделировать возможность преодоления огнем минерализованных полос и т. п. Некоторые из перечисленных задач вообще невозможно решить без применения методов математического моделирования. Использование компьютерного моделирования позволяет экономить временные и материальные затраты.

Положения, выносимые на защиту

1. Адаптированная математическая модель распространения вершинных верховых лесных пожаров с учетом физико-химических процессов (прогрев, сушка, пиролиз лесных горючих материалов; горение газообразных и конденсированных продуктов пиролиза; конвекция, диффузия, радиационный перенос энергии), позволяющая воспроизводить динамику параметров лесного пожара в пологе леса на основе двумерных приближений. Предложенная формула для массовой скорости горения газообразных продуктов пиролиза лесных горючих материалов, учитывающая принцип «избытка-недостатка» окислителя во фронте пожара.

2. Вычислительный алгоритм решения системы уравнений адаптированной математической модели распространения вершинных лесных пожаров. Способ получения многоочаговых начальных распределений с взаимосогласованными распределениями входящих в модель переменных: объемные доли сухих лесных горючих материалов, связанной с ними воды, древесного угля, золы, концентрации кислорода и горючих продуктов пиролиза, температуры.

3. Программный комплекс по моделированию вершинных верховых лесных пожаров. Универсальная схема базы данных для хранения результатов численного моделирования. Библиотека модулей системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica для автоматизации вычислительных экспериментов, сохранения в базе данных, а также геовизуализации результатов.

4. Установленные вычислительными экспериментами два возможных сценария распространения лесных пожаров: режим устойчивого горения и режим затухания; способ построения раздела областей этих режимов в гиперплоскости (плотность слоя ЛГМ, равновесная скорость ветра в пологе леса, влагосодержание ЛГМ). Данные результаты могут иметь практическое значение при управлении тушением лесных пожаров, позволяют оценивать эффективность лесопожарных разрывов, заслонов, противопожарных мероприятий.

5. Программный комплекс «Расчет и визуализация динамики лесного пожара», обеспечивающий моделирование в реальном времени распространения лесных пожаров с учетом неоднородности распределения типов растительности, различных преград и т.п. В ПК рассчитывается форма контура, периметр и площадь пожара в различные моменты времени. Реализована возможность визуализации результатов на электронных картах и экспорт в геоинформационные системы.

Личный вклад соискателя

В диссертации представлены результаты работ, которые выполнены соискателем самостоятельно. Основные результаты и положения, выносимые на

защиту, получены лично соискателем. Соискатель адаптировал и разработал математическую модель, численные методы и алгоритмы; спроектировал и запрограммировал библиотеку модулей работы с базами данных, модулей гео визуализации результатов вычислительных экспериментов; создал два программных комплекса моделирования динамики лесных пожаров; провел численные исследования процессов распространения лесных пожаров, осуществил обработку полученных результатов. Постановка целей и задач исследовательской работы, обсуждение и интерпретация полученных результатов, определение структуры диссертации выполнялось совместно с научным руководителем доктором физико-математических наук Таранчуком В.Б.

Апробация результатов диссертации

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях, семинарах, форумах: 64-я Научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, 15–18 мая 2007 г., г. Минск; Международный семинар «Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски», 19–21 июня 2007 г., г. Пинск; I Международная конференция «Математическое моделирование и дифференциальные уравнения», 2–5 октября 2007 г., г. Минск; III Международная научная конференция «Сетевые компьютерные технологии», 17–19 октября 2007 г., г. Минск; 65-я Научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, 13–16 мая 2008 г., г. Минск; Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций», 2–3 октября 2008 г., г. Минск; Международная научная конференция «X Белорусская математическая конференция», 3–7 ноября 2008 г., г. Минск; V International Workshop «Computer Algebra Systems in Teaching and Research», January 28–31, 2009, Siedlce, Poland; XVI Международный форум по телекоммуникациям, информационным и банковским технологиям ТИБО, 21–24 апреля 2009 г., г. Минск; 66-я Научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, 16–21 мая 2009 г., г. Минск; II Международная конференция «Математическое моделирование и дифференциальные уравнения», 24–28 августа 2009 г., г. Минск; Выездная сессия Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации академий наук и Международная научная конференция «Глобальные и региональные угрозы и риски устойчивого развития стран и регионов СНГ», 25–27 июня 2009 г., г. Минск; II Международная научно-практическая конференция «Современные информационные компьютерные технологии», 26–28 апреля 2010 г., г. Гродно; 67-я Научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, 10–15 мая 2010 г., г. Минск; 9th International Conference «Com-

puter Data Analysis and Modeling: Complex Stochastic Data and Systems», September 7–11, 2010, Minsk, Belarus.

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 21 научной работе, из которых 4 статьи в научных журналах в соответствии с п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 3,1 авторского листа), а также 1 статья в научном рецензируемом журнале «Информатизация образования», 7 статей в сборниках материалов международных конференций и 9 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Общий объем диссертации составляет 117 страниц, включая 33 рисунка на 16 страницах, 3 таблицы, занимающие 3 страницы, библиографический список из 176 наименований (вместе с собственными публикациями соискателя).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ современного состояния проблемы моделирования лесных пожаров, приведена общая математическая модель, изложены основные и уточненные уравнения для скорости реакций окисления горючих газов.

Интерес к математическим моделям лесных пожаров, которые разрабатываются с 1940-х до настоящего времени, обусловлен большим числом вопросов научного и практического характера. Большой вклад в развитие теории и практики моделирования лесных пожаров внесли: F.Albini, M.Alexander, J.Dupuy, M.Finney, Forestry Canada Fire Danger Group, W.Hargrove, R.McAlpine, A.McArthur, R.Rothermel, C.Van Wagner, О.А.Атрощенко, А.Д.Вакуров, А.М.Гришин, Г.А.Доррер, А.А.Кулешов, Н.П.Курбатский, В.А.Перминов, В.В.Усеня и др.

Обзор научных публикаций показывает, что разработано более сорока моделей низовых лесных пожаров и около десятка моделей верховых лесных пожаров. Однако только несколько моделей доведены до уровня практического использования в программных комплексах. Это эмпирические и полуэмпирические модели, активно используемых программных реализаций теоретических моделей на сегодняшний день нет.

Наиболее часто на практике для определения скорости фронта низового лесного пожара используется полуэмпирическая методика Р. Ротермела.

Наибольшей скоростью распространения обладают вершинные верховые лесные пожары. Они чрезвычайно опасны в экологическом отношении, их математическое моделирование представляется актуальным вопросом.

Наиболее важной теоретической моделью, описывающей динамику низовых и верховых лесных пожаров, общепризнана модель А.М. Гришина. Она базируется на фундаментальных законах физики, теоретически обоснована, частично подтверждена натурными экспериментами, учитывает основные физико-химические процессы. Однако достоинство такого полного описания процессов превращается в главный недостаток модели – невозможность ее практического использования из-за трудностей экспериментального получения значений всех требуемых констант и переменных, недостаточном исследовании некоторых используемых функций и процессов и, наконец, из-за потенциальных вычислительных затрат. Сложность модели подтверждает и сам ее автор, указывая на необходимость дальнейших исследований.

Важной компонентой моделей лесных пожаров является выражение скорости горения R_5 газообразных продуктов пиролиза лесных горючих материалов (ЛГМ). В научной литературе по вопросу описания реакций нет единого подхода, предлагаются несколько выражений. Возможность практического использования каждого из них вызывает обоснованные сомнения, т.к. не обеспечивается экспериментально установленный факт, что при лесном пожаре реализуется диффузионный режим горения, т.е. интенсивность ограничена скоростью притока кислорода во фронт.

Используя метод стационарных концентраций, в настоящей работе предложено уточнение формул, при котором учитывается то, что процесс горения монооксида углерода происходит по принципу «избытка-недостатка»:

$$R_5 = \rho_5 \min\left(c_2, \frac{M_2}{2M_1} c_1\right) k_{CO} \exp\left(-\frac{E_{CO}}{RT}\right). \quad (1)$$

где ρ_5 – истинная плотность газовой фазы, c_1, c_2 – массовые концентрации кислорода, горючих газов, M_1, M_2 – молекулярные массы кислорода, горючих газов, k_{CO} – предэкспонента химической реакции, E_{CO} – энергия активации реакции, R – универсальная газовая постоянная, T – температура в Кельвинах.

Во второй главе детализируется математическая модель распространения вершинных верховых лесных пожаров, излагаются методы и алгоритмы ее численной реализации.

Проанализированы наиболее часто применяемые упрощающие предположения о механизмах распространения верховых лесных пожаров. Для дальнейшего изучения принята однотемпературная пятифазная двумерная математическая модель динамики вершинного верхового пожара, полученная из общей математической модели А.М.Гришина методом осреднения уравнений по высоте слоя полога леса.

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \Phi_{\varphi_1}(\varphi_1, T), \quad \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = \Phi_{\varphi_2}(\varphi_2, T), \quad \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \Phi_{\varphi_3}(\varphi_1, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} + (V, \text{grad } c_1) - \frac{1}{\rho_5} \text{div}(\rho_5 D_T \text{grad } c_1) = \Phi_{c_1}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad (3)$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} + (V, \text{grad } c_2) - \frac{1}{\rho_5} \text{div}(\rho_5 D_T \text{grad } c_2) = \Phi_{c_2}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\rho_5 c_{p5} (V, \text{grad } T) - \text{div}(\lambda_T \text{grad } T)}{\rho_5 c_{p5} + \sum_{j=1}^4 \rho_j \varphi_j c_{pj}} = \Phi_T(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T), \quad (5)$$

$$\Phi_{\varphi_1}(\varphi_1, T) = -\frac{R_1}{\rho_1}, \quad \Phi_{\varphi_2}(\varphi_2, T) = -\frac{R_2}{\rho_2}, \quad \Phi_{\varphi_3}(\varphi_1, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{\alpha_c R_1}{\rho_3} - \frac{M_c R_3}{M_1 \rho_3}, \quad (6)$$

$$\Phi_{c_1}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{1}{\rho_5} \left(R_{51} - c_1 Q - \frac{\alpha}{c_{p5} \Delta h} (c_1 - c_{1\infty}) \right), \quad (7)$$

$$\Phi_{c_2}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{1}{\rho_5} \left(R_{52} - c_2 Q - \frac{\alpha}{c_{p5} \Delta h} (c_2 - c_{2\infty}) \right), \quad (8)$$

$$\Phi_T(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, c_1, c_2, T) = \frac{q_5 R_5 - q_2 R_2 + q_3 R_3 - \frac{\alpha}{\Delta h} (T - T_\infty) - 4\kappa_R \sigma T^4}{\rho_5 c_{p5} + \sum_{j=1}^4 \rho_j \varphi_j c_{pj}}, \quad (9)$$

$$\sum_{v=1}^3 c_v = 1, \quad \rho_5 = \frac{\rho_\infty T_\infty}{M_\infty T} \left(\sum_{v=1}^3 \frac{c_v}{M_v} \right)^{-1}, \quad Q = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3. \quad (10)$$

$$R_1 = k_{01} \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right), \quad R_2 = k_{02} T^{-1/2} \rho_2 \varphi_2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right), \quad (11)$$

$$R_3 = k_{03} s_\sigma \varphi_3 \rho_5 c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT}\right), \quad R_{51} = -R_3 - \frac{R_5 M_1}{2M_2}, \quad R_{52} = (1 - \alpha_c) \nu_\Gamma R_1 - R_5, \quad (12)$$

где t – время; V – вектор равновесной скорости ветра; T – осредненная температура полога леса в Кельвинах; T_∞ – невозмущенная температура окружающей среды в Кельвинах; φ_j , $j = 1, 2, 3, 4$ – объемные доли многофазной реагирующей среды, где φ_1 соответствует сухому органическому веществу лесных горючих материалов, φ_2 – связанной с ЛГМ воде в жидко-капельном состоянии, φ_3 – коксикку (конденсированному продукту пиролиза), φ_4 – минеральной части ЛГМ (золе); ρ_j , $j = 1, 2, 3, 4$ – истинные плотности j -й фазы; ρ_5 – плотность газовой фазы (смеси газов); ρ_∞ – невозмущенная плотность смеси газов (плотность воздуха); c_v , $v = 1, 2, 3$ – массовые концентрации компонентов газовой фазы, где c_1 соответствует кислороду, c_2 – горючим газам (горючим компонентам продуктов пиролиза), c_3 – смеси остальных газов (инертных компонентов воздуха, водяно-

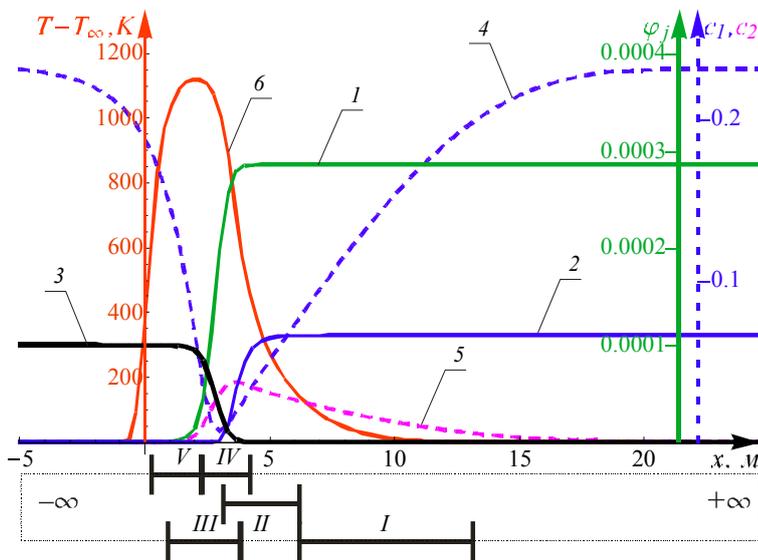
го пара, инертных продуктов реакций пиролиза, горения коксика и окисления горючих газов); $c_{1\infty}$ и $c_{2\infty}$ – массовые концентрации кислорода и горючих газов в невозмущенной атмосфере; M_v , $v = 1, 2, 3$ – молекулярные массы компонентов газовой фазы; M_C – молекулярная масса углерода, M_∞ – молекулярная масса (невозмущенная) воздуха; c_{pj} , $j = 1, 2, 3, 4$ – теплоемкости j -й фазы; c_{p5} – теплоемкость газовой фазы; R_1 – массовая скорость реакции пиролиза (разложения под действием высокой температуры с выделением горючих газов) сухого органического вещества ЛГМ; R_2 – массовая скорость испарения воды из ЛГМ (сушки ЛГМ); R_3 – массовая скорость реакции горения коксового остатка; Q – массовая скорость образования газовой фазы; λ_T – коэффициент турбулентной теплопроводности; D_T – коэффициент диффузии; q_2 , q_3 и q_5 – тепловые эффекты процессов испарения, горения конденсированного горючего и газообразного горючего продукта пиролиза соответственно; Δh – высота крон деревьев ($\Delta h = h_3 - h_2$, где h_3 и h_2 – высоты верхней и нижней границ полога леса соответственно); α – коэффициент теплообмена, между приземным слоем атмосферы и пологом леса; κ_R – интегральный коэффициент поглощения; σ – постоянная Стефана-Больцмана; k_{01} , k_{02} , k_{03} – предэкспоненты химических реакций; E_1 , E_2 , E_3 – энергии активации химических реакций; R – универсальная газовая постоянная; s_σ – удельная поверхность конденсированного продукта пиролиза (коксика); α_C – коксовое число ЛГМ; v_G – доля газообразных горючих продуктов пиролиза ЛГМ.

Уравнения модели (2)–(5) сформулированы и записаны в виде (производная по времени, конвективный член, диффузионный член, правая часть), который упрощает понимание применяемых разностных аппроксимаций, алгоритмов учета нелинейностей.

Принятый в выполняемых расчетах вид начальных распределений и характерные зоны пожара в одномерном случае представлены на рисунке 1.

Для решения сформулированной краевой задачи предложена конечно-разностная схема, изучались явные и неявные аппроксимации членов с производными по пространственным переменным, способы квазилинеаризации коэффициентов уравнений и правых частей. С целью повышения точности решений вблизи фронтов проведены методические исследования по использованию различных способов аппроксимации конвективных и диффузионных членов. Установлено, что наиболее предпочтительной оказывается гибридная (двухточечная / уголковая) схема.

Разработана методика получения корректных двумерных начальных распределений учитываемых в модели параметров путем решения вспомогательной задачи.



1, 2, 3 – объемные доли сухого органического вещества ЛГМ (φ_1), связанной с ЛГМ воды (φ_2), коксика (φ_3);
 4, 5 – концентрации кислорода (c_1), монооксида углерода (c_2); 6 – температура (T)
 I – зона прогрева ЛГМ, II – зона сушки ЛГМ, III – зона пиролиза ЛГМ, IV – зона горения газообразных продуктов пиролиза, V – зона догорания коксика

Рисунок 1 – Начальные распределения и характерные зоны пожара

С учетом априорных сведений о механизмах распространения лесных пожаров и анализа результатов расчетов существенно оптимизированы вычислительные затраты численного алгоритма. Разработан механизм локализации (уточнения на каждом временном шаге) областей с энергиями активации, достаточными для протекания учитываемых в модели физико-химических процессов. Расчеты проводятся не на всей площади, а только в определенных пространственных узлах сетки, что позволяет проводить вычисления с одинаковыми временными затратами, независимо от того, производится ли расчет на некотором фрагменте или на всей карте.

В третьей главе обсуждаются возможности программного комплекса по моделированию верховых лесных пожаров в системе компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, описывается входящая в его состав библиотека модулей для работы с базами данных вычислительных экспериментов и геовизуализации результатов. В этой же главе рассматриваются технологические аспекты созданного в среде Borland Delphi программного комплекса по оперативному моделированию динамики низовых лесных пожаров.

Для некоторых классов задач, в частности проблемы распространения лесных пожаров, на получение каждого результата моделирования затрачивается достаточно продолжительное время даже на компьютерах с высоким быстродействием. Расчеты по таким моделям в масштабе реального времени невозможны, но они востребованы практикой. Предлагаемый подход получения в оперативном режиме прогнозируемых параметров заключается в формировании базы данных результатов математического моделирования и создании удобного инструментария для работы с ней. Тогда проведение повторных расчетов в реальном времени не требуется – результаты извлекаются из уже наполненной базы данных для последующего сопоставления, обработки и предоставления пользователям.

Развивается технология геовизуализации, предложена и реализована универсальная схема организации баз данных для хранения результатов компьютерного моделирования различных задач математической физики. Поддерживается работа как с константами, так и с изменяемыми во времени величинами, которые могут задаваться как одним числом, так и массивом, двух- и трехмерной таблицей. Предложенная схема поддерживается любой современной реляционной системой управления базами данных (СУБД MS Access, MySQL, MS SQL Server, Oracle и др.), ориентирована на работу с геоданными.

Разработаны подключаемые к системе Wolfram Mathematica модули, обеспечивающие удобную работу с базами данных, построенными по предложенной схеме. Модули позволяют автоматизировать проведение серий вычислительных экспериментов с изменением параметров моделирования в заданных диапазонах; прерывать и возобновлять моделирование, начиная с произвольно сохраненного в базе временного слоя; уточнять результаты вычислительных экспериментов между двумя сохраненными временными слоями без необходимости пересчета всей задачи. Модули также использовались для установления фактов сходимости, аппроксимации и устойчивости численных схем. Они обеспечивают автоматизацию расчетов на грубых и мелких сетках, извлечение полученных результатов, их сравнение, визуализацию процессов в динамике одновременно на одном графике.

Проведен анализ и обобщение типичных требований, предъявляемых к функциям программного сервиса графической визуализации математических моделей гидродинамики, аэромеханики, тепломассопереноса.

Разработана библиотека графической поддержки геовизуализации, соответствующие алгоритмы запрограммированы в Wolfram Mathematica функциями, обеспечивающими вывод карт плотностей, изолиний цифровых полей, векторных полей скоростей в т.ч. в многосвязных двух- и трехмерных областях с криволинейными границами. Поддерживается вывод фронтов и границ, легенд, а также анимация процессов, карт, графиков в динамике. Обеспечиваются возможности использования любых стандартных опций, свойств, настроек получаемых графических объектов, например, масштабирование, окраска, вывод координатных осей, линий сетки, надписей, заголовков (рисунок 2).

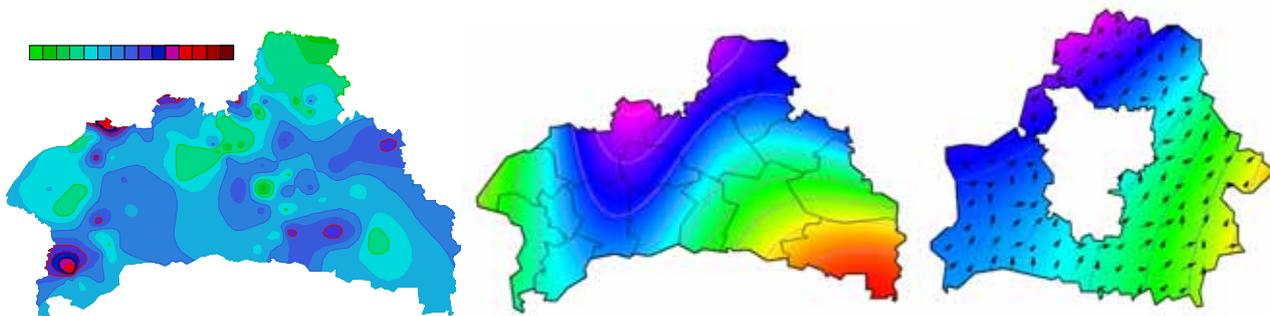


Рисунок 2 – Демонстрация некоторых возможностей системы геовизуализации

Разработаны два программных комплекса. Первый для моделирования верховых пожаров по теоретической модели в Wolfram Mathematica с сервисом гео визуализации (рисунок 3). Второй (ПК «Расчет и визуализация динамики лесного пожара») разработан в среде Borland Delphi по полуэмпирической методике, позволяющий оперативно рассчитывать и визуализировать прогнозное положение контуров низовых лесных пожаров на электронных картах (рисунок 4).

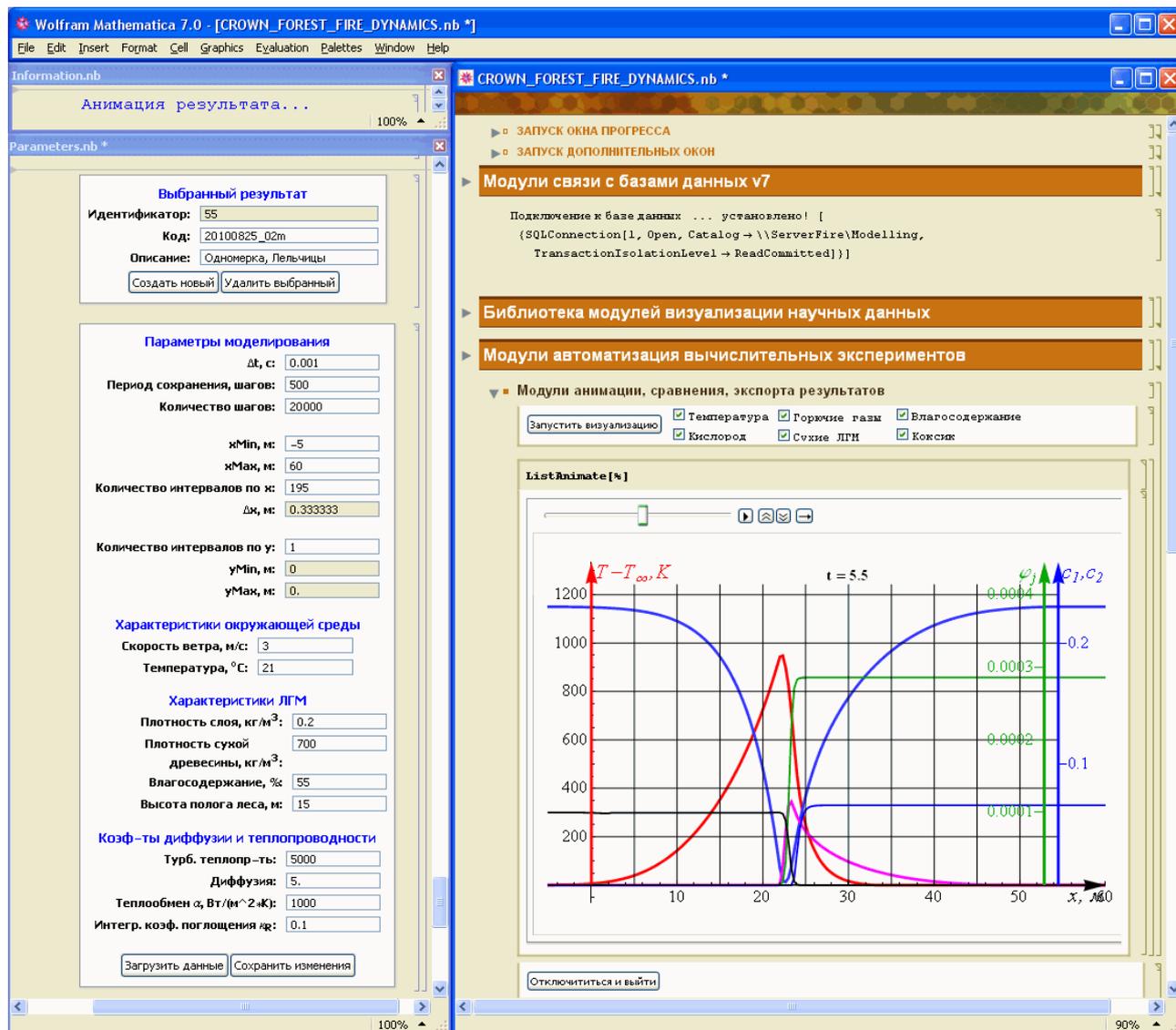


Рисунок 3 – Скриншот ПК моделирования динамики верховых лесных пожаров в *Wolfram Mathematica*

В комплект второго ПК включена рассчитанная в Wolfram Mathematica база данных характеристик и подготовленных типовых сценариев распространения лесных пожаров, в которую заложен широкий спектр параметров горючих материалов и климатических условий.

ПК имеет удобный интерфейс. Доступно задание и редактирование пользователем границ очагов пожаров, конфигураций областей, площадных объектов, дорог, водных преград и т.п. Работа оператора сводится к «обрисовке»

мышкой контуров на электронной карте. Откалиброваны и включены в комплект ПК около трехсот карт Республики Беларусь масштабов 1:100000 и 1:200000.

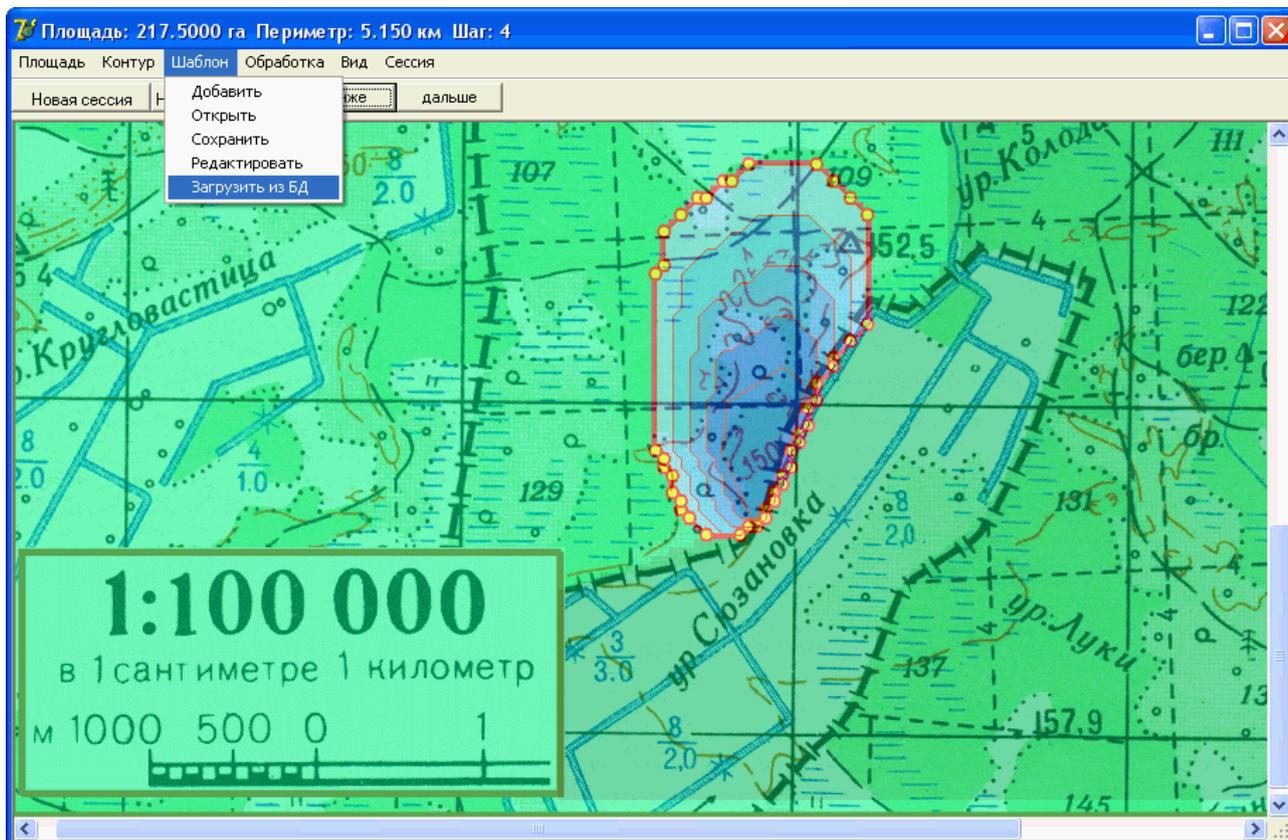


Рисунок 4 – Скриншот окна моделирования пожара в ПК «Расчет и визуализация динамики лесного пожара»

В ПК «Расчет и визуализация динамики лесного пожара» автоматически рассчитываются периметр и площадь пожара в каждый момент времени. Визуализация формы контура пожара производится на электронной карте имитацией слоев с регулируемым коэффициентом прозрачности, полученные изображения можно экспортировать в стандартные растровые и векторные форматы для последующего импорта в геоинформационные системы и средства отображения оперативной обстановки.

В четвертой главе приведены результаты тестирования и использования математической модели, вычислительных алгоритмов, модулей проведения вычислительных экспериментов и геовизуализации результатов, программных комплексов прогноза распространения лесных пожаров, а также информация о практическом использовании результатов диссертационной работы.

Тестирование разработанных модулей включало воспроизведение приведенных в литературе результатов. Рассчитанные профили, а также скорость распространения фронта пожара количественно и качественно согласуются с результатами, полученными по «самосогласованной модели» А.М.Гришиным.

Анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов по компьютерной реализации разработанной модели явно указывает на существование двух различных режимов протекания (сценариев развития) вершинного лесного пожара: затухание и устойчивое распространение.

Предлагается методика и инструментарий расчета в гиперплоскости (плотность ЛГМ, влагосодержание ЛГМ, равновесная скорость ветра) раздела областей режимов протекания лесного пожара (рисунок 5).

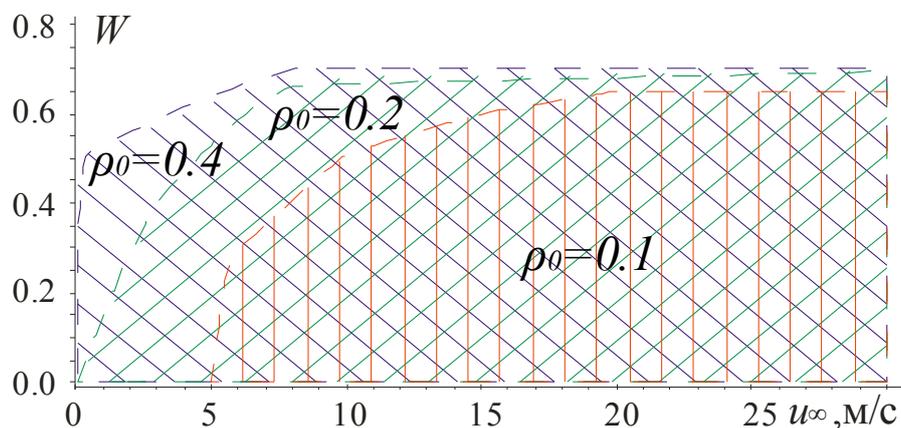


Рисунок 5 – Области устойчивого распространения пожара при нескольких плотностях типичного слоя ЛГМ. Результаты получены при ρ_0 : 0.1 кг/м^3 – штриховка вертикальными линиями, 0.2 кг/м^3 – с наклоном $+45^\circ$, 0.4 кг/м^3 – с наклоном -45°

Данные результаты имеют практическое применение – они показывают искусственным изменением каких параметров можно быстрее (экономнее) перейти из точки, соответствующей текущим условиям, в область, когда прогнозируется затухание пожара. Изменение плотности ЛГМ достигается вырубкой,

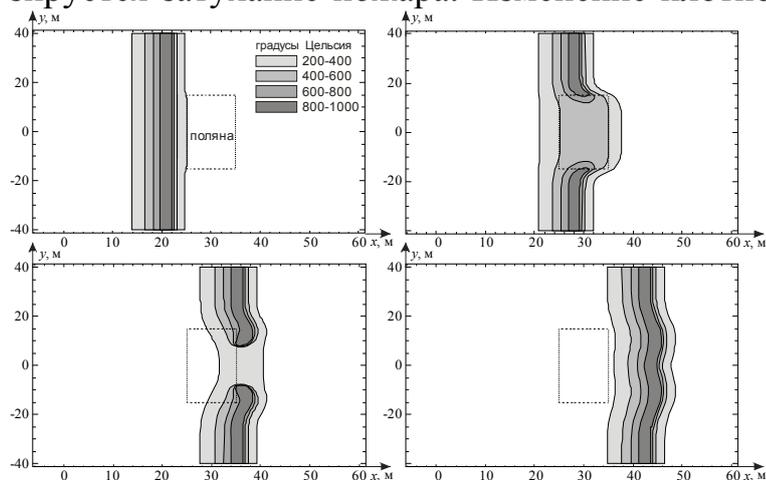


Рисунок 6 – Огибание лесопожарного разрыва фронтом пожара в случае влагосодержания 55%. Показаны изолинии распределения температуры в моменты времени 5; 7; 9 и 11 с

выпашкой, прореживанием, созданием лесопожарных разрывов; увеличение влагосодержания – тушением водой, высадкой деревьев малогоримых (лиственных) пород; уменьшение скорости ветра – ударными волнами взрывов, разбрызгиванием химических материалов, отвердевающих на воздухе и создающих плохо продуваемый заслон.

Проведено моделирование эффективности лесопожарных разрывов и заслонов с

использованием разработанной адаптированной математической модели распространения вершинных пожаров в одномерной и двумерной постановках. Получены оценки достаточной для остановки фронта пожара ширины полосы и объема воды.

В двумерном случае получены ответы на вопросы: при каких условиях два горящих участка леса смыкаются в единый фронт (рисунок 6); при каких условиях фронт, после «огибания» поляны, не может заново сомкнуться и далее по направлению ветра распространяются уже два независимых «языка» пожара; когда наличие поляны на пути пожара приводит к тому, что после ее прохождения два полученных фронта затухают по краям, постепенно укорачиваются и в итоге весь фронт пожара затухает.

Путем проведения вычислительных экспериментов подтвержден эффект ускорения распространения пожара при его горении вдоль дороги, просеки.

В ПК «Расчет и динамика лесного пожара» смоделированы несколько произошедших на территории Республики Беларусь в 2009 году лесных пожаров. Полученные результаты качественно согласуются со сведениями, указанными в официальных отчетах представителей МЧС РБ и Минлесхоза, участвовавших в их тушении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Адаптирована математическая модель распространения вершинных верховых лесных пожаров с учетом физико-химических процессов (прогрев, сушка, пиролиз лесных горючих материалов; горение газообразных и конденсированных продуктов пиролиза; конвекция, диффузия, радиационный перенос энергии), позволяющая воспроизводить динамику параметров лесного пожара в пологе леса на основе двумерных приближений. Впервые предложена формула для массовой скорости горения газообразных продуктов пиролиза лесных горючих материалов, учитывающая принцип «избытка-недостатка» окислителя во фронте пожара [2, 3].

2. Разработан вычислительный алгоритм решения системы уравнений адаптированной математической модели распространения вершинных лесных пожаров. Предложен способ получения многоочаговых начальных распределений с взаимосогласованными распределениями входящих в модель переменных: объемные доли сухих лесных горючих материалов, связанной с ними воды, древесного угля, золы, концентрации кислорода и горючих продуктов пиролиза, температуры [2, 3, 4].

3. Создан программный комплекс по моделированию вершинных верховых лесных пожаров. Предложена универсальная схема базы данных для хра-

нения результатов численного моделирования. Запрограммирована библиотека модулей системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica для автоматизации вычислительных экспериментов, сохранения в базе данных, а также геоинформационной визуализации результатов [1, 5, 9].

4. На основании анализа результатов вычислительных экспериментов сформулированы два возможных сценария распространения лесных пожаров: режим устойчивого горения и режим затухания. Разработан способ построения раздела областей этих режимов в гиперплоскости (плотность слоя ЛГМ, равновесная скорость ветра в пологе леса, влагосодержание ЛГМ). Данные результаты имеют практическое значение при управлении тушением лесных пожаров, позволяют оценивать эффективность лесопожарных разрывов, заслонов, противопожарных мероприятий [2, 3, 4].

5. Создан в среде Borland Delphi программный комплекс «Расчет и визуализация динамики лесного пожара», обеспечивающий моделирование в реальном времени распространения лесных пожаров с учетом неоднородности распределения типов растительности, различных преград и т.п. В ПК рассчитывается форма контура, периметр и площадь пожара в различные моменты времени. Реализована возможность визуализации результатов на электронных картах и экспорт в геоинформационные системы [1, 5].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные математическая и инженерная полуэмпирическая модели, программные комплексы и модули могут применяться для решения ряда прикладных задач: прогноз динамики развития и последствий лесного пожара, оценка пожарной опасности лесного участка, расчет площадей и периметров выгоревшего леса, научное обоснование противопожарных мероприятий, помощь в принятии решения по применению сил и средств тушения, рекомендации по месту, направлению и характеристикам создаваемых лесопожарных разрывов и заслонов, сбора и хранения статистической информации о лесных пожарах, визуализация чрезвычайных ситуаций в различных геоинформационных системах (ГИС).

Ввиду универсальности разработанных систем графической визуализации и модулей работы с базами знаний их практическое применение возможно при решении целого ряда прикладных задач во многих областях научной, финансовой и производственной деятельности. Данные модули уже нашли применение в учебном процессе, в области информационных технологий, а также в промышленности, что подтверждается 4 актами о практическом использовании результатов исследований.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Баровик, Д.В. Библиотека модулей визуализации научных данных в системе Mathematica / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Информатизация образования. – 2007. – N 2. – С. 24–31.
2. Баровик, Д.В. Об особенностях адаптации математических моделей вершинных верховых лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Вестник БГУ. Серия 1, Физика, Математика, Информатика. – 2010. – N 1. – С. 138–143.
3. Barovik, D.V. Mathematical modelling of running crown forest fires / D.V.Barovik, V.B.Taranchuk // Mathematical Modelling and Analysis. – 2010. – Vol. 15, N 2. – P. 161–174.
4. Баровик, Д.В. Численная реализация математической модели верховых лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Весці БДПУ. Серия 3, Физика, Математика, Информатика. – 2010. – N 2. – С. 40–44.
5. Баровик, Д.В. Базы данных результатов численного моделирования (на примере задачи распространения лесных пожаров) / Д.В.Баровик // Вестник БГУ. Серия 1, Физика, Математика, Информатика. – 2010. – N 2. – С. 170–174.

Материалы конференций

6. Баровик, Д.В. Программирование функций визуализации геоданных в системе Mathematica / Д.В.Баровик // Сборник работ 64-й научной конференции студентов и аспирантов Белгосуниверситета, Минск, 15–18 мая 2007 г.: в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т.; отв. за выпуск А.Г.Захаров. – Минск, 2007. – Ч. 1. – С. 93–96.
7. Баровик, Д.В. Графический сервис математических моделей экологических рисков / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски: материалы Междунар. семинара, Пинск, 19–21 июня 2007 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: И.И.Лиштван [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2007. – С. 93–96.
8. Баровик, Д.В. О компьютерном моделировании пожаров в клиент-серверной архитектуре расчетов, обработки и визуализации результатов (Часть 1, 2) / Д.В.Баровик, В.И.Корзюк, В.Б.Таранчук // Сетевые компьютерные технологии: сб. тр. III Междунар. науч. конф., Минск, 17–19 окт. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т.; редкол.: М.К.Буза (отв. ред.), А.Н.Курбацкий [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – С. 170–176; 176–181.
9. Barovik, D.V. Technological aspects of creation and maintenance in system Mathematica of the knowledge base of forest fire models / D.V.Barovik, V.B.Taranchuk // Computer Algebra Systems in Teaching and Research: The Fifth

International Workshop CASTR, Siedlce, Poland, 2009 / University of Podlasie. – Siedlce, 2009. – Vol. Mathematical Physics and Modeling in Economics, Finance and Education. – P. 7–16.

10. Баровик, Д.В. О некоторых результатах численного моделирования верховых лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Современные информационные компьютерные технологии mcIT-2010: материалы II Международной научно-практической конференции [Электронный ресурс] / УО "Гр. ун-т им. Я.Купалы". - Гродно, 2010. – 1 электр. компакт диск (CD-R). – 995 с. – Рус. – Деп. в ГУ "БелИСА" 24.05.2010 г., # Д201019.

11. Баровик, Д.В. О формировании базы данных результатов компьютерного моделирования распространения лесных пожаров / Д.В.Баровик // Современные информационные компьютерные технологии mcIT-2010: материалы II Международной научно-практической конференции [Электронный ресурс] / УО "Гр. ун-т им. Я.Купалы". – Гродно, 2010. – 1 электр. компакт диск (CD-R). – 995 с. – Рус. – Деп. в ГУ "БелИСА" 24.05.2010 г., # Д201019.

12. Barovik, D.V. Computer model of running crown forest fire / D.V.Barovik, V.B.Taranchuk // Computer Data Analysis and Modeling: Complex Stochastic Data and Systems: Proc. Of the Ninth Intern. Conf., Minsk, Sept. 7-11. In 2 vol. – Minsk: Publ. Center of BSU, 2010. – Vol 2. – P. 92–95.

Тезисы докладов

13. Баровик, Д.В. О компьютерном моделировании пожаров, обработке и визуализации результатов / Д.В.Баровик, В.И.Корзюк, В.Б.Таранчук // Математическое моделирование и дифференциальные уравнения: тез. докладов Первой международной конференции, Минск, 2–5 окт. 2007 г. / Нац. акад. наук Беларуси; редкол.: В.И.Корзюк [и др.]. – Минск: Институт математики НАН Беларуси, 2007. – С. 9–11.

14. Баровик, Д.В. О применении компьютерного моделирования при мониторинге лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.И.Корзюк, В.Б.Таранчук // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. тезисов докладов междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 2–3 окт. 2008 г. / Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь; редкол.: Э.Р.Бариев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 364–365.

15. Баровик, Д.В. Технологические аспекты создания и сопровождения базы знаний моделей лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. тезисов докладов междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 2–3 окт. 2008 г. / Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь; редкол.: Э.Р.Бариев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 366–367.

16. Баровик, Д.В. Адаптация графических функций системы Mathematica для геовизуализации чрезвычайных ситуаций / Д.В.Баровик // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. тезисов докладов междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 2–3 окт. 2008 г. / Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь; редкол.: Э.Р.Бариев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 368–369.
17. Баровик, Д.В. Методики геовизуализации данных в системе Mathematica / Д.В.Баровик // X Белорусская математическая конференция: тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 3–7 ноября 2008 г. / Институт математики НАН Беларуси. – Минск, 2008. – Ч. 4. – С. 34–35.
18. Баровик, Д.В. О компьютерном моделировании лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.И.Корзюк, В.Б.Таранчук // X Белорусская математическая конференция: тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 3–7 ноября 2008 г. / Институт математики НАН Беларуси. – Минск, 2008. – Ч. 4. – С. 35–36.
19. Баровик, Д.В. Технологические аспекты создания и сопровождения в системе Mathematica базы знаний моделей лесных пожаров / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // X Белорусская математическая конференция: тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 3–7 ноября 2008 г. / Институт математики НАН Беларуси. – Минск, 2008. – Ч. 4. – С. 36–37.
20. Баровик, Д.В. О некоторых результатах моделирования вершинных верховых лесных пожаров. / Д.В.Баровик, В.Б.Таранчук // Математическое моделирование и дифференциальные уравнения: тез. докладов второй международной научной конференции, Минск, 24–28 авг. 2009г.: в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси; редкол.: В.И.Корзюк [и др.]. – Минск: институт математики НАН Беларуси, 2009. – Ч. 1. – С. 22–24.
21. Баровик, Д.В. Об инструментарию создания баз знаний результатов математического моделирования / Д.В.Баровик // Математическое моделирование и дифференциальные уравнения: тез. докладов второй международной научной конференции, Минск, 24–28 авг. 2009г.: в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси; редкол.: В.И.Корзюк [и др.]. – Минск: институт математики НАН Беларуси, 2009. – Ч. 2. – С. 200–202.

РЭЗІЮМЭ

Баравік Дзмітрый Валянцінавіч
Метады і алгарытмы геавізуалізацыі
пры камп'ютарным мадэліраванні лясных пажараў

Ключавыя словы: матэматычная мадэль, лясны пажар, геавізуалізацыя, база дадзеных, колькасная схема, праграмны комплекс, сістэма камп'ютарнай алгебры.

Мэта работы: развіццё фізіка-матэматычнай мадэлі распаўсюджванна вяршынных верхавых лясных пажараў, распрацоўка метадаў яе колькаснага рашэння, праграмная рэалізацыя, даследаванне метадамі вылічальных эксперыментаў эфектыўнасці некаторых мер па папярэджванні і ліквідацыі лясных пажараў; развіццё паўэмпірычнай metodyкі Ротэрмела, стварэнне праграмнага комплексу для аператыўнага мадэліравання нізавых лясных пажараў на электронных картах мясцовасці.

Метады даследавання: метады колькаснага рашэння сістэм дыферэнцыяльных ураўненняў у частковых вытворных, матэматычнае мадэліраванне, аб'ектна-арыентаванае праграмаванне.

Атрыманая вынікі і іх навізна. Адаптавана матэматычная мадэль распаўсюджвання вяршынных верхавых лясных пажараў. Упершыню прапанавана формула для масавай хуткасці гарэння газападобных прадуктаў піролізу лясных гаручых матэрыялаў, якая ўлічвае прынцып «лішку-недахопу» акісляльніка у фронце пажару.

Распрацаваны вылічальны алгарытм рашэння сістэмы ўраўненняў адаптаванай матэматычнай мадэлі. Прапанаваны спосаб атрымання пачатковых размеркаванняў з ўзаемаўзгодненымі франтамі ўваходзячых у мадэль пераменных.

Запраграмавана бібліятэка модуляў для аўтаматызацыі вылічальных эксперыментаў, захавання ў базе дадзеных і геавізуалізацыі вынікаў. Створаны праграмны комплекс па мадэліраванні вяршынных верхавых лясных пажараў у Wolfram Mathematica. Грунтуючыся на выніках вылічальных эксперыментаў, праведзена ацэнка эфектыўнасці лесапажарных разрываў, заслонаў.

У асяроддзі Borland Delphi створаны праграмны комплекс, які забяспечвае мадэліраванне распаўсюджвання нізавых лясных пажараў у рэжыме рэальнага часу. Рэалізавана магчымасць візуалізацыі вынікаў на электронных картах і экспарт у геаінфармацыйныя сістэмы.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс у Беларускай дзяржаўнай універсітэце, у працэс распрацоўкі праграмнага забеспячэння ў Нацыянальным банку Рэспублікі Беларусь, а таксама ў прамысловасці пры праектаванні і наладцы высокатэхналагічнага абсталявання.

РЕЗЮМЕ

Баровик Дмитрий Валентинович

Методы и алгоритмы геовизуализации
при компьютерном моделировании лесных пожаров

Ключевые слова: математическая модель, лесной пожар, геовизуализация, база данных, численная схема, программный комплекс, система компьютерной алгебры.

Цель работы: развитие физико-математической модели распространения верховых лесных пожаров, разработка методов ее численного решения, программная реализация, исследование методами вычислительных экспериментов эффективности некоторых мер по предупреждению и ликвидации лесных пожаров; развитие полуэмпирической методики Ротермела, создание программного комплекса для оперативного моделирования низовых лесных пожаров на электронных картах местности.

Методы исследования: методы численного решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, математическое моделирование, объектно-ориентированное программирование.

Полученные результаты и их новизна. Адаптирована математическая модель распространения вершинных верховых лесных пожаров. Впервые предложена формула для массовой скорости горения газообразных продуктов пиролиза лесных горючих материалов, учитывающая принцип «избытка-недостатка» окислителя во фронте пожара.

Разработан вычислительный алгоритм решения системы уравнений адаптированной математической модели. Предложен способ получения начальных распределений с взаимосогласованными фронтами входящих в модель переменных.

Запрограммирована библиотека модулей для автоматизации вычислительных экспериментов, сохранения в базе данных и геовизуализации результатов. Создан программный комплекс по моделированию вершинных верховых лесных пожаров в Wolfram Mathematica. Основываясь на результатах вычислительных экспериментов, проведена оценка эффективности лесопожарных разрывов, заслонов.

В среде Borland Delphi создан программный комплекс, обеспечивающий моделирование распространения низовых лесных пожаров в режиме реального времени. Реализована возможность визуализации результатов на электронных картах и экспорт в геоинформационные системы.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс в Белорусском государственном университете, в процесс разработки программного обеспечения в Национальном банке Республики Беларусь, а также в промышленности при проектировании и наладке высокотехнологичного оборудования.

SUMMARY

Dmitry V. Barovik

Methods and algorithms of geovisualization
at forest fires computer modelling

Key words: mathematical model, forest fire, geovisualization, databases, numerical scheme, software, computer algebra system.

Aim of the work: adaptation of scientific-based mathematical models of running crown forest fires, development of methods for its numerical solution, software implementation, research of effectiveness of some measures for forest fires preventing and extinguishing by means of numerical experiments, using Rothermel's semiempirical model to program software application for real-time simulation of ground forest fires on the electronic map.

Methods of the research: Methods of numerical solution of partial differential equations, mathematical modelling, object-oriented programming.

Obtained results and their novelty. Adapted mathematical model for simulation of running crown forest fires is proposed. A formula for burning rate of gaseous pyrolysis products of forest combustible materials is proposed, which take into account the "excess/deficiency" principle of oxygen concentration in fire front.

A numerical algorithm for mathematical model equations solving is developed. A method for obtaining of "self-coordinated" initial distributions of variables is proposed.

The library of modules for computational experiments automation, storing in a database and geovisualization of their results are programmed. A software complex for running crown forest fires modelling in Wolfram Mathematica system is developed. Based on the results of computational experiments the effectiveness of forest firebreaks and barriers is estimated.

In Borland Delphi a software complex for ground forest fires real-time simulation is programmed. It supports the results visualization on the electronic maps and export to geographical information systems.

The level of application: results are applied in educational process at Belarusian State University, in the process of software development at the National Bank of Belarus, as well as in industry for designing and setting up high-tech equipment.