

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ  
К ПРОГРАММНОМУ ПРОДУКТУ ORIGIN PRO  
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА  
И ПРОГНОЗА ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ,  
ОБУСЛОВЛЕННОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ\*

**Ключевые слова:** геоинформационная система, прогноз, лесная пожарная опасность, грозовая активность, Origin Pro.

**Введение**

В настоящее время для пространственного анализа данных по лесной пожарной опасности используется спектр программных продуктов — геоинформационных систем [1]: ArcGIS, QGIS, Grass, GeoDMA, eCognition. Однако авторы [1] предлагают в качестве ГИС-системы использовать библиотеку языка R [2]. В настоящей работе для геоинформационного анализа данных предлагается использовать в качестве хост-системы программный пакет Origin Pro компании Origin Lab. Это обусловлено рядом причин, в том числе стоимостью разработки и самого программного обеспечения, используемого в качестве хост-системы. Кроме того, стоимость конечного рабочего места оператора или инженера по защите леса выгоднее при использовании пакета Origin Pro. Более того, пакет предлагает расширенные возможности для всестороннего анализа данных. В настоящей работе для оценки уровня лесной пожарной опасности используются детерминированные математические модели зажигания деревьев и лесных горючих материалов в условиях грозовой активности [3]. Численная реализация данных моделей выполнена с использованием метода конечных разностей [4]. Использование встроенного, например, в ArcGIS языка программирования ArcPy [5] накладывает некоторые ограничения, так как это не компилятор, а интерпретатор. Поэтому цель исследования формулируется следующим образом.

Цель настоящей работы — демонстрация возможностей собственного программного кода, взаимодействующего с пакетом Origin Pro, для геоинформационного анализа лесных пожаров, возникающих по причине грозовой активности.

Метеорологические условия 2012 года, сложившиеся в Томской области [6], привели к тому, что смог от лесных пожаров на севере области стоял в городе в течение месяца. Причиной крупномасштабных и продолжительных пожаров стали неблагоприятные метеорологические условия (длительный период без выпадения осадков) и наземные грозовые разряды [7], которые привели к возникновению очагов лесных пожаров. Удаленность этих территорий от областного центра обусловила их позднее обнаружение, когда очаги возгорания приняли уже крупные масштабы. Известно, что после удара наземного грозового разряда очаг даже при выпадении осадков может длительное время находиться в стадии беспламенного тления [8]. В таких условиях данных системы грозопеленгации недостаточно для отслеживания возможных очагов лесных пожаров [9].

---

\* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Томской области. Научный проект № 16-41-700831.  
© Н.В. БАРАНОВСКИЙ, 2019

Существуют различные системы грозопеленгации. Например, для прилегающих к территории Томска лесных массивах в радиусе 480 км могут использоваться системы грозопеленгации Voltek [10]. Достаточно подробное исследование возможностей этих приборов рассматривается в работах коллектива под руководством В.П. Горбатенко [11–13]. В настоящей работе предлагается ориентироваться на глобальную сеть пеленгации грозовых разрядов World Wide Lightning Location Network [14, 15]. Эта система предоставляет данные в масштабах всей планеты, в том числе по всей территории Томской области [16].

Анализ крупных лесных пожаров 2012 года в Томской области показывает, что зачастую локализация и подавление лесного пожара невозможны в течение длительного времени. Распространение лесного пожара по лесному массиву прекращается в случае выпадения значительного количества жидких осадков или в результате подхода фронта лесного пожара к естественной преграде (река, дорога и т.п.). Это позволяет сделать вывод, что основой для успешной борьбы с лесными пожарами является их прогнозирование, мониторинг и оценка [6].

Под прогнозированием лесных пожаров понимается расчет параметров лесной пожарной опасности с некоторой заблаговременностью прогноза, чтобы иметь достаточное количество времени для упреждения чрезвычайной ситуации [17]. Расчет в данном случае ведется в режиме, опережающем реальное время развития катастрофы, — возникновения лесного пожара. Под мониторингом понимается периодический расчет параметров лесной пожарной опасности с частью информации, доступной в режиме реального времени. Этот вид моделирования условий лесной пожарной опасности необходим для оценки периодических изменений в условиях возникновения лесных пожаров в целях выявления изменений, которые могут привести к возникновению лесного пожара. И оценка лесной пожарной опасности является расчетом условий возникновения лесных пожаров с учетом текущей пожароопасной ситуации. Эта оценка необходима для принятия корректирующих мер при охране лесов от пожаров.

Технологии прогнозирования, мониторинга и оценки лесной пожарной опасности можно разделить на эмпирические, статистические, имитационные, детерминированные, вероятностные и детерминированно-вероятностные подходы [6, 17, 18].

#### **Физико-математическая модель зажигания дерева**

Основные допущения и предположения: 1) разряд класса облако–земля действует на отдельно стоящее дерево; 2) в различных горизонтальных сечениях ствола параметры электрического тока одинаковы, и он протекает в подкорковой зоне хвойного дерева; 3) в структуре коры присутствует неоднородность — «трещина». Трещина считается «идеальной», т.е. проходит по всей вертикали ствола. Это и есть приближение «идеальной» трещины, которое позволяет использовать 2D-постановку задачи; 4) разогрев древесины происходит за счет выделения Джоулева тепла [19]; 5) подкорковая зона — проводник электрического тока типа резистор, для которого справедлив закон Ома; 6) при термическом разложении материала выделяются газообразные горючие продукты, основным горючим компонентом которых является монооксид углерода [20, 21]; 7) состав газовой фазы: кислород, монооксид углерода, инертные компоненты; 8) пренебрегается влияние влажности древесины на процесс зажигания. Горючие компоненты поступают в область газовой фазы и смешиваются с воздухом, содержащим кислород. При определенных концентрациях и температуре происходит воспламенение хвойного дерева в газовой фазе. Условием возгорания является преобладание теплоприхода от химической реакции над теплоприходом из подкорковой зоны. Задача решается для цилиндра, который моделирует ствол дерева, в коре которого имеется «идеальная» трещина.

Математически процесс газофазного зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом в рамках предложенной физической модели описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности и диффузии (1)–(14) с соответствующими начальными (32)–(34) и граничными (15)–(31) условиями [3]:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_1}{r^2} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \varphi^2} - Q_p k_p \rho_1 \varphi_7 \exp \left( -\frac{E_1}{RT_1} \right), \quad (1)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_2}{r^2} \frac{\partial^2 T_2}{\partial \varphi^2} + JU - Q_p k_p \rho_2 \varphi_7 \exp \left( -\frac{E_1}{RT_2} \right), \quad (2)$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_3}{r^2} \frac{\partial^2 T_3}{\partial \varphi^2} - Q_p k_p \rho_3 \varphi_7 \exp \left( -\frac{E_1}{RT_3} \right), \quad (3)$$

$$\rho_g c_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\lambda_g}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_g}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_g}{r^2} \frac{\partial^2 T_g}{\partial \varphi^2} + Q_5 (1 - v_5) R_5, \quad (4)$$

$$\frac{\partial C_4}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C_4}{\partial r} \right) + \frac{D}{r^2} \frac{\partial^2 C_4}{\partial \varphi^2} - R_5 \frac{M_4}{2M_5}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial C_5}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C_5}{\partial r} \right) + \frac{D}{r^2} \frac{\partial^2 C_5}{\partial \varphi^2} - R_5, \quad (6)$$

$$\sum_{i=4}^6 C_i = 1, \quad (7)$$

$$\sum_{i=7}^8 \varphi_i = 1, \quad (8)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_7}{\partial t} = -k_p \rho_1 \varphi_7 \exp \left( -\frac{E_1}{RT_1} \right), \quad (9)$$

$$\rho_2 \frac{\partial \varphi_7}{\partial t} = -k_p \rho_2 \varphi_7 \exp \left( -\frac{E_1}{RT_2} \right), \quad (10)$$

$$\rho_3 \frac{\partial \varphi_7}{\partial t} = -k_p \rho_3 \varphi_7 \exp \left( -\frac{E_1}{RT_3} \right), \quad (11)$$

$$R_5 = k_5 M_5 T^{-2,25} \exp \left( -\frac{E_5}{RT_3} \right) \cdot \begin{cases} x_4^{0,5} x_5, & x_4 > 0,05, \\ x_4 x_5, & x_4 \leq 0,05, \end{cases} \quad (12)$$

$$x_i = \frac{C_i}{\sum_{k=4}^6 \frac{C_k}{M_k} M_i}, \quad (13)$$

$$P = \frac{\rho RT}{M}, \quad \frac{1}{M} = \frac{C_4}{M_4} + \frac{C_5}{M_5} + \frac{C_6}{M_6}. \quad (14)$$

Приведем граничные условия для системы уравнений (1)–(14):

$$r=0, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0, \quad (15)$$

$$r=R_2, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, \quad T_1 = T_2, \quad (16)$$

$$r=R_1, \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}, \quad T_2 = T_3, \quad (17)$$

$$\Gamma r, \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r}, \quad T_3 = T_g, \quad (18)$$

$$r=RS, \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r}, \quad T_3 = T_g, \quad (19)$$

$$r=Re, \quad \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r} = \alpha(T_e - T_g), \quad (20)$$

$$\varphi=0, \quad \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0, \quad i=1, 2, 3, g, \quad (21)$$

$$\varphi = \pi, \quad \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0, \quad i=1, 2, 3, g, \quad (22)$$

$$\Gamma \varphi, \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial \varphi} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial \varphi}, \quad T_3 = T_g, \quad (23)$$

$$\Gamma r, \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial r} = 0, \quad (24)$$

$$\rho D \frac{\partial C_5}{\partial r} = Y_5, \quad (25)$$

$$r=RS, \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial r} = 0, \quad (26)$$

$$\rho D \frac{\partial C_5}{\partial r} = Y_5, \quad (27)$$

$$r=Re, \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial r} = 0, \quad (28)$$

$$\rho D \frac{\partial C_5}{\partial r} = 0, \quad (29)$$

$$\Gamma \varphi, \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial \varphi} = 0, \quad (30)$$

$$\rho D \frac{\partial C_5}{\partial \varphi} = 0. \quad (31)$$

Запишем начальные условия для системы уравнений (1)–(14):

$$t=0, \quad T_i(r) = T_{i0}(r), \quad i=1, 2, 3, g, \quad (32)$$

$$t=0, \quad C_i(r) = C_{i0}(r), \quad i=4, 5, 6, \quad (33)$$

$$t=0, \varphi_i(r) = \varphi_{i0}(r), i=7, 8, \quad (34)$$

где  $T_i, \rho_i, c_i, \lambda_i$  — температура, плотность, теплоемкость и теплопроводность соответственно сердцевины ( $i=1$ ), подкорковой зоны ( $i=2$ ), коры ( $i=3$ ), газовой фазы в трещине коры ( $i=g$ ) ствола;  $C_i, M_i$  — концентрация и молярная масса кислорода ( $i=4$ ), монооксида углерода ( $i=5$ ), инертных компонент (азот и диоксид углерода) ( $i=6$ );  $\varphi_i$  — объемная доля органического вещества ( $i=7$ ) и газовой фазы ( $i=8$ );  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $J$  — сила тока;  $U$  — напряжение;  $Y_5$  — поток массы;  $D$  — коэффициент диффузии;  $P$  — давление;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $Q_p$  — тепловой эффект пиролиза;  $k_p$  — предэкспоненциальный множитель реакции пиролиза;  $E_1$  — энергия активации реакции пиролиза;  $Q_5$  — тепловой эффект реакции окисления монооксида углерода;  $k_5$  — предэкспоненциальный множитель реакции окисления монооксида углерода;  $E_5$  — энергия активации реакции окисления монооксида углерода;  $v_5$  — доля теплоты, поглощенная слоем древесины;  $x_4, x_5$  — вспомогательные переменные;  $r, \varphi$  — полярные координаты,  $t$  — время. Индексы «e» и «0» соответствуют параметрам внешней среды и параметрам в начальный момент времени.

### ГИС-система

В настоящей работе рассматривается специализированная ГИС-система, созданная на основе собственного программного кода и пакета Origin Pro для визуализации прогнозной информации. Модуль расчета процесса зажигания дерева наземным грозовым разрядом и оценки вероятности возникновения лесного пожара написан на языке высокого уровня Паскаль в среде разработки RAD Studio [22–24]. Рассматриваемый модуль — консольное приложение с возможностью работы в диалоговом режиме.

Пакет Origin Pro выбран в качестве среды визуализации и анализа данных по ряду причин. Например, его использование обеспечивает следующие преимущества: а) применение программных продуктов Origin Pro обеспечивает невысокую стоимость конечного продукта разработки — ГИС-системы; б) продвинутые возможности для анализа и обработки данных в такой ГИС-системе. Кроме того, использование пакета Origin Pro оправдано тем, что карты лесничеств не имеют географической привязки и построены в системе «лесничество–квартал» [25, 26]. ГИС конкретной территории представляет собой проект в пакете Origin Pro, а также набор файлов исходной информации. Кроме того, пакет Origin Pro совместим с программой Microsoft Excel, что обеспечивает возможности для подготовки отчетов. Исходная информация по лесотаксационным характеристикам и параметрам грозовой активности хранится в файлах, содержащих матрицы  $N \times N$ . В этих файлах описывается прямоугольная область, в которую вписана территория Тимирязевского участкового лесничества.

Информация по грозовой активности предоставлена системой World Wide Lightning Network, которая аккумулирует данные по грозовым разрядам по территории всей планеты. Таким образом, зная лесотаксационные описания и имея данные WWLLN, в перспективе можно разработать ГИС-систему любого лесничества как нашего государства, так и лесопокрываемых территорий других государств.

### Функции прогнозирования лесной пожарной опасности

Информация по лесорастительным условиям получена на основе анализа книг лесотаксационных описаний Тимирязевского лесничества Томской области. На рис. 1 представлено распределение данных по преобладающей породе хвойных деревьев (сосне).

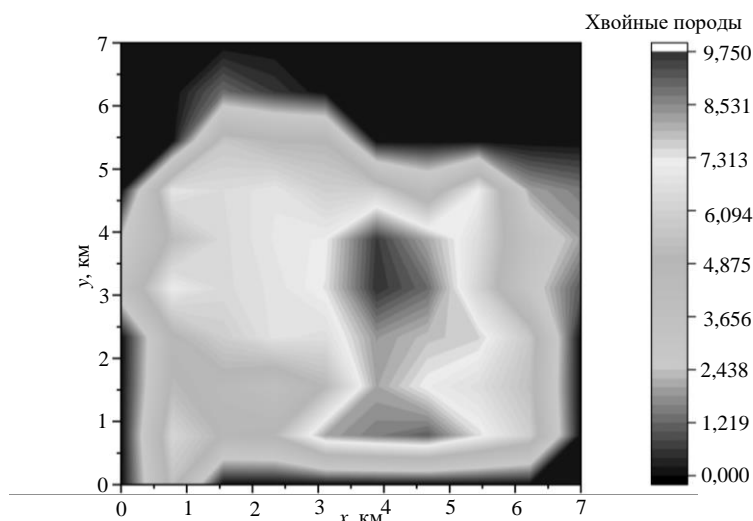


Рис. 1

Вероятность возникновения лесного пожара по лесорастительным условиям определяется в соответствии с формулой  $P_{FC} = \frac{T_C}{T_C + T_D}$ , где  $P_{FC}$  — вероятность возникновения лесного пожара по лесорастительным условиям;  $T_C$  — доля хвойных ( $C$  — coniferous) деревьев на территории квартала;  $T_D$  — доля лиственных ( $D$  — deciduous) деревьев на территории квартала. Следует отметить, что  $T_C + T_D = 10$ .

На рис. 1 видно, что максимальная пожарная опасность будет иметь место вблизи центра Тимирязевского участкового лесничества, где произрастает максимальное количество хвойных деревьев. Именно возгорания в хвойных массивах наиболее опасны с точки зрения возникновения лесных пожаров, в том числе перехода низовых пожаров в верховые [27, 28].

### Функции мониторинга лесной пожарной опасности

Важным метеорологическим явлением, которое следует учитывать при мониторинге лесной пожарной опасности, является движение воздушных масс или ветер [29]. Пакет Origin Pro позволяет визуализировать данные по скорости ветра в рассматриваемом лесном массиве. Это особенно важно для оценки возникновения верховых лесных пожаров. На рис. 2 продемонстрировано векторное поле скорости ветра в лесном массиве.

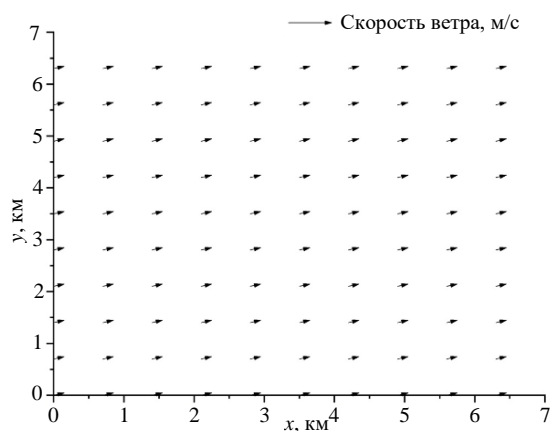


Рис. 2

Оценка вероятности перехода низового лесного пожара в верховой может быть произведена по формуле

$$P_{FW} = \begin{cases} \frac{V_{cur}}{V_{cr}}, & V_{cur} < V_{cr}, \\ 1, & V_{cur} \geq V_{cr}, \end{cases}$$

где  $P_{FW}$  — вероятность перехода низового лесного пожара в верховой при достижении критической скорости ветра;  $V_{cur}$  — текущая скорость ветра в массиве;  $V_{cr}$  — критическая скорость ветра, при которой возможен переход низового лесного пожара в верховой.

Известна зависимость скорости ветра на разной высоте от скорости ветра над пологом древостоя (сапору) [29]. Таким образом, могут быть построены векторные поля скорости ветра для разных уровней над подстилающей поверхностью.

Следующий параметр, который важен с точки зрения мониторинга лесной пожарной опасности, — это распределение грозовых разрядов по территории лесничества (рис. 3).

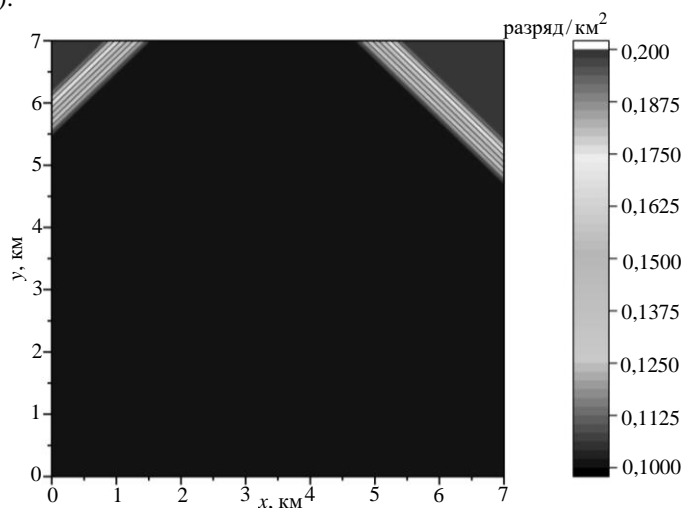


Рис. 3

Вероятность грозового разряда вычисляется по формуле  $P_{LD} = \frac{N_{cur}}{N_{max}}$ ,

где  $P_{LD}$  — вероятность наземного грозового разряда на конкретном квартале лесничества;  $N_{cur}$  — количество разрядов на территории конкретного квартала лесничества;  $N_{max}$  — максимальное количество разрядов из числа кварталов рассматриваемого участкового лесничества.

### Функции оценки лесной пожарной опасности

При наличии данных о силе тока наземного грозового разряда можно вычислить условия воспламенения или невоспламенения хвойного дерева. Математически процесс воспламенения хвойного дерева наземным грозовым разрядом описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями.

В настоящей работе предлагается оценивать вероятность возникновения лесного пожара, учитывая лесорастительные условия (по преобладающей породе хвойных), а также математическую модель зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом с учетом статистики по грозовым разрядам. Статистические

данные предоставлены системой WWLLN, которая аккумулирует данные по грозовой активности по территории всей планеты [14, 15]. Метеоусловия учитываются в рамках детерминированной математической модели зажигания дерева наземным грозовым разрядом.

Вероятность возникновения лесного пожара рассчитывается по формуле  $P_{FF} = P_{FC}P_{LD}P_{ign}$ , где  $P_{FF}$  — вероятность возникновения лесного пожара,  $P_{ign}$  — вероятность зажигания дерева наземным грозовым разрядом,  $P_{LD}$  — вероятность наземного грозового разряда,  $P_{FC}$  — вероятность возникновения лесного пожара по лесорастительным условиям.

Вероятность зажигания дерева оценивается по формуле с учетом мощности разряда

$$P_{ign} = \begin{cases} 1, & \text{есть воспламенение,} \\ 0, & \text{нет воспламенения.} \end{cases}$$

Типичное распределение вероятности лесной пожарной опасности по территории Тимирязевского участкового лесничества Томской области показано на рис. 4.

Кроме того, пакет Origin Pro предполагает расширенный анализ данных по параметрам воспламенившегося дерева. На рис. 5 продемонстрировано температурное поле в стволе дерева с помощью инструмента построения кривых.

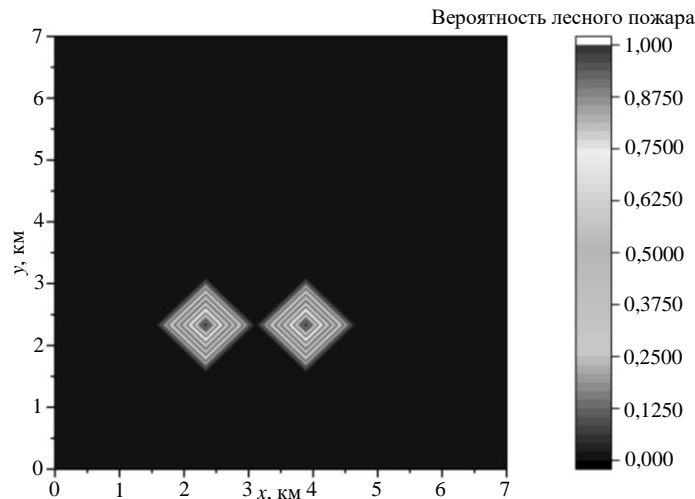


Рис. 4

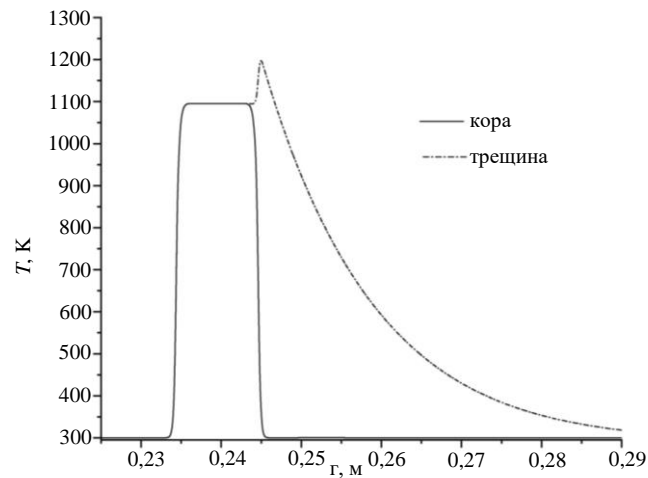


Рис. 5



Кроме того, пакет Origin Pro предлагает расширенные возможности по статистическому анализу данных и аппроксимации статистических данных. Таким образом, пакет Origin Pro может использоваться для анализа, аппроксимации и визуализации данных и параметров лесной пожарной опасности. Разработанное приложение в совокупности с пакетом Origin Pro можно рассматривать как специализированную геоинформационную систему для прогнозирования, мониторинга и оценки лесной пожарной опасности либо как экспертную систему, основанную не на знаниях [30], а на детерминированных и вероятностных моделях. Первоначально экспертные системы основывались на специализированных базах знаний и технологиях искусственного интеллекта [31]. Это во многом было обусловлено тем фактом, что реализация сложных, комплексных детерминированных моделей была невозможна либо затруднительна по причине малого объема оперативной памяти ЭВМ и низкого быстродействия центрального процессора. Однако современное развитие компьютерной техники позволяет моделировать достаточно сложные физические явления и процессы с использованием детерминированных математических моделей. Таким образом, возникновение лесного пожара переходит из стохастического явления в детерминированный процесс. Это меняет восприятие и методы прогнозирования, мониторинга и оценки лесной пожарной опасности.

### Заключение

Таким образом, в настоящей работе описано приложение, работающее в диалоговом режиме и использующее возможности пакета Origin Pro для визуализации пространственной информации. Кроме того, возможности пакета позволяют анализировать расчетные поля температур в дереве, подвергнувшемся воздействию наземного грозового разряда, для принятия решений о противопожарных мерах на территории контролируемого Тимирязевского участкового лесничества Томской области. Предложено описание вероятностного критерия с оценкой всех его сомножителей в формуле. Представлено описание режима работы новой специализированной геоинформационной системы, которая может использоваться для прогнозирования, мониторинга и оценки лесной пожарной опасности от гроз.

*М.В. Барановський*

#### РОЗРОБКА ДОДАТКА ДО ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ORIGIN PRO ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ, ОБУМОВЛЕНОЇ ГРОЗОВОЮ АКТИВНІСТЮ

Лісові пожежі виникають через низку природних і антропогенних причин. Основна природна причина виникнення лісових пожеж — це грозова активність, а саме, вплив наземних грозових розрядів. Відомо, що для аналізу просторової інформації широке застосування знаходять геоінформаційні системи. Мета цієї роботи — демонстрація можливостей власного програмного коду, що взаємодіє з пакетом Origin Pro, для геоінформаційного аналізу лісових пожеж, що виникають через грозову активність. Відомі різні способи прогнозування та оцінки лісової пожежної небезпеки від гроз. У даній роботі використовується підхід детерміновано-ймовірнісного прогнозу лісової пожежної небезпеки. В процесі дослідження розроблено власний програмний код для оцінки лісової пожежної небезпеки і її характеристик на прикладі Тимирязівського дільничного лісництва.

ва Томської області. Програмний пакет Origin Pro використовується для візуалізації і додаткового розширеного аналізу даних за параметрами лісової пожежної небезпеки. Продемонстровано процес обробки даних за грозової активності лісотаксаційними описами і метеорологічними параметрами з прив'язкою до ймовірнісної оцінки лісової пожежної небезпеки.

**Ключові слова:** геоінформаційна система, прогноз, лісова пожежна небезпека, грозова активність, Origin Pro.

*N.V. Baranovskiy*

## THE DEVELOPMENT OF APPLICATION TO SOFTWARE ORIGIN PRO FOR INFORMATIONAL ANALYSIS AND FORECAST OF FOREST FIRE DANGER CAUSED BY LIGHTNING ACTIVITY

Forest fires occur for a variety of natural and man-made causes. The main natural cause of forest fires is thunderstorm activity, namely, the impact of cloud-to-ground lightning discharges. It is known that geographic information systems are widely used for analyzing spatial information. The purpose of this work is to demonstrate the capabilities of own program code interacting with the Origin Pro software for geoinformational analysis of forest fires arising due to lightning activity. There are various ways to predict and assess forest fire danger from lightning activity. The approach of a deterministic-probabilistic forecast of forest fire danger is used. Our own program code was developed for assessing forest fire danger and its characteristics on the example of the Timiryazevskiy forestry of Tomsk Region. The application works in dialog mode. The Origin Pro software is used for visualization and additional advanced data analysis on the parameters of forest fire danger. The data processing on lightning activity, forest descriptions and meteorological parameters with reference to the probabilistic assessment of forest fire danger is demonstrated.

**Keywords:** geoinformation system, prediction, forest fire danger, lightning activity, Origin Pro.

1. Louvet R., Aryal J., Josselin D., Genre-Grandpierre C. R as a GIS: illustrating scale and aggregation problems with forest fire data. *Procedia Environmental Sciences*. 2015. **27**. P. 66–69. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.118.
2. R: A language and environment for statistical computing reference index the R development core team. Version 2.6.2 (2008-02-08). 1999–2003. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. 2673 p.
3. Барановский Н.В., Кузнецов Г.В. Математическое моделирование зажигания хвойного дерева в приближении «идеальной» трещины в коре. *XXIX Сибирский теплофизический семинар: Сб. тезисов докладов Всерос. конф.* (Новосибирск, 15–17 ноября 2010 г). Новосибирск: Изд-во Ин-та теплофизики СО РАН. 2010. С. 30–31.
4. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978. 590 с.
5. Keranen K., Malone L. Instructional guide for the ArcGIS Book. Redlands, California: Esri Press, 2018. 387 p.
6. Барановский Н.В. Теплофизические аспекты прогностического моделирования лесной пожарной опасности. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск: ТПУ, 2012. 32 с.
7. Cummins K. L., Murphy M. J., Bardo E. A. et al. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. national lightning detection network. *J. Geophys. Res.* 1998. **103**. P. 9035–9044. DOI: 10.1029/98JD00153.
8. Anderson K. A model to predict lightning-caused fire occurrences. *Int. J. Wildland Fire*. 2002. **11**. N 3–4. P. 163–172. DOI: 10.1071/WF02001.
9. Larjavaara M., Kuuluvainen T., Rita H. Spatial distribution of lightning-ignited fires in Finland. *Forest Ecology and Management*. 2005. **208**, N 1–3. P. 177–188. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.12.005.

10. Chilingarian A. Thunderstorm ground enhancements — Model and relation to lightning flashes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2014. **107**. P. 68–76. DOI: 10.1016/j.jastp.2013.11.004.
11. Горбатенко В.П., Громницкая А.А., Константинова Д.А., Ершова Т.В., Нечепуренко О.Е. Оценка роли климатических факторов в возникновении и распространении лесных пожаров на территории Томской области. *Вестник Томского государственного университета*. 2015. № 395. С. 233–240. DOI: 10.17223/15617793/395/38.
12. Горбатенко В.П., Ершова Т.В. Роль климатических факторов в возникновении лесных пожаров на территории Томской области. *Сибирский экологический журнал*. 2006. № 2. С. 151–155.
13. Горбатенко В.П., Ершова Т.В. Способ определения плотности разрядов молнии в землю на территории умеренных широт северного полушария земли. Патент РФ № 2332693, опубл. 27.08.08.
14. Rodger C.J., Werner S., Brundell J.B., Lay E.H., Thomson N.R., Holzworth R.H., Dowden R.L. Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): initial case study. *Annales Geophysicae*. 2006. **24**. P. 3197–3214. DOI: 10.5194/angeo-24-3197-2006.
15. Baranovskiy N., Krechetova S., Belikova M., Perelygin A. WWLLN data cluster analysis methods for lightning-caused forest fires monitoring. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2016. **6**. P. 3112–3120. DOI: 10.11591/ijece.v6i6.12780.
16. Karanina S.Yu., Kocheeva N.A., Belikova M.Yu., Baranovskiy N.V. Spatial and temporal distribution of lightning discharges over Tomsk region according to WWLLN data for 2010–2015. *Advances and Applications in Statistics*. 2018. **52**. P. 339–362. DOI: 10.17654/as052050339.
17. Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 122 с.
18. Титаев П.С. Имитационная модель вероятности возникновения лесных пожаров с учетом грозовой активности и антропогенного фактора. *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. **24**. № 5. С. 44–53. DOI: 10.18322/pvb.2015.24.5.44-53.
19. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М.: Наука, 1977. **3**. Электричество. 688 с.
20. Гришин А.М., Шипулина О.В. Математическое моделирование распространения вершинных лесных пожаров в однородных лесных массивах и вдоль просек. *Физика горения и взрыва*. 2002. **38**, № 6. С. 17–29.
21. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, СО РАН. 1992. 408 с.
22. Принципы проектирования и разработки программного обеспечения. Учебный курс MCSД: Пер. с англ. М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция». 2000. 608 с.
23. Фленов М.Е. Библия Delphi. СПб: БХВ-Петербург, 2011. 674 с.
24. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления: Теория и практика. М.: Радиотехника. 2009. 387 с.
25. Проект организации и развития лесного хозяйства Тимирязевского мехлесхоза Томского лесохозяйственного территориального производственного объединения министерства лесного хозяйства РСФСР. Т. III. Таксационные описания Тимирязевского лесничества. Кн. 3. Кварталы 91–145. Инв. № 390 / Гослесхоз СССР. Всесоюзное объединение «Леспроект». Западно-сибирское лесоустроительное предприятие. Томск, 1990. 400 с.
26. Маценко В.В., Соколов А.Я., Калинин С.И. и др. Генеральный план противопожарного устройства лесов. Т. 1. Пояснительная записка. 5-99.14-17-ПМ. Государственный проектно-изыскательский институт «Росгипролес», Алтайский филиал. Барнаул, 1999. 139 с.
27. Гришин А.М., Перминов В.А. Переход низового лесного пожара в верховой. *Физика горения и взрыва*. 1990. **26**, № 6. С. 27–35.
28. Perminov V. Mathematical modeling of crown forest fire initiation. *WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '08)*. Heraklion, Crete Island, Greece, July 22-24, 2008. P. 259–264.
29. Валендик Э.Н. Ветер и лесной пожар. М.: Наука, 1965. 118 с.
30. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2007. 1152 с.
31. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2007. 1408 с.

*Получено 02.12.2018  
После доработки 11.02.2019*