

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ.

Ходаков В.Е., Жарикова М.В., Ляшенко Е.Н.

**Введение.** Моделирование, прогнозирование возникновения, развитие и оценка последствий экологических катастроф, к которым относятся лесные пожары (ЛП), являются важными и актуальными научными задачами, решение которых востребовано государством, владеющим, сохраняющим и использующим природные ресурсы страны.

Для решения таких задач необходимо привлечение больших объемов разнородной информации, поступающей из разных источников, оперативная обработка и анализ этой информации, представление её в виде, обеспечивающем принятие решений в ограниченных временных рамках.

Одним из наиболее эффективных способов представления больших объемов разнородной информации, привязанной к большим территориям земной поверхности, является визуализация.

Под визуализацией понимается преобразование числовой информации об объектах с большим количеством параметров в наглядные графические образы. Другими словами исходные данные преобразуются в удобный для восприятия графический образ, который объективно отражает свойства и природу объекта, с которым работает пользователь.

В настоящее время существует мощнейший инструмент отображения информации, привязанной к географической сетке координат. Это быстро развивающийся сегодня арсенал ГИС-технологий.

Географические информационные системы (ГИС) представляют собой программно-аппаратные комплексы, способные вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации.

К основным функциональным возможностям ГИС можно отнести:

- 1) построение математических (статистических, детерминированных) моделей изменения тех или иных показателей в пространстве и во времени;
- 2) анализ разнородной информации с учетом требуемых критериев (запросов);
- 3) анализ информации с учетом построенной в пространстве модели;
- 4) анализ пространственно-распределенных данных с учетом имеющихся топологических моделей Мира;
- 5) пространственную визуализацию любых данных, их интеграцию на одном носителе (бумажном, электронном).

Таким образом, одним из важных моментов при моделировании ЛП является визуализация полученных данных, а значит, представляет практический и научный интерес разработка методов и алгоритмов визуализации данных, имеющих пространственную составляющую.

**Анализ работ.** Визуальное отображение контура пожара - одна из важнейших функций, которой должно обладать современное программное обеспечение, призванное решать задачи, связанные с моделированием лесных пожаров. Поэтому вопросам построения контуров горения посвящено большое число работ. Отметим наиболее значимые.

Авторы ранних работ аппроксимировали форму пожара простыми геометрическими фигурами [1]. Например, Митчел (1937 г.) описывал форму пожара кругом, Пирско (1961 г.) – кругом и эллипсом, Друэ, О’Реган – эллипсом, Н.П. Курбатский (1960 г.) - в виде фигуры, состоящей из двух полуэллипсов.

Из более поздних работ следует отметить метод С. К. Годунова [1]. Основная идея метода состоит в использовании для построения контуров горения подвижных сеток. Причем, расчетная сеточная область согласно данному методу не задается заранее, а определяется самим решением, двигаясь и развиваясь вместе с ним.

Среди стохастических сеточных моделей наиболее показательна модель распространения пожара Воробьева О.Ю. [2, 3]. Пожар здесь рассматривается как процесс случайного распространения по плоской квадратной решетке. Считается, что горение, возникнув в некотором узле, передается во все соседние узлы решетки в течение одного такта времени с определенными вероятностями. Каждая реализация процесса приводит к контуру случайной формы.

Подход с использованием сеточной структуры применяли также Кортц, О'Рэган, Севидж, Майн [1].

Перечисленные выше модели, безусловно, эффективны в случаях движения огня по пространственно-однородному и неизменному во времени слою горючего, т.е. в пределах биоценоза одного типа. Однако в реальных лесных условиях горючее по территории расположено неравномерно, значительно варьируют его свойства, часто нарушается непрерывность слоя (в тех местах, где проходят дороги, реки, специальные противопожарные разрывы). Кроме того, свойства горючего значительно меняются во времени.

Цель статьи. Исходя из выше изложенного, целью настоящей статьи является разработка методов и алгоритмов визуального представления контуров лесных пожаров, учитывающих неравномерное расположение лесных горючих материалов (ЛГМ) - неоднородность слоя, изменчивость свойств ЛГМ во времени и т.д.

Описание метода. Для построения контура горения используется способ аппроксимации территории квадратными ячейками [4, 5].

Анализируемая поверхность (участок местности) представляется в виде регулярной сети ячеек. Каждая ячейка такой сети будет наследовать статические свойства плоского однородного участка местности, к которому принадлежит ее центр.

С точки зрения горения каждая ячейка сети в определенный момент времени  $t$  может находиться в одном из трех состояний: не горела, горит, уже сгорела и впредь загореться не может.

Таким образом, все множество ячеек  $Y$ , принадлежащих рассматриваемой области местности, в определенный момент времени можно представить состоящим из двух подмножеств:  $Y_{акт}$  - горящие (активные) ячейки,  $Y_{пас}$  - ячейки, которые в данный момент времени не горят (пассивные). Подмножество пассивных ячеек в свою очередь состоит из двух подмножеств:  $Y_1$  - ячейки, которые еще не горели;  $Y_2$  - ячейки, которые находились в состоянии горения до данного момента времени, но в данный момент времени не горят. Ячейка может оказаться в множестве  $Y_2$  в одном из двух случаев: если ее горючее вещество выгорело, или если она потушена пожарниками. Множество  $Y_1$  состоит из двух подмножеств:  $Y_3$  - ячейки, которые еще не захвачены пожаром, но будут гореть в случае их принадлежности площади, пройденной пожаром;  $Y_4$  - ячейки, которые не способны гореть, даже если их захватит пожар (например, если ячейка моделирует участок водоема, песчаной насыпи и т.д.).

Все множество ячеек, моделирующих рассматриваемую территорию, изменяется во времени. Исключение составляют лишь ячейки, принадлежащие подмножеству  $Y_4$ .

Во время функционирования системы ячейки могут переходить из  $Y_{акт}$  в  $Y_{пас}$  и наоборот. Причем из  $Y_{акт}$  ячейки смогут перейти только в одно подмножество  $Y_{пас}$  -  $Y_2$ , а в множество  $Y_{акт}$  ячейки могут перейти только из одного подмножества  $Y_{пас}$  -  $Y_3$ . Невозможен переход в  $Y_{акт}$  из  $Y_4$  и  $Y_2$ .

Возможные переходы ячеек из одного множества в другое, а также условия переходов приведены в [5].

Таким образом, процесс распространения пожара при таком подходе состоит в «передаче» горения от горящих ячеек ко всем соседним - негоревшим. Кроме того, в такой модели должно быть определено время, необходимое для перехода огня от ячейки к ячейке. Это время зависит от размера ячейки расчетной сетки, а также скорости распространения горения, которая, в свою очередь, зависит от свойств горючих материалов, скорости и направления ветра.

Время перехода огня от ячейки к ячейке определяется выражением [1]:

$$t = \frac{h}{g}, \quad (1)$$

где  $h$  - размер ячейки расчетной сетки (ячейка представляет собой квадрат заданного размера  $h$ ),

$g$  - скорость распространения горения в ячейке (определяется моделью, описание которой приведено в [7]).

Рассматривая процесс передачи горения от горящих ячеек к негоревшим, можно предположить, что в первую очередь загорится та ячейка, время перехода до которой от любой из всех горящих ячеек будет минимальным.

Таким образом, сетка горючего будет рассматриваться как сеть, узлы которой являются серединами квадратов (ячеек). Начальный узел помечается цифрой 1, а все остальные – произвольно. Процедура приписывает каждому узлу метку, которая может быть временной или постоянной. Временные метки присваиваются узлам, время достижения которых превышает нижнюю грань минимального времени, необходимого для прохождения от начального узла до данного, а постоянные – узлам, которые достигаются из начального узла за минимальное время. При помощи итеративного процесса временно помеченные узлы преобразуются в постоянно помеченные. Процесс заканчивается тогда, когда все узлы помечаются постоянными метками.

Опишем алгоритм метода [1]:

Шаг 1. Пометить начальный узел числом 1, а метки для всех остальных узлов считать неопределенными.

Шаг 2. Вычислить время достижения каждого, соседнего с последним (постоянным), временного узла; прибавить эту величину к значению времени, необходимого для достижения данного последнего постоянного узла из начального; сравнить этот результат со значением, вычисленным ранее для этого временного узла и взять меньшую из этих величин в качестве новой временной метки узла.

Шаг 3. Изучить значение меток всех временно обозначенных узлов и узлу с минимальным значением метки присвоить постоянную метку. Практически в изучении нуждаются только узлы, соседние с постоянными.

Шаг 4. Повторять шаги 2 и 3 до тех пор, пока все узлы не будут обозначены постоянными метками.

Итак, в качестве способа отображения области занятой пожаром, выбрана ячеечная технология с регулярной сеткой ячеек. Сделано это по нескольким причинам. Во-первых, простота компонентов ячеечной технологии (как правило, это простые геометрические фигуры: прямоугольники, треугольники, квадраты и др.), используемых для моделирования поведения пожара, позволяет задавать на них любые законы и ограничения. Во-вторых, вследствие регулярности сетки ячеек, от них легко перейти к любой другой форме представления пространственной информации.

Однако, для того, чтобы использовать ячеечную технологию для визуального отображения динамики пожара, необходимо от объектов, моделирующих однородные участки местности, перейти к ячейкам.

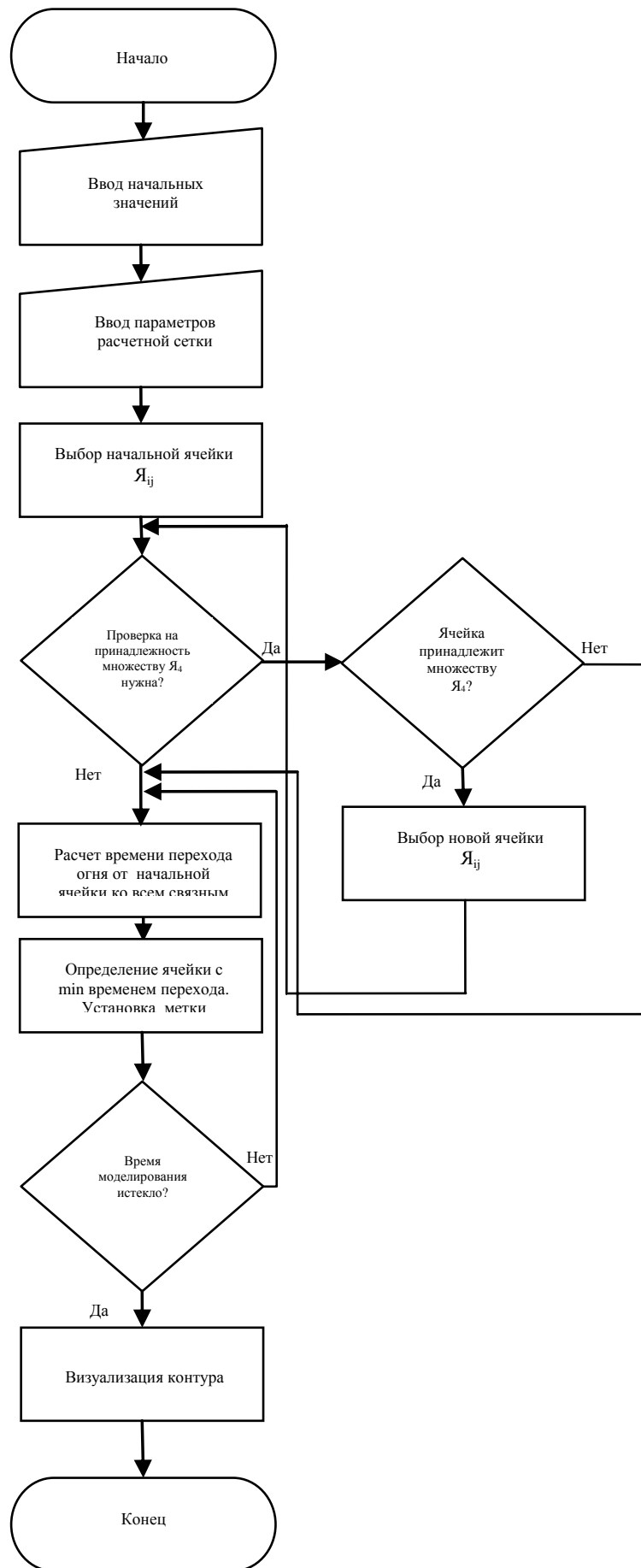


Рис.1 Блок-схема алгоритма

Для этого необходимо дискретизировать зону пожара на однородные участки.

Опишем этапы дискретизации:

На первом этапе лесная территория проецируется на горизонтальную плоскость и дискретизируется на плоские однородные участки, такие, как однородные участки леса, водоисточники (гидрография), дороги (инфраструктура). Каждый такой участок содержит информацию определенного типа: области, точки, линии.

Первый этап дискретизации происходит при создании электронной карты лесничества, когда однотипные данные выделяются в отдельные слои.

В отличие от геометрической структуры местности, геометрическая форма пожара динамически изменяется во времени.

Здесь происходит второй этап дискретизации - дискретизация области, состоящей из однородных участков, на ячейки, которые будем называть элементарными. Каждая элементарная ячейка будет наследовать статические свойства плоского однородного участка местности, к которому принадлежит ее центр, а также будет обладать дополнительными динамическими свойствами, отражающими процесс горения. Область, занятая пожаром, будет представлять собой множество таких ячеек, каждая из которых является объектом.

Таким образом, дискретизация зоны пожара происходит в два этапа:

- 1) дискретизация местности, спроектированной на горизонтальную плоскость, на однородные участки;
- 2) дискретизация области на элементарные ячейки.

Таким образом, геометрическая форма лесного пожара на плоскости представляется в виде случайного множества элементарных ячеек. Так как применение компьютера является неизбежным при моделировании распространения лесного пожара, то данный способ является более приемлемым при описании случайной геометрии пожара по сравнению с ее аналитическим описанием.

Дополнительные преимущества предоставляет послойная организация пространственных данных. Эти преимущества проявляются при разработке программного продукта. При послойной организации данных удобно манипулировать большими группами объектов, представленных слоями как единым целым, например, включая или выключая слои для визуализации, определять операции, основанные на взаимодействии слоев. Объекты в виде однородных участков местности, формирующиеся на первом этапе дискретизации, будем визуально отображать полигонами и отнесем к отдельному слою. Этот слой формируется на основе растрового изображения карты местности, которое, в свою очередь, также является отдельным слоем.

При моделировании лесного пожара потребуются дополнительный динамически формирующийся слой - слой элементарных ячеек. Слой элементарных ячеек служит для визуального отображения динамики пожара на лесной территории. Послойная организация пространственных данных приведена на рис. 2. Выделены следующие  $n$  слоев пространственных данных: слой с растровым изображением (под номером 1), слой с объектами-полилиниями (под номером 2), слой с объектами-полигонами (под номером  $n-1$ ), слой с элементарными ячейками (номер  $n$ ).

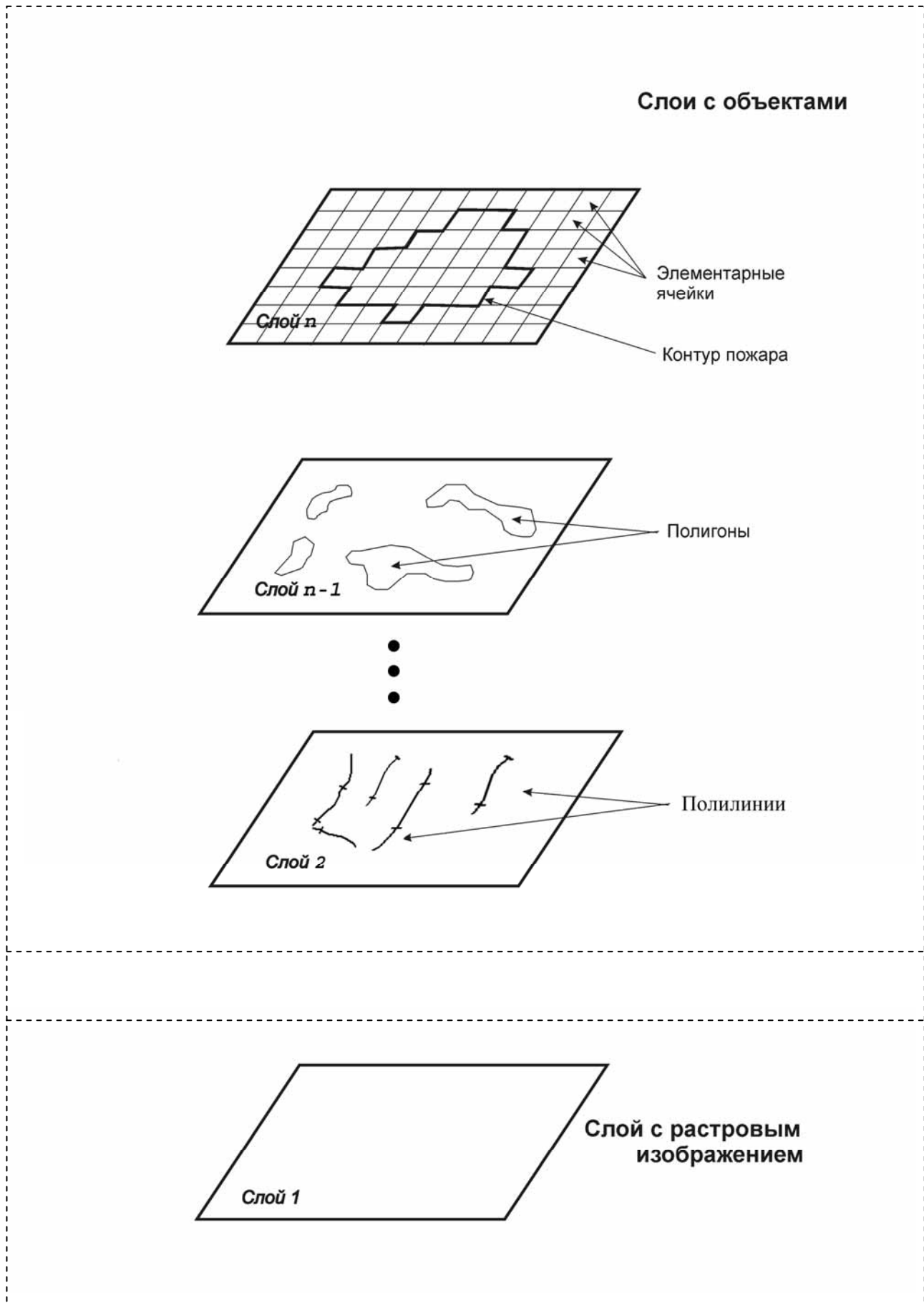


Рис. 2 Послойная организация пространственных данных

**Практическая реализация.** Для демонстрации работы приведенного выше алгоритма рассматривается сеть из 10 узлов с возможными путями перехода (рис.3).

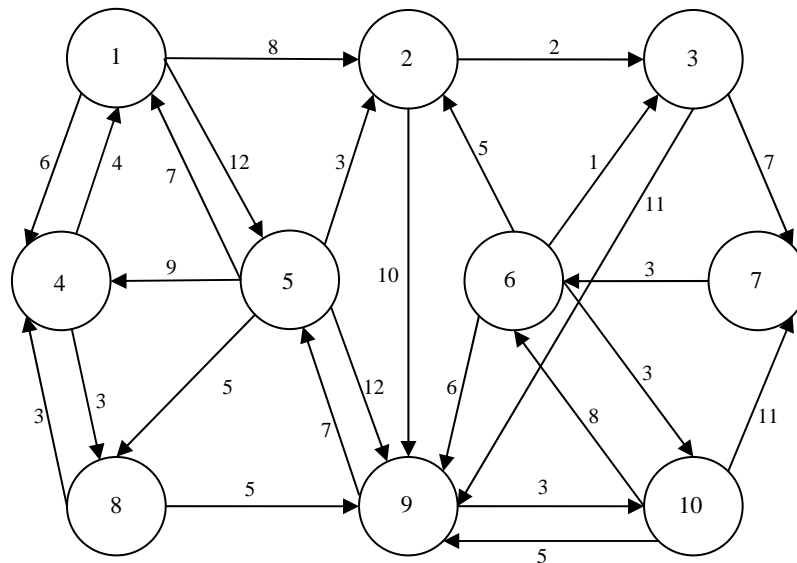


Рис.3 К пояснению алгоритма

На каждой дуге, соединяющей соседние узлы, нанесено время перехода от узла к узлу. За начальный выбран узел с номером 1, он помечается числом 0, и рассматриваются соседние с ним узлы 2, 4, 5. Им присваиваются временные метки соответственно 8, 6, 12. После сравнения значений временных меток, узлу с номером 4 присваивается постоянная метка 6. На следующем этапе постоянно помеченными будут узлы 1 и 4. В рассмотрение войдут соседние с ними узлы 2, 5, 8. Процесс повторится снова.

Программная реализация алгоритма приведена на рис.4.

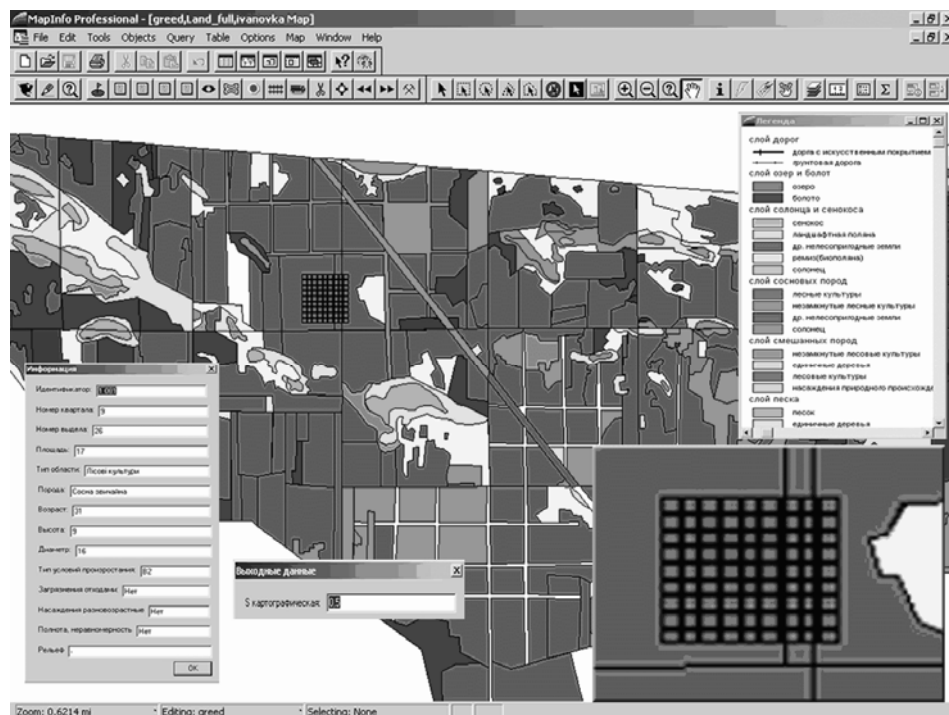


Рис. 4 Программная реализация алгоритма

Для программной реализации алгоритма была выбрана ГИС MAPINFO PROFESSIONAL [6]. Это мощная система географического анализа, с помощью которой можно вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Кроме того, ГИС MAPINFO PROFESSIONAL работает на платформах PC (Windows 3.x/95/98/NT), PowerPC (MacOS), Alpha, RISC (Unix), что позволяет переносить файлы данных с платформы на платформу без конвертации, тем самым, расширяя круг пользователей.

В качестве объекта моделирования выбрана часть Ивановского лесничества Херсонской области. На основе алгоритма, описанного выше, были проведены экспериментальные расчеты и смоделирована область пожара (рис. 4).

**Вывод.** Разработанные метод и алгоритм могут найти широкое применение в лесохозяйственной промышленности для охраны лесов и поддержки принятия решений во время ликвидации лесных пожаров. Они помогут не только хранить и обрабатывать данные, но и преумножать опыт специалистов. Разработанные метод и алгоритм так же могут пригодиться для кризисного центра Областного Управления Чрезвычайных ситуаций для тщательного анализа лесных пожаров и поддержки принятия решения по их ликвидации.

Description of the methods and algorithm, intended for spatial data visualization were used in the article. New geoinformation technologies were used at development of methods described in the article.

1. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1979, 161 с.
2. Воробьев О.Ю. Среднемерное моделирование. – М.: Наука, 1984. – 136 с.
3. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. – Новосибирск.: Наука, 1978. – 160 с.
4. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесного пожара // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. - № 1(14). - С. 312-315
5. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесных пожаров // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. - № 2(18). - С. 33-41
6. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: “Финансы и статистика”, 1998. – 288 с.
7. Ходаков В.Е., Граб М.В., Ляшенко Е.Н. Структура и принципы функционирования системы поддержки принятия решений при ликвидации лесных пожаров на базе новых геоинформационных технологий. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические системы. – 2006. - № 1(17). - С. 99-104.