**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИ УНИВЕРСИТЕТ**

**«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Факультет компьютерных наук

Департамент программной инженерии

|  |  |
| --- | --- |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. №подл |  |

СОГЛАСОВАНО

Научный руководитель, к.т.н., доцент ДПИ ФКН

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Р.А. Родригес Залепинос

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ

Академический руководитель образовательной программы «Программная инженерия», к.т.н., профессор ДПИ ФКН

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. В. Шилов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

**ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ  
Пояснительная записка**

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ**

**RU.17701729.05.06-01 81 01-1**

**Исполнитель**

Студент группы БПИ196

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / М. И. Филиппова/

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

**Москва 2021**

**УТВЕРЖДЕН**

**RU.17701729.05.06-01 81 01-1**

|  |  |
| --- | --- |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. №подл |  |

**ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ**

**Пояснительная записка**

**RU.17701729.05.06-01 81 01-1**

**Листов 53**

**Москва 2021**

**СОДЕРЖАНИЕ**

[**1.** **ВВЕДЕНИЕ** 4](#_Toc83047772)

[1.1 Наименование программы 4](#_Toc83047773)

[1.2 Документы, на основании которых ведется разработка программы 4](#_Toc83047774)

[**2.** **НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ** 5](#_Toc83047775)

[2.1. Назначение программы 5](#_Toc83047776)

[2.1.1. Функциональное назначение 5](#_Toc83047777)

[2.1.2. Эксплуатационное назначение 5](#_Toc83047778)

[2.2. Краткая характеристика области применения 5](#_Toc83047779)

[**3.** **ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ** 6](#_Toc83047780)

[3.1. Постановка задачи на разработку программы 6](#_Toc83047781)

[3.2. Описание применяемых математических методов 6](#_Toc83047782)

[3.2.1 Клеточные автоматы 6](#_Toc83047783)

[3.2.2 Модель распространения пожара 6](#_Toc83047784)

[3.2.2.1 Модель лес – лес 7](#_Toc83047785)

[3.2.2.2 Модель распространения город - город 9](#_Toc83047786)

[3.2.2.3 Модель распространения лес – город. 10](#_Toc83047787)

[3.2.2.4 Модель распространения город – лес. 10](#_Toc83047788)

[3.3. Описание алгоритма и функционирования программы 10](#_Toc83047789)

[3.3.1 Подсистема модели 11](#_Toc83047790)

[3.3.1.1 Алгоритм работы подсистемы 11](#_Toc83047791)

[3.3.1.2 Алгоритм предобработки входных данных 11](#_Toc83047792)

[3.3.1.3 Алгоритм слияния метеорологических данных 13](#_Toc83047793)

[3.3.1.4 Алгоритм инициализации лесной территории 14](#_Toc83047794)

[3.3.1.5 Алгоритм инициализации городской территории 15](#_Toc83047795)

[3.3.1.6 Алгоритм работы модели лес-лес 16](#_Toc83047796)

[3.3.1.7 Алгоритм расчета максимальной скорости распространения пожара 17](#_Toc83047797)

[3.3.1.8 Алгоритм работы модели лес – город 17](#_Toc83047798)

[3.3.1.9 Алгоритм работы модели город – город 18](#_Toc83047799)

[3.3.1.10 Алгоритм работы модели город – лес 20](#_Toc83047800)

[3.3.2 Подсистема визуализации данных 20](#_Toc83047801)

[3.3.2.1 Алгоритм функционирования подсистемы визуализации 20](#_Toc83047802)

[3.3.2.2 Алгоритм добавления растрового слоя 21](#_Toc83047803)

[3.3.2.3 Алгоритм добавления векторного слоя 22](#_Toc83047804)

[3.3.2.4 Алгоритм работы с моделью 23](#_Toc83047805)

[3.3.3 Особенности подсистем 24](#_Toc83047806)

[3.4. Возможные взаимодействия программы с другими программами 24](#_Toc83047807)

[3.5. Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных 25](#_Toc83047808)

[3.5.1. Описание метода организации входных и выходных данных 25](#_Toc83047809)

[3.5.1.1 Компонента модели 25](#_Toc83047810)

[3.5.1.2 Компонента визуализации 27](#_Toc83047811)

[3.5.2. Обоснование выбора метода организации входных и выходных данных 28](#_Toc83047812)

[3.6 Работа модели на примере пожара Гетти 28](#_Toc83047813)

[3.6.1 События пожара Гетти 28](#_Toc83047814)

[3.6.2 Данные пожара Гетти 28](#_Toc83047815)

[3.7 Описание и обоснование выбора состава технических и программных средств 30](#_Toc83047816)

[**4.** **ОЖИДАЕМЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ** 32](#_Toc83047817)

[4.1. Предполагаемая потребность 32](#_Toc83047818)

[4.2. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными образцами или аналогами 32](#_Toc83047819)

[**5.** **ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ** 33](#_Toc83047820)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 1** 34](#_Toc83047821)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 2** 35](#_Toc83047822)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 3** 36](#_Toc83047823)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 4** 48](#_Toc83047824)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 5** 49](#_Toc83047825)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 6** 52](#_Toc83047826)

[ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ 53](#_Toc83047827)

1. **ВВЕДЕНИЕ**
   1. **Наименование программы**

Название программы: «Программа моделирования распространения пожара с помощью клеточных автоматов» («Program for Modelling Fire Spread using Cellular Automata»).

* 1. **Документы, на основании которых ведется разработка программы**

Программа выполняется в рамках темы курсового проекта – «Программа моделирования распространения пожара с помощью клеточных автоматов» согласно учебному плану подготовки бакалавров по направлению 09.03.04 «Программная инженерия».

Основанием для разработки является учебный план подготовки бакалавров по направлению 09.03.04 «Программная инженерия» и утверждение академическим руководителем тема курсового проекта.

1. **НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

**2.1. Назначение программы**

### **2.1.1. Функциональное назначение**

Основным назначением программы является моделирование распространения пожара с помощью клеточных автоматов на основании метеорологических и пространственно-географических параметров. На основе входного значения фронта пожара спутникового снимка в определенный момент времени и на основании погодных условий и особенностях рельефа и растительного покрова данной местности программа прогнозирует расположение огня в момент времени, больший начального. Кроме того, программа визуализирует процесс распространения пожара, а также предоставляет возможность сравнить полученный результат с реальным результатом в случае моделирования действительно произошедшей пожарной ситуации.

### **2.1.2. Эксплуатационное назначение**

Программа может использоваться при мониторинге эволюции пожарного фронта. Эффективное прогнозирование развития пожара может быть полезно при разработке стратегии обеспечения безопасности, а также при выборе и внедрении средств противопожарной зашиты. Кроме того, программа может быть полезна при планировании землепользования, а также при обучении пожарных бригад и при проведении научных экспериментов.

**2.2. Краткая характеристика области применения**

Программа предназначена для моделирования развития природных пожаров, оценки степени их распространения на определенной территории. Кроме того, программа может являться инструментом, облегчающим управление контролируемого пожара в аграрных целях и решение вопросов землепользования. Программа также может использоваться в учебных симуляторах пожарных бригад и в научных целях.

1. **ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

## **3.1. Постановка задачи на разработку программы**

Исходя из необходимого к реализации функционала можно выделить задачи, которые должна решать программа:

* обеспечить корректную работу с данными с географической привязкой,
* обеспечить возможность взаимодействия с моделью распространения,
* моделировать распространение пожара по заданным параметрам,
* визуализировать результат моделирования на карте,
* визуализировать входные растровые и векторные спутниковые данные по запросу пользователя.

## **3.2. Описание применяемых математических методов**

### **3.2.1 Клеточные автоматы**

Клеточные автоматы – дискретные динамические системы, в которых пространство представляется равномерной сеткой, каждая ячейка (клетка) которой характеризуется определенным состоянием из конечного множества возможных [[1].](#celaut) На каждом дискретном шаге времени клетка вычисляет свое новое состояние, основываясь на правилах перехода, зависящих от состояний ее близких соседей. Клеточные автоматы широко используются при составлении моделей в естественных науках, комбинаторной математике, теории вычислимости и микромеханике. Одними из наиболее известных клеточных автоматов является игра Дж. Конвея «Жизнь», автомат фон Неймана и Wireworld Б.Сильвермана.

### **3.2.2 Модель распространения пожара**

Модель распространения пожара представляет собой совокупность 4 моделей по типу переходов сред распространения, обозначим их как модели лес-лес, город-город, лес-город и город-лес.

### **3.2.2.1 Модель лес – лес**

Территория представляется как двумерная матрица, состоящая из ячеек одинакового размера. Пожар от каждой ячейки может распространяться в 8 различных направлениях (по числу соседей).

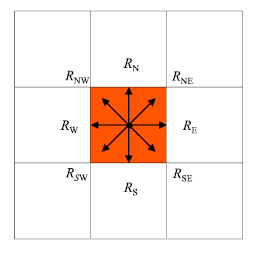


Рисунок 1. Возможные направления распространения пожара

Скорость распространения огня с одной ячейки на другую рассчитывается следующим образом [[6]:](#mao)

Скорость распространения огня зависит от следующих параметров:

* – начальная скорость распространения пожара, которая зависит от температуры (), скорости ветра (м/с), влажности воздуха RH (%);
* – параметр, характеризующий тип топлива,
* – влияние ветра,
* – влияние рельефа территории.

Влияние ветра рассчитывается по следующей формуле:

где – скорость ветра, – направление ветра, – расположение ячейки, на которую распространяется огонь, относительно ячейки-источника.

Влияние рельефа территории определяется следующим образом:

где – уклон территории, – направление ветра.

Каждая ячейка может иметь одно из 5 возможных состояний:

|  |  |
| --- | --- |
| Состояние | Описание |
|  | ячейка без пожара на территории |
|  | ячейка загорелась, но пожар от нее не может распространяться на соседние ячейки |
|  | ячейка горит и может поджечь соседние ячейки |
|  | пожар в ячейке начинает затихать и не может распространяться на соседние клетки |
|  | сгоревшая ячейка |

Таблица 1. Описание возможных состояний ячеек

Правила изменений состояния ячеек:

* Переход :

Если одна из соседних ячеек имеет состояние , то состояние ячейки определяется как:

|  |  |
| --- | --- |
|  | () |
| Статус | () |

* Переход

Изменение состояния осуществляется за промежуток времени:

Скорость внутреннего распространения огня рассчитывается по формуле [(1),](#скоростьраспространения) причем вектор скорости распространения огня внутри ячейки имеет то же направление, что и направление ветра в этой ячейке.

* Переходы и происходят за промежуток времени рассчитанного при переходе [(4).](#с)

### **3.2.2.2 Модель распространения город - город**

Городская территория разбивается на однородные квадратные ячейки, каждая из которых может иметь одно из 6 состояний [(Таблица 2).](#urbanstates)

|  |  |
| --- | --- |
| Состояние | Описание |
|  | ячейка без пожара на территории |
|  | ячейка загорелась, но пожар от нее не может распространяться на ячейки |
|  | пожар в ячейке развивается, но не может распространиться на ячейки |
|  | пожар внутри здания, возможно слабое распространение на ячейки |
|  | здание горит полностью, огонь активно распространяется на ячейки |
|  | здание сгорело |

Таблица 2. Состояния ячейки на территории города

Пусть клетка имеет состояние или , тогда он может распространить пожар на ячейки, полностью или частично попадающие в эллипс (формулы эллипса) с вероятностью [[5](#jiang)].

Эллиптическая область возможного распространения пожара рассчитывается по следующим формулам:

где – сумма большей полуоси и фокального расстояния, фокальный параметр эллипса, разность большей полуоси и фокального расстояния, сторона клетки(м), скорость ветра (м/с).

Вероятность распространения пожара рассчитывается по формуле [(8)](#urbanmainformula).

где – влияние материала зданий, - влияние погодных условий, влияние статуса клетки , площадь здания, попадающая под влияние области распространения пожара.

В случае, когда ячейка расположена в области влияния нескольких ячеек, общая вероятность возгорания вычисляется согласно формуле ([9)](#suminflurb).

Временные промежутки, требующиеся для перехода из одного состояния в другое определены в [[5].](#jiang)

### **3.2.2.3 Модель распространения лес – город.**

Распространение пожара от лесной клетки на городскую аналогично модели город – город. Разница заключается в определении территории влияния пожара.

где скорость ветра, сторона клетки, параметры эллипса, константа, если максимальная скорость распространения огня в лесной ячейке меньше 13.1 м/мин, иначе .

### **3.2.2.4 Модель распространения город – лес.**

Распространение пожара от ячейки города на ячейку леса аналогично принципу работы модели город – город.

## **3.3. Описание алгоритма и функционирования программы**

Программа состоит их двух частей – подсистема модели и подсистема визуализации данных.

### **3.3.1 Подсистема модели**

### **3.3.1.1 Алгоритм работы подсистемы**

Ниже приведен алгоритм работы подсистемы модели [(рис. 2).](#modelwork)

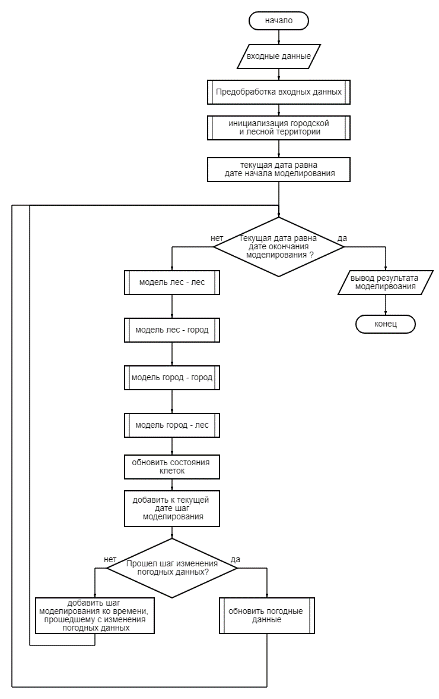


Рисунок 2. Работа подсистемы модели

### **3.3.1.2 Алгоритм предобработки входных данных**

Ниже приведен алгоритм предобработки входных данных [(рис. 3).](#inputprocess)

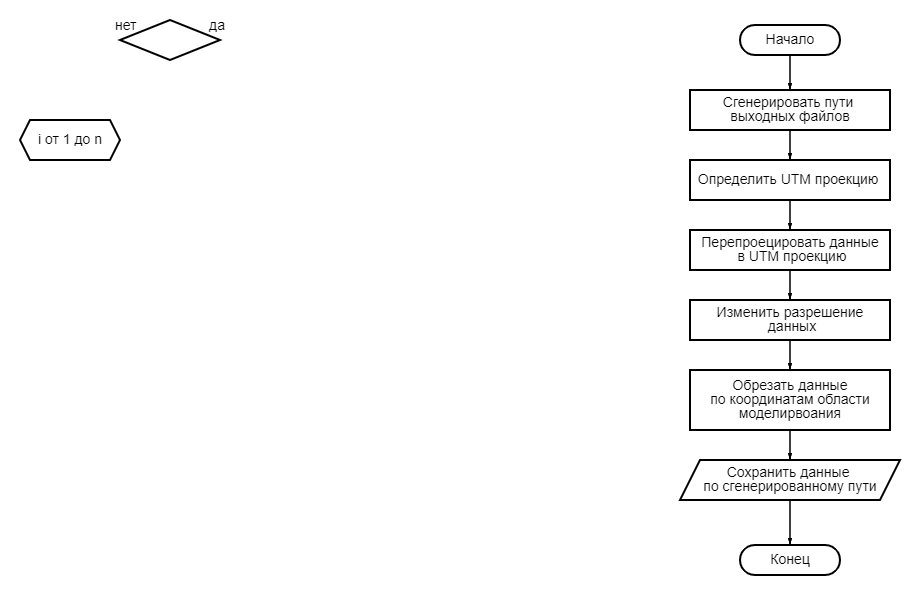


Рисунок 3. Предобработка входных данных

### **3.3.1.3 Алгоритм слияния метеорологических данных**

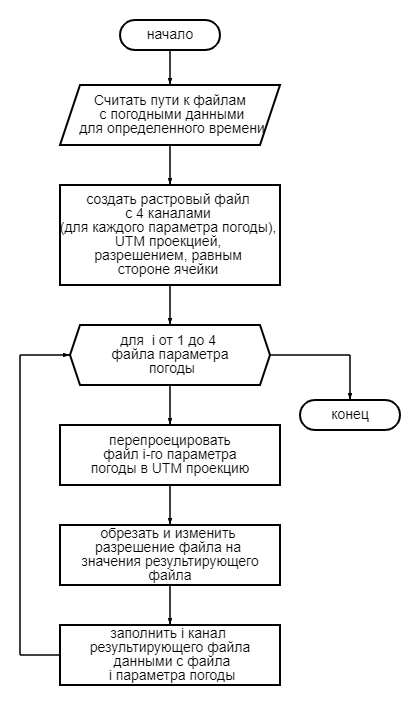
Ниже приведен алгоритм слияния метеорологических данных [(рис. 4).](#mergeWeather)

Рисунок 4. Слияние метеорологических данных

### **3.3.1.4 Алгоритм инициализации лесной территории**

Ниже приведен инициализации лесной территории [(рис. 5).](#initforest)

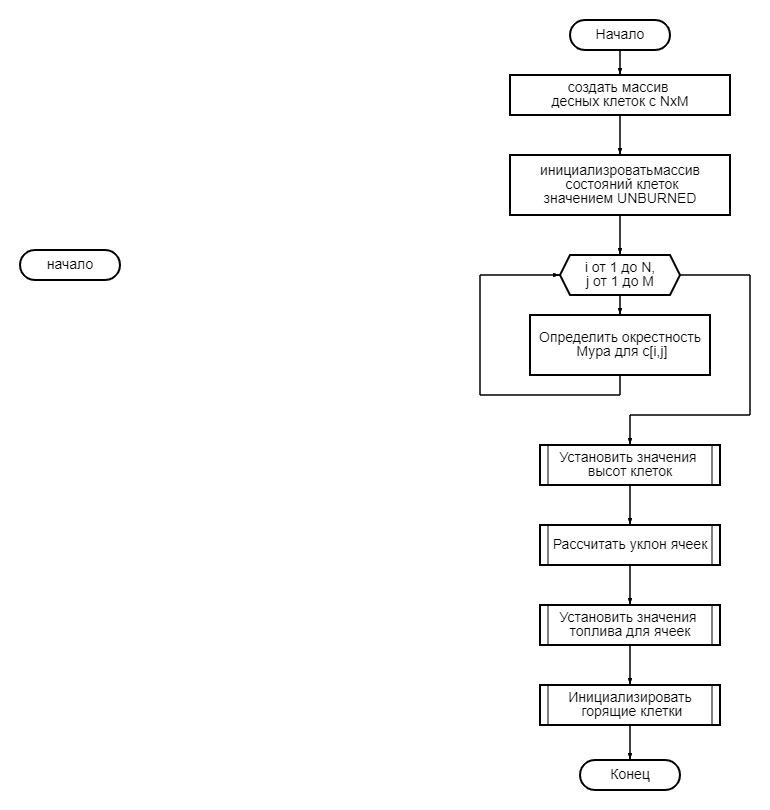


Рисунок 5. Инициализация лесной территории

### **3.3.1.5 Алгоритм инициализации городской территории**

Ниже приведен алгоритм инициализации городской территории ([рис. 6](#initurban)).

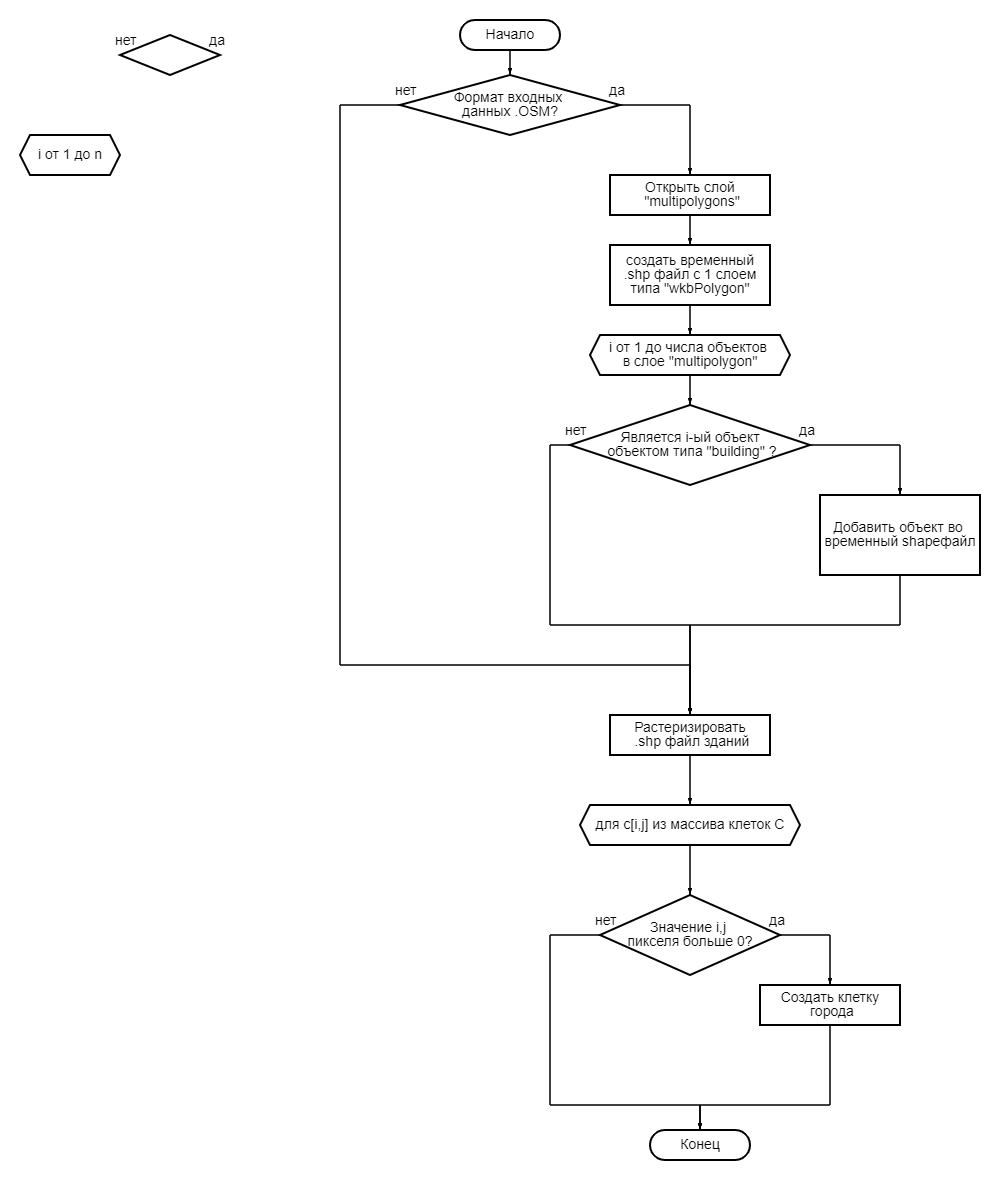


Рисунок 6. Инициализация городской территории

### **3.3.1.6 Алгоритм работы модели лес-лес**

Ниже представлен алгоритм работы модели лес – лес [(рис. 7).](#ffmodel)

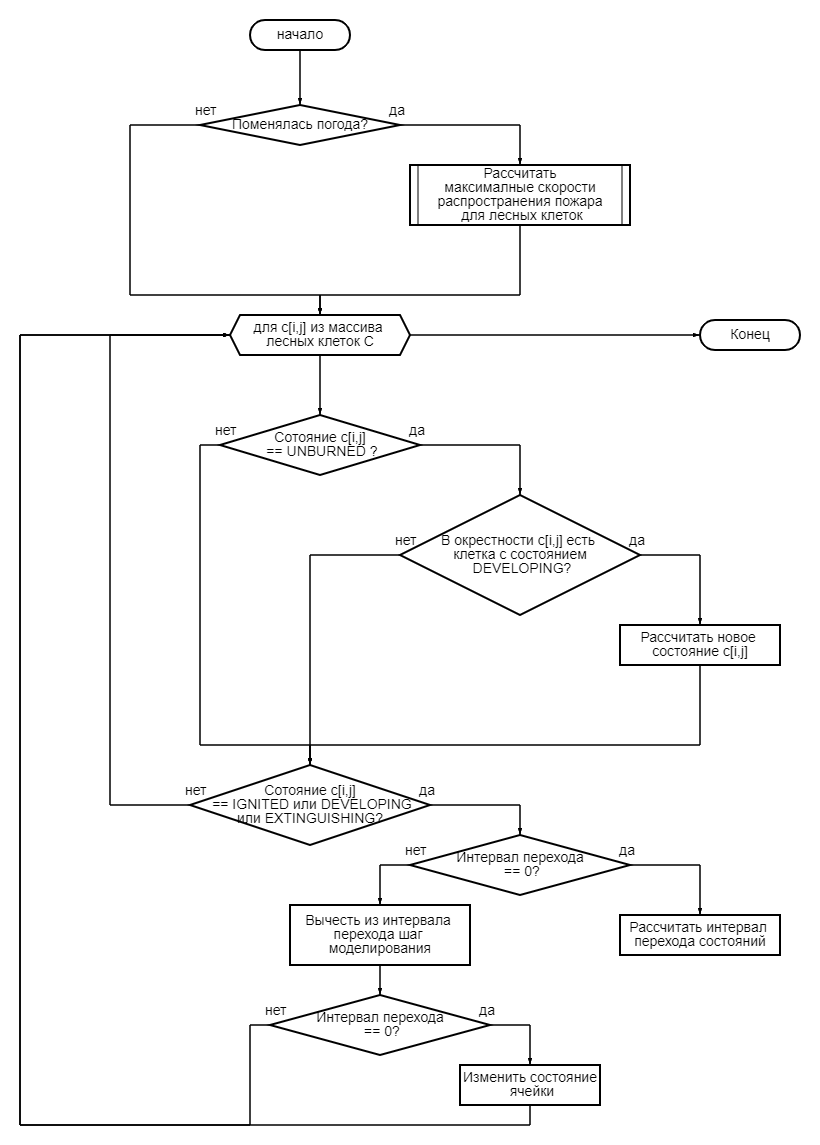


Рисунок 7. Работа модели лес – лес

### **3.3.1.7 Алгоритм расчета максимальной скорости распространения пожара**

Ниже представлен алгоритм расчет максимальной скорости распространения пожара ([рис. 8).](#maxrate)

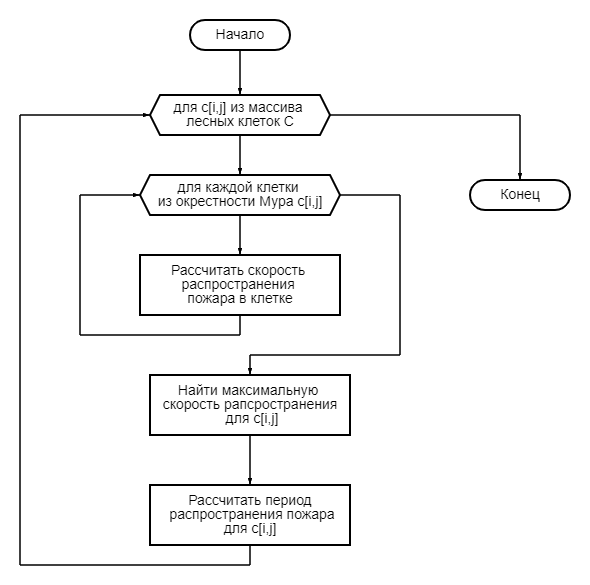


Рисунок 8. Расчет максимальной скорости распространения пожара для клетки

### **3.3.1.8 Алгоритм работы модели лес – город**

Ниже представлен алгоритм работы модели лес – город ([рис. 9](#fumidel)).

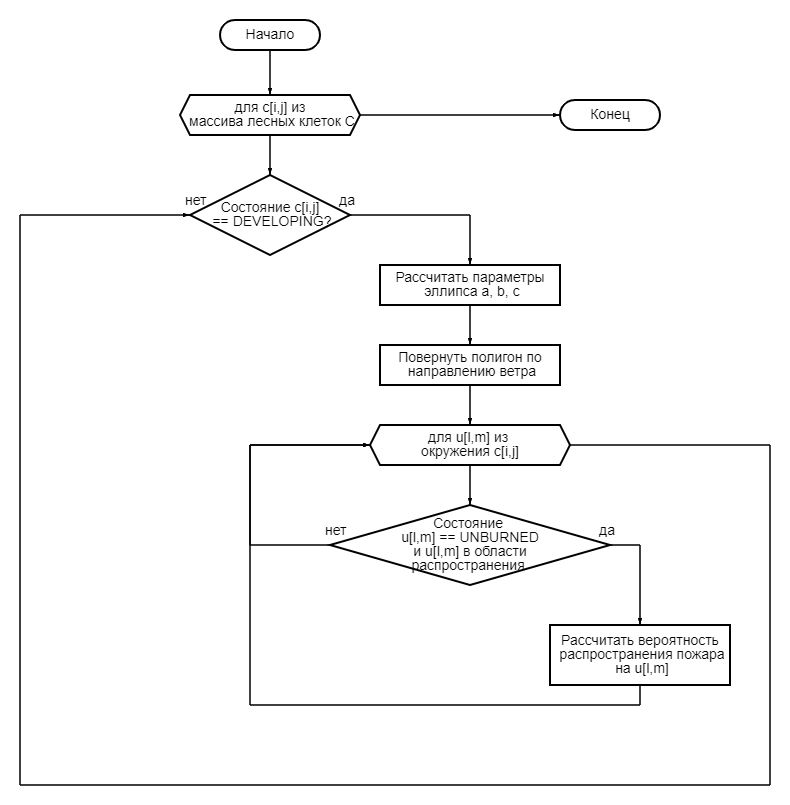


Рисунок 9.Работа модели лес - город

### **3.3.1.9 Алгоритм работы модели город – город**

Ниже представлен алгоритм работы модели город- город [(рис. 10](#uumodel)).

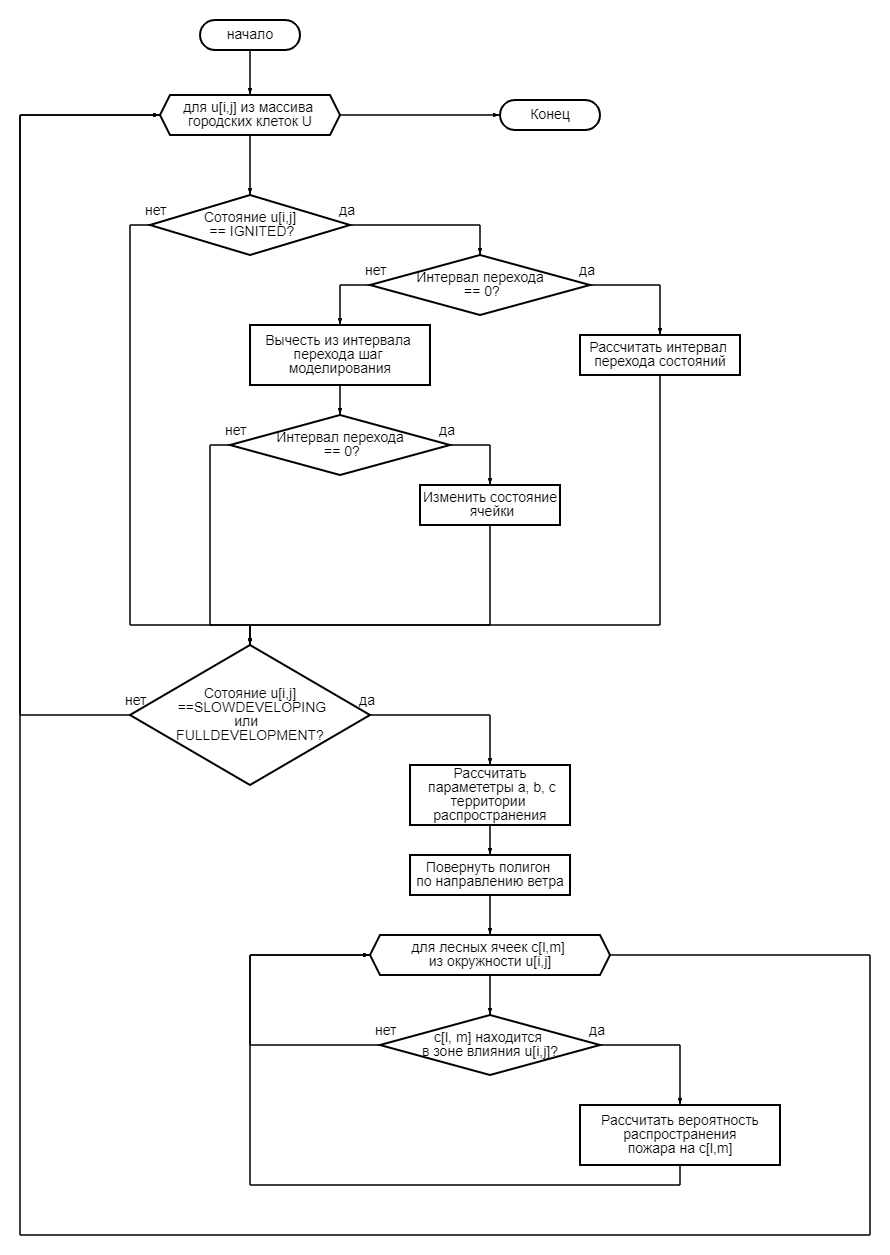


Рисунок 10. Работа модели город – город

### **3.3.1.10 Алгоритм работы модели город – лес**

Ниже приведен алгоритм работы модели город – лес ([рис. 11](#ufmodel)).

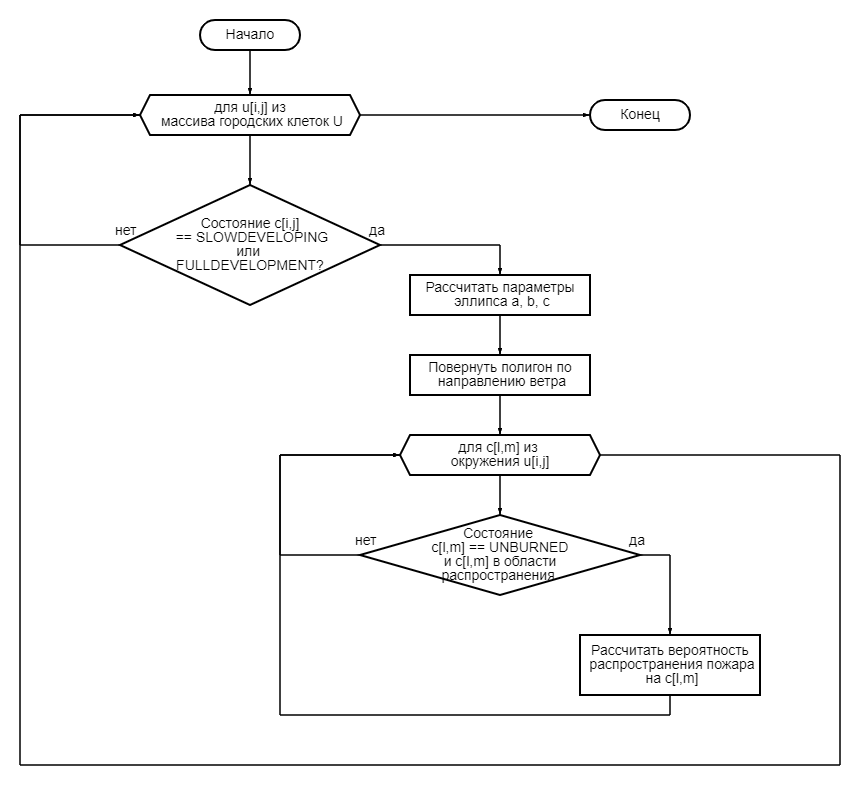


Рисунок 11. Работа модели город - лес

### **3.3.2 Подсистема визуализации данных**

### **3.3.2.1 Алгоритм функционирования подсистемы визуализации**

Ниже представлен алгоритм функционирования подсистемы визуализации ([рис. 12](#funcvis)).

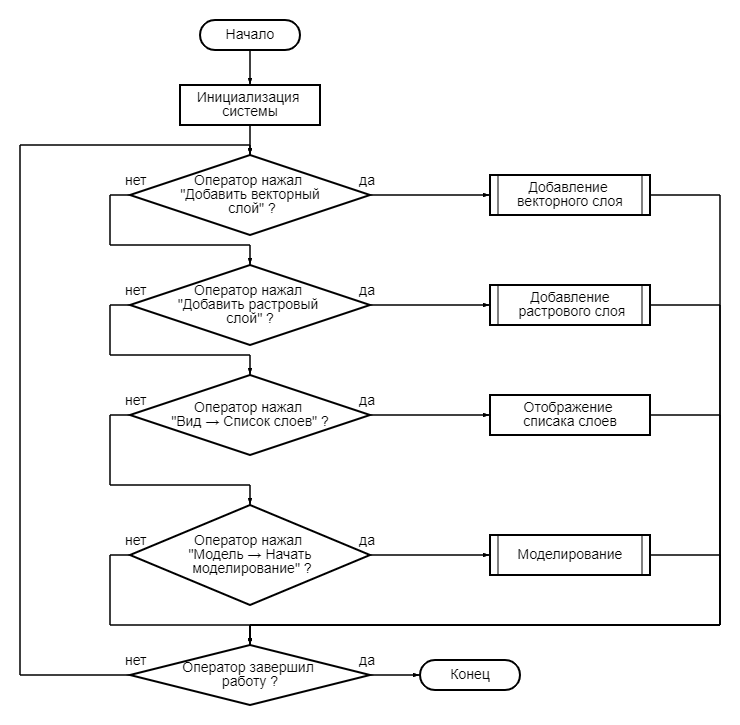


Рисунок 12. Функционирование подсистемы визуализации

### **3.3.2.2 Алгоритм добавления растрового слоя**

Ниже представлен алгоритм добавления растрового слоя [(рис. 13](#addraster)).

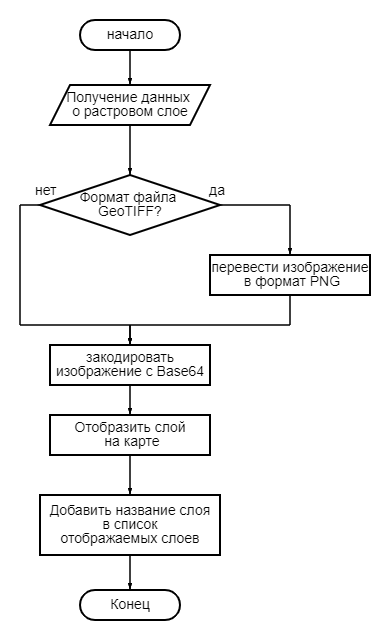


Рисунок 13. Добавление растрового слоя

### **3.3.2.3 Алгоритм добавления векторного слоя**

Ниже представлен алгоритм добавления векторного слоя [(рис. 14).](#addvector)

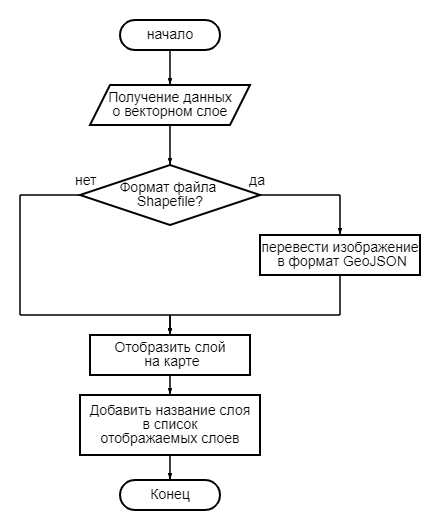


Рисунок 14. Добавление векторного слоя

### **3.3.2.4 Алгоритм работы с моделью**

Ниже представлен алгоритм работы с моделью через подсистему визуализации ([рис. 15](#modwork)).

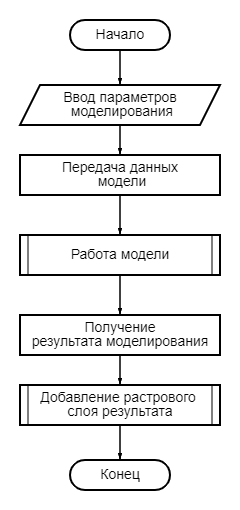


Рисунок 15. Работа с моделью

### **3.3.3 Особенности подсистем**

Следует отметить следующие особенности реализации подсистем:

* моделирование происходит с дискретным временем в шаг в 90 секунд,
* при изменении погодных условий выводится статистика состояний лесных и городских ячеек,
* при изменении погодных условий сохраняется файл с результатом распространения пожара на данный момент времени.

## **3.4. Возможные взаимодействия программы с другими программами**

Для использования и реализации функционала программы необходим установленный на компьютере Python интерпретатор и библиотека GDAL.

## **3.5. Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных**

### **3.5.1. Описание метода организации входных и выходных данных**

### **3.5.1.1 Компонента модели**

Модель предполагает использование следующих входных данных:

* Данные о высотах территории – растровые данные формата GeoTIFF или ASC, покрывающие территорию моделирования ([рис. 16](#demim)). Каждый пиксель содержит значение высоты определенной области территории, разрешение может быть как в градусах, так и в метрах.



Рисунок 16. Вид данных о высотах территории

* Данные о топливе территории – растровые данные формата GeoTIFF или ASC, покрывающие территорию моделирования. Каждый пиксель содержит значение кода топлива в топливной модели, разрешение возможно как в метрах, так и в градусах ([рис. 17](#fuelim)).

Изображение выглядит как текст, силуэт

Автоматически созданное описание

Рисунок 17. Вид данных о топливе территории

* Данные о кодах топливной модели – текстовый CSV файл, в котором каждому коду топлива ставится в соответствии тип растительности Первая строка содержит заголовки столбцов данных Тип растительности содержится в столбце“EVT\_LF”, может иметь следующие значения: “Tree”, “Shrub”, “Herb”, “Sparse”, “Agriculture” согласно классификации наземных экологических систем, разработанной NatureServe в 2016 [[3].](#evt)
* Данные о начальном участке возгорания – векторный .SHP файл, содержащий объекты типа wkbPoint или wkbPolygon, находящиеся на территории моделирования.
* Данные о погоде – текстовый CSV файл, где для каждой временной точки указаны имена файлов, содержащие метеорологические данные для данной временной точки в следующем порядке – данные о скорости ветра, данные о направлении ветра, данные о температуре, данные об относительной влажности воздуха ([рис.](#weatherim) 18). Следует заметить, что эти данные должны находиться в той же директории, что файл данных о погоде. Метеорологические данные представляют собой растровые данные формата GeoTIFF или ASC. Значение пикселя для данных о скорости ветра – скорость ветра в м/с; для данных о направлении ветра – направление, откуда дует ветер, в градусах; для данных о температуре – температура в градусах Цельсия; для данных об относительной влажности воздуха – относительная влажности воздуха в процентах.

Рисунок 18. Вид строки файла данных о погоде

Результатом работы модели является GeoTIFF файл, отображающий состояния ячеек на момент завершения работы модели ([рис. 19](#moderes)).

Изображение выглядит как текст, растение

Автоматически созданное описание

Рисунок 19. Вид результата моделирования

### **3.5.1.2 Компонента визуализации**

При добавлении растрового слоя требуется указать название слоя, путь к растровому файлу одного из форматов .tif, .png, .jpg и координаты границ изображения.

При добавлении векторного слоя требуется указать название слоя, путь к векторному файлу одного из форматов .shp, .geojson.

### **3.5.2. Обоснование выбора метода организации входных и выходных данных**

Формат GeoTIFF и Shapefile одни из наиболее распространенных форматов геоданных, эти данные наиболее доступные и удобные в программном использовании. Формат текстовых данных CSV легко читаем оператором, доступен и понятен для создания и редактирования, а также удобен в программном использовании. Форматы .PNG, .JPG, используемые при визуализации растрового слоя на карте обусловлены особенностями используемой библиотеки Leaflet.

## **3.6 Работа модели на примере пожара Гетти**

### **3.6.1 События пожара Гетти**

Пожар Гетти произошел в 2019 году в квартале Брентвунд, Лос-Анджелес, Калифорния. Согласно отчетам пожарной части Лос-Анджелеса [[5](#getty)], о пожаре было впервые сообщено 28 октября. Его причиной была сломанная ветка, упавшая на линию электропередачи. Под влиянием ветров Санта-Аны огонь со скоростью, превышающей 50 миль в час, распространился вдоль автострады 405 и двинулся на запад. Активные меры по тушению пожара были приняты с 9:00 28 октября. 29 октября ситуация усугубилась сильными, до 70 миль в час, порывами ветра и низкой влажностью. С 31 октября погода стала более благоприятной для пожаротушения, 5 ноября пожар был полностью потушен. Площадь пострадавшей от пожара территории составила 301 га.

### **3.6.2 Данные пожара Гетти**

Входные данные высот территории и типов топлива были взяты с LANDFIRE [[7]](#landfire) – совместной программы Министерства сельского хозяйства США, Министерства внутренних дел США и программ управления пожарами, предоставляющей в свободном доступе геопродукты, описывающие территории США и близлежащих островов.

Метеорологические данные (скорости и направления ветра, температуры, влажности воздуха) взяты с набора данных ERA5 [[2]](#era5), предоставляющего почасовые оценки большого числа атмосферных, наземных и океанических климатических переменных.

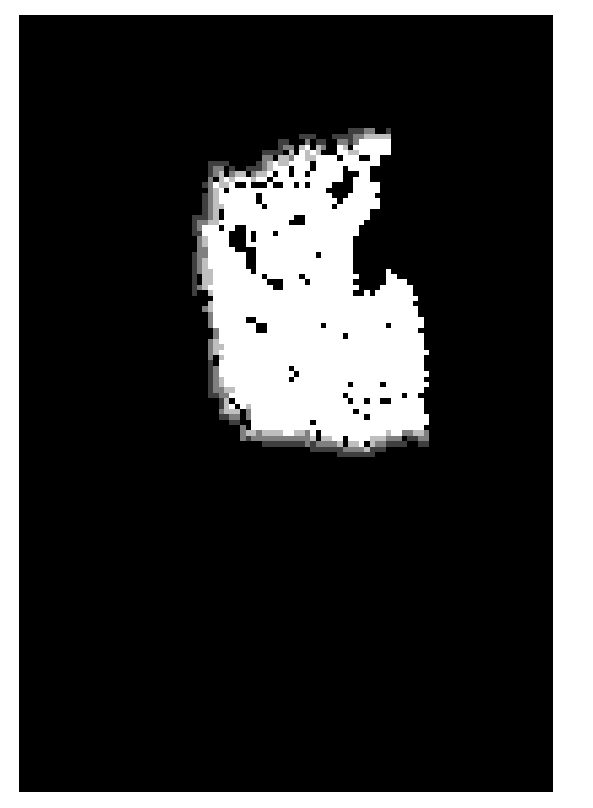
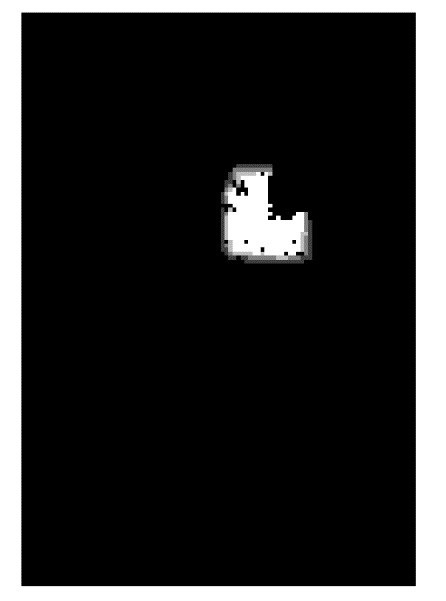
Территория поражения пожаром взята с Wildland Fire Open Data [[9]](#wildlandf) – проект WFIGS, предоставляющий расположение и периметры как современных, так и исторических пожаров на территории США.

**3.6.3 Выходные данные**

По истечении интервала изменения погоды программа выводит состояние территории на данный момент времени. На [рис. 20](#fireproc) представлены результаты моделирования спустя 1.5, 4.5 и 10 часов с начала моделирования. Черным отображены не горящие на определенный момент времени ячейки, горящие – белым и оттенками серого.

а) б) в)

Рисунок 20. Выходные данные работы модели. a) спустя 1.5 часа после начала моделирования, б) спустя 4.5 часа после начала моделирования, в) спустя 10 часов с момента начала моделирования



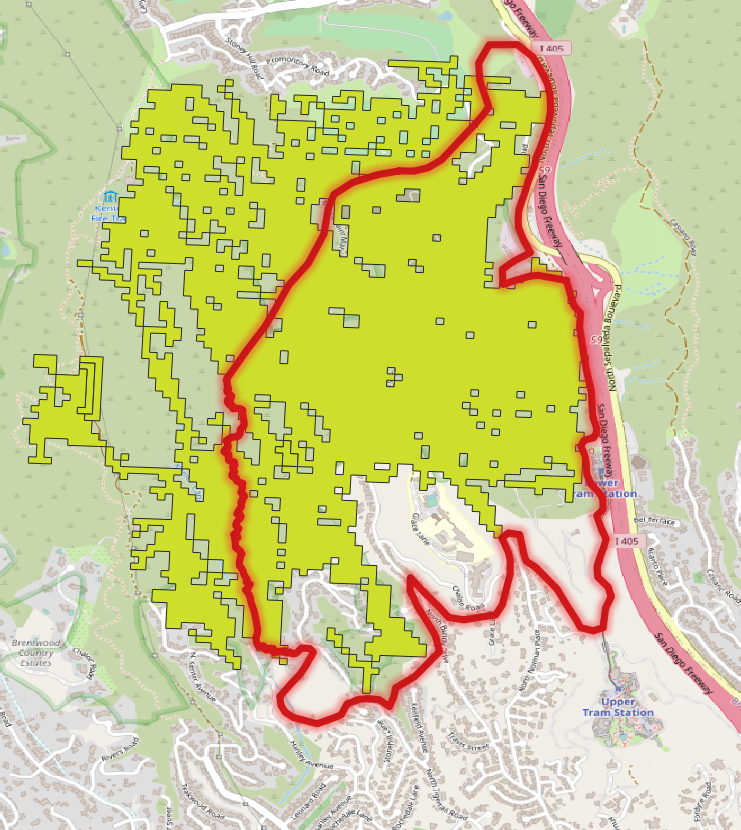
**3.6.4 Сравнение результатов работы программы с моделью FARSITE**

FARSITE – двумерная модель распространения огня, объединяющая существующие модели распространения разных видов пожаров (низовой, верховой, с точечными источниками пожара из легковоспламеняющихся подвижных частиц), а также модель влажности топлива. Модель предполагает, что при однородных условиях распространение огня имеет форму эллипса.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Модель | Совпадающая территория, га | Несовпадающая территория, га |
| FARSITE | 211.13 | 153.4337 |
| Разработанная модель | 183.25 | 225.4 |

Таблица 3. Сравнение результатов работы моделей с реальными данными о периметре пожара

Разница в результатах работы моделей [(Таблица 3)](#сравнение) обусловлена разными типами входных метеорологических данных, разницей в используемых топливных моделях. Кроме того, FARSITE генерирует общую площадь поражения пожаром, без внутренних пустот, обусловленных, например, водоемами. Реальные данные о периметре пожара также включают в себя только внешний периметр, не включающий в себя участки, в которых пожар не распространяется.

Изображение выглядит как карта

Автоматически созданное описание

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рисунок 21. Сравнение результатов работы моделей с реальным периметром пожара. a) cравнение с разработанной моделью, б) cравнение с FARSITE

## **3.7 Описание и обоснование выбора состава технических и программных средств**

Минимальный состав технических средств для надежной и бесперебойной работы программы:

* + - Персональный компьютер c 32-разрядным или 64-разрядным процессором с тактовой частотой 1 ГГц или выше;
    - 500 МБ или больше оперативной памяти (ОЗУ);
    - 800 МБ или больше свободного места на жестком диске;
    - Клавиатура и мышь;
    - Стабильное подключение к сети Интернет.

Состав программных средств:

* Операционная система Microsoft Windows 7 или выше;
* Java 16.0.2 или выше;
* Java библиотека GDAL 3.3.0 или выше;
* Python 3.8 или выше;
* Python библиотеки GDAL 3.3.0 или выше, PyQt5 5.15.4 или выше, pyshp 2.1.3 или выше, geojson 2.5.0 или выше, Shapely 1.7.1 или выше.

1. **ОЖИДАЕМЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

## **4.1. Предполагаемая потребность**

Программа может быть востребована при принятии решения о сценарии пожаротушения и мер эвакуации, в аграрной сфере – при управлении контролируемого пожара и решении вопросов землепользования. Программа может быть использована в качестве компоненты симуляторов при обучении пожарных бригад, а также в научных целях.

## **4.2. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными образцами или аналогами**

В рамках данной работы расчет экономических показателей не предусмотрен.

1. **ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ**
2. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов, М.: «Мир», 1991.
3. ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) [Электронный ресурс] / ECMWF. Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>, свободный. (дата обращения: 21.07.2021).
4. Existing Vegetation Type [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://landfire.gov/evt.php>, свободный. (дата обращения: 21.08.2021).
5. Finney, M. A. FARSITE, Fire Area Simulator – model development and evaluation. / M.A. Finney // [Электронный ресурс]: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 1998. – Режим доступа: <https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_rp004.pdf>, свободный. (дата обращения: 21.07.2021).
6. Getty Fire [Электронный ресурс] / Los Angeles Fire Department. Режим доступа: <https://www.lafd.org/news/getty-fire>, свободный. (дата обращения: 21.07.2021).
7. Jiang W. Modelling of wildland-urban interface fire spread with the heterogeneous cellular automata model/ W. Jiang, F. Wang, L. Fang, X. Zheng, X. Qiao, Z. Li, Q. Meng // Environment Modelling and Software – 2021 – vol.135 – 104895.
8. LANDFIRE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://landfire.gov/>, свободный. (дата обращения: 21.07.2021).
9. Mao, X. The influence of wind and relief on the speed of the forest fire spreading / X. Mao // Journal of Applied Meteorological Science – 1993 – vol.4 – C. 100 – 104.
10. Wildland Fire Open Data [Электронный ресурс] / National Interagency Fire Center. Режим доступа: <https://data-nifc.opendata.arcgis.com/>, свободный. (дата обращения: 21.07.2021).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**ТЕРМИНОЛОГИЯ**

Ниже приведен список необходимых для ознакомления терминов:

Клеточный автомат - набор клеток, образующих некоторую периодическую сетку с заданными правилами перехода, определяющими состояние клетки в следующий момент времени через состояние клеток, находящимися от нее на расстоянии не больше некоторого, в текущий момент времени. Как правило, рассматриваются автоматы, где состояние определяется самой клеткой и ближайшими соседями

Окрестность Мура ячейки - совокупность ячеек в сетке, имеющих общую вершину с данной ячейкой. Окрестность Мура порядка r в двумерном случае представляет собой квадрат со стороной 2r+1

Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM) - это система картографических проекций, в которой поверхность [Земли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F) разделена на 60 вытянутых в меридиональном направлении зон шириной 6 [градусов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%83%D1%81_(%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F)). Каждая из этих зон имеет свой центральный меридиан и проецируется по отдельности в [поперечной проекции Меркатора](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0)

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

Таблица 4– Описание классов подсистемы модели

|  |  |
| --- | --- |
| **Класс** | **Назначение** |
| InputData | класс, содержащий пути к входных данным и заданные параметры моделирования |
| ForestArea | класс, представляющий собой лесную территорию – решетку клеток ForestCell |
| ForestCell | класс, представляющий собой лесную ячейку |
| GlobalFire | класс, представляющий собой общую – лесную и городскую территорию моделирования |
| Main | класс запуска модели |
| Urban Area | класс городской территории – решетка клеток UrbanCell |
| UrbanCell | класс ячейки города |

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

Таблица 3.1. - Описание полей класса InputData

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |
| side | package-private | int | Хранит значение стороны ячейки |
| ignition | package-private | String | хранит путь к файлу с данными о периметре начального возгорания |
| fuel | package-private | String | хранит путь к данным о топливном содержании ячеек |
| fuelCodes | package-private | String | хранит путь к данным о кодах топливной модели |
| elevation | package-private | String | хранит путь к данным о высотах местности |
| buildingsPath | package-private | String | хранит путь к данным о расположении строений |
| weatherPeriod | package-private | int | содержит значение интервала изменения погоды |
| houseMaterial | package-private | double | содержит вес материала домов |
| startPoint | package-private | Geometry | содержит координатную точку левого верхнего края территории моделирования |
| endPoint | package-private | Geometry | содержит координатную точку правого нижнего края территории моделирования |
| start | private | LocalDateTime | хранит время начала моделирования |
| finish | private | LocalDateTime | хранит время окончания моделирования |

Таблица 3.2. – Описание методов класса InputData

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| getSide | public | int | **-** | обеспечивает доступ к пути к файлу с данными о периметре начального возгорания |
| getIgnition | public | String | **-** | обеспечивает доступ к пути к данным о топливном содержании ячеек |
| getFuel | public | String | **-** | обеспечивает доступ к пути к данным о кодах топливной модели |
| getFuelCodes | public | String | **-** | обеспечивает доступ к пути к данным о высотах местности |
| getElevation | public | String | **-** | обеспечивает доступ к пути к данным о расположении строений |
| getBuildingsPath | public | String | **-** | обеспечивает доступ к значению интервала изменения погоды |
| getWeatherPeriod | public | int | **-** | обеспечивает доступ к весу материала домов |
| getHouseMaterial | public | double | **-** | обеспечивает доступ к координатную точке левого верхнего края территории моделирования |
| getStartPoint | public | Geometry | **-** | обеспечивает доступ к координатную точке правого нижнего края территории моделирования |
| getEndPoint | public | Geometry | **-** | обеспечивает доступ к времени начала моделирования |
| getStart | public | LocalDateTime | **-** | обеспечивает доступ к времени окончания моделирования |
| getFinish | public | LocalDateTime | **-** | обеспечивает доступ к пути к файлу с данными о периметре начального возгорания |

Таблица 3.3. - Описание полей класса ForestArea

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |
| side | package-private | int | Указывает на значение стороны ячейки |
| inputData | package-private | InputData | Хранит входные данные и параметры моделирования |
| ignitoinRasterPath | package-private | String | Хранит путь к растрированным данным начального периметра возгорания |
| currentDate | package-private | LocalDateTime | Хранит текущее время |
| states | package-private | ForestStates[][] | Хранит состояния ячеек |
| cells | package-private | ForestCells[][] | Хранит ячейки леса |
| spatialReferenceUTM | package-private | SpatialReference | Хранит UTM проекцию территории |

Таблица 3.4. – Описание методов класса ForestArea

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| setSpreadRaters | ptivate | void | - | Иинциализирует значения скорости распространения пожара |
| defineArea | private | void | InputData inputData | Инициализирует ячейки лесной территории |
| setIgnition | private | void | String path | Определяет горящие лесные клетки на момент начала моделирования |
| rasterizeIgnition | private | void | String | Растрирует полигон территории начального пожара |
| defineNeighbours | private | void | - | Определяет ячейки окрестности Мура для каждой лесной ячейки |
| propagate | public | void | double minutesLeft, double step, LocalDateTime localDateTime | Моделирует один шаг модели лес - лес |
| printStatistics | public | void | - | Выводит статистику состояний на данный момент времени |
| updateStates | public | void | - | Обновляет состояния ячеек |
| setFuel | public | void | String path, String fuelCodes | Инициализирует тип топлива в ячейках |
| readFuelCodes | private | Map<Integer, Integer> | String fuelCodes, Map<String, Double> fuelTypesTransition | Считывает значения кодов топливной модели и сопоставляемый им тип топлива |
| setWeatherData | public | void | String weatherDataPath | Инициализирует значение метеорологических характеристик в каждой ячейке |
| generatePaths | private | String[] | String path, String name | Генерирует пути временных файлов |
| setElevation | public | void | String path | Инициализирует данные о высотах в ячейках |
| setSlopes | private | void | - | Рассчитывает значение уклона в каждой ячейке |
| changeResolutionAndBorders | private | Dataset | Dataset dataset, String path | Изменяет разрешение и географические границы данных |
| changeProjection | private | Dataset | Dataset dataset, String path | Изменяет проекцию данных |
| propagateInUrban | public | void | UrbanCell[][] urbanCells | Реализация модели лес - город |

Таблица 3.5. - Описание полей класса ForestCell

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |
| geometry | package private | String | Хранит описании геометрии ячейки в формате WKT |
| state | package private | ForestStates | Хранит состояние ячейки |
| innerFireTime | package private | double | Период внутреннего горения ячейки |
| maxSpreadRate | package private | double | Максимальная скорость распространения пожара |
| firePeriod | package private | double | Период распространения пожара |
| fuel | package private | double | Значение типа топлива в ячейки |
| windVelocity | package private | double | Значение скорости ветра в ячейке |
| windDirection | package private | double | Значение направления вета в ячейке |
| height | package private | double | Значение высоты в ячейке |
| spreadRateDefault | package private | double | Значение скорости распространения пожара по умолчанию |
| neighbours | package private | ForestCell[][] | Окрестность Мура для данной ячейки |
| slope | package private | double | Уклон территории в ячейке |
| spreadRates | package private | double[] | Значение скоростей распространения пожара под влиянием соседних ячеек |
| side | package private | int | Сторона ячейки |
| ignitedByUrban | package private | boolean | Подожжена ли ячейка городской ячейкой |

Таблица 3.6. – Описание методов класса ForestCell

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| isIgnitedByUrban | public | boolean | - | Показывает, была ли ячейка подожжена городской ячейкой |
| getGeometry | public | String | - | Возвращает геометрические характеристики ячейки |
| calculateGeometry | private | Geometry | double x, double y | Рассчитывает геометрические характеристики ячейки |
| getState | public | ForestStates | - | Обеспечивают корректную работу с полями ячейки |
| setState | public | void | ForestStates state |
| getMaxSpreadRate | public | double | - |
| getFirePeriod | public | double | - |
| setFuel | public | void | double fuel |
| setWindVelocity | public | void | double windVelocity |
| setWindDirection | public | void | double windDirection |
| getWindVelocity | public | double | - |
| setHeight | public | void | double height |
| getSpreadRates | public | double[] | - |
| setNeighbours | public | void | Forestcell[][] neighbours |
| setSide | public | void | int side |
| getHeight | public | double | - |
| initSlope | public | void | - | Рассчитывает уклон территории в ячейке |
| changeDefaultSpreadRate | public | void | double temperature, double windVelocity, double humidity | Изменяет значение скорости распространения пожара по умолчанию |
| initSpreadRates | public | void | - | Рассчитывает скорость распространения пожара от каждой ячейки окрестности Мура |
| calculateSpreadRates | private | double | int i | Рассчитывает скорость распространения пожара для определенной ячейки из окрестности Мура |
| calculate InternalSpreadRate | public | double | - | Рассчитывает скорость внутреннего распространения пожара |
| fireSpreadOnUrban | public | void | UrbanCell[][] urbanCells, int i, int j, int width, int length | Реализация распространения пожара от лесной ячейки на городскую |
| rotatedCoords | private | double[] | double pointX, double pointY, double originX, double originY, double angle | Поворот координат на определенный угол |
| becomeIgnited | public | void | - | Определяет, что ячейка зажглась от городской ячейки |
| makeIgnitedByUrbanDefault | public | void | - | Возвращает параметру значение по усмолчанию |

Таблица 3.7. - Описание полей класса GlobalFire

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |
| inputData | package private | InputData | Хранит входные данные и параметры моделирования |
| forest | package private | ForestArea | Хранит лесную территорию |
| urban | package private | UrbanArea | Хранит городскую территорию |
| spatialReferenceUTM | package private | SpatialReference | Хранит UTM проекцию |
| side | package private | int | Содержит сторону ячейки |
| length | package private | int | Длина территории |
| width | package private | int | Ширина территории |
| currentDateTime | package private | LocalDateTime | Хранит текущее значение времени |

Таблица 3.8. – Описание методов класса GlobalFire

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| setWeather | private | void | String weather, int number | Считывает погодные данные |
| mergeWeatherData | private | String | String dir, String[] record | Объединяет метеорологические данные в один файл |
| addBandToWeatehrDataset | private | void | String name, Dataset dataset, String projectedName, int bandName | Добавляет слой метеорологических данных в общий файл |
| changeResolutionAndBorders | private | Dataset | Dataset dataset, String path | Изменяет разрешение и географические границы данных |
| propagate | public | void | - | Распространение огня на городской и лесной территории |
| presentResult | private | void | - | Сохраняет результат моделирования |
| initSpatialReference | private | void | - | Определяет UTM проекцию по координатам территории |
| defineAreaSize | private | void | - | Определяет размер территории в ячейках |

Таблица 3.9. - Описание полей класса Main

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |

Таблица 3.10. – Описание методов класса Main

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| main | public | void | String[] args | Запуск моделирования |

Таблица 3.11. - Описание полей класса UrbanArea

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |
| width | package private | int | Ширина территории |
| length | package private | int | Длина территории |
| side | package private | int | Сторона ячейки |
| inputData | package private | InputData | Входные данные и параметры моделирования |
| areaVectorPath | package private | String | Путь к векторным данным расположения зданий |
| areaRasterPath | package private | String | Путь к растеризованным данным расположения зданий |
| urbanCells | package private | UrbanCell[][] | Ячейки городской территории |
| states | package private | UrbanStates | Состояния ячеек городской территории |
| random | package private | Random | Генератор случайных чисел |

Таблица 3.12. – Описание методов класса UrbanArea

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| initUrbanCells | private | void | - | Инициализация ячеек территории |
| rasterizeBuildingMap | private | void | - | Растреизирует векторные данные расположения зданий |
| propagate | public | void | double step | Моделирует распространение огня по модели город - город |
| rotatedCoords | private | double[] | double pointX, double pointY, double originX, double originY, double angle | Поворачивает координаты объекта на некоторый угол |
| extractBuildings | private | void | InputData inputData, SpatialReference spatialReferenceUTM | Выделяет из .OSM файла данные о расположении зданий и сохраняет их во временный SHP файл |
| propagateInForest | public | void | ForestCell[][] cells | Рапсростраение пожара от городской территории на лесную |
| updateStates | public | void | - | Обновление состояний ячеек города |
| printUrbanStatistics | public | void | - | Вывод статистики состояний ячеек на определенный момент времени |
| setWeatherData | public | void | String weatherDataPath | Определяет погодные условия в ячейках |
| generatePaths | private | String[] | String path, String name | Генерирует пути временных файлов |
| changeResolutionAndBorders | private | Dataset | Dataset dataset, String path | Изменяет разрешение и географические границы данных |
| changeProjection | private | Dataset | Dataset dataset, String path | Изменяет проекцию данных |

Таблица 3.13. - Описание полей класса UrbanCell

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поля** | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип** | **Назначение** |
| weather | package private | double | Описывает погодные условия |
| geometry | package private | String | Описывает геогеометричсекие характеристики ячейки в формате WKT |
| windVelocity | package private | double | Описывает скорость ветра |
| windAngle | package private | double | Описывает направление ветра |
| state | package private | UrbanStates | Состояние ячейки |
| side | package private | double | Сторона ячейки |
| ignitionProbabaility | package private | double | Вероятность загореться |
| innerTime | package private | double | Время внутреннего грения |

Таблица 3.14. – Описание методов класса UrbanCell

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип данных** | **Аргументы** | **Назначение** |
| calculateGeometry | private | Geometry | double x, double y | Рассчитывает геомтеричсекие характеристики ячейки |
| fireSpreadOnUrban | public | void | double step, UrbanStates[][] states, random rand, int i, int j | Распространение огня между клетками города |
| developIgnition | public | void | double step, UrbanStates[][] sates, Random rand, int i, int j | Развитие пожара после поджога ячейки для состояния IGNITION |
| developFlashover | public | void | double step, UrbanStates[][] states, Random rand, int i, int j | Развитие пожара в ячейке в состоянии FLASHOVER |
| fireSpreadOnForest | public | void | ForestCell[][] cells, int i, int j, int width, int length | Распространение пожара от городской клетки на лесную |
| addIgnitionProbability | public | void | double v | Добавляет к вероятности ячейки загореться вероятность, обусловленную влиянием определенной ячейки |

# **ПРИЛОЖЕНИЕ 4**

Таблица 4.1. – Описание классов подсистемы визуализации

|  |  |
| --- | --- |
| **Класс** | **Назначение** |
| Application | Класс запуска приложения |
| UIWindows | Класс главного окна приложения |
| UIElement | Класс, представляющий окно приложения |
| AddLayerWindow | Класс окна добавления слоя |
| ModelSttingsWindow | Класс окна настройки модели |
| MapView | Класс работы с картой |
| Layer | Класс слоя |
| RasterLayer | Класс растрового слоя |
| VectorLayer | Класс векторного слоя |

# **ПРИЛОЖЕНИЕ 5**

Таблица 5.1. – Описание методов класса Application

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Методы** | | | | |
| **Имя** | **Модификатор доступа** | **Тип значения** | **Аргументы** | **Назначение** |
| run |  |  | - | запуск приложения |

Таблица 5.2. – Описание методов класса UIWindow

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
| initialize\_menubar |  | Инициализирует компоненты меню |
| show\_layer\_context\_menu | QPoint | Отображает контекстное меню для списка слоев и обеспечивает работу с ним |
| show\_add\_raster\_layer\_window |  | Отображает окно добавления растрового слоя |
| show\_add\_vector\_layer\_window |  | Отображает окно добавления векторного слоя |
| show\_launch\_model\_window |  | Отображает окно настроек моделирования |
| update\_layers\_list |  | Обновляет список слоев |
| show\_layer\_list |  | Отображает слои приложения |
| show\_message | String, String, QIcon | Задает текст и вид всплывающих сообщений |
| hide\_layers |  | Скрывает список доступных слоев |
| remove\_layer |  | Удалят слой |

Таблица 5.3. – Описание методов класса UIElement

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
|  |  |  |

Таблица 5.4. – Описание методов класса AddLayerWindow

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
| initialize |  | Инициализация действий при нажатии кнопок |
| open\_vector\_file |  | Выбор векторного файла |
| open\_raster\_file |  | Выбор растрового файла |
| show |  | Инициализация полей окна значениями по умолчанию |
| hide |  | Скрыть окно |
| add\_raster\_layer |  | Добавление растрового слоя |
| add\_vector\_layer |  | Добавление векторного слоя |

Таблица 5.4. – Описание методов класса ModelSettingWindow

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
| initialize |  | Инициализация действий при нажатии кнопок |
| show |  | Инициализация полей окна значениями по умолчанию |
| open\_text\_file |  | Выбор текстового файла |
| open\_raster\_file |  | Выбор растрового файла |
| open\_osm\_file |  | Выбор векторного файла |
| jarWrapper | \*args | Запуск кода модели |
| launch\_model |  | Запуск модели и отображение результата моделирования |
| hide |  | Скрыть окно |

Таблица 5.5. – Описание методов класса MapView

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
| has\_layer | String, Layer | Проверяет, есть ли в списке слоев слой с данным названием |
| add\_raster\_layer | String, double[] double[] | Добавить растровый слой на карту |
| add\_vector\_layer | String, String | Добавить векторный слой на карту |
| check\_layer\_name | String | Проверяет корректность названия слоя |
| set\_visible | String, boolean | Сделать слой видимым |
| bring\_to\_back | String | Поместить слой назад |
| bring\_to\_front | String | Поместить слой вперед |

Таблица 5.6. – Описание методов класса Layer

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
|  |  |  |

Таблица 5.7. – Описание методов класса RasterLayer

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
|  |  |  |

Таблица 5.8. – Описание методов класса VectorLayer

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Аргументы** | **Назначение** |
|  |  |  |

# **ПРИЛОЖЕНИЕ 6**

**ДИАГРАММА КЛАССОВ**

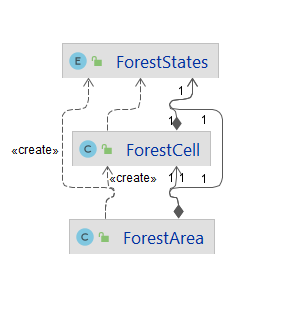
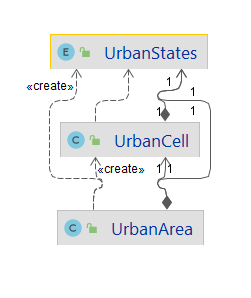
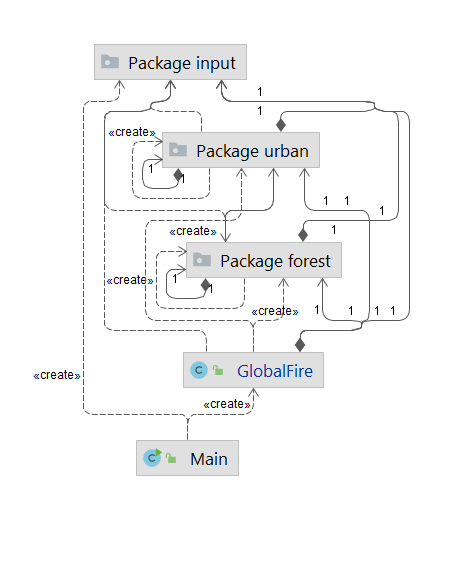


Рисунок 22. Диаграмма классов модели распространения пожара

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Изм. | Номера листов (страниц) | | | | Всего листов (страниц) в документе | № документа | Входящий № сопроводительного документа и дата | Подпись | Дата |
| измененных | замененных | новых | аннулированных |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |