

«Уральский федеральный университет
имени первого президента России Б.Н. Ельцина»

Физико-технологический институт

Кафедра теоретической физики и прикладной математики

Проект по модулю «вычислительная физика»
Фрактальная модель роста лесных пожаров.

Студент: Чугунов П. А.

Руководитель: Мазуренко В. В.

Екатеринбург 2022

Оглавление

2.1. Фракталы	4
2.2. Работа с изображениями OpenCV.....	5
3.1. Построение модели для проверки методов	6
3.1.1. Простой пожар в абсолютно густом лесу без влияния окружающей среды	6
3.1.2. Простой пожар в реалистичном лесу без влияния окружающей среды	7
3.1.3. Пожар в лесу с водными поверхностями с учетом влияния ветра	8
3.2. Моделирование пожаров в настоящем лесу.....	10
3.2.1. Распознаем объекты со спутникового снимка.....	10
3.2.2. Лесной пожар на реальной местности без учета ветра.....	12
3.2.3. Лесной пожар на реальной местности с учетом ветра	12
4. Заключение.....	14
5. Список литературы	15

1. Введение



Рис. 1. Лесной пожар и острова. Вид со спутника.

Леса занимают 75% территорий России, и каждый пожар наносит существенный ущерб экономике страны. Так, на конец весны 2022 года в Свердловской области уже горит 6000 га леса. Причиной того, что лесной пожар разгорается и уничтожает большие территории является то, что очаг не получается вовремя локализовать. Изменчивая погода, отсутствие постоянно контроля за текущими границами пожара, все это увеличивает ущерб стране.

Целью же настоящей работы является разработка программного обеспечения и построение фрактальной модели пожаров для предсказания его распространения, что будет способствовать локализации и последующему тушению огня. То, что лесной пожар имеет фрактальные свойства можно предположить, сравнив фронт огня с формой береговой линии. Береговая линия имеет одно интересное свойство: Чем меньше используемый метр для измерения ее длины, тем больше измеряемая граница. Кажется, что это парадокс! Не может же быть так, что при стремлении нашего метра к нулю, длина будет стремиться к бесконечности. Для обычных кривых такой способ измерения имеет место, а для фрактальных, так как они имеют разную сложность в зависимости от масштаба, фрактальные длины могут непредсказуемо меняться. Береговая линия со свойствами самоподобия входит в первую категорию фракталов, а так как фронт огня очень схож по своей форме с береговой линией, то и пожар мы будем рассматривать как фрактал.

2. Теоретическая часть

2.1. Фракталы

Впервые фрактальную природу нашего мира подметил Мандельброт: «Почему геометрию часто называют холодной и сухой? Одна из причин заключается в ее неспособности описать форму облака, горы, дерева или берега моря. Облака - это не сферы, горы - не конусы, линии берега - это не окружности, и кора не является гладкой, и молния не распространяется по прямой. Природа демонстрирует нам не просто более высокую степень, а совсем другой уровень сложности».

Согласно Мандельброту, слово «фрактал» происходит от латинских слов «fractus» - дробный и «frangere» - ломать, что отражает суть фрактала, как «изломанного», нерегулярного множества. В качестве количественной меры структурности этих объектов выступает фрактальная размерность d_f . Для определения d_f вспомним сначала некоторые простые понятия обычной евклидовой геометрии. Рассмотрим круговой или сферический объект массой M и радиусом R . Объект может либо быть сплошным (однородная плотность), либо состоять из полостей, но в любом случае предположим, что его плотность не зависит от размера. Следовательно, при увеличении радиуса объекта от R до $2R$, его масса увеличивается в R^2 раз, если объект круглый, или в R^3 раз, если он сферический. Эту связь массы и длины можно записать как:

$$M(R) = R^d$$

Где d – размерность пространства.

Объект, у которого масса зависит от радиуса таким соотношением называется компактным. Плотность ρ же у компактного объекта постоянна и равна 1.

Определим связь между массой и размером объекта в более общем виде:

$$M(R) \approx R^{d_f}$$

Объект удовлетворяющий такому соотношению, где $d_f < d$, называется фрактальным. У фрактального объекта можно отметить особенность:

его плотность уменьшается с увеличением его размера. d_f – фрактальная размерность, определяется путем подсчета в объекте числа ячеек M_r , находящихся в радиусе r от затравочной частицы. Затем необходимо построить зависимость $\ln M_r = \ln r$ и тогда

$$d_f = \frac{\Delta \ln M_r}{\Delta \ln r}$$

В ходе данной работы процесс роста лесного пожара будет описываться моделью кинетического роста колоний бактерий, которая была предложена Эденом в 1961г. Для модели Эдена $d_f \approx 2$.

2.2. Работа с изображениями OpenCV

В работе мы будем использовать распознавание цветных объектов на изображении. За определение области одного цвета в библиотеке OpenCV отвечает функция `cv2.inRange()`, которая принимает на входе набор из двух цветов (верхний и нижний диапазон искомого цвета) и на выходе выдает черно-белое изображение, у которого белый – участки искомого оттенка, черный – все остальное. Так как границы искомого цвета в пространстве RGB определить сложно, поскольку эти границы представляют собой куб RGB в кубе RGB и при поиске какого-то конкретного цвета мы непременно затрагиваем другие цвета. Поэтому для распознавания необходимо будет преобразовать цветовую модель нашего изображения в HSI.

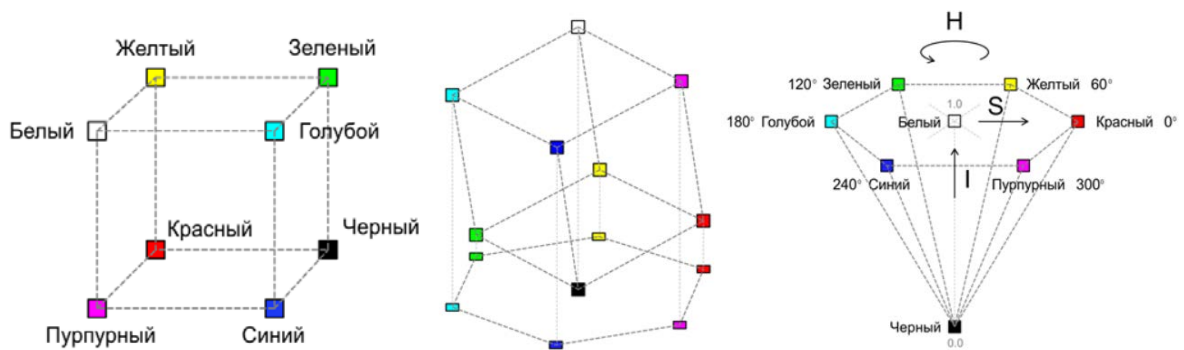


Рис.2. Куб RGB, переход RGB-HSV, конус HSI.

В модели HSV происходит переход от представления цвета в виде его координат к представлению цвета как цветовой тон(Hue), насыщенность(Saturations) и яркость(Intensity).

3. Практическая часть

В ходе работы будут рассмотрены простые модели лесного пожара, модели с учетом ветра и модельных ограничений, а также будет проведено моделирование с учетом реальной местности и реальных погодных условий. Для облегчения работы, не смотря на, как правило, сложную форму лесных массивов, было сделано приближение – каждый лесной массив можно рассмотреть, как совокупность большого множества массивов квадратной формы, а потому и работа заключается в рассмотрении квадратных областей.

На всех рисунках рассматриваемой области зеленый – дерево, красный – огонь, серый – сгоревшее дерево, коричневый – земля.

3.1. Построение модели для проверки методов

3.1.1. Простой пожар в абсолютно густом лесу без влияния окружающей среды

Для начала построим простую модель распространения лесного пожара на квадратной области размерами 100x100м. Будем считать, что лес очень густой и в каждом метре у нас растет по дереву. Для этой модели зададим правило: если рядом с деревом находится огонь, то это дерево загорается. В программе это задается как наличие огня в ячейке со смежной стороной. Очаг возгорания расположим в центре нашей области.

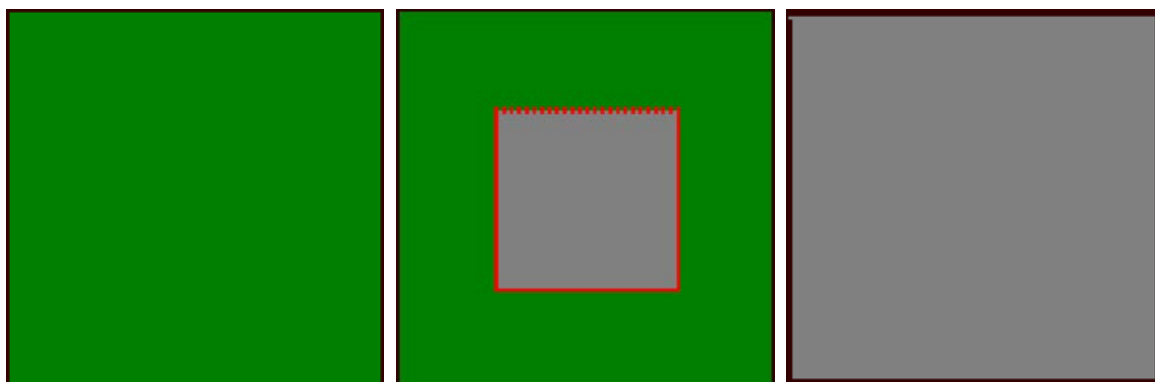


Рис.3. Исследуемый участок до симуляции в ходе и после.

Как можно заметить, лес полностью сгорел. В целом это было абсолютно ожидаемо, никаких препятствий распространению огня нет. Но что более

важно – фронт огня совсем не похож на фрактал – это просто квадрат. Так произошло из-за того, что была задана не естественная модель леса. Действительно, лесов с плотностью $\rho = 1$ в реальном мире встретить не получится. Тогда бы у деревьев совсем не было бы веток!

3.1.2. Простой пожар в реалистичном лесу без влияния окружающей среды

В природе плотность леса варьируется от 300 до 400 деревьев на один гектар, то есть $0,3 < \rho < 0,4$. Проведем моделирование пожара в таком лесу.

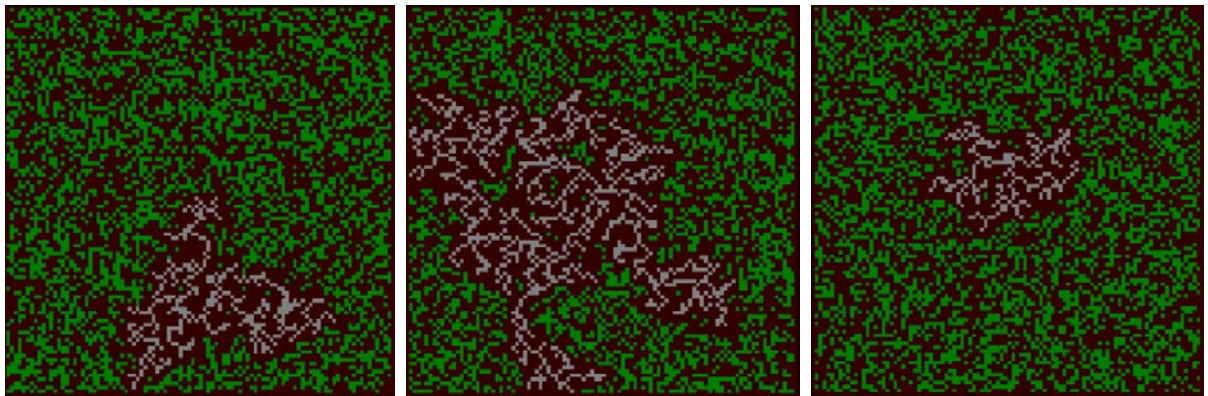


Рис.4. Модель пожара в лесу плотностью 0.4. Три разных симуляции.

На *рис.4* уже наблюдается фрактальный характер роста. «Горение» в этих симуляциях продолжалось до того момента, пока по соседству с деревьями осталась только земля. Давайте посмотрим на зависимость количества сгоревших деревьев от радиуса от очага пожара.

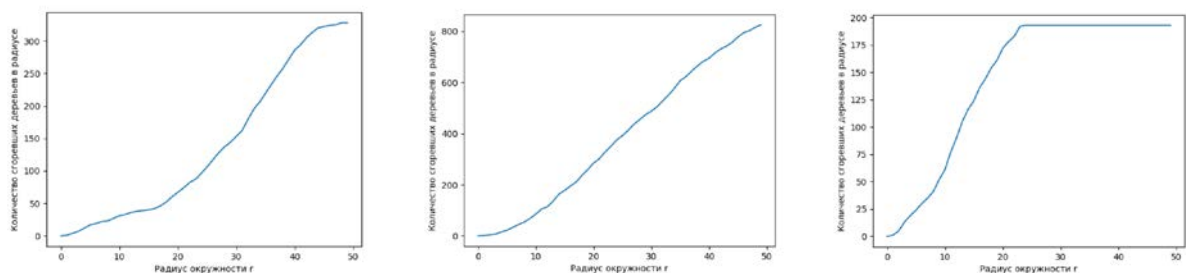


Рис.5. Графики зависимости количества сгоревших, приведенных на *рис.3* симуляциях, деревьев от радиуса окружности с центром в очаге возгорания.

Теперь проверим насколько наша симуляция соответствует модели Эдена, для этого определим фрактальные размерности используя теоретические знания, приведенные выше. Построим логарифмические зависимости M_r и r :

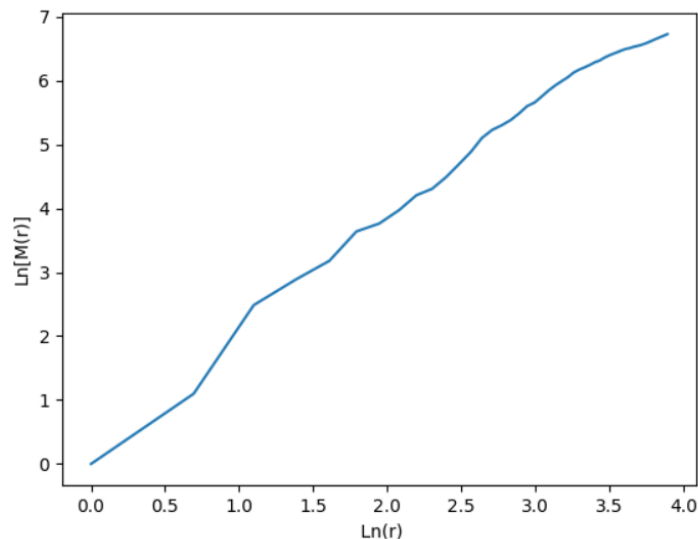


Рис.6. Логарифмическая зависимость количества сгоревших деревьев от радиуса.

Как видно с *рис.6* зависимость получается линейная. А фрактальная размерность d_f получилась равной 2. Отличный результат, значит наша модель действительно является фракталом.

3.1.3. Пожар в лесу с водными поверхностями с учетом влияния ветра

Будет резонным предположить, что в лесах часто встречаются преграды распространению огня. Они могут быть как естественными (реки, скалы, тундровая местность), так и искусственными (водохранилища, защитные противопожарные полосы, дороги). И эти препятствия должны сильно менять картину распространения огня. Добавим в рассматриваемую раньше модель два небольших прямоугольных водоема и в программе зададим условие, что не может стать огнем и всегда останется водой.

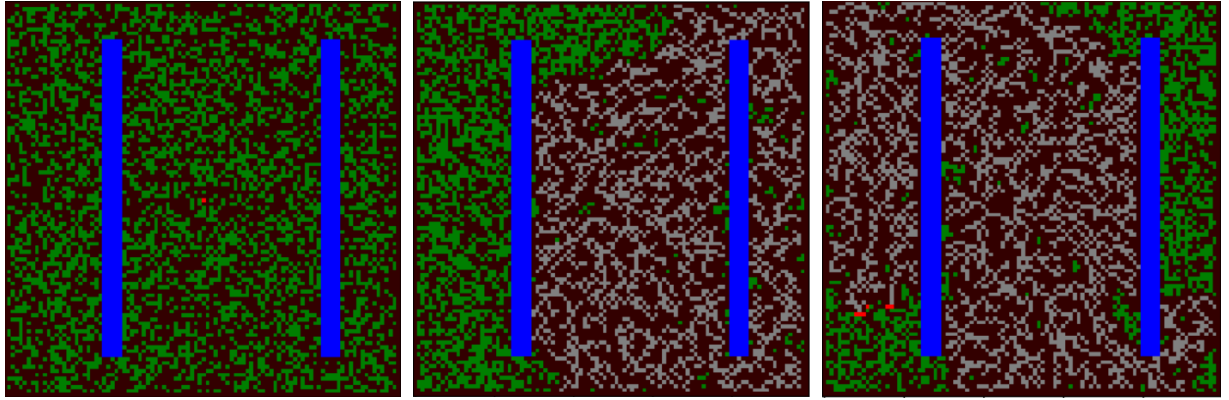


Рис.7. Модель леса с двумя водными преградами для распространения огня и 2 симуляции горения.

Теперь смоделируем влияние ветра на распространения огня. Добавим некоторую «весовую» функцию в программу, которая для каждого из 8 направлений распространения (влево вверх, влево, влево вниз, вниз, вправо вниз, вправо, вправо вверх, вверх) задаст определенный коэффициент от 0 до 1, который показывает вероятность перебрасывания огня в этом направлении. Скажем, что вероятности распространения огня вправо вверх, вправо, вправо вниз равны 1, а во всех остальных направлениях вероятность равна 0.1. Ненулевую вероятность распространения против ветра сделаем из тех соображений, что огонь распространяется не только «контактным» путем, но также горячее дерево может своим инфракрасным излучением нагреть соседнее дерево, стоящее против ветра, и оно загорится.

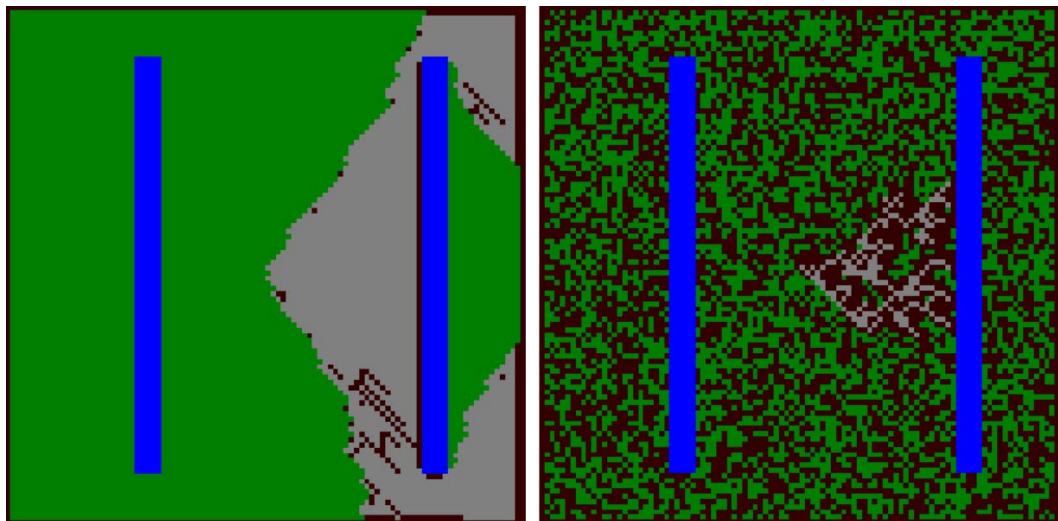


Рис.8. Распространение пожара с учетом ветра в абсолютно густом лесу и лесу с плотностью 0.4.

3.2. Моделирование пожаров в настоящем лесу

Теперь, когда произведена проверка методов на корректность использования в контексте лесных пожаров перейдем к самой практически важной части проекта. Проведем моделирование исходя из того, что лес – это не случайно сгенерированная область, а область абсолютно точно известная по спутниковым снимкам.

3.2.1. Распознаем объекты со спутникового снимка



Рис.9. Спутниковый снимок исследуемой области. Слияние рек Олёмка и Лена.

Для распознавания будем использовать библиотеку алгоритмов компьютерного зрения «OpenCV». Для начала сожмем изображение до квадратного формата, а затем преобразуем его в HSV модель.



Рис.10. Сжатое изображение и изображение в HSV

Теперь напишем небольшую вспомогательную программку, которая выведет на экран интерактивные ползунки для определения цветового диапазона и в зависимости от их положения будет показывать отфильтрованное изображение.

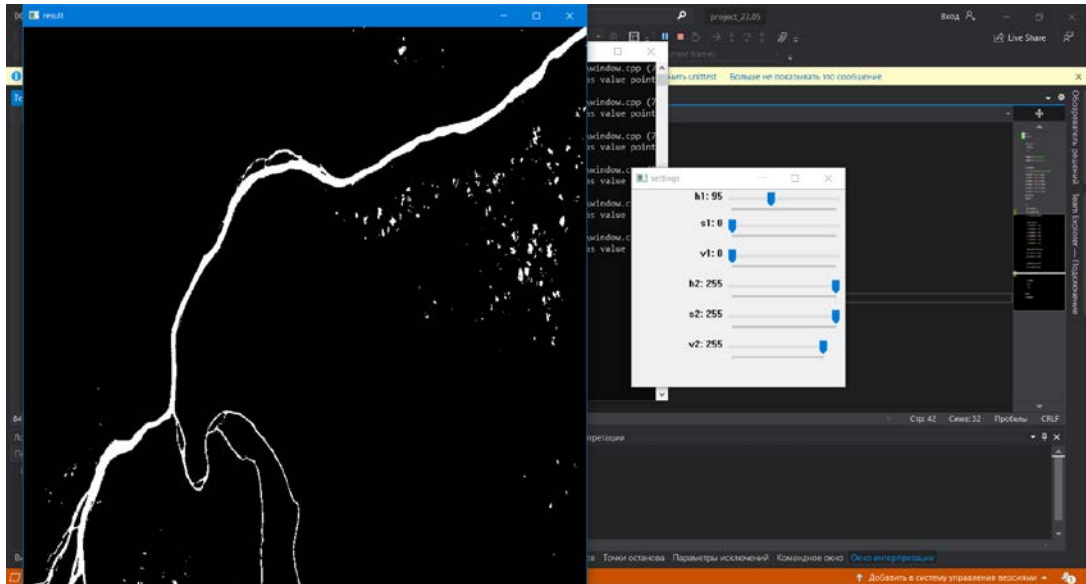


Рис.11. Окно работающей программы. Распознается только тёмно-синий оттенок.

Распознаем 2 цвета: тёмно-синий, он будем являться водной преградой огню, и зеленый – он будет являться лесом. И на основе этих двух цветов создадим новую исследуемую область. Так как симуляции и на области 100x100 ячеек занимали значительное время, то сожмем исходное изображение и ограничимся размером 200x200.

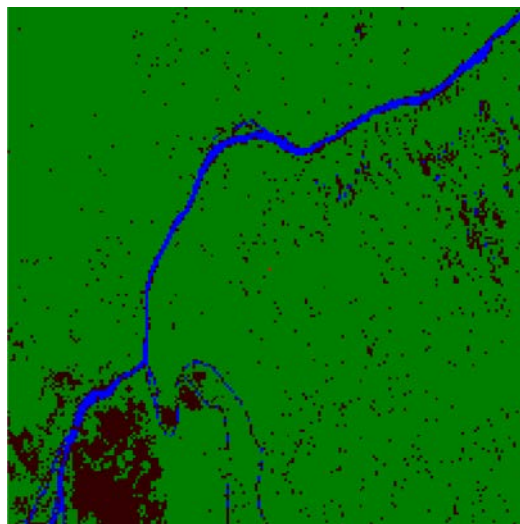


Рис.12. Область после распознавания.

Конечно произошла некоторая потеря информации, например, две впадающие реки перестали быть непрерывными, но оставим это как погрешности в рамках проекта.

3.2.2. Лесной пожар на реальной местности без учета ветра

Теперь запустим симуляцию, используя в качестве области не случайную, а распознанную ранее. Очаг возгорания, как и прежде, расположим в середине области.

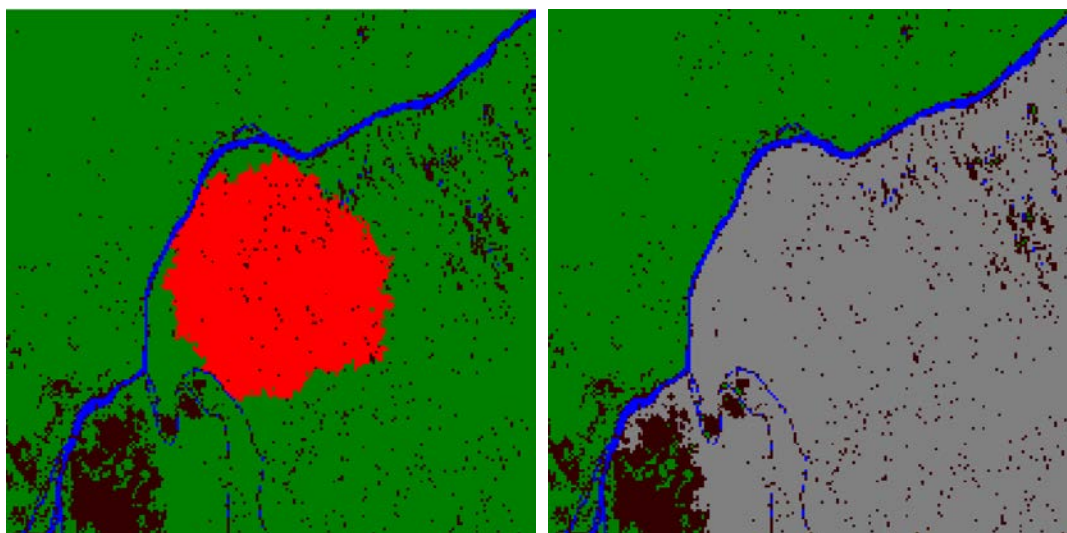


Рис.13. Модель области охваченной огнем и последствий пожара.

На *рис.13* видно, что в процессе горения пожар все еще представляет собой фрактал, однако через продолжительный промежуток времени все-равно весь доступный лес сгорает. Возникает вопрос, а зачем заниматься всем этим моделированием, использовать именно фрактальную модель роста, если ответ на вопрос: «сколько леса сгорит и какой?» предрешен заранее и очевиден. На самом деле нет. Огромное практическое применение имеет не результат симуляции через неограниченный промежуток времени (у нас она продолжается до тех пор, пока есть доступные для возгорания деревья), а картина самого процесса развития огня. Зная текущую конфигурацию, мы можем предсказать как дальше будет себя вести фронт огня, чтобы повысить эффективность борьбы с ним.

3.2.3. Лесной пожар на реальной местности с учетом ветра

Теперь добавим в нашу симуляцию учет ветра. Ввиду небольшого участка рассматриваемой земной поверхности будем считать, что ветер

во всех точках имеет одинаковую скорость и направление. Однако в этот раз мы не будем задавать ветер вручную, мы же рассматриваем реальный участок местности, значит и ветер должен быть тоже настоящий. Получать ветер мы будем с помощью API «Яндекс погода». Для этого создадим личный API ключ, который дает 50 бесплатных запросов в день и напишем небольшую функцию для получения направления ветра. Так же необходимо отметить координаты исследуемого места: 60.420501, 120.936266. По результатам запроса мы получаем северо-западное направление ветра.

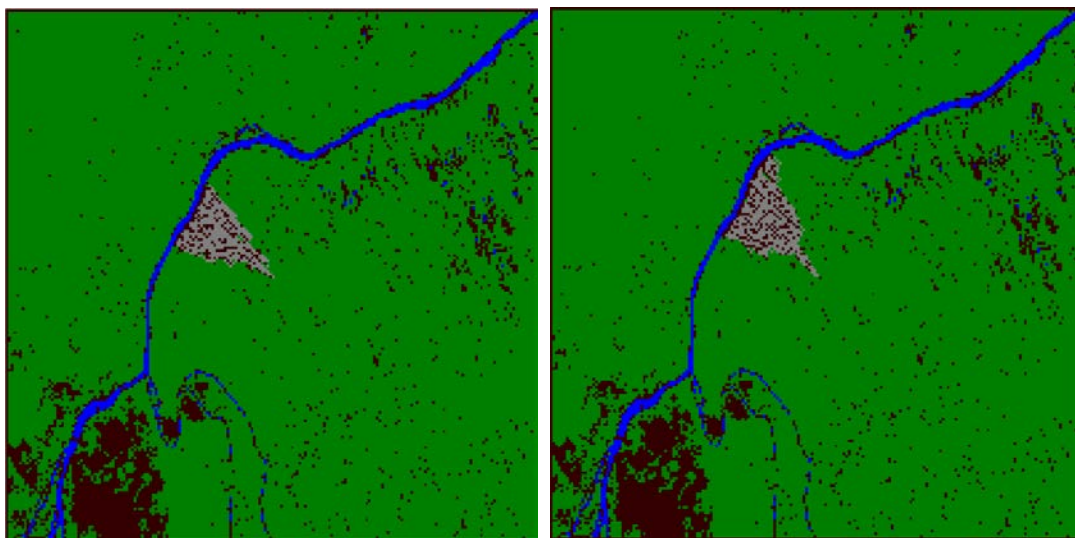


Рис.14. Две симуляции лесного пожара в исследуемой области с учетом реального ветра.

Видно, что ветер сильно влияет на направление распространения фронта. Так же важно отметить, что такие результаты не противоречат здравому смыслу, а в совокупности с проверкой методов ранее можно сказать, что программа для фрактального моделирования распространения лесных пожаров готова.

4. Заключение

В ходе данной работы была разработана программа для фрактального моделирования роста лесных пожаров. Её работа была проверена на соответствие фрактальной теории, что гарантирует точность предсказания распространения фронта огня. Конечно, это не полностью реализованный проект, для получения продукта с которым можно будет выходить на рынок необходимо разработать полноценное приложение, а не работать из консоли. Так же перспективами развития можно считать распознавание в качестве препятствий не только водных поверхностей, но также дорог, строений, скал. Также в перспективе можно будет учесть вероятность «перепрыгивания» огня через препятствия и изменение скорости распространения пожара в зависимости от осадков и времени суток. Однако в контексте разработки «ядра» программы работа выполнена полностью.

5. Список литературы

1. Ana Novo, Noelia Fariñas-Álvarez. Mapping Forest Fire Risk—A Case Study in Galicia (Spain) Remote Sens. 2020, 12(22), 3705.
2. Xiaoping Rui, Shan Hui, Xuetao Yu, Guangyuan Zhang & Bin Wu. Forest fire spread simulation algorithm based on cellular automata. Natural Hazards. 2018 ISSN 0921-030X
3. Кулешов А.А. Мышецкая Е.Е. Якуш С.Е. Двумерная трехфазная математическая модель лесных пожаров. 2017 ISSN 2071-2898