

# **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФРАКТАЛА**

Ю. А. Багликова, АСМ-15-04

# Актуальность

*Имитационное моделирование* как метод исследования поведения различных систем обрело широкое распространение. Возрастает актуальность применения данной технологии при **прогнозировании нештатных ситуаций**.

Характер распространения многих деструктивных явлений, таких, как трещины в горных породах или разрыв пласта при нефтедобыче, несет в себе черты **фрактальной геометрии**.

Фрактальный анализ и построение имитационных моделей **перехода от детерминированного хаоса к фракталам** поможет устранить некую степень неопределенности в вопросах прогнозирования аварийных и нештатных ситуаций, в том числе в нефтегазовых процессах.



Структура трещин в сухой глине

# Концепции имитационного моделирования

## ЗНАЕМ:

**Дискретно-событийное моделирование (Discrete Event)**

Системы моделирования, использующие блоки-события, которые происходят с поступившими на вход некоего процесса заявками (транзактами).

*Системы массового обслуживания*

## НЕ ЗНАЕМ:

**Агентное моделирование (Agent Based)**

Системы моделирования, описывающие поведение и взаимодействие некоторых активных объектов, называемых агентами.

*Модель эволюции*

# Выбор технологии и средства для построения имитационной модели перехода к фракталу

## Агентная технология:

Исходя из принципа самоподобия фрактальных структур, агентный подход является оптимальным для описания поведения «отправной точки», начального элемента фрактала, и глобального воздействия этого поведения на образование структуры фрактала. Агентная модель позволяет получить качественную картину эволюции множества состояний системы, которая является целью задачи.



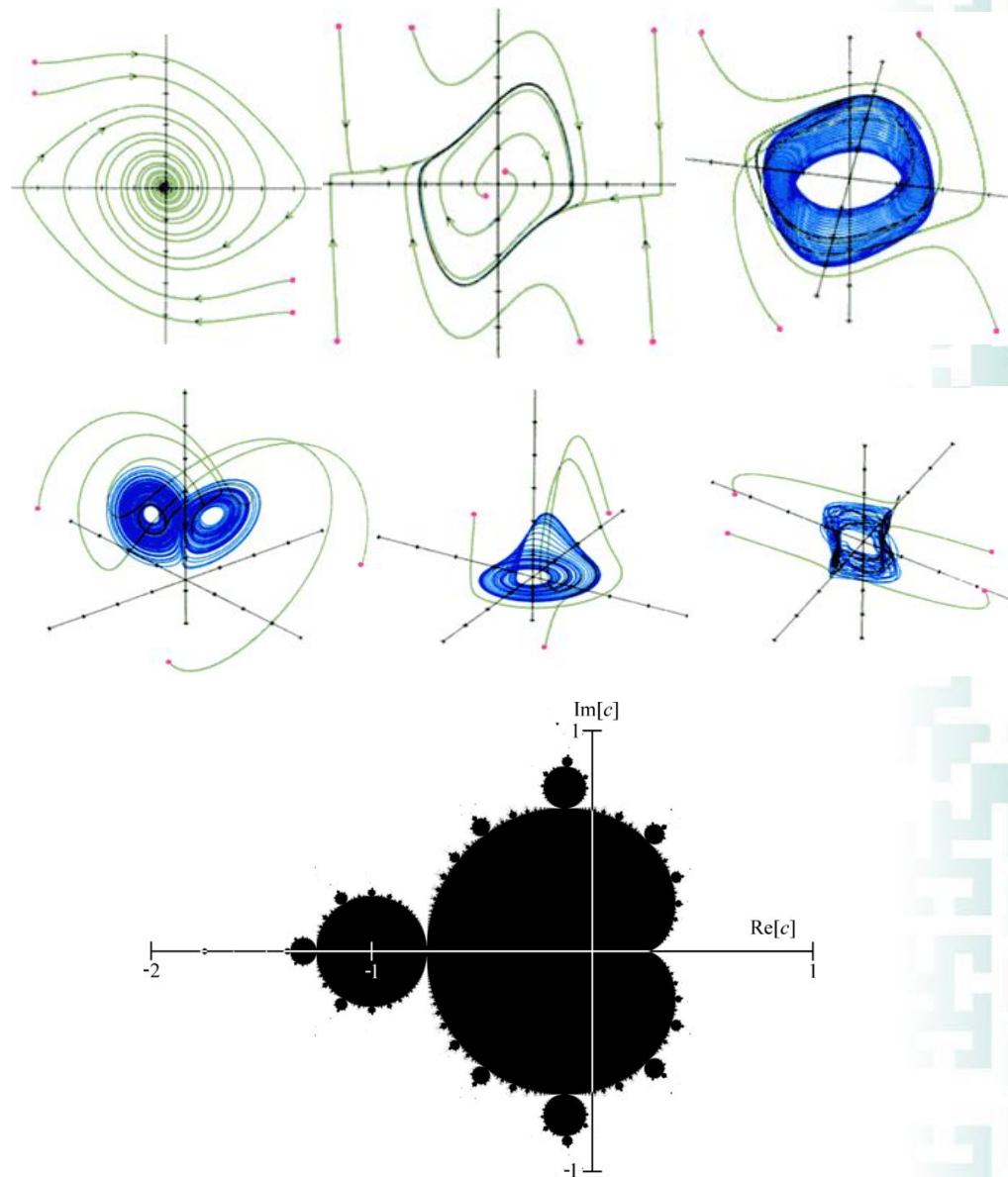
Среда *AnyLogic* – универсальный пакет, в котором сочетается функциональность ИМ, разнообразность и в то же время простота процесса создания модели, а также наглядность и легкость модификации.

# Теория фракталов и странные аттракторы

**Аттрактор** (англ. *to attract* — *привлекать, притягивать*) - устойчивое состояние (структура) системы, которое как бы «притягивает» к себе все множество траекторий системы, определяемых различными начальными условиями.

**Странный аттрактор** - один из видов аттракторов, фазовый портрет которого представляет собой некоторую ограниченную область, по которой происходят случайные блуждания. Следуя И. Пригожину, странный аттрактор можно назвать «хаосом». **Странный аттрактор геометрически представляет собой фрактал.**

**Фрактал** (лат. *fractus* — *дроблёный, сломанный, разбитый*) — математическое множество, обладающее свойством самоподобия, то есть однородности в различных шкалах измерения. В математике под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность (в смысле Минковского или Хаусдорфа).



# Имитация фрактала средствами AnyLogic

Принципиально схема формирования фрактальной структуры такова:

- 1) Существует некоторая первичная примитивная структура;
- 2) Определяется набор правил отображения (сжимающего или растягивающего) структуры на саму себя;
- 3) Итеративно применяется последовательные операции отображений подобия.

Аналогичным образом происходит смена состояний *клеточных автоматов*.

**Клеточный автомат** — дискретная модель. Включает регулярную решётку ячеек, каждая из которых может находиться в одном из конечного множества состояний (например, 1 и 0). Решетка может быть любой размерности. Для каждой ячейки определено множество ячеек, называемых окрестностью.

Построение мультиагентной модели простейшего клеточного автомата - **игры «Жизнь»** - позволит нам увидеть процесс формирования фрактальной структуры.

## Правило перехода:

Итак, пусть клетки могут находиться в двух состояниях: 0 — «мёртвая», и 1 — «живая». Если вокруг выбранной клетки есть хотя бы одна клетка с состоянием «живая», то выбранная клетка переходит в состояние «живая». Благодаря такому правилу перехода, получаемая из одной клетки структура будет иметь явный фрактальный характер.

# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Игра «Жизнь». Создание модели

1. Создание нового типа агента, описание которого будет содержать вспомогательные переменные и функции:

▪ **Действие агента при запуске:** задание массива агентов - ячеек-соседей.

При запуске:

```
//Задаем соседей клетки  
neighbors = getNeighbors();
```

▪ **Действие агента перед выполнением шага (итерации):** подсчет количества «ЖИВЫХ» соседей.

Перед выполнением шага:

```
//количество живых соседей клетки  
nAliveAround = 0;  
for( Agent a : neighbors )  
    if( ((Cell)a).alive )  
        nAliveAround++;
```

▪ **Действие на шаге:** определение времени жизни и смена состояния. В зависимости от времени жизни клетка окрашивается в тот или иной цвет (самый темный цвет соответствует самому продолжительному периоду жизни).

```
if (alive)  
{  
    if (time()-startLive < 5) { rectangle.setFill-color(yellow); }  
    else if (time()-startLive < 10) { rectangle.setFill-color(cyan); }  
    else if (time()-startLive < 15) { rectangle.setFill-color(limeGreen); }  
    else if (time()-startLive < 20) { rectangle.setFill-color(forestGreen); }  
}
```

# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Игра «Жизнь». Создание модели

▪ **Функция смены состояния клетки:** при нажатии на соответствующую ячейку поля клетка из одного состояния переключается на противоположное.

Действие по щелчку: 

```
cells.get( (int)clicky / 5 * 100 + (int)clickx / 5 ).switchState();
```

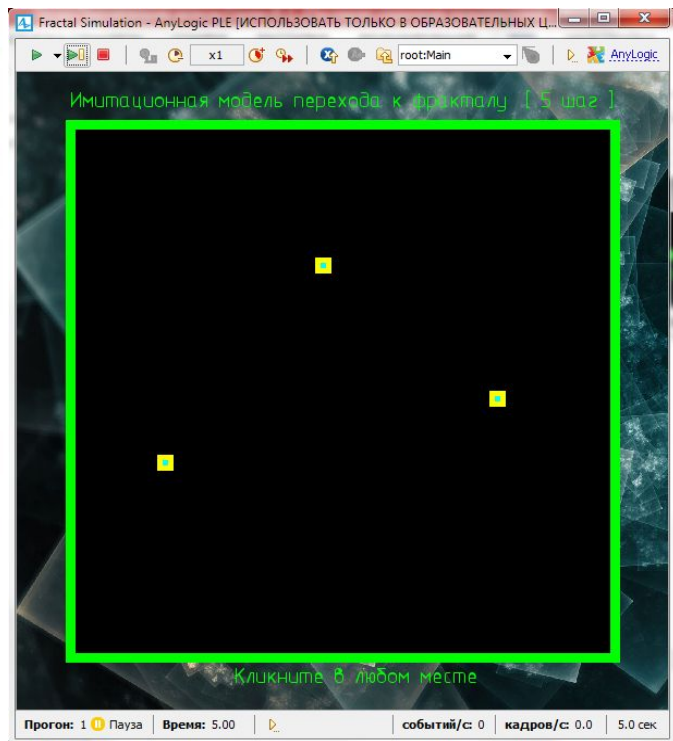
2. Создание **массива-популяции** агентов заданной численности (10000).
3. Настройка инструментами AnyLogic **размерности пространства** (100x100 ячеек) и **типа соседства** (например, Мурово – 8 соседей).
4. Задание **длительности шага по времени**, такой, чтобы можно было наблюдать эволюцию структуры фрактала.



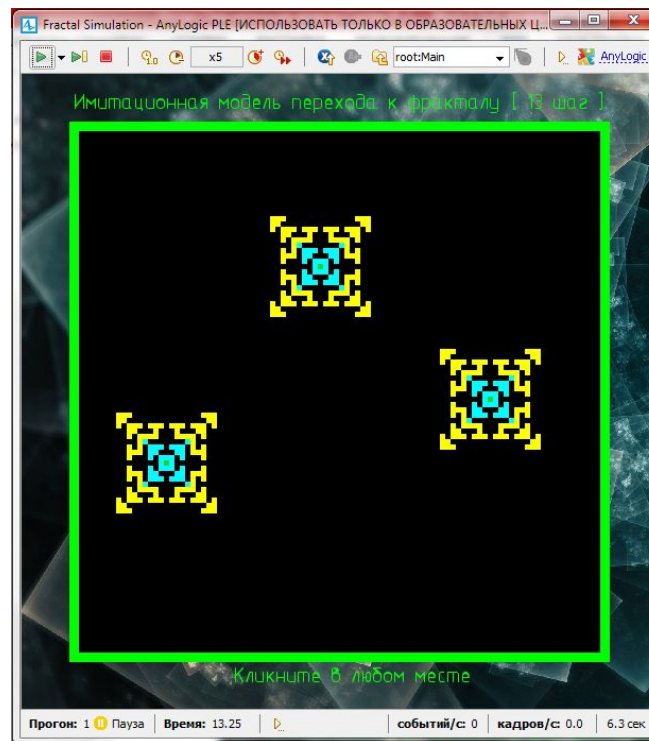


# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Игра «Жизнь». Проведение экспериментов

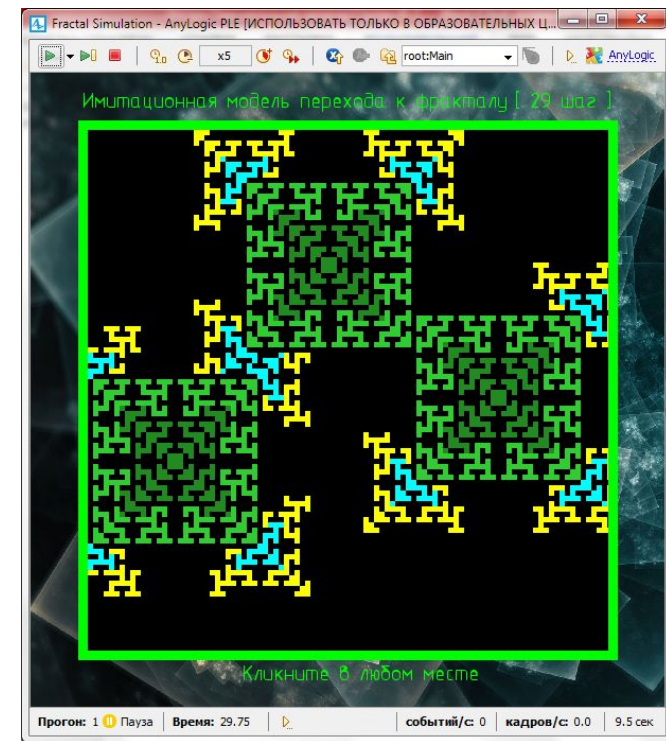
При трехкратном щелчке на разных областях поля моделирования появляются три группы связанных клеток:



На 13-ом шаге уже заметен фрактальный характер распространения «живых» клеток и изменение цвета более старых:

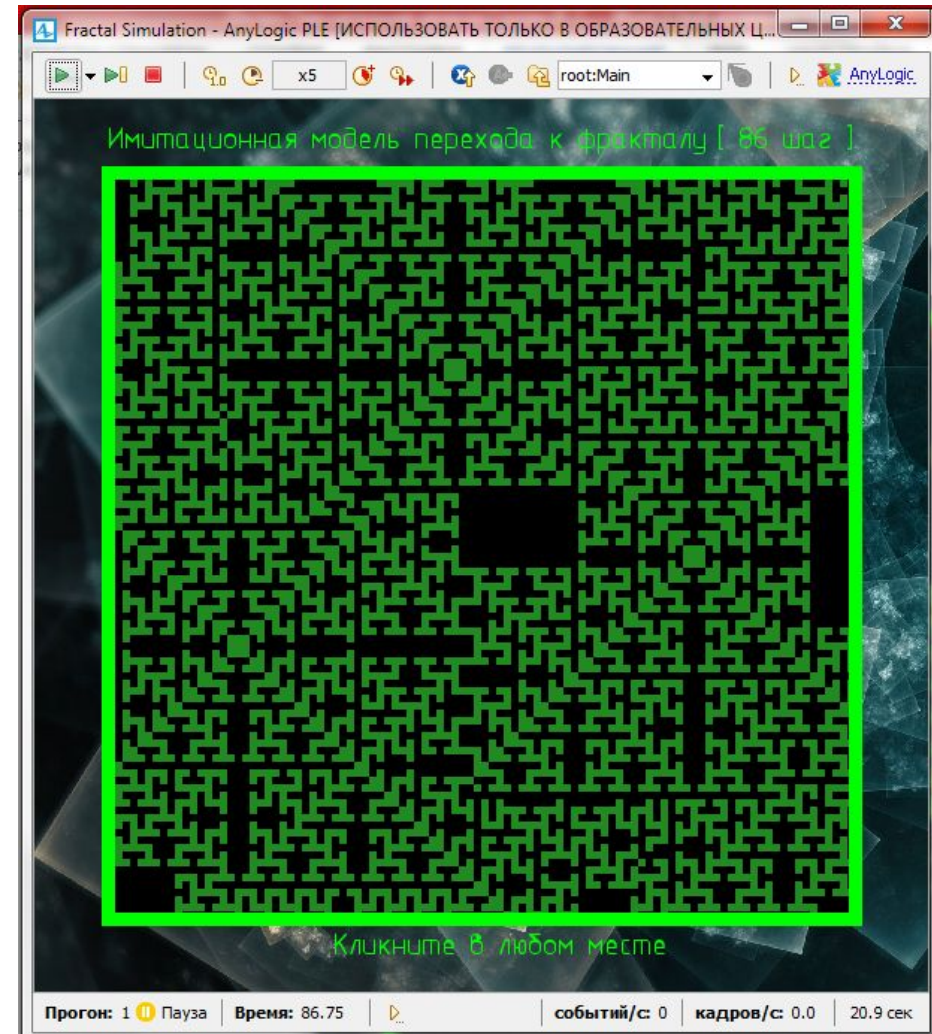


На 29-ом шаге можно наблюдать клетки всех возможных «возрастов»:



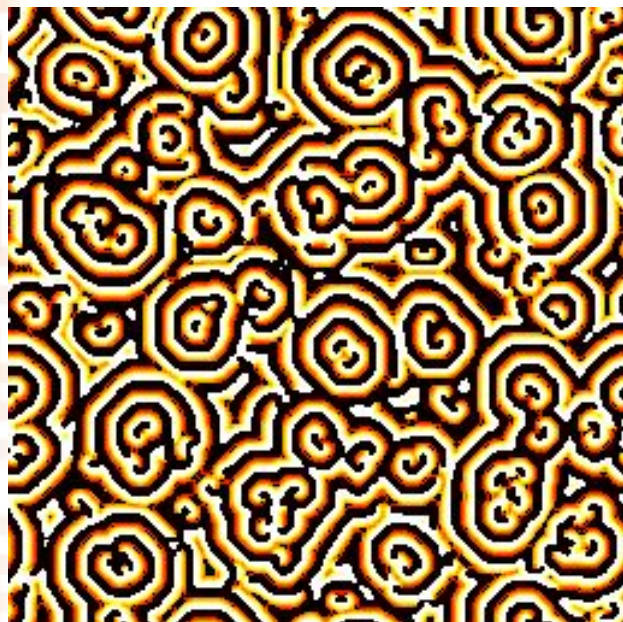
# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Игра «Жизнь». Проведение экспериментов

На 86-ом шаге видим прекращение изменения модели, которая состоит только из старых клеток. Таким образом, система из 10000 ячеек перешла в устойчивое состояние, являя собой аттрактор.



# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Циклический клеточный автомат

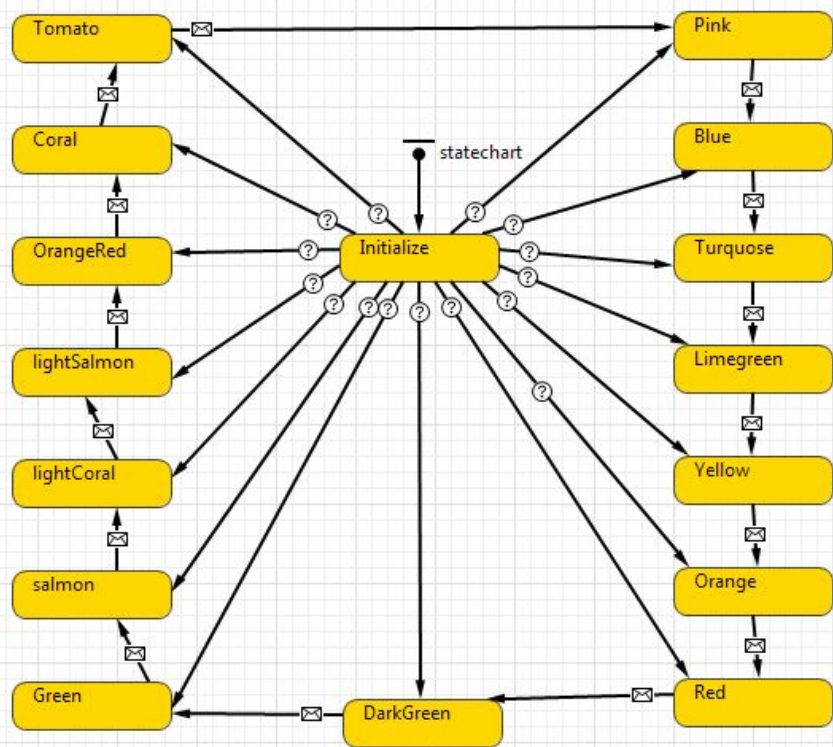
Циклические клеточные автоматы были придуманы Дэвидом Гриффитом. Клетка может находиться в  $n$  состояниях, которые нумеруются числами  $0, 1, \dots, n-1$ . Состояние  $t$  является *следующим* за состоянием  $k$ , если  $t + 1 = k \pmod{n}$ . Клетка из состояния  $t$  переходит в следующее состояние  $k$ , только если одна из соседних клеток имеет состояние  $k$ .



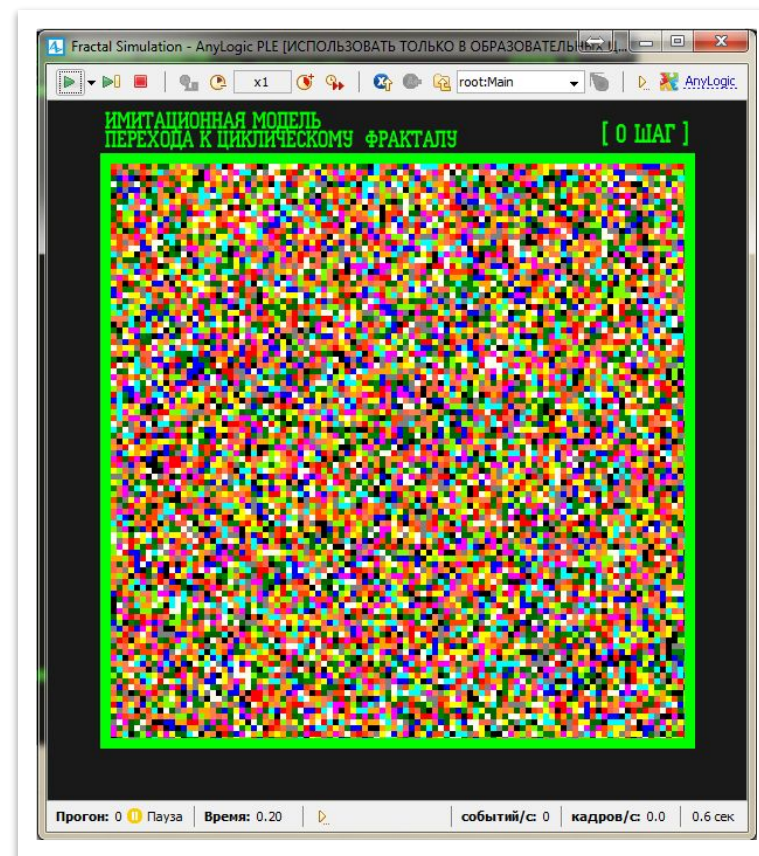
Система правил, определяющая волнообразное порождение клеток, может определять генерацию паттернов, имитирующих самоорганизующиеся автокаталитические химические реакции типа реакции Белоусова-Жаботинского (правила появления и исчезновения клеток модели имитируют логику вовлечения молекул реагента в химическую реакцию).

# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Циклический клеточный автомат

В нашей модели определено 16 различных состояний ячеек. Для наглядности была сформирована диаграмма состояний агента:



Запуск моделирования происходит со случайным образом выбранным клеточным пространством:

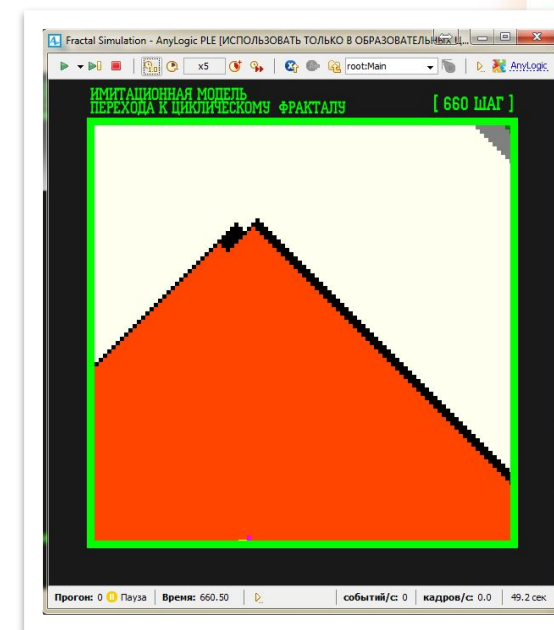
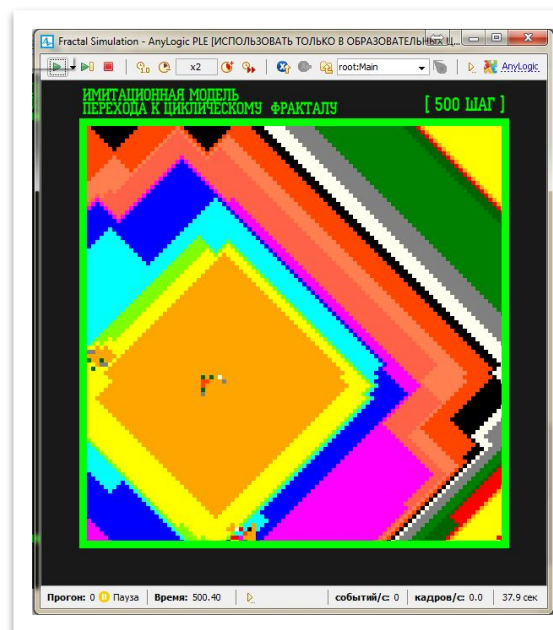
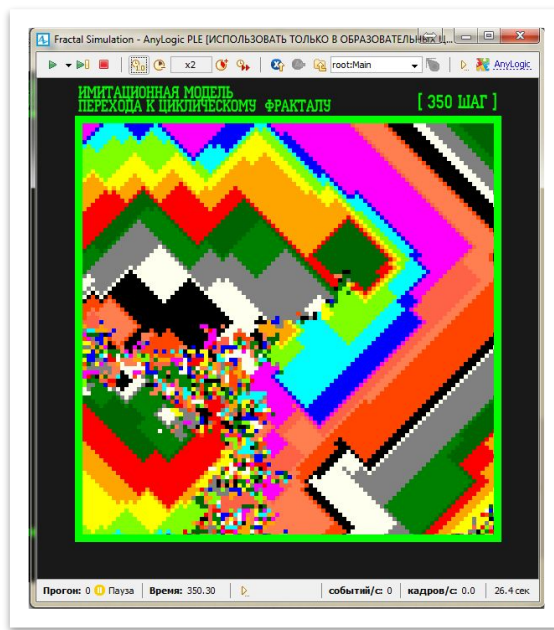
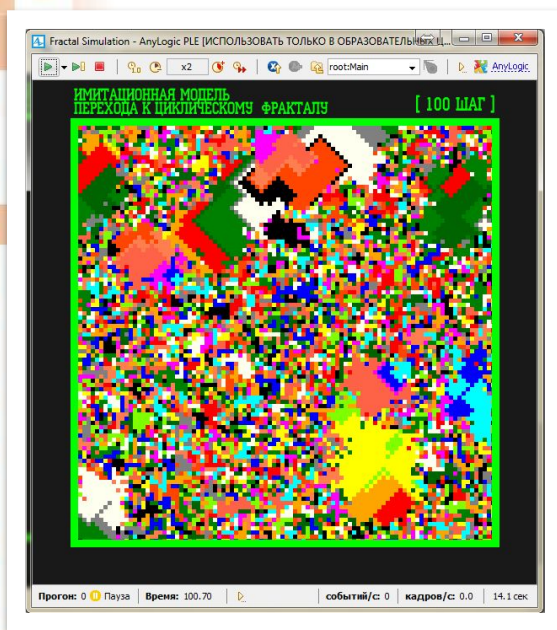




# Имитация фрактала средствами AnyLogic. Циклический клеточный автомат

Автомат постепенно преобразует поле клеток во вращающиеся ромбовидные спирали. Начинают появляться цветные области, которые будут поглощать области, заполненные случайно. Эти блоки будут «волнообразно» менять свой цвет. Далее возникают спирали, которые также называют *демонами*. На последней стадии поле будет поглощено демонами, что означает переход к устойчивому состоянию.

На рисунках представлены 100, 350, 500 и 660 шаги моделирования соответственно.



# Вывод

Построенные модели наиболее ярко и просто демонстрируют эволюцию системы под воздействием некоторого фактора (правила) от произвольного начального состояния к устойчивому состоянию – аттрактору. Кроме этого, эти модели являются наглядными примерами работы агентной технологии имитационного моделирования.



**Спасибо за  
внимание!**