Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Уфимский государственный авиационный технический университет"

Кафедра Высокопроизводительных вычислительных технологий и систем

Дисциплина: Математическое моделирование

Отчет по лабораторной работе № 1

Тема: «Имитационное моделирование сложных систем с помощью клеточных автоматов»

Группа ПМ-453	Фамилия И.О.	Подпись	Дата	Оценка
Студент	Шамаев И.Р.			
Принял	Лукащук В.О.			

Уфа 2023

Цель работы: получить навык имитационного моделирования сложных динамических систем с использованием клеточных автоматов на примере моделей биологических систем.

Задание:

Задача I. Клеточный автомат "Жизнь"

Выполнить программную реализацию клеточного автомата, функционирующего в соответствии со следующими правилами:

1) клетка может находиться в двух состояниях - пассивном и активном;
2) в качестве окрестности рассматривается восемь соседних клеток;
3) если в окрестности пассивной клетки две активных, то данная клетка также становится активной ("рождается");
4) если в окрестности активной клетки три или более активных клеток, то она становится пассивной ("умирает").

Реализовать алгоритм на клеточном пространстве $32 x 32$ ячеек. Начальное распределение активных и пассивных клеток – случайное, подчиняющееся равномерному закону распределения. Также подобрать начальные распределения, соответствующие стационарным и циклическим структурам (по три примера каждой структуры).

Задача II. Клеточный автомат "Нейронная сеть"

Данный автомат имитирует явления в однородной двумерной нейронной сети, состоящей из возбудимых элементов, и функционирует по следующим правилам:

1) клетка может находиться в трех состояниях: покоя, активном и состоянии восстановления;
2) в качестве окрестности рассматриваются восемь соседних клеток;
3) переход в состояние активности зависит от некоторого параметра, называемого *уровнем активатора*. В возбужденном состоянии

клетки уровень активатора равен 1. В других состояниях он распадается на $A\%$ за такт;

4) если клетка была в покое и общее количество активатора в восьми соседних и в данной клетке превысило порог активации $П$, то клетка возбуждается на T тактов;
5) через T тактов возбужденная клетка переходит в состояние восстановления на В тактов, а затем переходит в состояние покоя.

Реализовать алгоритм при следующих параметрах: клеточное пространство $256 x 256$ ячеек, $A=30\%, П=3, T=5, B=8$. Начальное распределение состояния клеток задано плоским фронтом. Также имеется периодический источник возбуждения ($3 x 3$ клетки) с периодом 15 тактов. Выявить характер взаимодействия между собой различных фронтов возбуждения.

Задача III. Клеточный автомат "Организмы - питательная среда"

Клеточный автомат моделирует взаимодействие одноклеточных организмов с питательной средой и функционирует по следующим правилам:

1) клеточное пространство образует поле NxN клеток;
2) окрестность клетки составляют восемь соседних клеток;
3) каждой клетке соответствует значение P степени питательности раствора (энергоемкости), которое может изменяться от 0 до P_{max};
4) прирост ΔP питательности (энергоемкости) раствора клетки за такт времени выполняется следующим образом: $\Delta P=0$ при $P=P_{max}$ и $\Delta P=r$ при $P<P_{max}$, где r – скорость прироста питательности;
5) общий запас энергии питательного раствора определяется суммарной питательностью (энергией) всех клеток и не может быть более $N^2 P_{max}$;
6) клетка может быть свободной или содержать не более одного одноклеточного или другого живого организма;

7) отдельная особь одноклеточного черпает энергию из питательного раствора клетки, в которой она находится, снижая его питательность и повышая свой запас энергии на Δp за такт;
8) максимально возможное количество энергии, запасаемое одноклеточным, не превышает $p1$;
9) на свои нужды отдельная особь затрачивает Δe энергии за такт;
10) особь всегда старается перейти на соседнюю свободную клетку, выбирая направление перехода случайным образом;
11) время жизни отдельной особи составляет L тактов;
12) если время жизни особи превысило продолжительность жизни для данных организмов или запас энергии снизился до нуля, то особь умирает;
13) начиная с возраста T тактов особь считается зрелой и может производить себе подобных, затрачивая Δr энергии при каждом делении дополнительно. При этом старая особь переходит на свободную соседнюю клетку, а новая остается в старой. Если свободных клеток в окрестности нет, то деления не происходит;
14) начальное распределение особей по клеточному пространству подчинено равномерному закону распределения. Начальное число особей составляет $A\%$ максимально возможного, равного N^2.

Реализовать алгоритм при следующих параметрах: клеточное пространство $256 x 256$ ячеек, $P_{max}=10, r=1, A=30\%, L=15, T=3, \Delta p=5, p1=35, \Delta e=2, \Delta r=3$. Выявить характерные зависимости в поведении колонии одноклеточных.

Задача IV. Модифицированный клеточный автомат "Организмы - питательная среда"

Выполнить модификацию алгоритма из задачи III, заменив правило 10 на следующее: особь всегда старается перейти на соседнюю свободную

клетку с наибольшим уровнем энергоемкости. Если ячейки в окрестности, имеют меньший запас энергии, то особь остается в прежней клетке.

Как изменится поведение колонии одноклеточных? Какие явления самоорганизации в данном случае возникают?

Ход работы.

Во всех заданиях решетка клеточного автомата считается замкнутой в тор.

Задача 1.

Код программы представлен в приложении, листинг 1. Активное состояние клетки показано белым цветом, пассивное – бордовым.

В начальный момент времени распределение активных и пассивных клеток – случайное, подчиняющееся равномерному закону распределения.

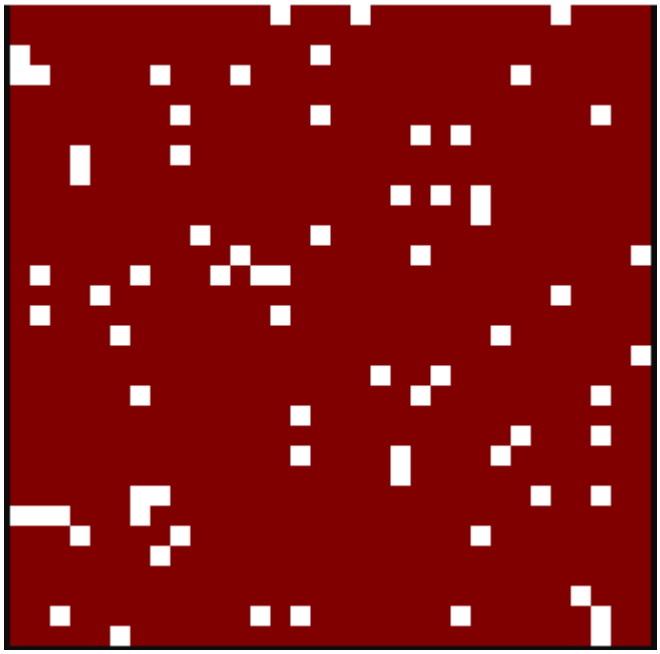


Рисунок 1. Начальное расположение клеток. 71 активных клеток.

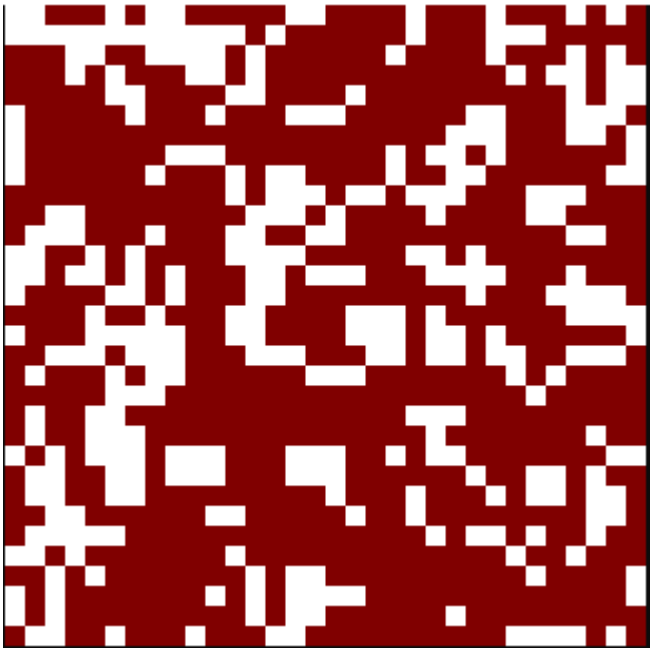


Рисунок 2. 5-я итерация. 331 активная клетка.

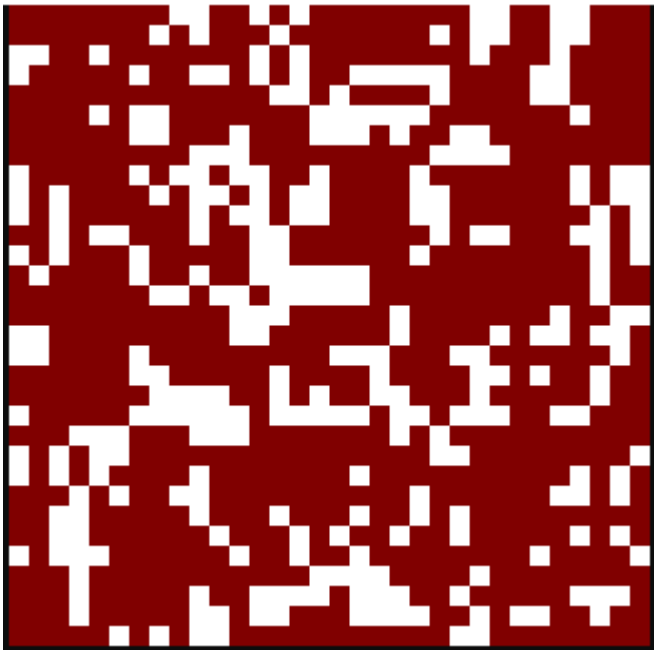


Рисунок 3. 10-я итерация. 299 активных клеток.

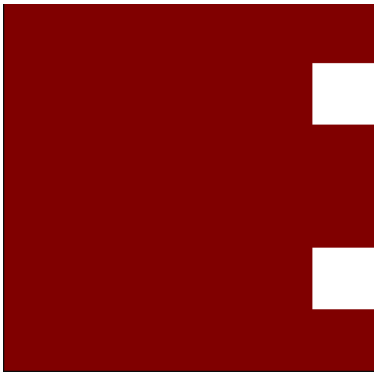


Рисунок 4. Пример статичной структуры

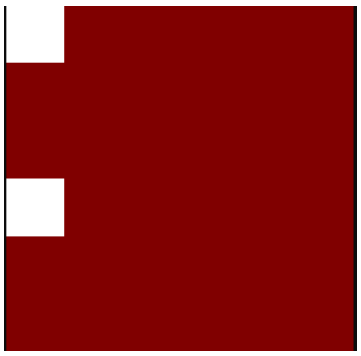
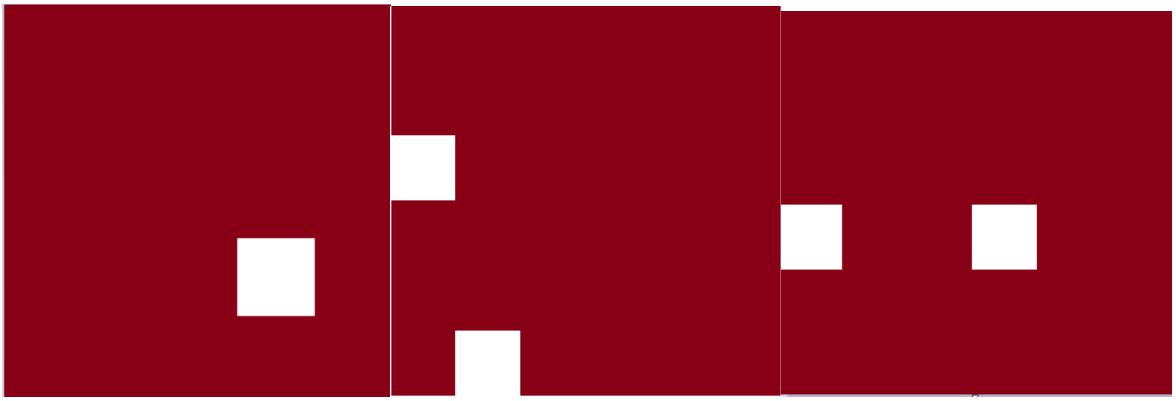


Рисунок 5. Пример статичной структуры.



Статическая структура

Пример циклической структуры

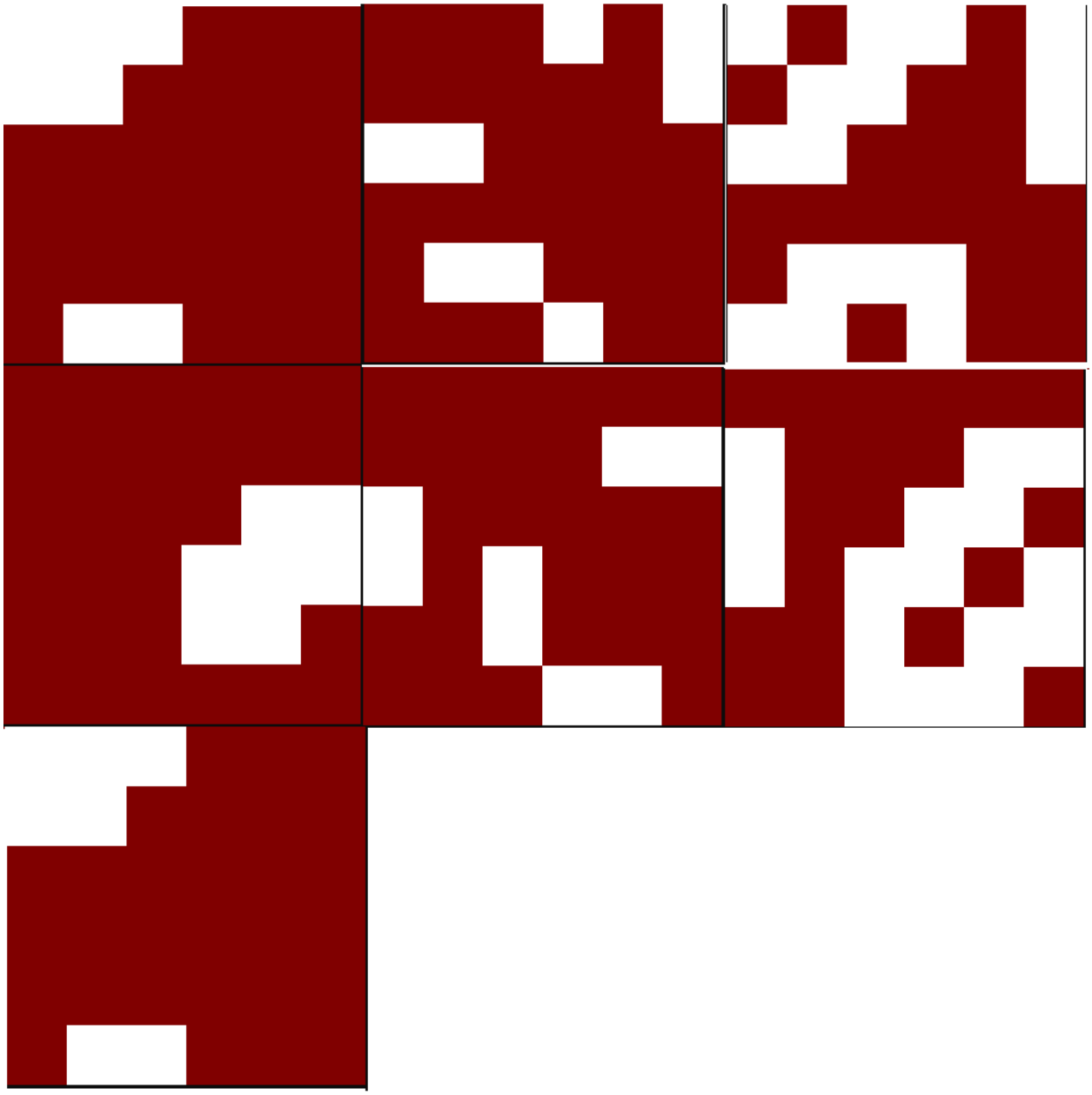


Рисунок 6. Пошаговый пример циклической структуры.

Задача 2.

Код программы представлен в приложении, листинг 2. Активное состояние клетки показано белым цветом, пассивное – бордовым, восстановление – синим.

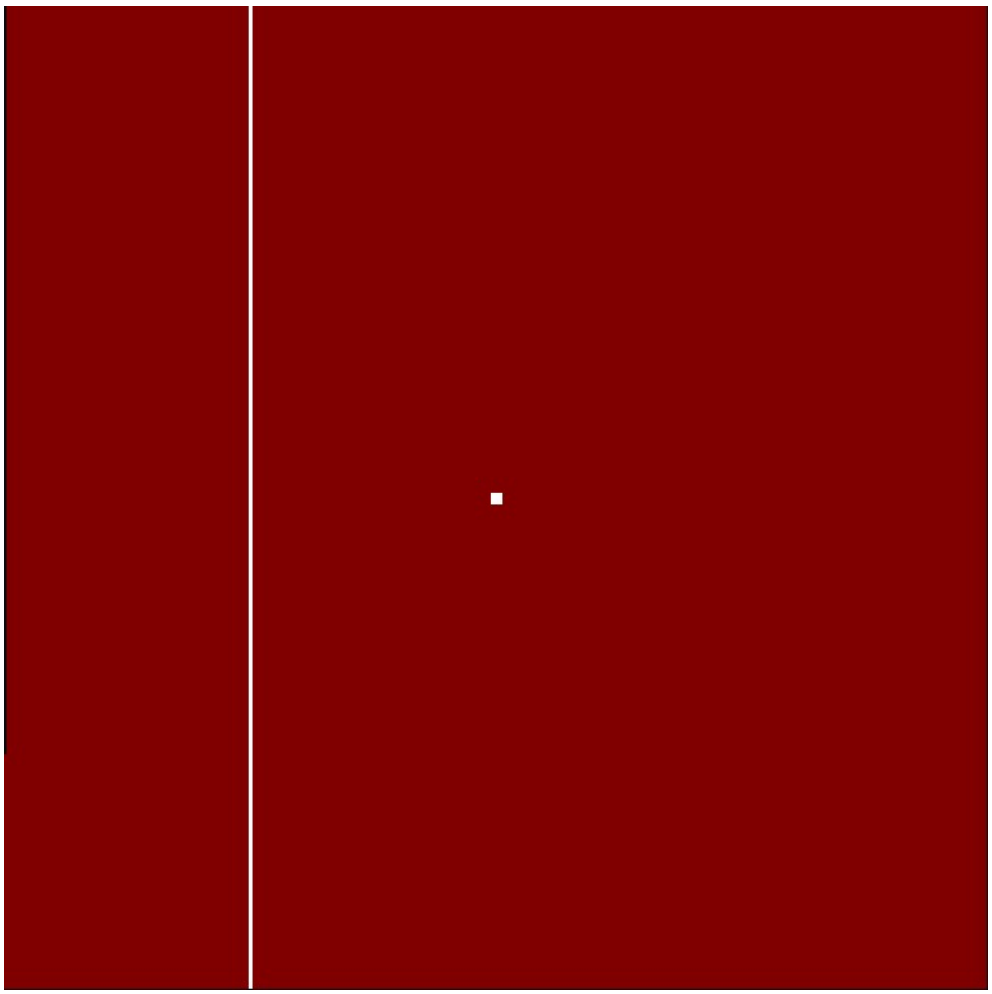


Рисунок 7. Начальное состояние клеточного автомата.

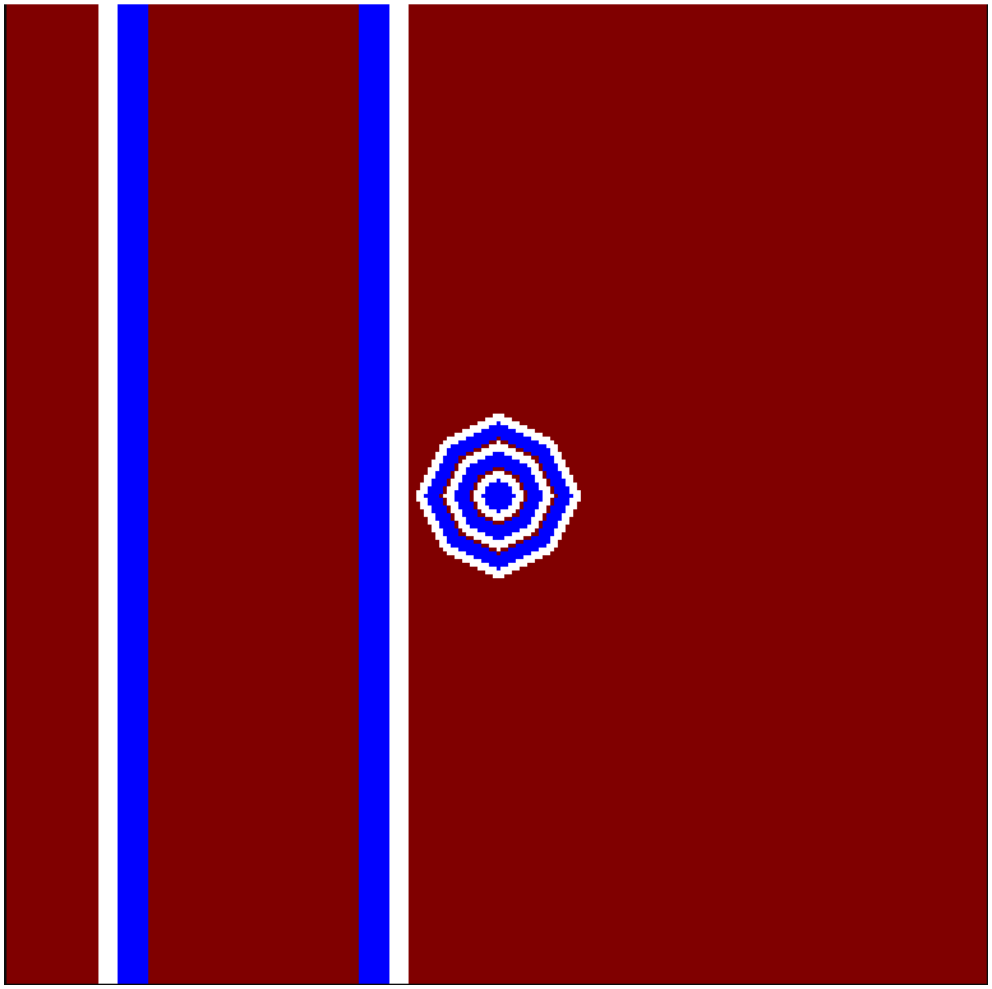


Рисунок 8. Состояние на 40-й итерации.

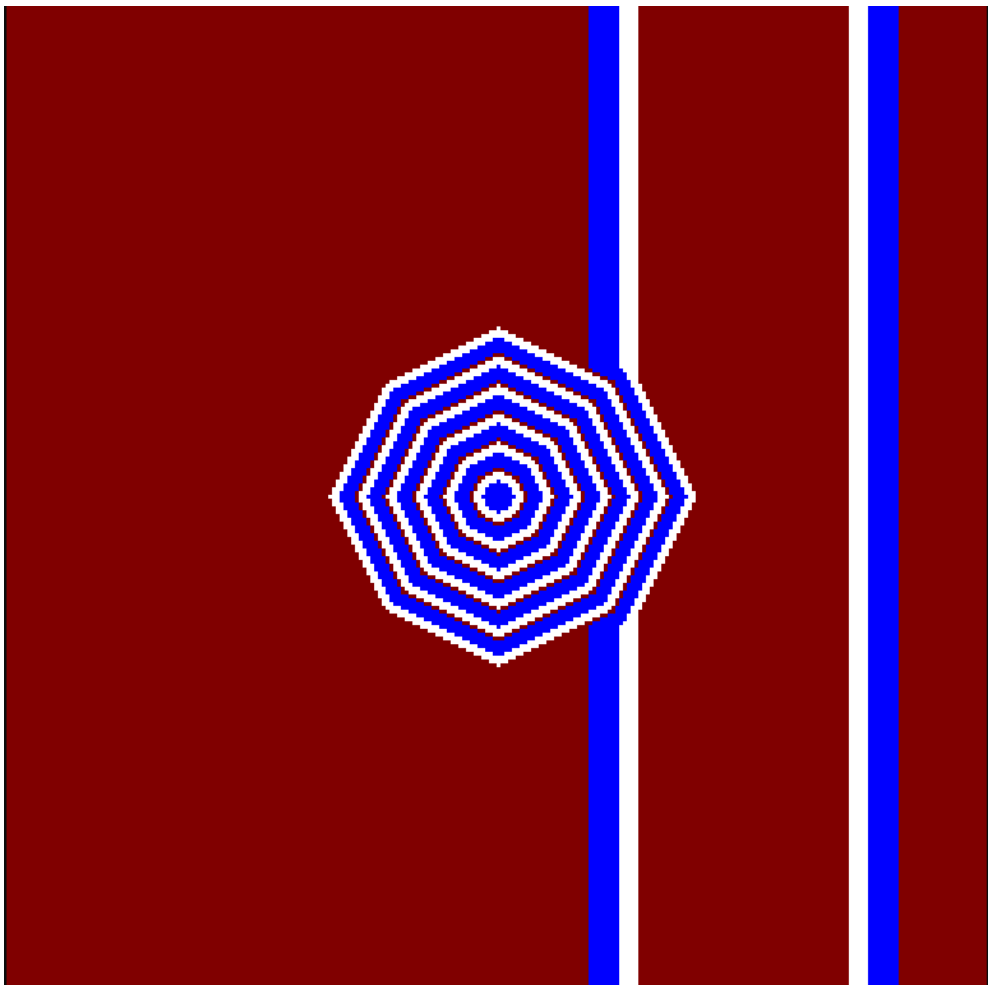


Рисунок 9. Состояние на 100-й итерации.

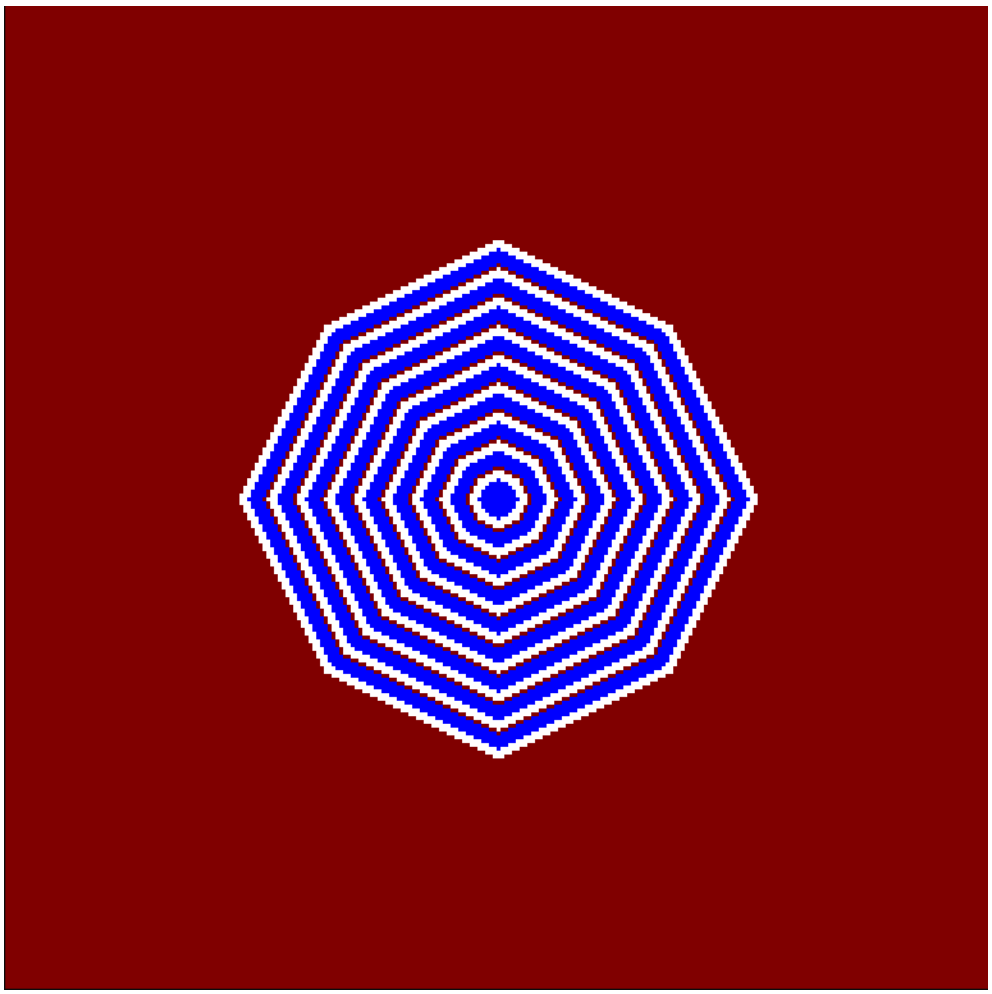


Рисунок 10. Состояние на 147-й итерации.

Периодический источник создает круговые волны. Плоский фронт поглотил в себе первую волну периодического источника, а также самого себя.

Задача 3.

Код программы представлен в приложении, листинг 3. Клетка, содержащая живой организм помечена белым цветом, свободная красным или зеленым, в зависимости от текущего значения степени питательности раствора в ней, чем его больше, тем она зеленее.

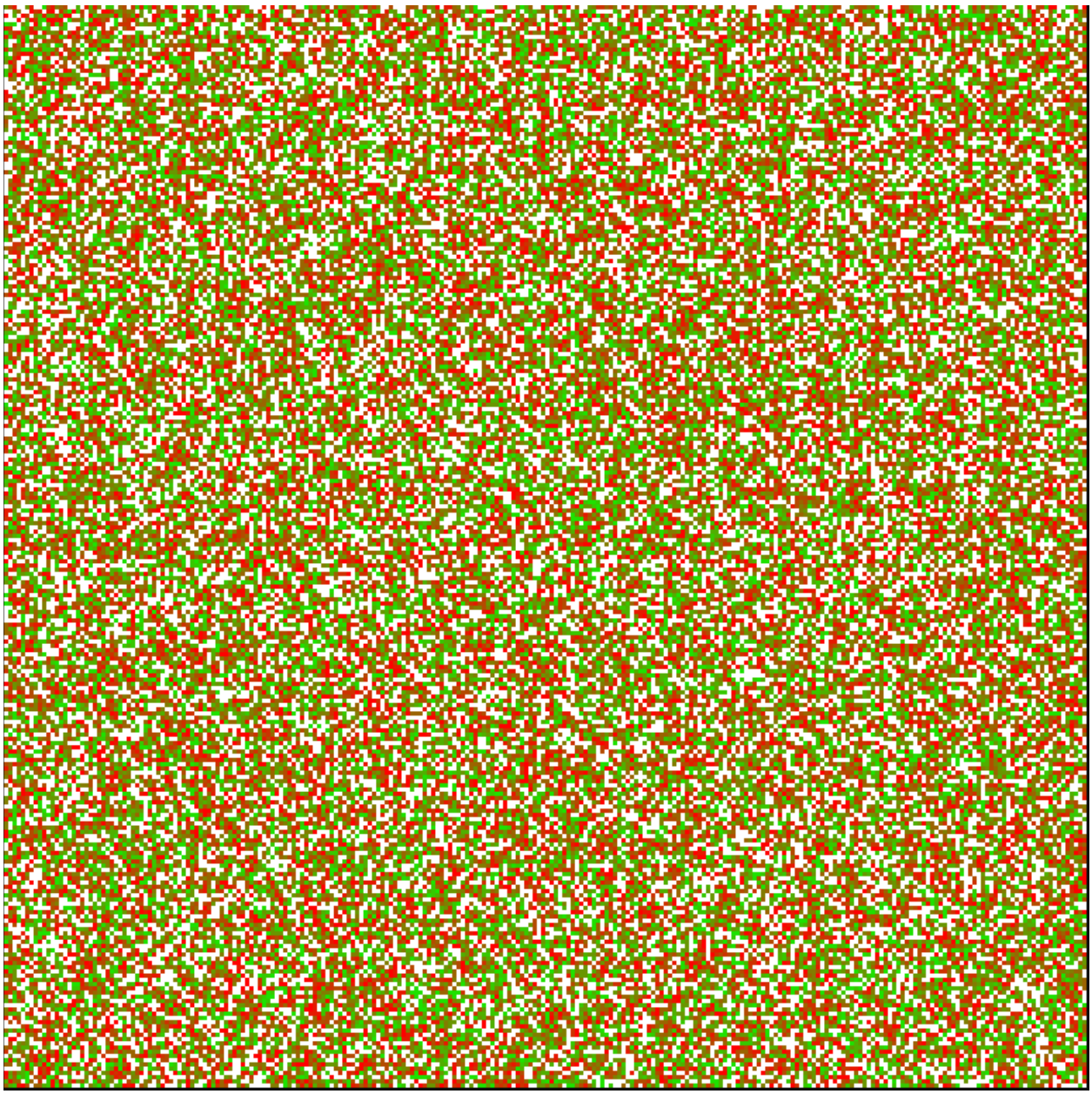


Рисунок 6. Начальное распределение клеточного автомата.

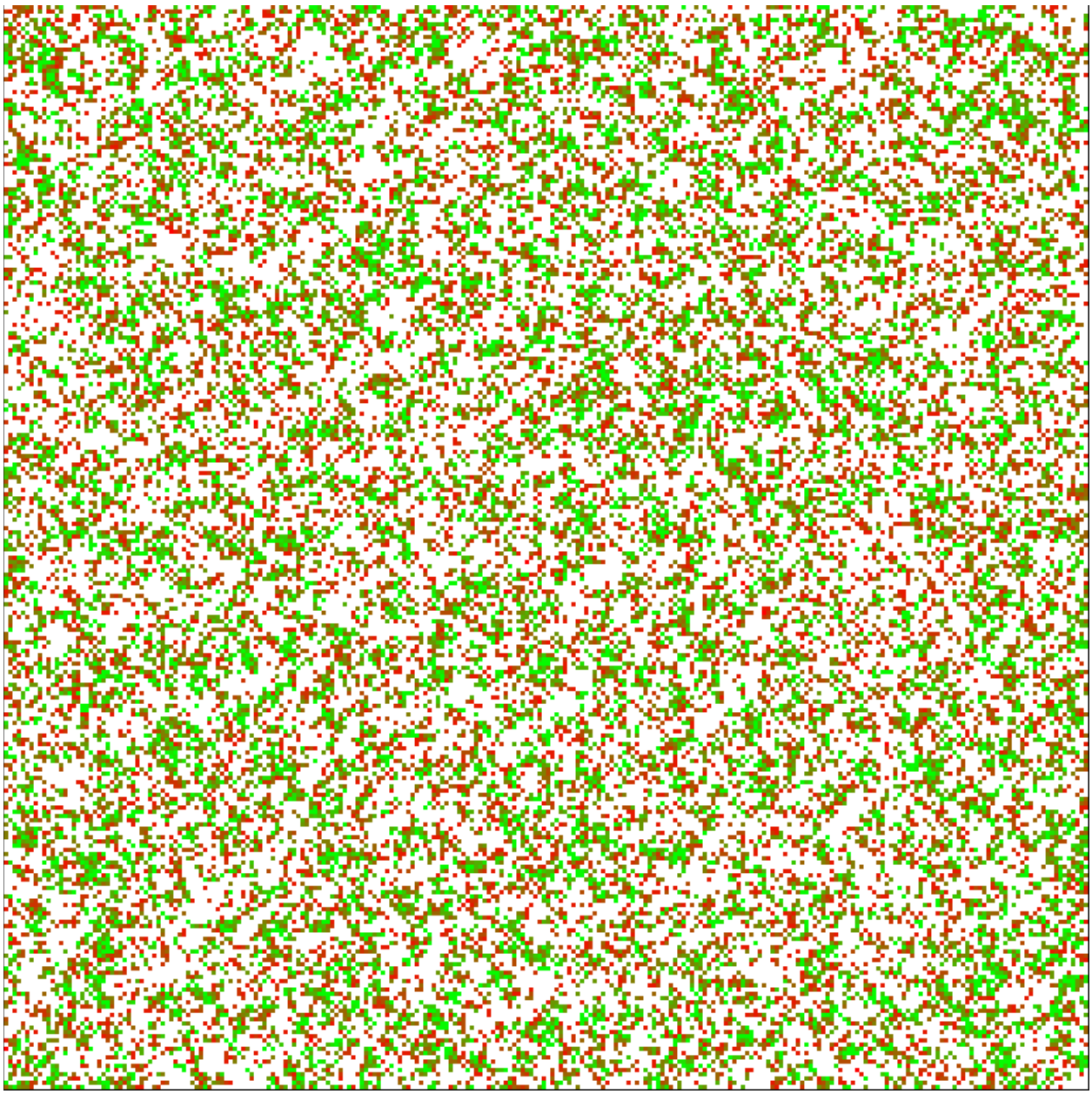


Рисунок 12. Состояние на 5 итерации. Живых организмов 38868

Такое резкое увеличение количества живых организмов связано с созреванием и способностью плодиться.

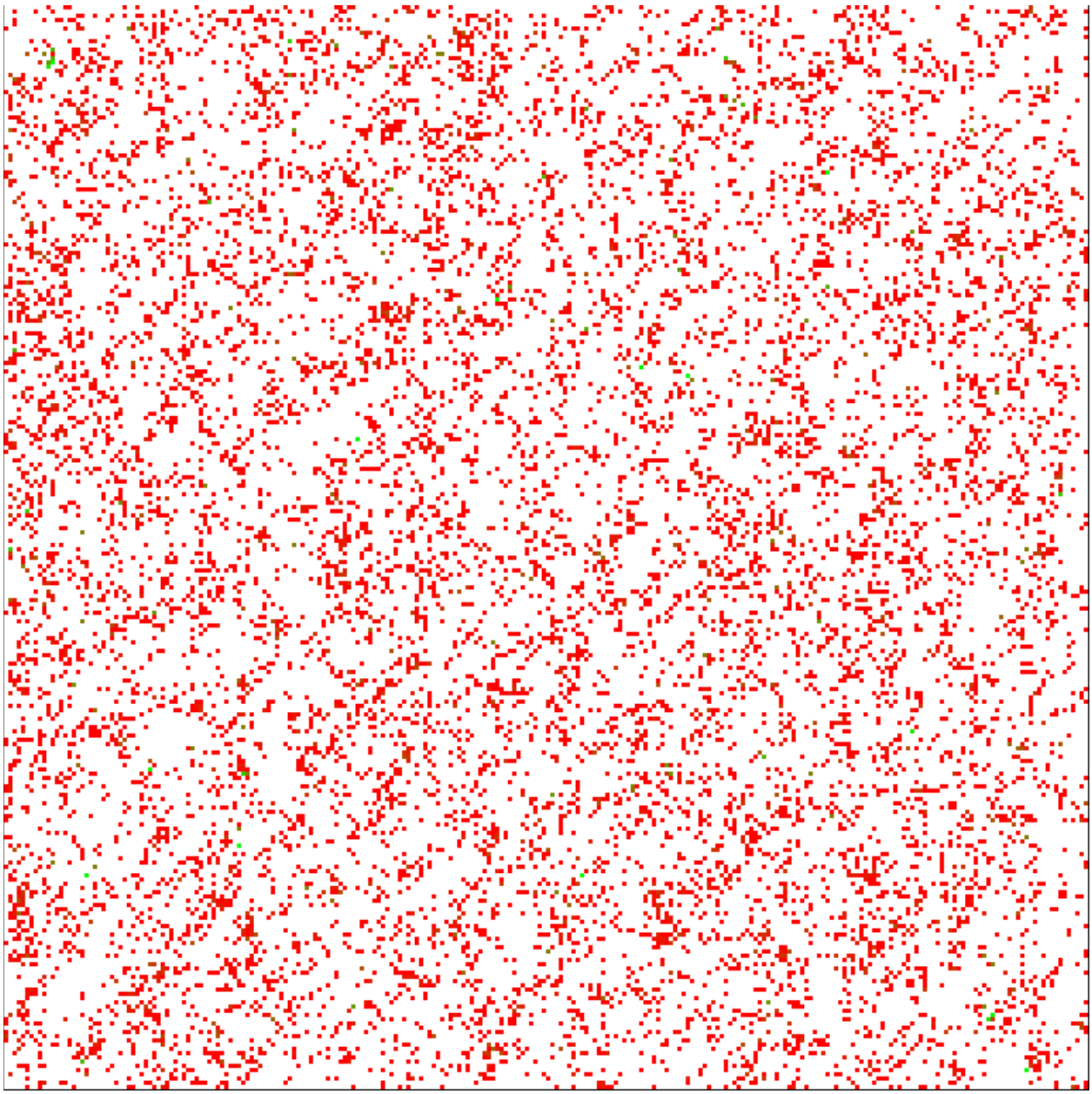


Рисунок 13. Состояние на 10-й итерации. Живых организмов 54745

Дальнейшее увеличение популяции обусловлено тем, что на 5 итерации не все клетки имели возможность оставить после себя потомка из-за необходимости «прыгнуть» на свободную клетку. Так же из-за недостаточной энергии, необходимой для размножения.

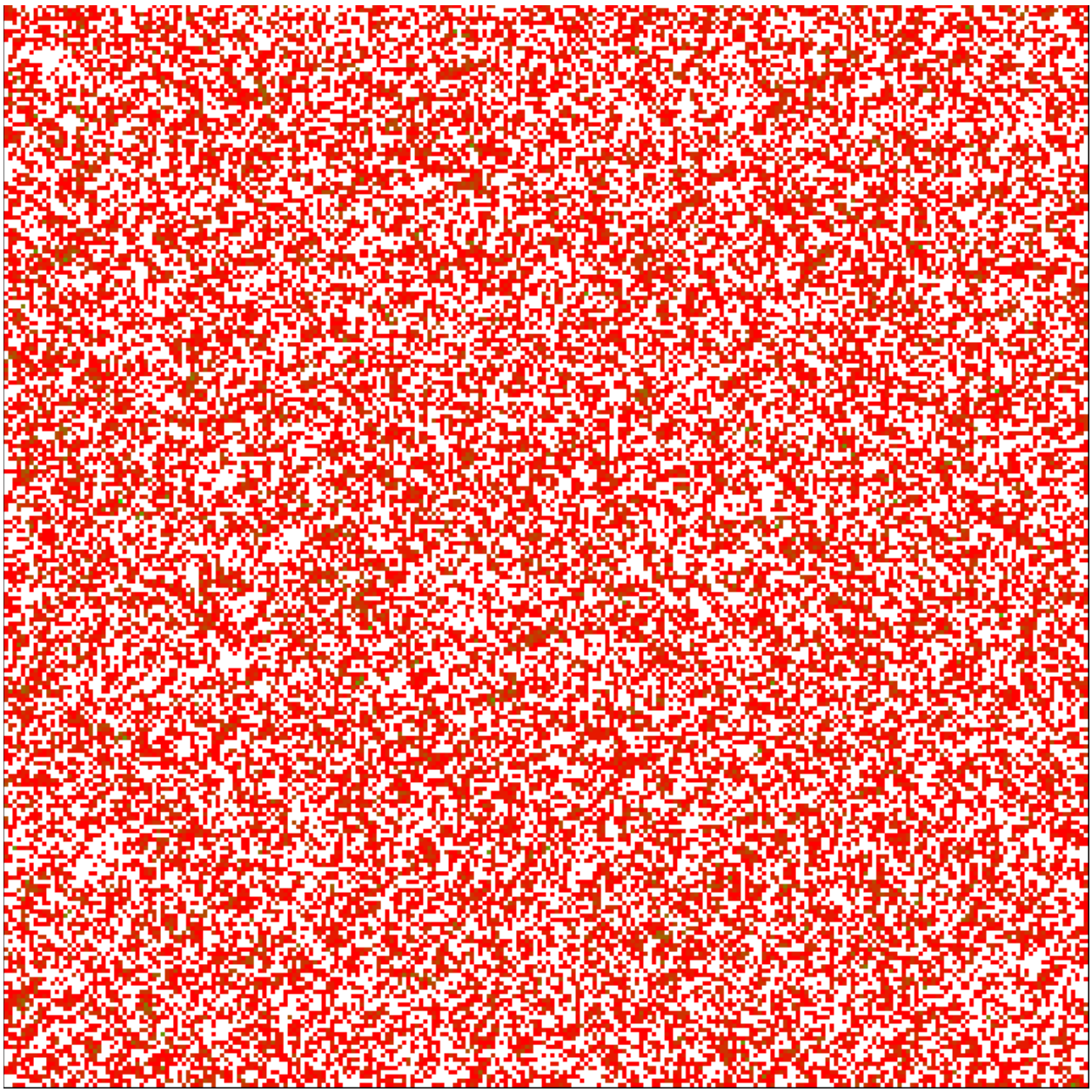


Рисунок 14. Состояние на 13-й итерации. Живых 30751

Уменьшение особей связано с нехваткой ресурсов.

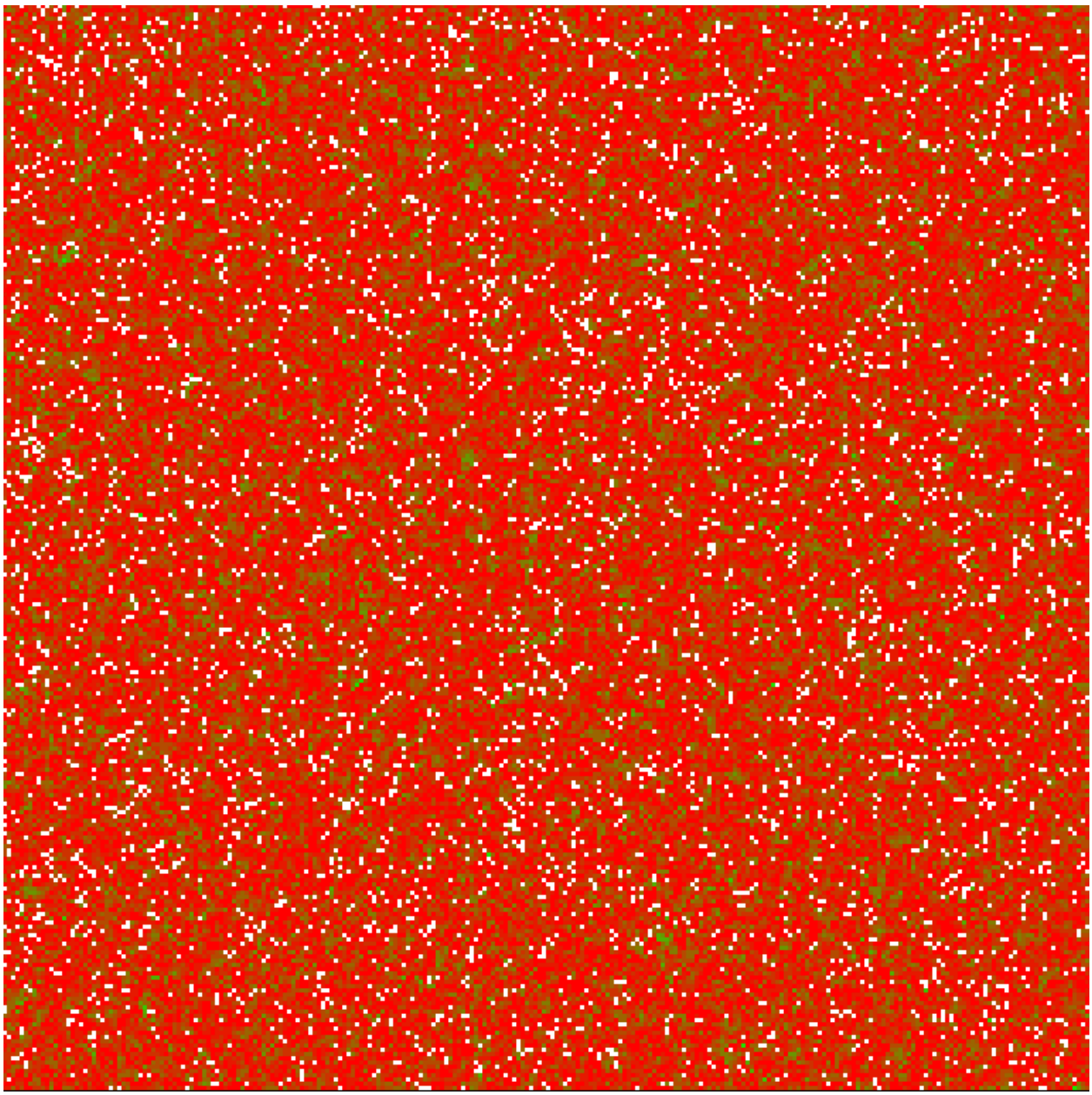


Рисунок 15. Состояние на 16-й итерации. Живых 4237

Резкое уменьшение связано с продолжительностью жизни особей в 15 тактов.

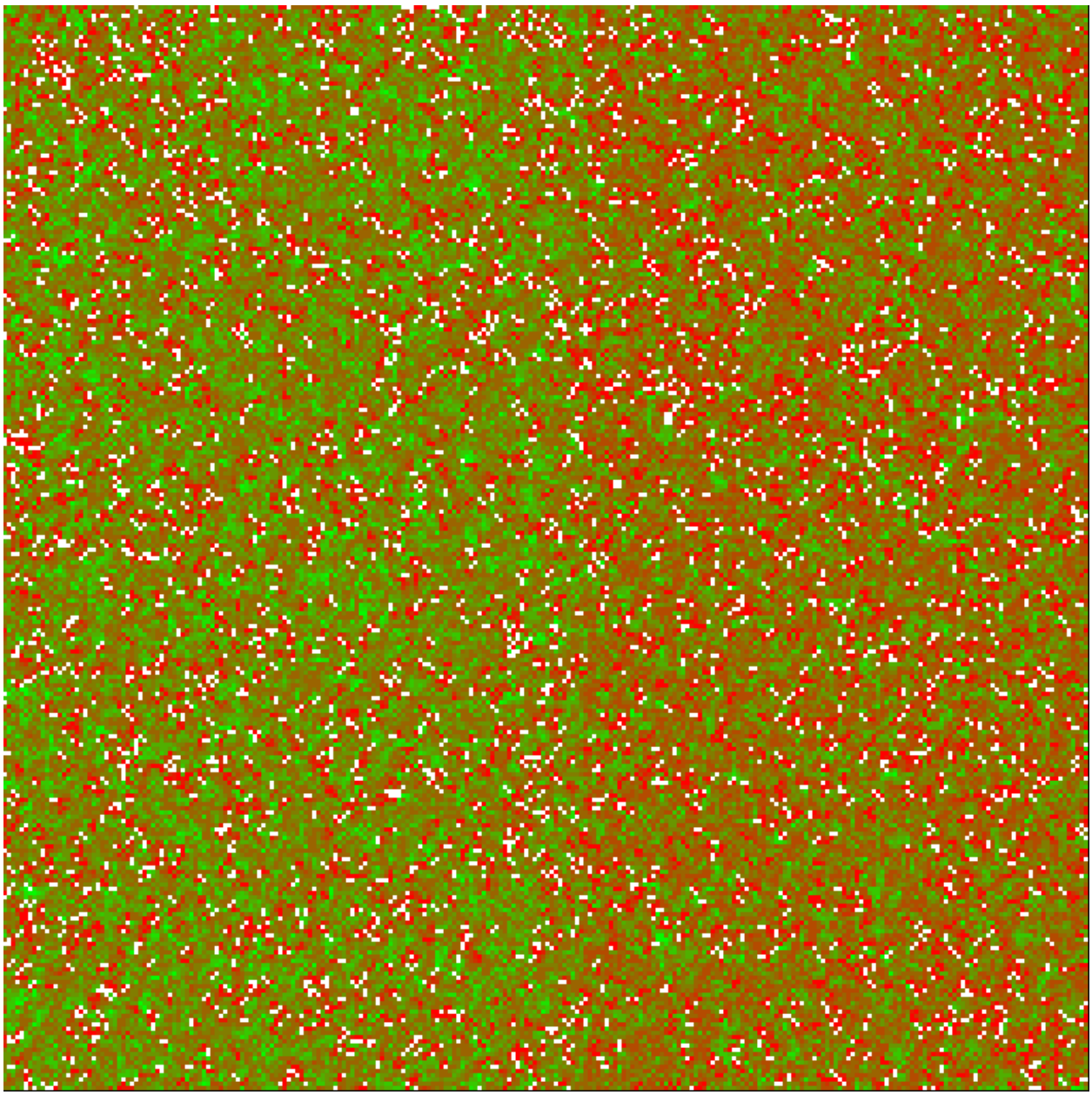


Рисунок 16. Состояние на 20-й итерации. Живых 3995

Заметно обогащение среды питательности, так же заметно, что оно происходит только с одной стороны, это связано с тем, что суммарная питательность всех клеток не может быть более $N^2 P_{max}$.

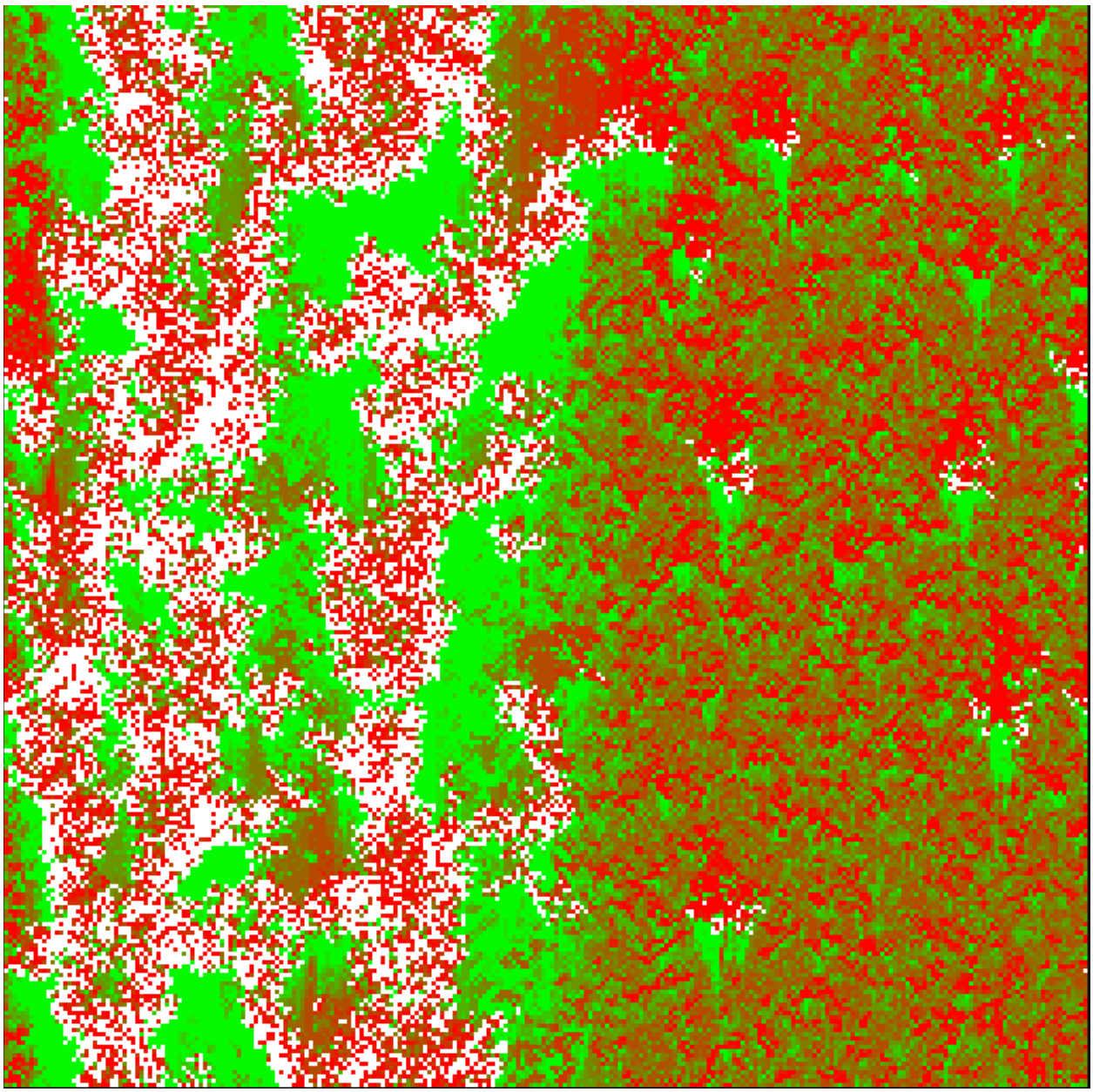


Рисунок 17. Состояние 71 итерации. Живых 11328.

Наблюдаются явление самоорганизации.

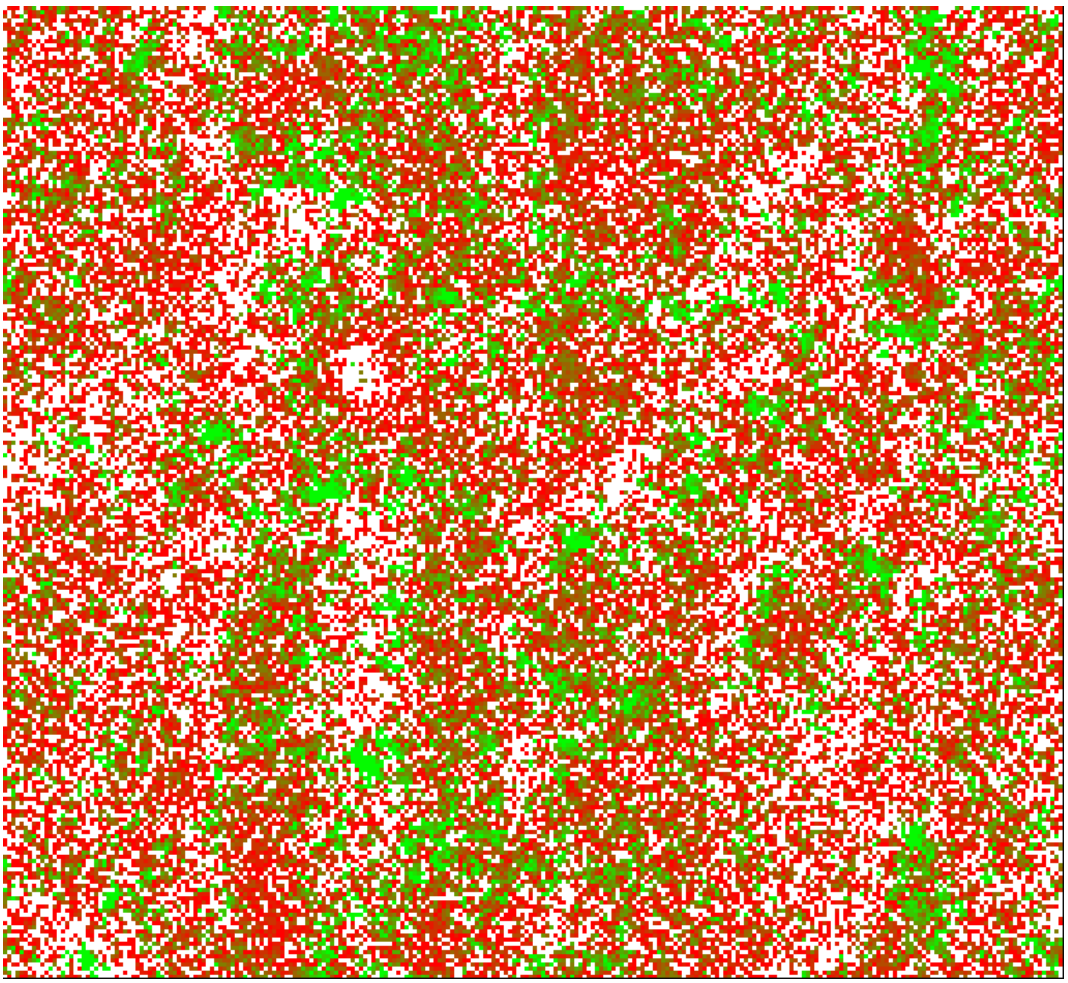


Рисунок 18. Состояние 155-й итерации. Живых 21519.

Клеточный автомат переходит в равновесное состояние.

Вывод.

В ходе лабораторной работы был получен навык моделирования имитации сложных динамических систем с использованием клеточных автоматов на примере моделей биологических систем.

Были найдены статические и циклические структуры для клеточного автомата жизнь.

В реализации клеточного автомата «Нейронная сеть» были получены следующие результаты:

- От периодического источника исходят круговые волны.
- При столкновении параллельных фронтов происходит гашение друг о друга.

Был реализован и проанализирован клеточный автомат «Организмы-питательная среда». При моделировании было выяснено, что без конкуренции между особями в клеточном автомате возникает явление самоорганизации: волна распространяется плоским фронтом.

Приложение

Листинг 1

```
#include "stdio.h"
#include "iostream"
#include <set>
#include <random>
#include <Windows.h>

const int N = 6; // Размерность
const unsigned int pixelScale = 50;//масштаб

const float A = 0.07;

inline int Tor(int x)
{
     if (x < 0)
          return x + N;
     else
          return x % N;
}


int f(int y, int yU, int yUR, int yR, int yDR, int yD, int yDL,
int  yL, int yUL)
{
     int i = yU + yUR + yR + yDR + yD + yDL + yL + yUL;

     if ((y == 0 && i == 2) || (y == 1 && (i <= 2)))
     {
          return 1;
     }
     return 0;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
     //// Массив    для  хранения текущих состояний клеток
     HWND myconsole = GetConsoleWindow(); // hwnd - Дескриптор -
уникальный номер экземпляра окна программы(каждая программа при
запуска получает его от windows автоматически), для того чтобы
windows могла их различать
     //Получите дескриптор контекста устройства
     HDC mydc = GetDC(myconsole);

     std::uniform_int_distribution<int> uid(0, N * N); //
Формирует равномерное (каждое значение одинаково вероятно)
```

распределение целых чисел в выходном инклюзивно-эксклюзивном диапазоне.

std::random_device device; // Формирует случайную последовательность с помощью внешнего устройства.

std::mt19937_64 d(device()); // std::mt19937 - это генератор псевдослучайных чисел, для получения последовательности чисел его надо создать один раз, и потом использовать его вместе с каким-то случайным распределением чтобы получать случайные числа.

std::set<int> R; // Set – это множество, которое содержит несколько отсортированных элементов. При добавлении нового элемента в множество он сразу становится на свое место так, чтобы не нарушать порядка сортировки.

```
int cell[N][N];


int i = 0;
int cell_temp[N][N];//Массив для хранения новых состояний клеток
char c;// Переменная,используемая при обработке нажатия кнопок
long iter = 0;// Счетчик итераций

for (int i = 0; i < N; i++)
     for (int j = 0; j < N; j++)
     {
          cell[i][j] = 0;
     }

//1!
do
{
     auto tmp = uid(d); // auto - автоматическое определение типа данных компилятором
     R.insert(tmp); // вставка

} while (R.size() != (int)(A * N * N));
// Начальное заполнение массива клеток
for (int i = 0; i < N; i++)
     for (int j = 0; j < N; j++)
     {
          if (R.find(i * N + j) != R.end()) // find - находит элемент с определенным ключом
          {
               cell[i][j] = 1;
```

```
                }
            }

        // Итерации   автомата
        for (;;)
        {
            //   Визуализация
            int alive = 0;
            for (i = 0; i < N; i++)
            {
                for (int j = 0; j < N; j++)
                {

                    if (cell[i][j] == 1)
                    {
                        COLORREF COLOR1 = RGB(255, 255, 255);

                        for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
                        {
                            for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
                            {
                                SetPixel(mydc, k, l, COLOR1);
                            }
                        }

                        alive++;
                    }

                    if (cell[i][j] == 0)
                    {
                        COLORREF COLOR2 = RGB(128, 0, 0);

                        for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
                        {
                            for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
                            {
                                SetPixel(mydc, k, l, COLOR2);
                            }
                        }
                    }
                }
```

```
          }

          std::cout << "Iter - " << iter << "; Alive - " <<
alive;

          //Вычисление новых состояний клеток
          for (i = 0; i < N; i++)
               for (int j = 0; j < N; j++)
               {
                    cell_temp[i][j] = f(cell[i][j],
                         cell[Tor(i - 1)][j], cell[Tor(i - 1)]
[Tor(j + 1)], cell[i][Tor(j + 1)], cell[Tor(i + 1)][Tor(j + 1)],
                         cell[Tor(i + 1)][j], cell[Tor(i + 1)]
[Tor(j - 1)], cell[i][Tor(j - 1)], cell[Tor(i - 1)][Tor(j -
1)]);
               }

          //Перенос новых состояний в массив текущих состояний
          for (i = 0; i < N; i++)
               for (int j = 0; j < N; j++)
                    cell[i][j] = cell_temp[i][j];

          //Обработка нажатия кнопки <q>
          c = getchar();
          if (c == 'q') return 0;

          iter++;
     }
     return 0;
}
```

Листинг 2

```
#include <Windows.h>
#include <iostream>

const int N = 256;
const unsigned int pixelScale = 3;//масштаб пикселей

const float A = 0.3;
const float P = 3;
const int T = 5;
const int B = 8;

inline int Tor(int x)
{
     if (x < 0) return x + N;
     else return x % N;
```

```
}

struct cell
{
     int sost;
     float level_active;
     int time_takt;
};

cell y[N][N];

cell Y1[N][N];


cell AmbitCell(cell y, cell yU, cell yUR, cell yR, cell yDR,
cell yD, cell yDL, cell yL, cell yUL, int time)
{
     if (y.sost == 0)
     {
          y.level_active = y.level_active * A;
          float akt = y.level_active + yU.level_active +
yUR.level_active + yR.level_active + yDR.level_active +
yD.level_active + yDL.level_active + yL.level_active +
yUL.level_active;
          if (akt >= P)
          {
               y.sost = 2;
               y.time_takt = time + T;
               y.level_active = 1.0;
          }
     }
     if (y.sost == 1)
     {
          y.level_active = y.level_active * A;
          if (y.time_takt == time)
          {
               y.sost--;
               y.time_takt = 0;
          }
     }
     if (y.sost == 2)
     {
          y.level_active = 1.0;

          if (y.time_takt == time)
          {
```

```
                y.sost--;
                y.time_takt = time + B;
           }
      }
      return y;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
      HWND myconsole = GetConsoleWindow();
      RECT r;
      GetWindowRect(myconsole, &r);
      MoveWindow(myconsole, r.left, r.top, 1500, 900, TRUE);
      HDC mydc = GetDC(myconsole);

      int i = 0;
      char c;

      long iter = 0;

      int flag = 0;
      // Начальноезаполнениемассиваклеток
      for (int i = 0; i < N; i++)
           for (int j = 0; j < N; j++)
           {
                y[i][j].sost = 0;
                y[i][j].level_active = 0;
                y[i][j].time_takt = -1;
           }
      // плоский фронт
      for (int i = N * 0.25; i < N * 0.25 + 1; i++)
           for (int j = 0; j < N; j++)
           {
                y[i][j].sost = 2;
                y[i][j].level_active = 1.0;
                y[i][j].time_takt = T;
           }



      // Итерации   автомата
      for (;;)
      {
           //3*3 источник
           if (flag == 0)
           {
```

```
                for (int i = N / 2 - 1; i < N / 2 + 2; i++)
                {
                     for (int j = N / 2 - 1; j < N / 2 + 2; j++)
                     {
                          y[i][j].sost = 2;
                          y[i][j].level_active = 1.0;
                          y[i][j].time_takt = iter + T;
                     }
                }

           }
           flag++;
           if (flag == 15)
                flag = 0;

           //   Визуализация
           int alive = 0;
           for (i = 0; i < N; i++)
           {
                for (int j = 0; j < N; j++)
                {

                     if (y[i][j].sost == 2)
                     {
                          COLORREF COLOR1 = RGB(255, 255, 255);

                          for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
                          {
                               for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
                               {
                                    SetPixel(mydc, k, l, COLOR1);
                               }
                          }
                          alive++;
                     }
                     if (y[i][j].sost == 1)
                     {
                          COLORREF COLOR1 = RGB(0, 0, 255);

                          for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
                          {
                               for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
```

```
                              {
                                   SetPixel(mydc, k, l, COLOR1);
                              }
                         }
                    }

                    if (y[i][j].sost == 0)
                    {
                         COLORREF COLOR2 = RGB(128, 0, 0);

                         for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
                         {
                              for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
                              {
                                   SetPixel(mydc, k, l, COLOR2);
                              }
                         }
                    }
               }
          }

          std::cout << "Iter - " << iter << "; Alive - " <<
alive;

          //Вычисление новых состояний клеток
          for (i = 0; i < N; i++)
               for (int j = 0; j < N; j++)
               {
                    Y1[i][j] = AmbitCell(y[i][j], y[Tor(i - 1)]
[Tor(j)],
                         y[Tor(i - 1)][Tor(j + 1)], y[Tor(i)]
[Tor(j + 1)],
                         y[Tor(i + 1)][Tor(j + 1)], y[Tor(i + 1)]
[Tor(j)],
                         y[Tor(i + 1)][Tor(j - 1)], y[Tor(i)]
[Tor(j - 1)],
                         y[Tor(i - 1)][Tor(j - 1)], iter);
               }

          for (i = 0; i < N; i++)
               for (int j = 0; j < N; j++)
                    y[i][j] = Y1[i][j];

          c = getchar();
```

```
          if (c == 'q') return 0;
          iter++;
     }
     return 0;
}
```

Листинг 3

```
#include <time.h>
#include <cstdlib>
#include <set>
#include <random>
#include <iostream>
#include <Windows.h>
const int N = 256;
const unsigned int pixelScale = 3;// масштаб пикселей

float MaxP = 0; // максимальная питательность среды
float NowP = 0; // текущая питательность среды
const float Pmax = 10;
const float r = 1;
const float A = 0.3;
const int L = 15;
const int T = 3;
const float dp = 5;
const float p1 = 35;
const float de = 2;
const float dr = 3;



inline int Tor(int x)
{
     if (x < 0) return x + N;
     else return x % N;
}

struct cell
{
     float P = 0.0;
     int sost = 0;

     int nowBirth = 0;
     int nextBirth = 0;
     int jump = 0;
     float nowEnergy = 0.0;
     float nextEnergy = .0;
};
```

```
cell y[N][N];
cell Y1[N][N];

float Min(float a, float b)
{
     if (a > b)
          return b;
     else
          return a;
}

cell f(cell y, cell yU, cell yUR, cell yR, cell yDR, cell yD,
cell yDL, cell yL, cell yUL, int time)
{
     if ((NowP < MaxP) && (y.P < Pmax))
     {
          float buff = Min(Min(Pmax - y.P, MaxP - y.P), r);
          y.P += buff;
          NowP += buff;
     }

     if (y.sost == 1)
     {
          //7+8
          //изменение энергии
          if (y.nowEnergy <= (p1 - dp))
          {
               //Запас среды >=прибавки
               if (y.P >= dp)
               {
                    y.P -= dp;
                    NowP -= dp;
                    y.nowEnergy += dp;
               }
               else
               {
                    y.nowEnergy += y.P;
                    NowP -= y.P;
                    y.P = 0;
               }
          }
          else if (y.nowEnergy < p1)
          {
               if (y.P >= (p1 - y.nowEnergy))
               {
```

```
                    y.P -= (p1 - y.nowEnergy);
                    NowP -= (p1 - y.nowEnergy);
                    y.nowEnergy = p1;
               }
               else
               {
                    y.nowEnergy += y.P;
                    NowP -= y.P;
                    y.P = 0;
               }
          }

          //9+11+12
          if ((y.nowEnergy <= de) || ((time - y.nowBirth) >= L))
          {
               y.sost = 0;
               y.nowEnergy = 0;
               y.nowBirth = 0;
          }
          else { y.nowEnergy -= de; }
     }
     return y;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
     HWND myconsole = GetConsoleWindow();
     RECT r;
     GetWindowRect(myconsole, &r);
     MoveWindow(myconsole, r.left, r.top, 1500, 900, TRUE);
     HDC mydc = GetDC(myconsole);

     std::uniform_int_distribution<int> uid(0, N * N);
     std::random_device device;
     std::mt19937_64 d(device());

     srand(time(NULL));
     std::set<int> R;

     int i = 0;
     char c;
     // Счетчикитераций
     long iter = 0;

     //1!
     do
```

```
	{
		auto tmp = uid(d);
		R.insert(tmp);

	} while (R.size() != (int)(A * N * N));
	// Начальноезаполнениемассиваклеток
	for (int i = 0; i < N; i++)
		for (int j = 0; j < N; j++)
		{
			if (R.find(i * N + j) != R.end())
			{
				y[i][j].sost = 1;
				y[i][j].nowEnergy = rand() % int(p1);
			}
			y[i][j].P = rand() % int(Pmax);
			MaxP += y[i][j].P;
			y[i][j].nowBirth = 0;
			y[i][j].jump = 0;
		}
	NowP = MaxP;

	// Итерации   автомата
	for (;;)
	{
		//   Визуализация
		int alive = 0;
		for (i = 0; i < N; i++)
		{
			for (int j = 0; j < N; j++)
			{

				if (y[i][j].sost == 1)
				{
					COLORREF COLOR1 = RGB(255, 255, 255);
					for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
					{
						for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
						{
							SetPixel(mydc, k, l, COLOR1);
						}
					}
					alive++;
				}
				if (y[i][j].sost == 0)
```

```
                    {
                         COLORREF COLOR2 = RGB(255 - (25 * y[i]
[j].P), 25 * y[i][j].P, 0);

                         for (size_t k = i * pixelScale + 250; k
< i * pixelScale + pixelScale + 250; k++)
                         {
                              for (size_t l = j * pixelScale; l <
j * pixelScale + pixelScale; l++)
                              {
                                   SetPixel(mydc, k, l, COLOR2);
                              }
                         }
                    }
               }
          }

          std::cout << "Iter - " << iter << "; Alive - " <<
alive;

          //Вычисление новых состояний клеток
          for (i = 0; i < N; i++) for (int j = 0; j < N; j++)
          {
               Y1[i][j] = f(y[i][j], y[Tor(i - 1)][Tor(j)],
                    y[Tor(i - 1)][Tor(j + 1)], y[Tor(i)][Tor(j +
1)],
                    y[Tor(i + 1)][Tor(j + 1)], y[Tor(i + 1)]
[Tor(j)],
                    y[Tor(i + 1)][Tor(j - 1)], y[Tor(i)][Tor(j -
1)],
                    y[Tor(i - 1)][Tor(j - 1)], iter);
          }
          //4!
          for (i = 0; i < N; i++)
          {
               for (int j = 0; j < N; j++)
               {
                    if (Y1[i][j].sost == 1)
                    {
                         int local_x, local_y;
                         bool flag_equal = false;
                         std::set<int> S;
                         do
                         {
                              if (S.size() == 8)
                              {
```

```
                                    local_x = i;
                                    local_y = j;
                                    flag_equal = true;
                                    Y1[local_x][local_y].jump = 1;
                                    Y1[local_x]
[local_y].nextEnergy = Y1[i][j].nowEnergy;
                                    Y1[local_x][local_y].nextBirth
= Y1[local_x][local_y].nowBirth;
                                    break;
                               } //Выход если некуда прыгать

                               auto direction = rand() % 8;
                               S.insert(direction);

                               switch (direction)
                               {
                               case 0:
                               {
                                    local_x = i;
                                    local_y = Tor(j - 1);
                                    break;
                               }
                               case 1:
                               {
                                    local_x = Tor(i + 1);
                                    local_y = Tor(j - 1);
                                    break;
                               }
                               case 2:
                               {
                                    local_x = Tor(i + 1);
                                    local_y = j;
                                    break;
                               }
                               case 3:
                               {
                                    local_x = Tor(i + 1);
                                    local_y = Tor(j + 1);
                                    break;
                               }
                               case 4:
                               {
                                    local_x = i;
                                    local_y = Tor(j + 1);
                                    break;
                               }
```

```
                                    case 5:
                                    {
                                         local_x = Tor(i - 1);
                                         local_y = Tor(j + 1);
                                         break;
                                    }
                                    case 6:
                                    {
                                         local_x = Tor(i - 1);
                                         local_y = j;
                                         break;
                                    }
                                    case 7:
                                    {
                                         local_x = Tor(i - 1);
                                         local_y = Tor(j - 1);
                                         break;
                                    }
                                    }
                               } while (Y1[local_x][local_y].jump != 0
|| Y1[local_x][local_y].sost != 0);


                               if (!flag_equal)
                               {
                                    Y1[local_x][local_y].jump = 1;
                                    Y1[local_x][local_y].nextBirth =
Y1[i][j].nowBirth;

                                    if (((iter - Y1[i][j].nowBirth) >
T) && (Y1[i][j].nowEnergy > dr))
                                    {

                                         Y1[local_x]
[local_y].nextEnergy = Y1[i][j].nowEnergy - dr;
                                         Y1[i][j].jump = 1;
                                         Y1[i][j].nextEnergy = 0;
                                         Y1[i][j].nextBirth = iter;
                                    }
                                    else
                                    {
                                         Y1[local_x]
[local_y].nextEnergy = Y1[i][j].nowEnergy;
                                         Y1[i][j].sost = 0;
                                         Y1[i][j].jump = 0;
                                         Y1[i][j].nowEnergy = 0;
```

```
                                        Y1[i][j].nowBirth = 0;
                                   }
                              }
                         }
                    }
               }
               //5,6!
               for (i = 0; i < N; i++)
               {
                    for (int j = 0; j < N; j++)
                    {
                         if (Y1[i][j].jump == 1)
                         {
                              Y1[i][j].sost = 1;
                              Y1[i][j].jump = 0;
                              Y1[i][j].nowEnergy = Y1[i]
[j].nextEnergy;
                              Y1[i][j].nowBirth = Y1[i][j].nextBirth;
                         }
                         else
                         {
                              Y1[i][j].sost = 0;
                              Y1[i][j].nowEnergy = Y1[i][j].nextEnergy
= 0;
                              Y1[i][j].nowBirth = Y1[i][j].nextBirth =
0;
                         }
                    }
               }

               for (i = 0; i < N; i++)
                    for (int j = 0; j < N; j++)
                         y[i][j] = Y1[i][j];

               c = getchar();
               if (c == 'q') return 0;
               iter++;

          }
          return 0;
}
```