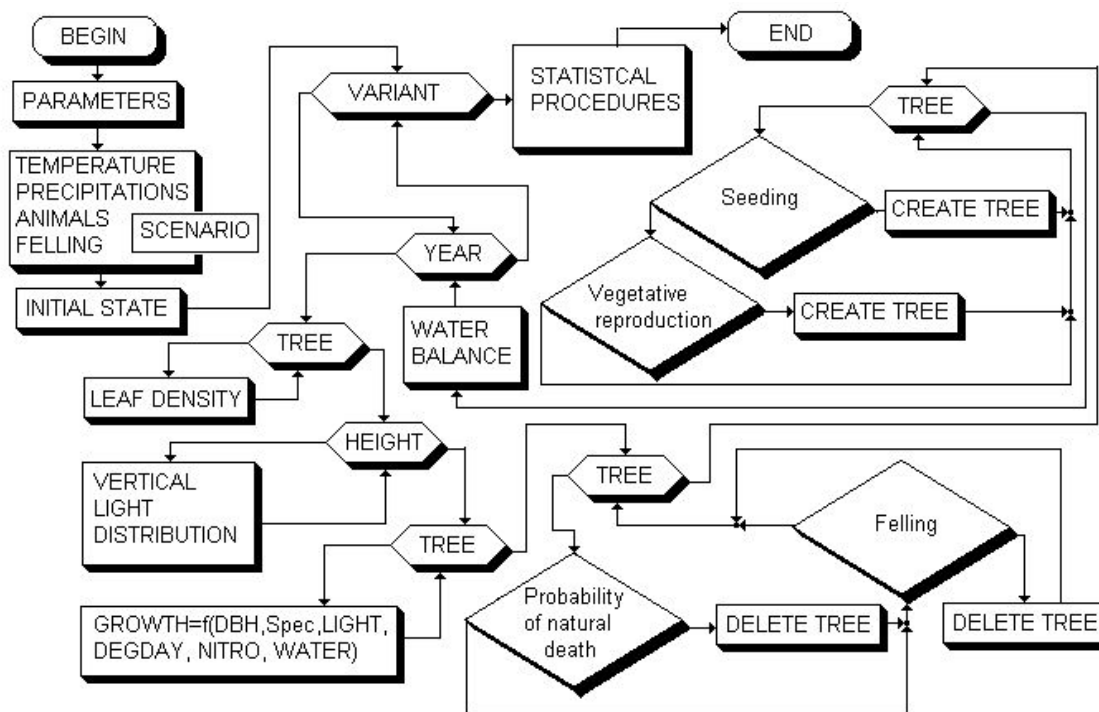


Моделирование в Экологии



Блок-схема программы «Forest» (автор Меншуткин В. В.)

Сабиров Марат Авхатович, м.н.с. ИЭФБ
РАН,
Лаборатория моделирования Эволюции
2015

Содержание Курса

1. Основные понятия. «Система», «модель», «моделирование». Соотношение между моделью и оригиналом. Виды моделей: «натурные» (физические), аналоговые и компьютерные. Классификация моделей: случайные и детерминированные, континуальные и дискретные. Зачем создавать модели?
2. Модели в экологии. Логика построения модели. Сбор данных для модели. Выявление границ моделируемой системы и ее «существенных черт» (ключевых параметров) с точки зрения задачи исследования. Вербальная модель.
3. Имитационное моделирование. Логика построения модели. Определение состояний системы, параметров состояния и системного времени исходя из задач исследования. Средства имитационного моделирования.
4. Методы построения моделей-1. Методы построения моделей-3. Системный подход и орграфическое моделирование. Примеры из экологических исследований. Системная динамика и среды моделирования VenSim, Stella
5. *Практикум: Разработка модели по собственной проблематике в среде VenSim PLE*
6. Методы построения моделей-3. Универсальные языки программирования (пример с Visual Basic 6). Игра «Жизнь» и клеточные автоматы (КА). Примеры из экологических исследований.
7. Моделирование и игровые технологии. Обзор игр по экологической тематике. Пример игровой модели «Ecologic». Создание моделей или игр – практические вопросы.
8. *Практикум-4: Играем в «Эволюцию» или в «Ecologic»*

Имитационное моделирование

Выбор ПОДХОДА (метода) моделирования – исходя из ЗАДАЧИ исследования. Далее подход определяет выбор СРЕДСТВА моделирования

Задача

- Моделирование потоков ЭВИ в экосистеме
- Моделирование физиологических и биохимических процессов
- Моделирование динамики популяции

Подход

- Системная динамика
- Событийное моделирование
- Мультиагентное моделирование

Средств

- Специализированные среды моделирования
- Универсальные языки программирования

Подходы и средства

Подходы	Средства	Событийный подход	Агентный подход
Средства			
Спец. среды моделирования	<i>Stella 8, VenSim, IThink и др.</i>	<i>AnyLogic, eM-Plant и др.</i>	<i>AnyLogic, NetLogo и др.</i>
Универсальные языки программирования			<i>Модели на Visual Basic 6</i>

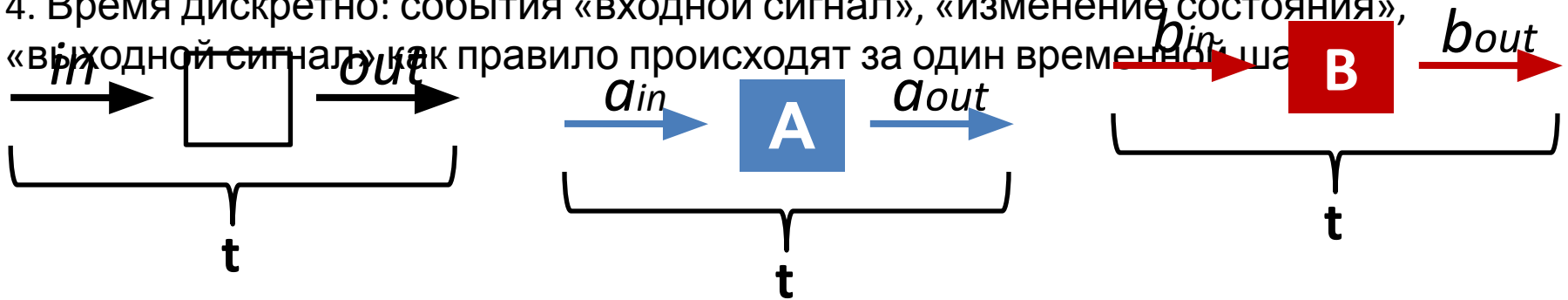
Агентный (мультиагентный) подход - моделирование индивидуального поведения и взаимодействия множества однокачественных объектов (агентов)

- Индивидуальное рассмотрение объектов (**individual-based view** вместо **whole system view** в системной динамике)
- Нет необходимости в гипотезах или знаниях о «глобальных» закономерностях системы
- Легче корректировка и сопровождение модели
- Агенты как правило имеют физический аналог из реальной системы

Понятие конечных автоматов

Для агентного подхода существует хорошо разработанный математический метод – ТЕОРИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

1. **Конечный автомат** – абстрактный объект, который каждый момент времени может находиться только в одном состоянии, количество таких состояний **конечно**
2. Автомат изменяет свое состояние при действии множества внешних сигналов («**входы**»), определенному сигналу соответствует переход в определенное состояние
3. Сам автомат может давать сигналы во вне («**выходы**»), которые могут быть источником («входами») для других автоматов.
4. Время дискретно: события «входной сигнал», «изменение состояния», «выходной сигнал» как правило происходят за один временной шаг



Состояние автомата на шаге t зависит от его состояния на шаге $(t-1)$ и входного сигнала на шаге t . **Вероятностные автоматы** – входной сигнал приводит автомат к определенному состоянию лишь с некоторой вероятностью

Метод Клеточных Автоматов

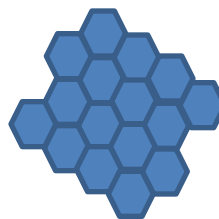
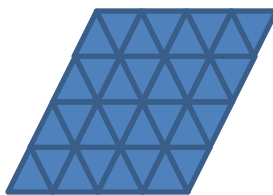
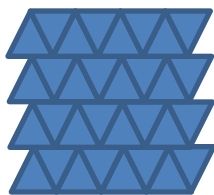
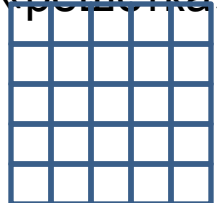
(КА)

Клеточные Автоматы, КА (Cellular Automata, CA) – метод моделирования дискретных систем в технике и различных естественнонаучных областях (математика, физика, биология и др.). Акцент на пространственно-временной динамике системы.

Основные

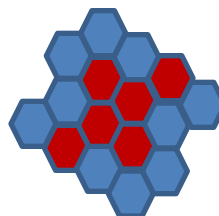
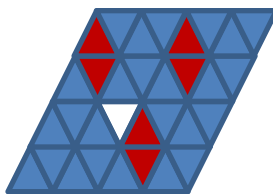
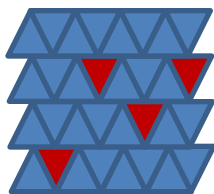
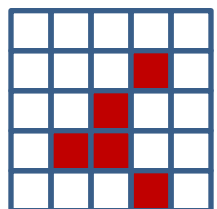
идеи:

1. Пространство и время модели дискретно. Пространственно упорядоченная «решетка»



**Варианты
«решеток»**

2. Каждый автомат («клетка») может находиться в нескольких альтернативных состояниях. В пределе – в двух. Например:

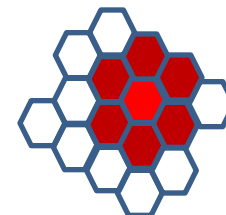
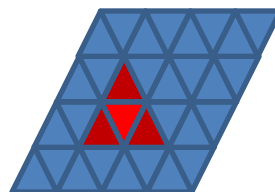
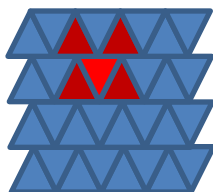
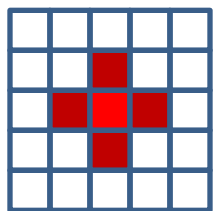
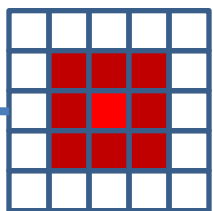


**«живая»
(«населенная»)
или
«мертвая»
(«пустая»)**

Метод Клеточных Автоматов

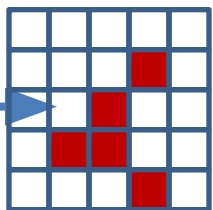
Основные (КА)

3. Принцип «близкодействия» ~~идея~~ «клетки» - совокупность соседних «клеток», с которой она может взаимодействовать. Например:

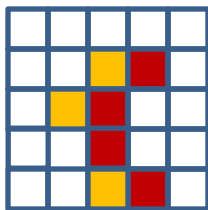


...и другие

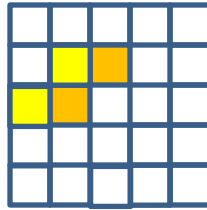
4. Правила перехода из одного состояния в другое (как функция текущего состояния клетки и состояния ее соседей). За один временной «шаг» правила применяются однократно ко всем клеткам. Например:



t = 0



t = 1



t = 2

[ЕСЛИ «клетка» имеет четное число «живых» соседей, ТО она «погибает», ЕСЛИ нечетное – слева «рождается» еще одна, ЕСЛИ при этом клетка слева пустая] ...и т.

д.

При таких правилах «волна жизни» будет двигаться влево. Правила могут быть достаточно сложными, с набором «разветвленных» условий.

Игра «Жизнь» Конвэя

«Мир» игры — размеченная на клетки поверхность или плоскость. Каждая клетка может находиться в двух состояниях: «живая» или «мёртва» (пустая). Клетка имеет восемь соседей (окружающих клеток)

Распределение живых клеток в начале игры – 1-ое поколение. Каждое следующее поколение рассчитывается на основе предыдущего по **правилам перехода:**

1. пустая (мёртвая) клетка, рядом с которой 3 живые клетки, оживает;
2. если у живой клетки есть 2 или 3 живых соседа, эта клетка продолжает жить;
3. если соседей < 2 или > 3 - клетка умирает (от «одиночества» или от «перенаселённости»).

1	2	3
4		5
6	7	8

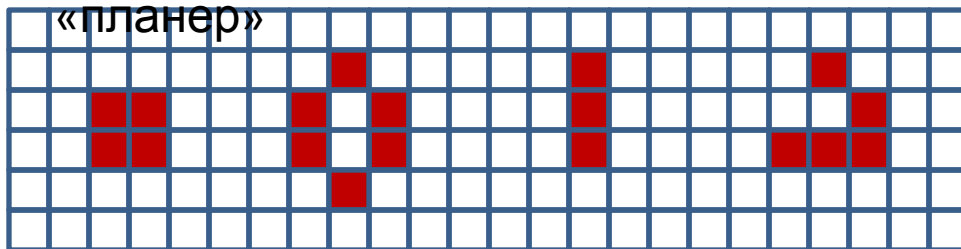
■	2	3
4	■	5
6	7	8

ил
и

■	■	3
4	■	5
■	7	■

Устойчивые комбинации:

«блок» «улей» «мигалка»



Конец Игры: отсутствие изменений (или все фигуры стали устойчивыми или не осталось «живых» клеток)

Игрок определяет начальную конфигурацию «живых» клеток, которые затем взаимодействуют согласно правилам уже без его участия

ПУСК

Применение КА

как самостоятельный объект исследования
(теория вычислимости, компьютерные науки, дискретная математика)

как среда моделирования
различных процессов, явлений и феноменов во многих областях науки

- ✓ Моделирование различных физических процессов (движения потоков жидкости, «поведения» молекул и элементарных частиц, процессов теплопередачи, диффузии, деформации и др.)
- ✓ Моделирование взаимодействия и миграции клеток
- ✓ Моделирование в материаловедении, конструировании наноматериалов
- ✓ «Подключение» метода КА к различным ГИС-приложениям
- ✓ Моделирование социальных процессов и др.
- ✓ Хранение и шифрование информации

Примеры применения КА

Cellular Automata Approaches to Biological Modeling

G. BARD ERMENTROUT AND LEAH EDELSTEIN-KESHET


Department of Mathematics and Statistics, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA 15260, U.S.A. and Department of Mathematics, University of British Columbia, Vancouver, BC V6T 1Z2, Canada

(Received on 27 November 1991, Accepted on 30 June 1992)

We review a number of biologically motivated cellular automata (CA) that arise in models of excitable and oscillatory media, in developmental biology, in neurobiology, and in population biology. We suggest technical and theoretical arguments that permit greater speed and enhanced realism, and apply these to several classical examples of pattern formation. We also describe CA that arise in models for fibroblast aggregation, branching networks, trail following, and neuronal maps.

Bulletin of Mathematical Biology (1999) **61**, 625–649

Article No. bulm.1998.0090

Available online at <http://www.idealibrary.com> on 

Cellular Automaton Models for Competition in Patchy Environments: Facilitation, Inhibition, and Tolerance

HAL CASWELL*

Biology Department MS 34,
Woods Hole Oceanographic Institution,
Woods Hole, MA 02543, U.S.A.

E-mail: hcaswell@whoi.edu

RON ETTER

Biology Department,
University of Massachusetts,
Boston, MA 02125-3393, U.S.A.

Cellular automata models of biochemical phenomena

Lemont B. Kier^{a,*}, Chao-Kun Cheng^b, Bernard Testa^c

^a Department of Medicinal Chemistry, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia, VA 23298, USA

^b Department of Mathematical Sciences, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia, VA 23298, USA

^c Institut de Chimie Thérapeutique, Université de Lausanne, CH-1015, Lausanne, Switzerland

- *Физиология*: моделирование возбудимой среды, нейронных взаимодействий, ангиогенеза
- *Цитология и биология развития*: распределение клеток, их агрегация и миграция в онтогенезе
- *Экология*: популяционные модели, модели «хищник-жертва», «паразит-хозяин» и др.



Моделирование различных вариантов внутривидовых взаимодействий в условиях неоднородной среды

Моделирование различных биохимических процессов, происходящих в растворах: растворение, диффузия, прохождение веществ через полупроницаемую мембрану, активность ферментов

Abstract

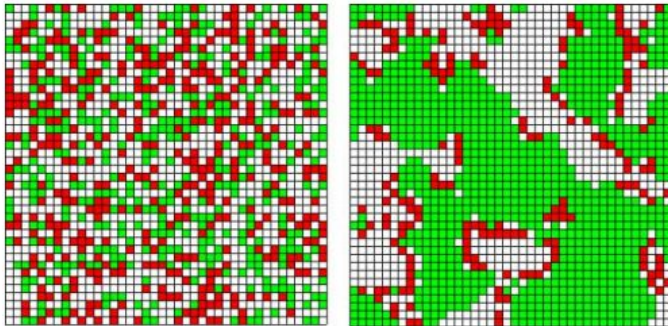
This paper describes the use of kinematic, asynchronous, stochastic cellular automata to model water and solution phenomena encountered in complex biological systems. These *in silico* experiments are designed to assess the ability of the dynamic simulations to model some physical properties observed in solutions. Several experiments are described with significant relationship to physical reality. These include solution behavior, dissolution, immiscible systems, micelle formation, diffusion, membrane passage, enzyme activity and acid dissociation. From the confidence developed in these models, it is possible to consider cellular automata as an exploratory method for the discovery and understanding of new, unexpected phenomena. ©1999 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

Keywords: Solution phenomena; Water structure; Cellular automata; *In silico* experiments; Dynamic simulation

Cellular-automata-based ecological and ecohydraulics modelling

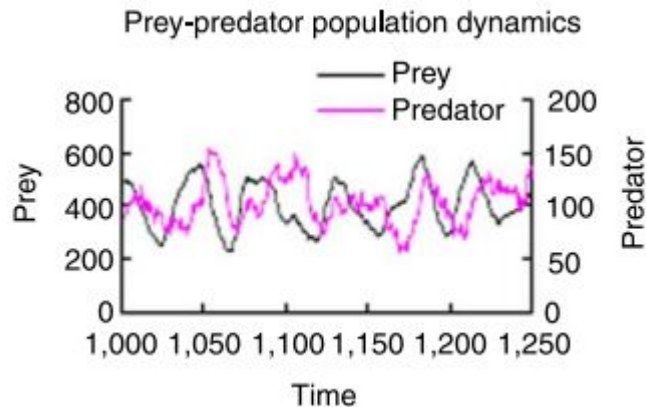
Qiuwen Chen, Fei Ye and Weifeng Li

1. Модель «хищник-

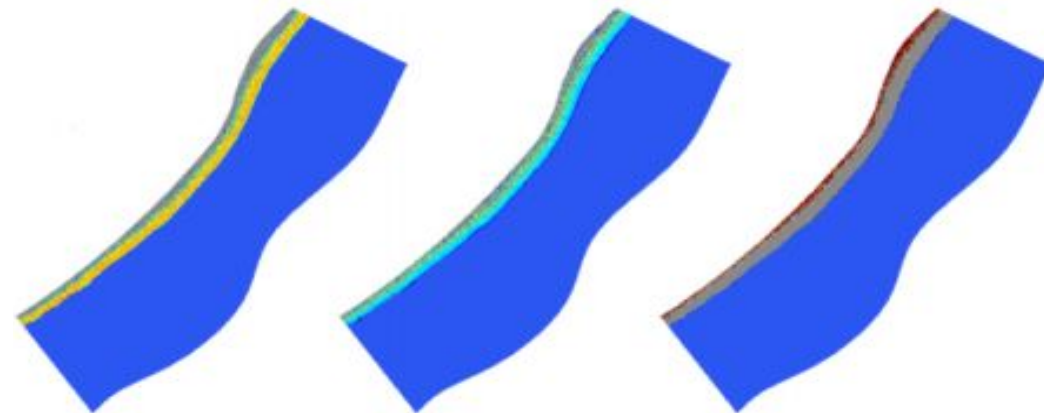


Начальное состояние

Через 600 временных шагов

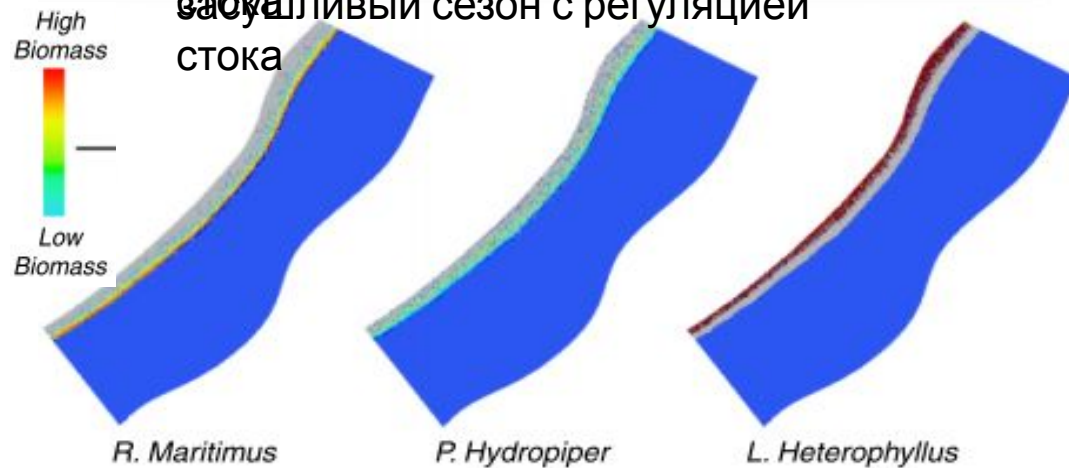


2. Смешанная модель «гидродинамика - водная



засушливый сезон без регуляции стока

засушливый сезон с регуляцией стока



КА в экологических

INT. J. GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE, 1998, VOL. 12, NO. 7, 699-714

Research Article

Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore

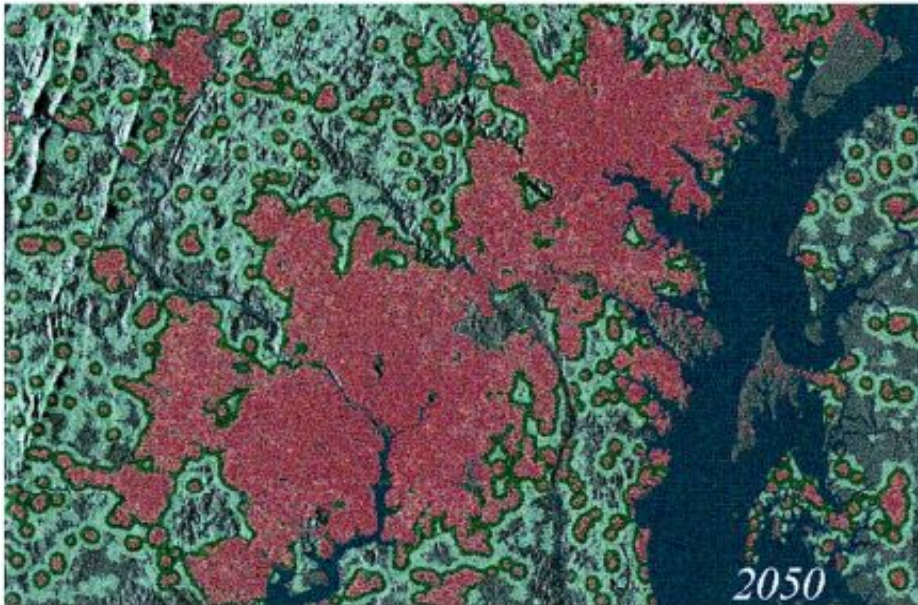
KEITH C. CLARKE

University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA 93106 USA

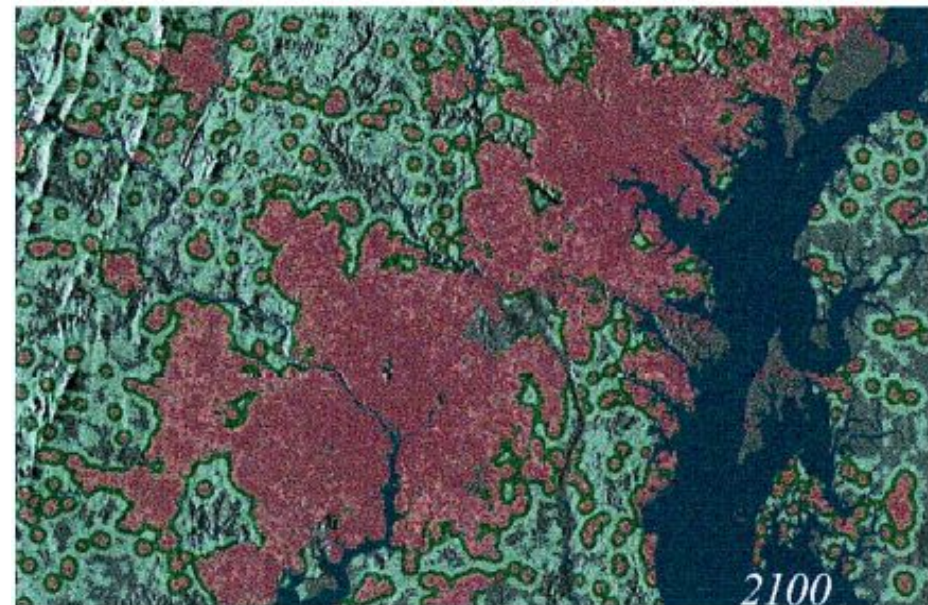
and LEONARD J. GAYDOS

United States Geological Survey, EROS Data Center, 242-4 NASA-Ames Research Center, Moffett Field, CA 94035 USA

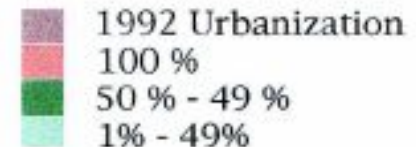
- **Задача:** долгосрочный прогноз развития городской среды
- **Перспективный подход:** совмещение ГИС и КА-



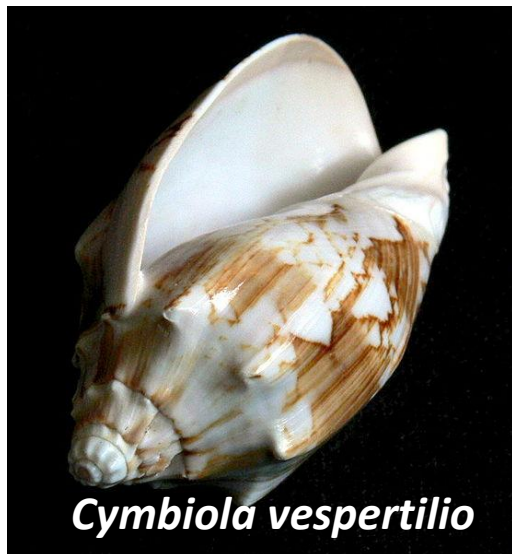
Washington - Baltimore Urban
Growth Predictions



Monte Carlo
Probabilities

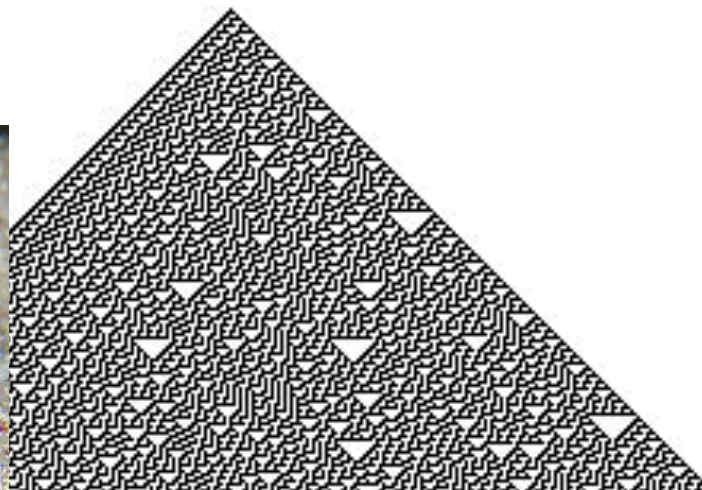


«Естественные КА»



У моллюска *Cymbiola vespertilio* вокруг устья расположена тонкая полоса пигментных клеток. Активация или ингибирование пигмента в конкретной клетке зависит от активирующего или ингибирующего действия соседних клеток.

Несколько простых правил → сложный узор
Несколько простых правил → сложное поведение



Один из клеточных автоматов С. Вольфрама - механизм формирования окраски моллюска *Conus textile*



Моделирование распределения мидий двух видов в смешанной популяции

Губа Тюва Кольского залива - хороший «модельный» регион для изучения микроэволюционных процессов у мидий:

- ✓ Массовые поселения мидий
- ✓ Гибридная зона *M. edulis* и *M. trossulus*
- ✓ Данные по размерно-возрастной и генетической структуре
- ✓ Пространственная неоднородность среды и поселений моллюсков

- Изучение популяционной и динамики и микроэволюционных процессов в поселениях одного из самых массовых видов водных беспозвоночных - мидий *Mytilus spp.*
 - Большой объем литературных данных по теме
 - Собственные данные (Каф. Ихтиологии и Гидробиологии – П.П. Стрелков)
 - «Работа руками»: представление о масштабах, особенностях, методах изучения объекта, методах обобщения и представления полученных данных
- Мидиевая банка в губе. Тюва, Северо-Восточная часть Кольского залива, 2009 г.*

Средство

моделирования:

- MS Visual Basic 6

Объект:

- гибридная зона *Mytilus edulis* x *M. trossulus* в губе Тюва

МОДЕЛЬ

Общие свойства

модели:

- Вероятностная
- Дискретная
- Двухмерная

Метод:

- Клеточные автоматы на плоскости

Цел

Создание имитационной модели гибридной зоны

ь:

Задачи:

M. edulis x *M. trossulus* в губе Тюва

- Обобщение данных по «экологической» структуре поселений мидий г. Тюва за 2004-05 и 2009-10 гг.
- Обобщение данных по «генетической» структуре поселений мидий г. Тюва за 2004-05 и 2009-10 гг.
- Создание «ядра» программы, моделирующей динамику гибридной зоны

Модель на Visual Basic 6: Программа «МИДИЯ»

- ✓ «Среда»: два типа биотопов, произвольный размер и конфигурация «пятен», индивидуальные коэффициенты отбора
- ✓ Тонкая регулировка начального пространственного распределения
- ✓ Возможность имитировать плотность-зависимую регуляцию численности популяции
- ✓ Возможность настройки общей плодовитости моллюсков
- ✓ Возможность задания возраста с которого начинается размножение
- ✓ Динамика генотипа, гибридного индекса
- ✓ Имитация «внутреннего отбора»
- ✓ Возможность моделировать «катастрофы» (массовую гибель с последующим вселением)
- ✓ Подробные выходные данные (экспорт в Excel)

ENV

ININUM

Ed Tr INIDIV

Genetic Profile

gene1

gene2

gene3

gene4

i j

t Ed

total Tr

empty Hyb

CUSTOM POP

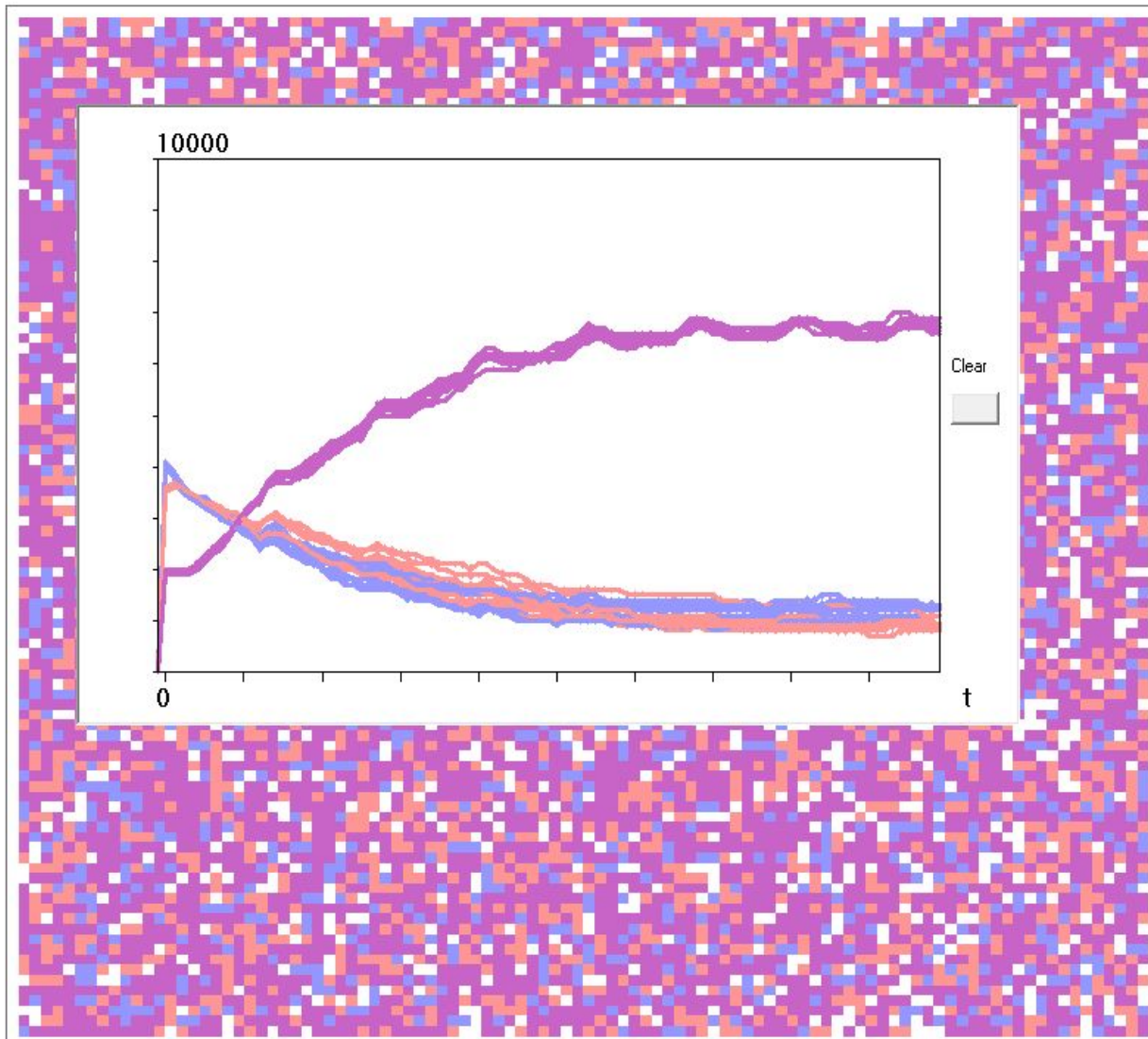
CUSTOM ENV

Number of Generations

МИДИЯ 8.0

M. edulis - M.trossulus

ENVIRONMENT INITIAL BEGIN GRAPHS OPTIONS BLOCK DIAGRAM STATISTICS ITER_STATS



ENV

90. ININUM

Ed 0.425 Tr 0.36 Hyb 0.215
ROUGH PROPORTIONS

Genetic Profile

gene1
gene2
gene3

i j

ACTUAL PROPORTIONS

t	<input type="text"/> 33	Ed	1414	<input type="text"/> 0,162
total	8783	Tr	2159	<input type="text"/> 0,254
empty	1217	Hyb	5210	<input type="text"/> 0,584

CUSTOM POP

CUSTOM ENV

INVASIONS:

CATASTROPHES:

100 Number of Generations

10 Number of Iterations



Ограничения модели

- **Дискретное время** (в поколениях) – минимальный временной шаг = 1 генерация (1 год). Факторы с меньшими характерными периодами выпадают из рассмотрения
- **Пространство двумерно** – выпадает параметр «глубина» и связанные с ним градиенты факторов
- **Ограничение по масштабу**. Только микрогеографическая изменчивость
- **Источник личинок**. Реальный фрагмент популяции испытывает приток личинок из соседних участков, находящихся за пределами рассматриваемого пространства
- В модели не учтены данные по **гидродинамике** (нет данных наблюдений)

Литература, ссылки,

программы:

1. **Меншуткин В.В.** Искусство Моделирования (экология, физиология, эволюция) – Петрозаводск— Санкт-Петербург, 2010.

http://ashipunov.info/shipunov/school/books/menshutkin2010_iskusstvo_modelirovanija.pdf

2. **Т. Тоффоли, Н. Марголус,** Машины клеточных автоматов, М.: «Мир», 1991.

3. **Qiuwen Chen, Fei Ye and Weifeng Li** Cellular-automata-based ecological and ecohydraulics modelling <http://www.iwaponline.com/jh/011/0252/0110252.pdf>

4. **Keith C. Clarke, Leonard J. Gaydos** Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San-Francisco and Washington/Baltimore

http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Pub/SLEUTHPapers_Nov24/Clarke_Gaydos_1998.pdf

Программы:

1. **The Game of Life:** <http://life.written.ru/>

Там же обзоры по КА на русском, детальное описание самой игры и программы

2. **Golly – мощный симулятор разных КА**

<http://sourceforge.net/projects/golly/files/>