

Анализ и тенденции развития методов моделирования социально-экономических процессов

Два основных подхода к оценке последствий управленческих решений

- 1) качественное описание возможных сценариев развития исследуемых объектов;
- 2) построение математических моделей с использованием различных методологий.

Компьютерные (цифровые, виртуальные) модели экономики и общества

- Модели оптимального планирования (Канторович)
- Эконометрика, нейронные сети, модели с нечеткой логикой
- Вычислимые модели общего равновесия
- Динамические стохастические равновесные модели
- Агент-ориентированные модели

Отличительные признаки CGE моделей

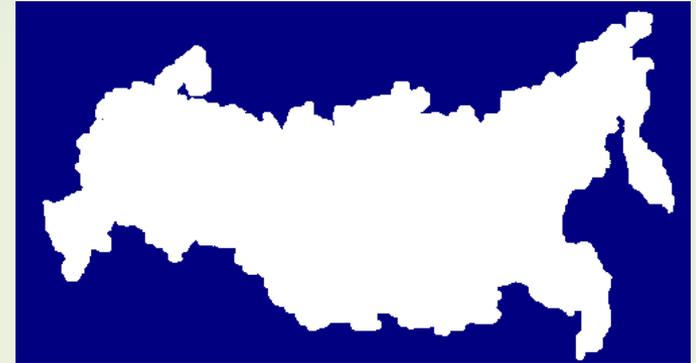
C

Вычисляемые

GDP	7,5	7,7	7,9	8,1
Demand	1,2	1,3	1,4	1,6
Supply	1,2	1,3	1,4	1,6
Salary	2,1	2,3	2,5	2,7

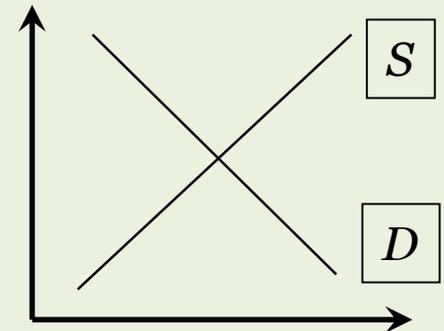
G

Общие

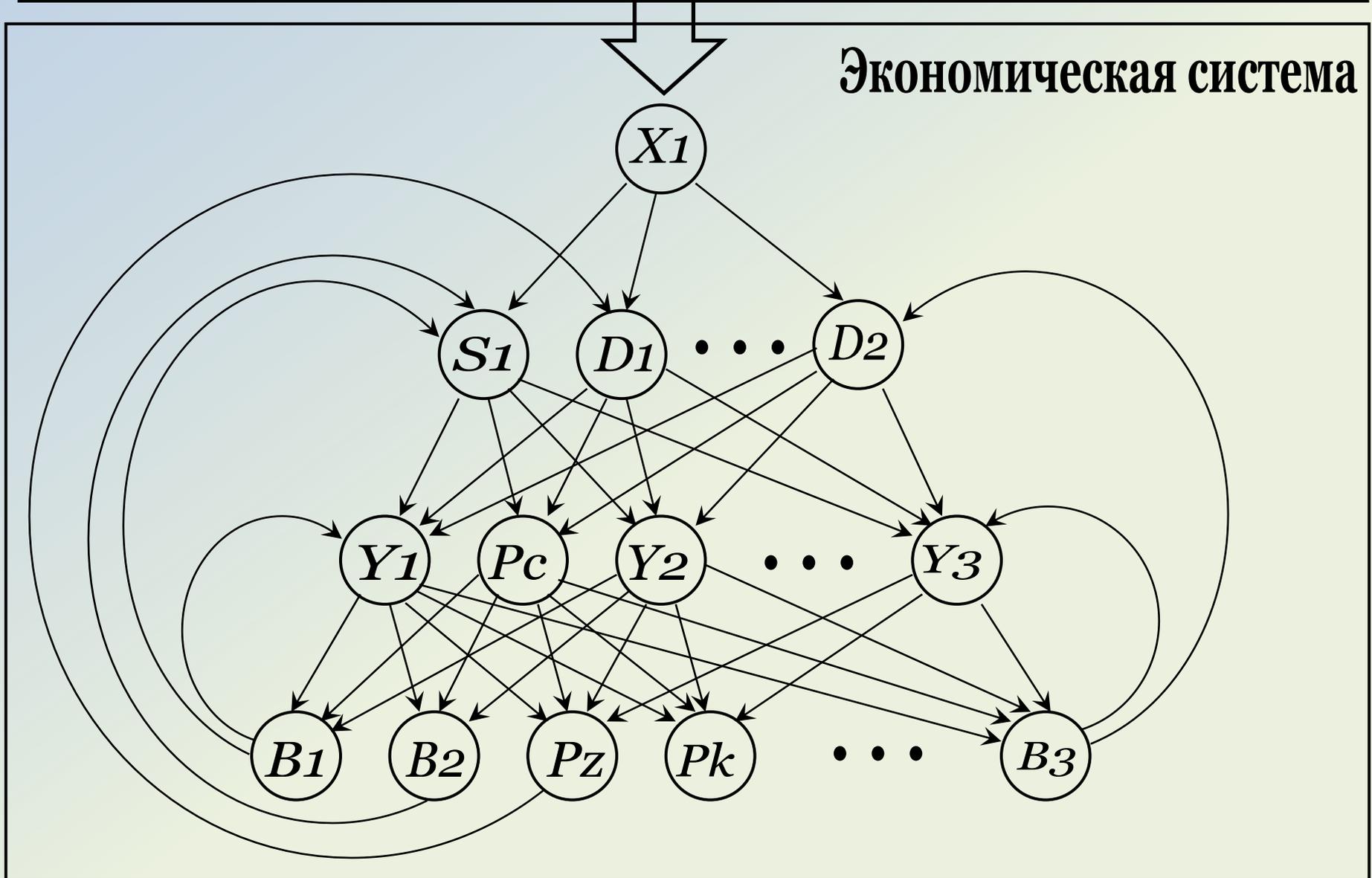


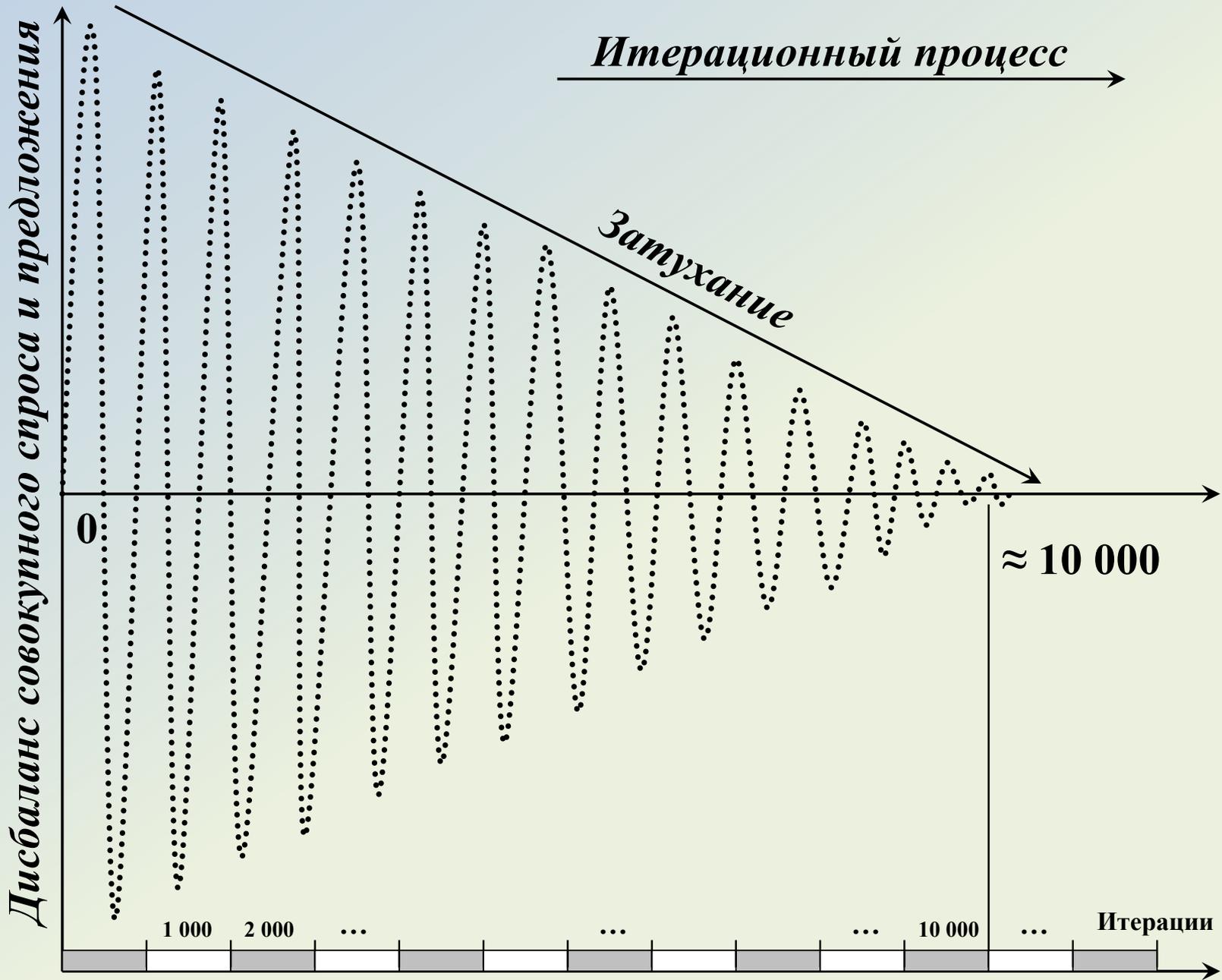
E

Равновесные



Изменение управляющего параметра





Агент-ориентированные модели (agent based models), сокращенно АОМ, относящиеся к классу моделей, основанных на индивидуальном поведении агентов и создаваемых для компьютерных симуляций. Основная идея, лежащая в основе АОМ, заключается в построении вычислительного инструмента, представляющего собой совокупность агентов с определенным набором свойств и позволяющего проводить симуляции реальных явлений.

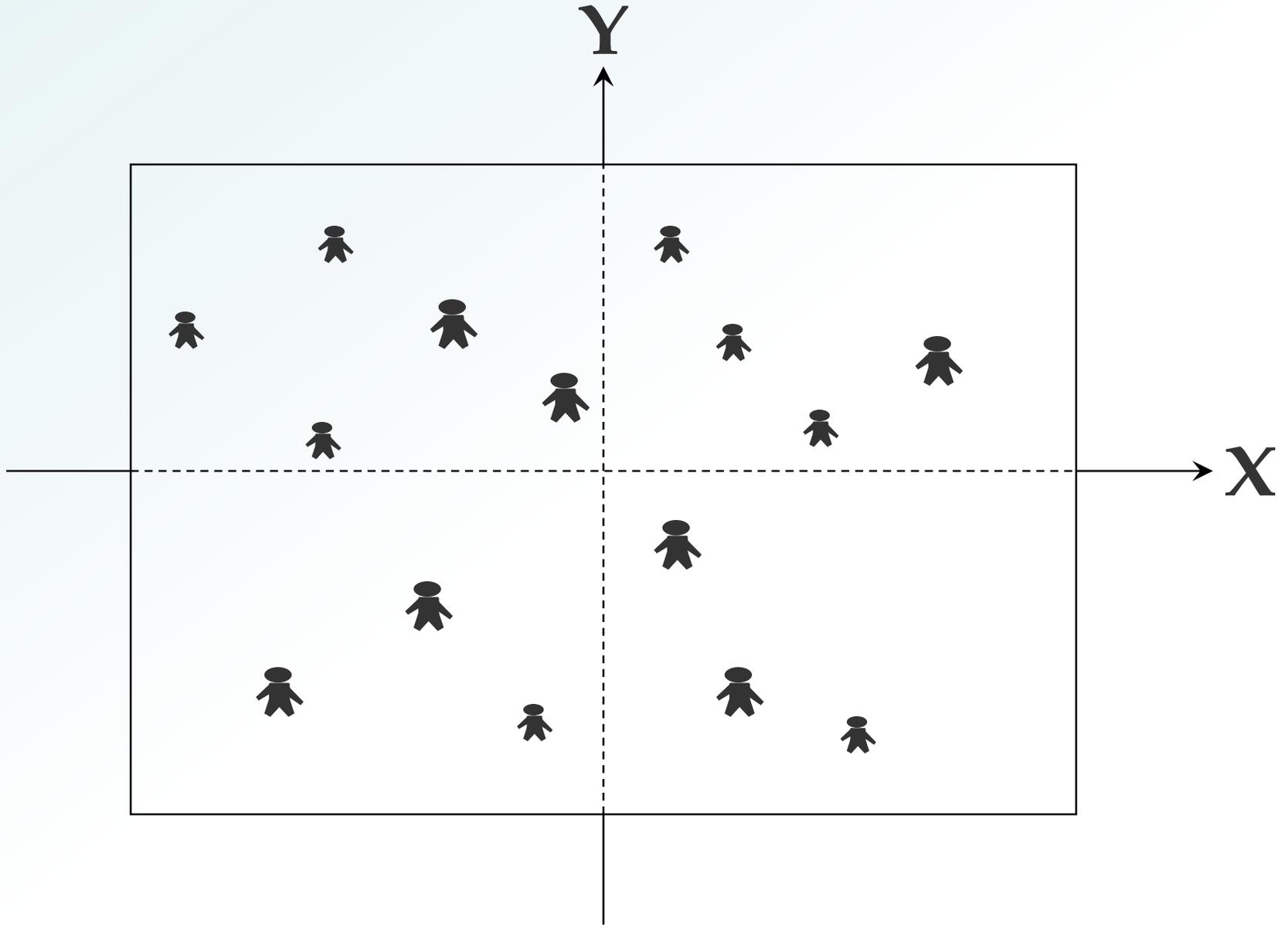
Агенты чем-то различаются друг от друга, что принципиально отличает АОМ от широко распространенных моделей с агентом-представителем, причем различия между агентами могут проявляться по многим параметрам (в случае агентов, отображающих людей, это могут быть параметры уровня здоровья, дохода, культурного уровня, а также правил принятия решений и т.д.).

Примерами агентов могут быть:

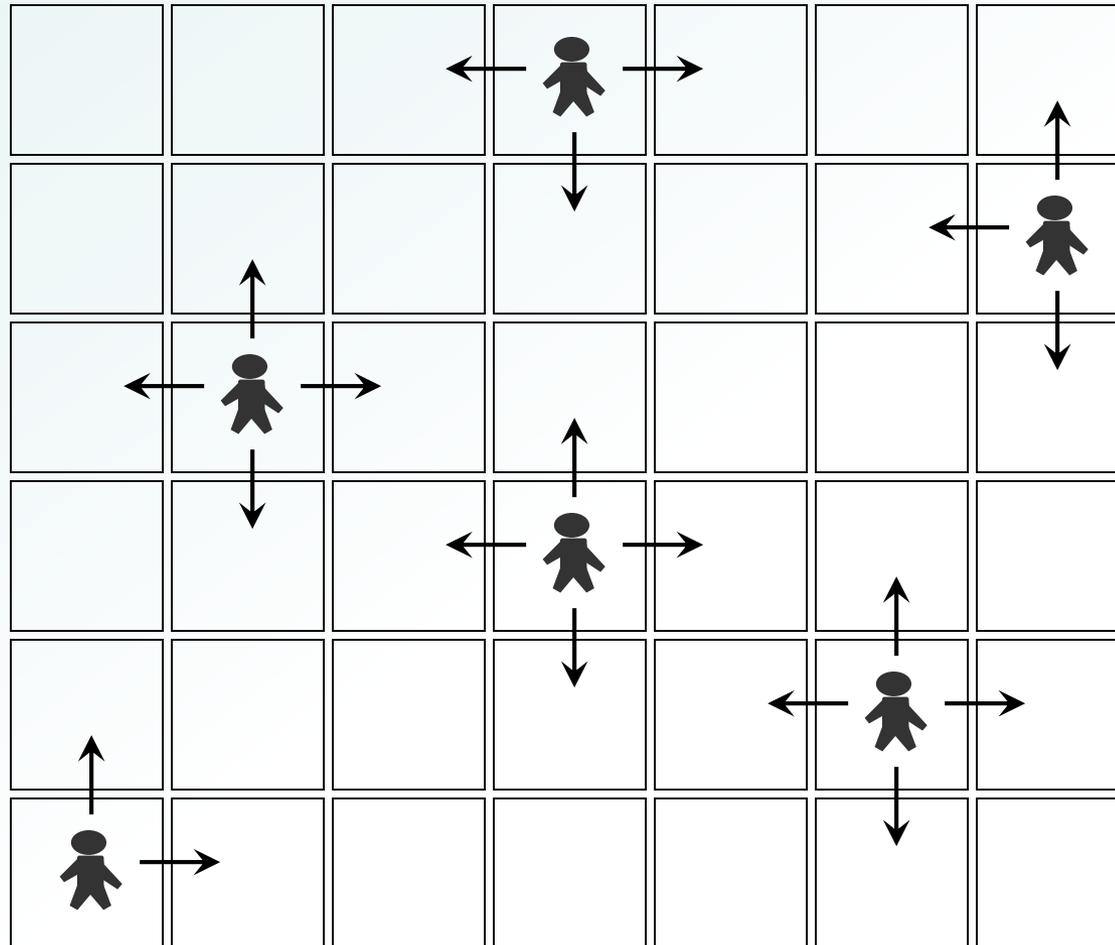
- 1) люди (равно как и другие живые организмы), роботы, автомобили и другие подвижные объекты;
- 2) недвижимые объекты;
- 3) совокупности однотипных объектов.

Вообще говоря, агентами в АОМ могут быть любые наблюдаемые в реальной жизни объекты, однако основной задачей их учета в рамках модели является их корректная спецификация.

Агенты в евклидовом 2D пространстве



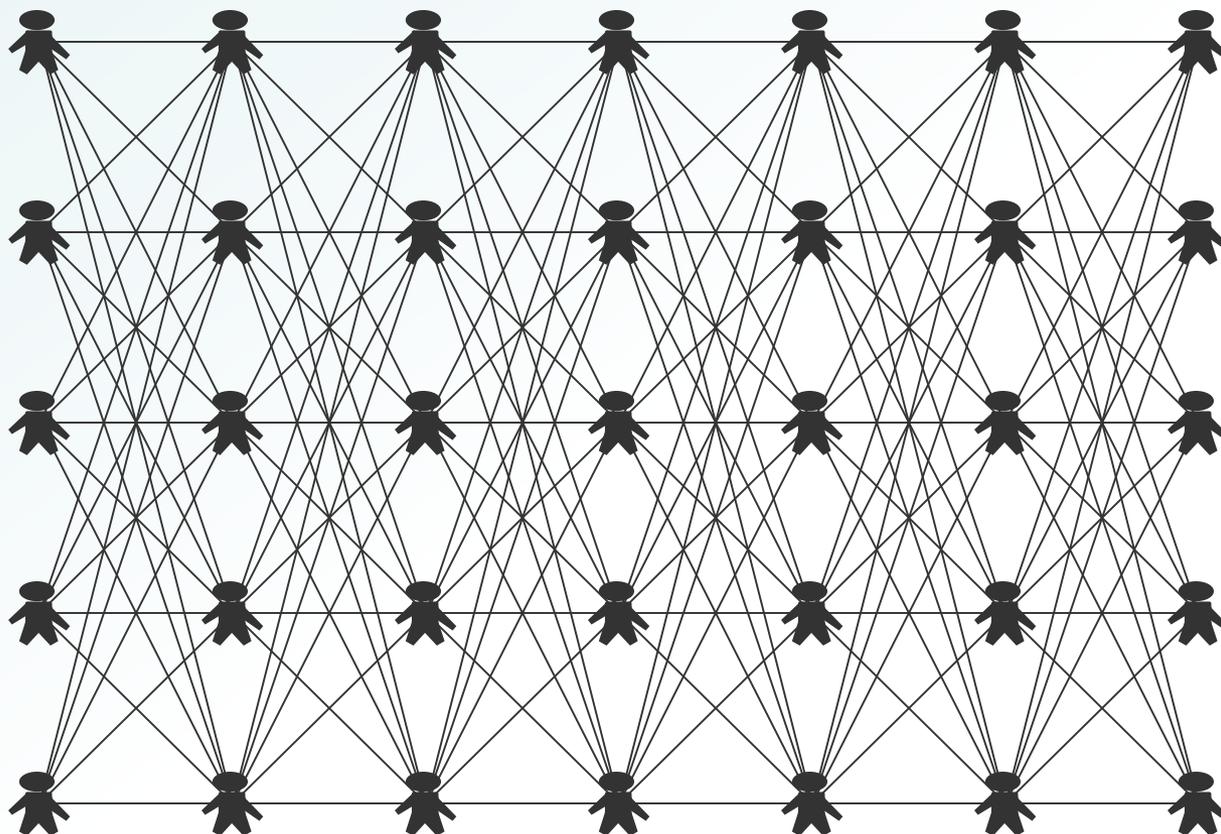
Решетка – среда для перемещения агентов



Агенты в ГИС



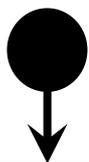
Взаимодействие агентов в рамках некоторой сетевой структуры



Агент-ориентированные модели

Взаимодействие микро- и макроуровней в моделях осуществляется, как правило, следующим образом: на макроуровне задается общий для всех агентов набор правил, а, в свою очередь, совокупность действий агентов микроуровня может оказывать влияние на параметры макроуровня.

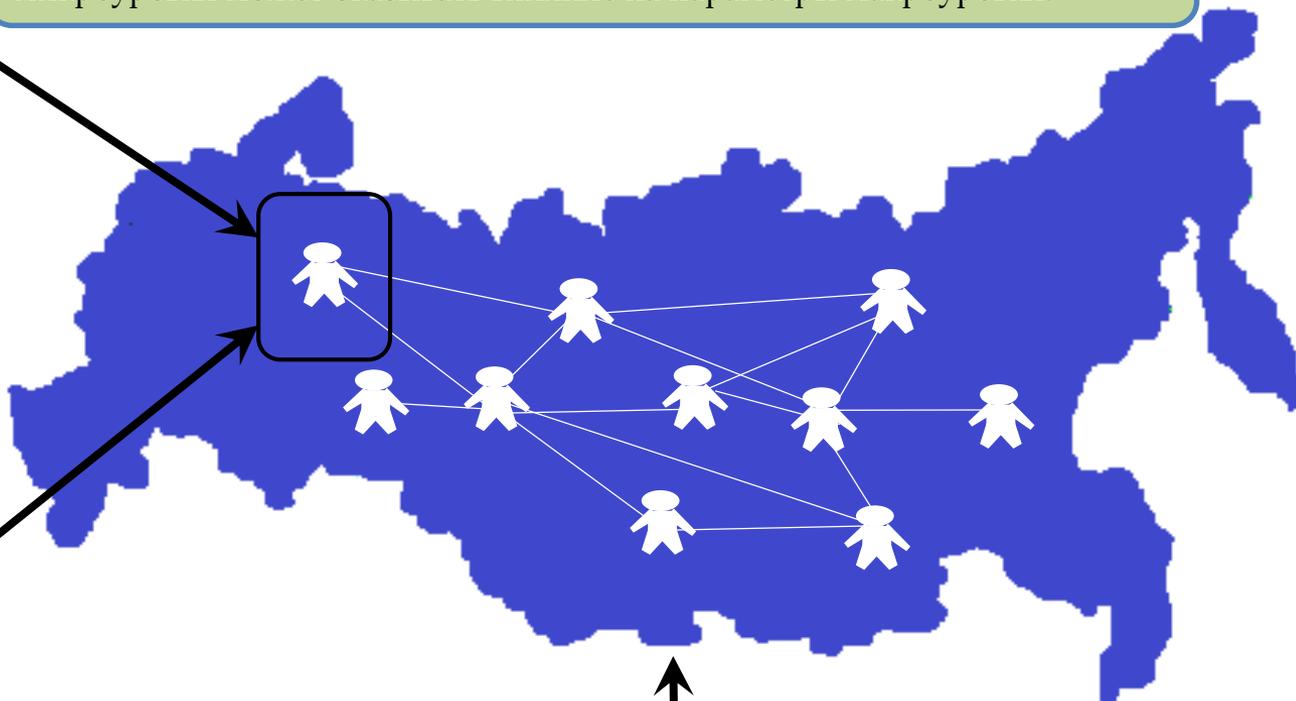
**Поведение
агента**



Состояние 1

Состояние 2

Состояние N



Параметры среды

Преимущества АОМ

АОМ позволяют смоделировать систему максимально приближенную к реальности. Степень детализации АОМ по сути ограничиваются только возможностями компьютеров.

АОМ обладают свойством эмерджентности. К примеру, в одной из моделей имитируется работа транспортной системы г. Москвы, при моделировании которой мы определяли поведение только отдельных агентов, в то время как более общие явления – автомобильные пробки или параметр, отражающий уровень загруженности дорог города, определялись уже в процессе работы модели.

Важным преимуществом агентного моделирования является возможность построения моделей с учетом отсутствия знаний о глобальных зависимостях в рамках моделирования соответствующей предметной области. Важно представлять логику поведения отдельных агентов, что в свою очередь может помочь в получении более общих знаний об изучаемом процессе.

АОМ является гибким инструментом, позволяющим легко добавлять и удалять агентов в модели, а также менять параметры и правила их поведения.

Компьютерное имитационное моделирование

В настоящее время включает следующие основные направления:

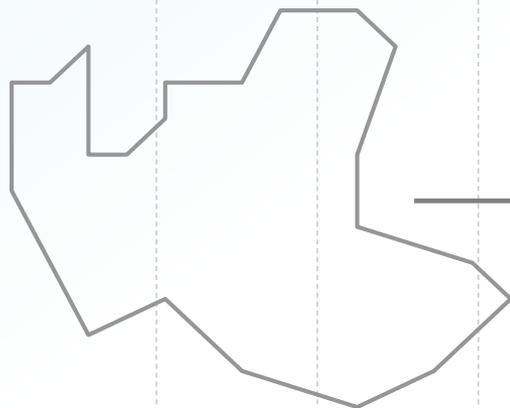
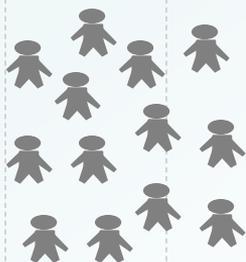
- 1) системная динамика (СД);
- 2) дискретно-событийное моделирование (ДС);
- 3) агентное моделирование.

Соотношение основных подходов к имитационному моделированию различных объектов и трех уровней абстракции

Агентное моделирование

Дискретно-событийное моделирование

Системная динамика



Низкий уровень абстракции
(микроуровень)

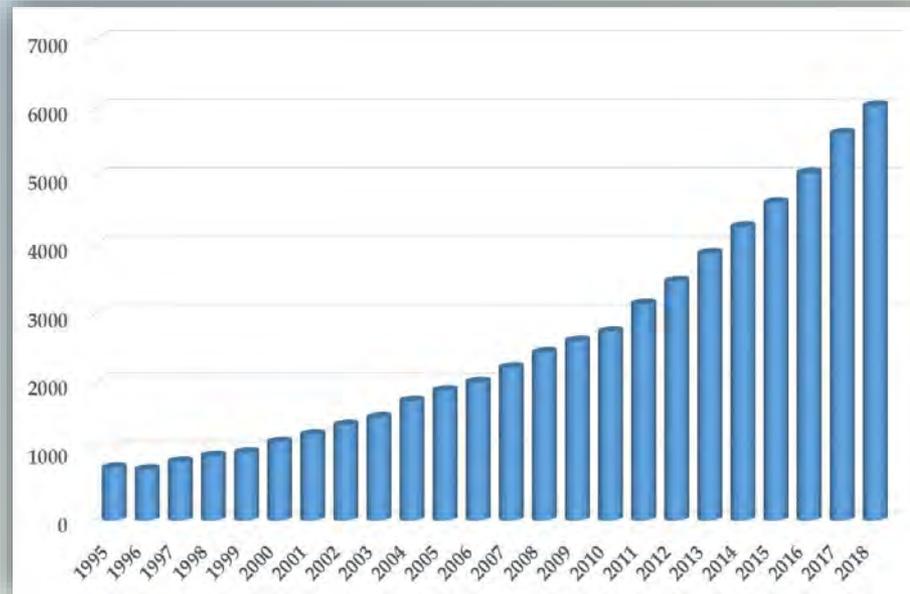
Средний уровень абстракции
(мезоуровень)

Высокий уровень абстракции
(макроуровень)

С середины 1990-х годов АОМ стали использовать для решения множества коммерческих и технологических задач, например:

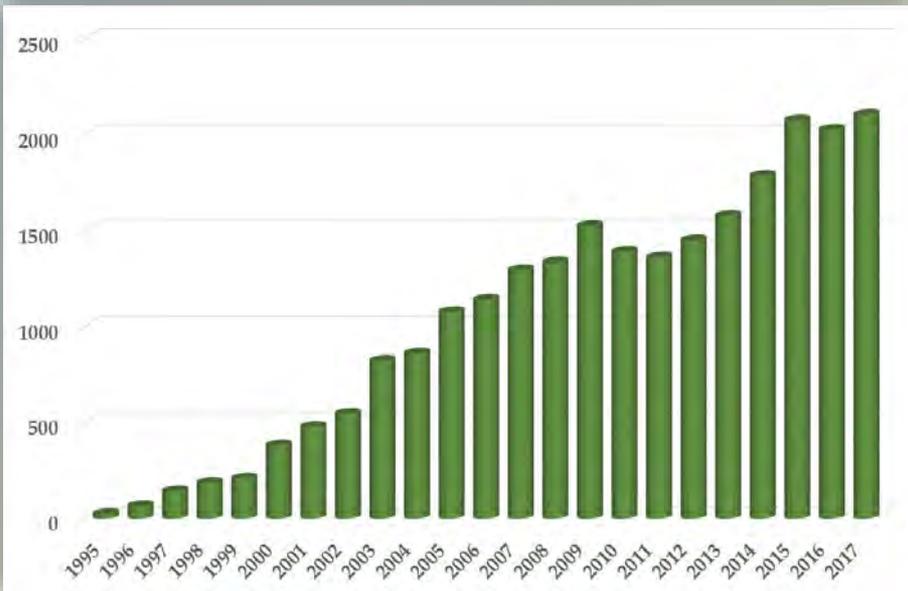
- оптимизация сети поставщиков и планирование перевозок;
- планирование развития производства;
- прогнозирование спроса на продукцию и объема продаж;
- оптимизация численности персонала;
- прогнозирование развития социально-экономических систем (городов, регионов);
- моделирование миграционных процессов;
- имитация и оптимизация пешеходного движения;
- моделирование транспортных систем;
- прогнозирование экологического состояния окружающей среды и т.д.

ScienceDirect

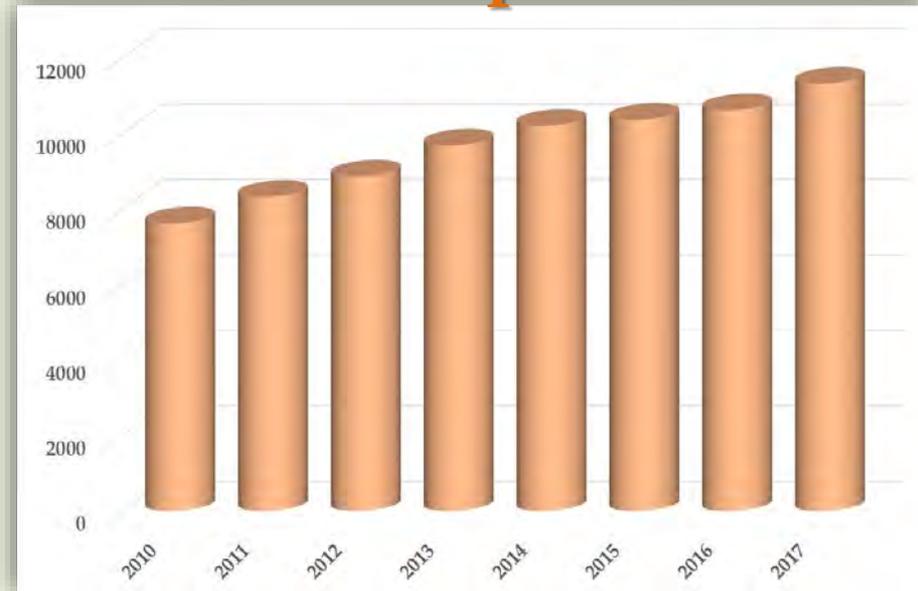


Агентные модели:
рост публикаций
по всем базам
данных

Web of Science



Scopus



10 основных научных направлений из 230, использующих агент-ориентированные модели



на основе анализа публикаций базы Web of Science за период 1995-2018 гг.

↑
4,6%

Тенденции:

- ❖ усложнение инструментов (анализ SCOPUS и Web of Science за период 2000-2020: увеличение статей, использующих ABM – 120 раз, CGE – 50 раз).
 - ❖ гибридизация подходов
 - ❖ комплексность (охват не только стандартного набора показателей, но и интегральных индексов, вычисляемых в процессе симуляций).
-

- Разработано несколько моделей, в которых рассматривается одновременное взаимодействие нескольких государств (в отдельных случаях более 100). Среди них: GTAP, MIRAGRODEP, MIRAGE, GLOBE, MULTIMOD, GEM, Global Macrofinancial Model, The Long Term Growth Model, Moody's Research Labs Inc. Model, WorldScan, LINK, WEFM, KPMG-MACRO, NiGEM и др.
- В свете последних событий (пандемия, политические потрясения, передел рынков и разрыв глобальных производственных цепочек и др.) подобные инструменты приобретают особую актуальность, поскольку происходящие изменения в различных сферах оказывают мультипликативный эффект с прямыми и обратными связями на социально-экономические системы практически всех стран.
- Разработка подобных инструментов – сложная задача, требующая больших затрат как по времени, так и по ресурсам (финансовым и интеллектуальным), поэтому их качественная практическая реализация осуществляется преимущественно в крупных научных и исследовательских центрах, международных организациях и т.д.

Известные примеры АОМ

Игра "Жизнь"

Состояние клеточного автомата в момент $t + 1$ является функцией от его собственного состояния и состояния его соседей в момент времени t .

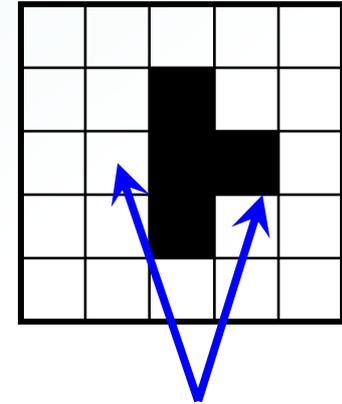
Благодаря взаимодействию каждого элемента клеточного автомата со всеми соседями достигается гораздо более разнообразное поведение, чем поведение отдельного элемента.

Такая взаимозависимость является одним из наиболее привлекательных свойств клеточных автоматов. Поскольку выход каждого элемента зависит от состояния его соседей, эволюцию состояний набора элементов можно описать как процесс социальной адаптации.

Три правила игры "Жизнь"

1

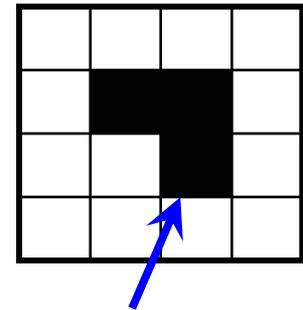
Если для некоторой клетки (*занятой или свободной*) ровно три ближайшие клетки заняты, то она будет занята в следующий момент времени



Пример: занятая или свободная клетка

2

Если для некоторой занятой клетки заняты также ровно две соседние клетки, то она будет занята в следующий момент времени



Пример: занятая клетка

3

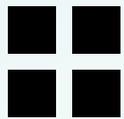
Во всех остальных ситуациях в следующий момент времени клетка остается свободной (т.е. слишком плотная населенность или наоборот – разреженность приводят к невозможности жизни)

Структуры (Patterns)

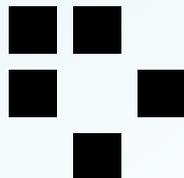
В работе [Roundstone, 1985] описано большое разнообразие структур, получаемых в результате игры «Жизнь».

Примеры:

1. Неизменяемые формы жизни



Block

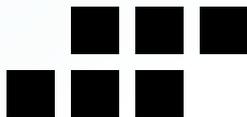


Boat

2. Осцилляторы

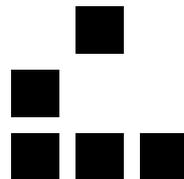


Blinker

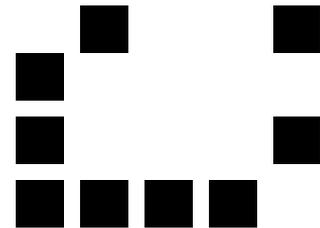


Toad

3. Перемещающиеся (планеры)

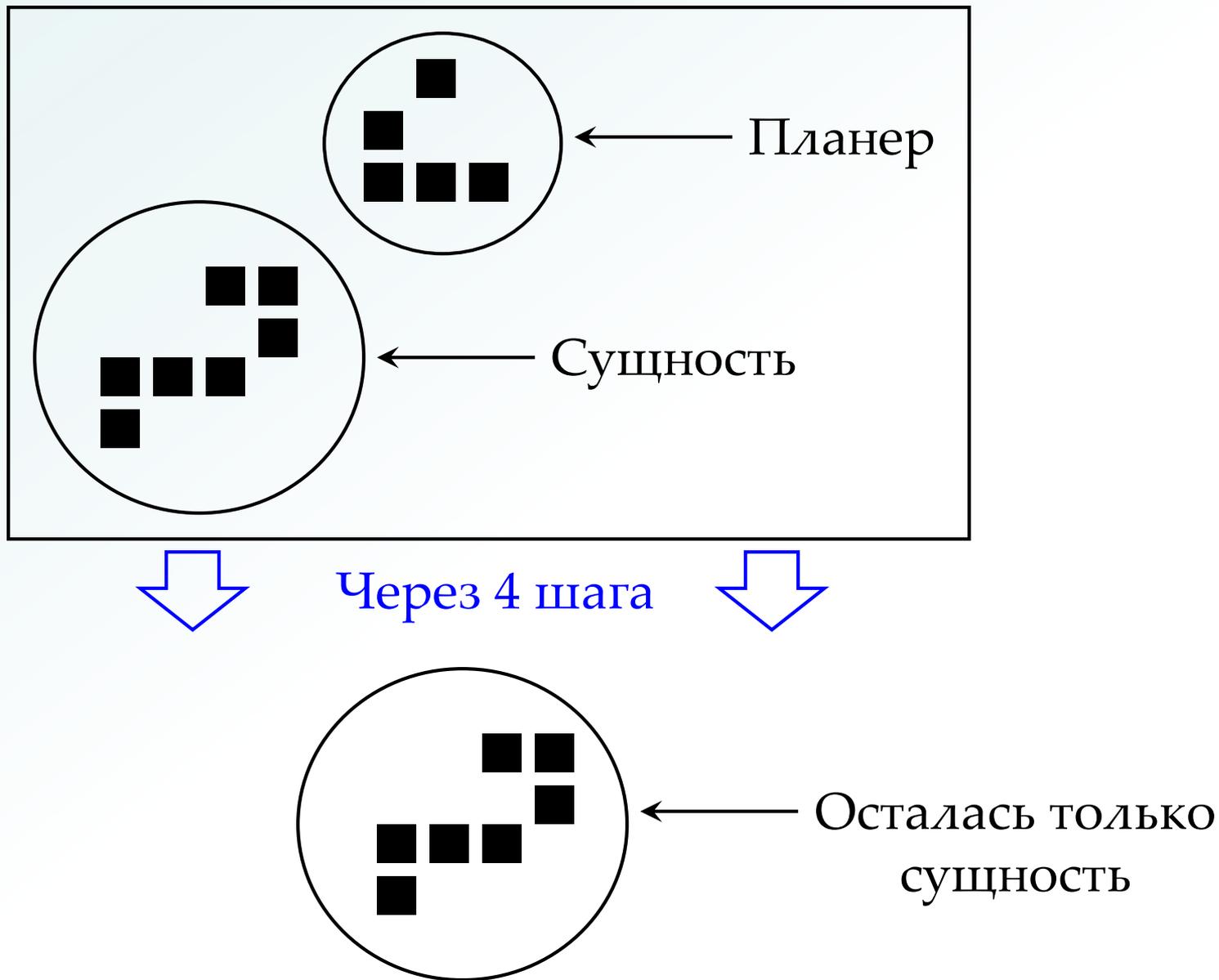


Glider



Lightweight
spaceship

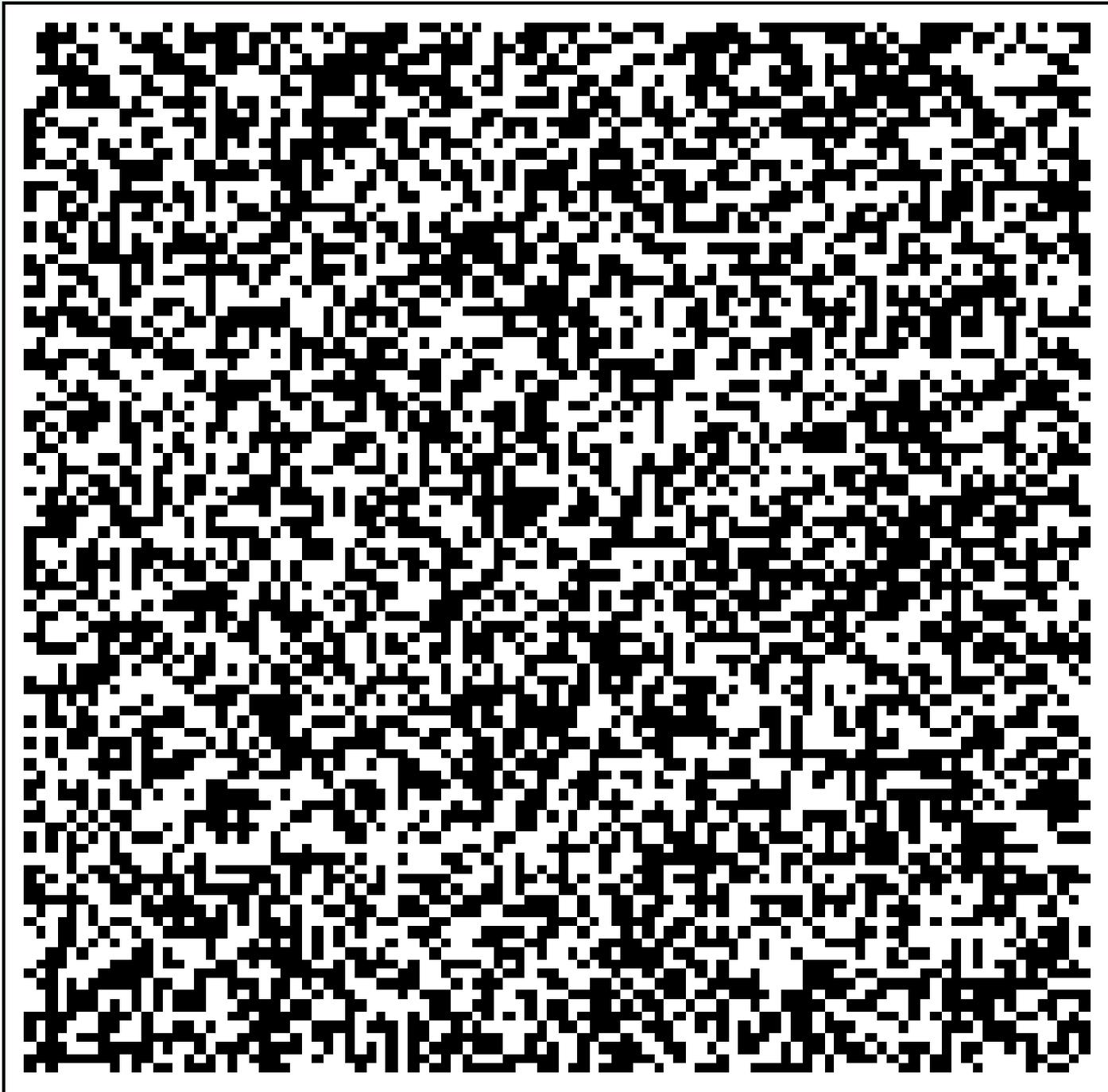
4. Поглощение планера другой сущностью



Программная реализация

1. Для каждой ячейки выясняется ее текущее состояние и состояние соседей
2. Далее применяется одно из трех правил игры «Жизнь»
3. Новое состояние ячейки записывается в двухмерный массив
4. После обработки текущей популяции и заполнения массива значениями новой популяцией, в ячейки записывается все содержимое массива.

Таким образом, взаимодействие между членами искусственного общества в каждый промежуток времени происходит одновременно.



Игра «Жизнь» и ее модификации повлияли (в ряде случаев взаимно) на многие разделы таких точных наук, как математика, информатика, физика. Кроме того, многие закономерности, обнаруженные в игре, имеют свои аналогии в других, подчас совершенно «нематематических» дисциплинах.

- **Кибернетика.** Сама игра является удачной попыткой Конвея доказать существование простых самовоспроизводящихся систем, а также появление некоего «разума» у самовоспроизводящихся систем.
- **Биология.** Внешнее сходство с развитием популяций примитивных организмов впечатляет.
- **Бактериология.** Некоторые интересные вариации игры с дополнительными условиями могут с точностью повторить размножение бактерий, которые с случайной вероятностью могут мутировать (по условию модификации).
- **Физиология.** Рождение и смерть клеток подобны процессу возникновения и исчезновения нейронных импульсов.
- **Астрономия.** Эволюции некоторых сложных колоний удивительным образом схематично повторяют этапы развития спиралевидных галактик.
- **Физика твёрдого тела.** Теория автоматов вообще и игра «Жизнь» в частности используются для анализа «явлений переноса» — диффузии, вязкости и теплопроводности.
- **Квантовая физика.** Поведение «жизненных» ячеек (рождение новых и взаимное уничтожение) во многом напоминают процессы, происходящие при столкновении элементарных частиц.
- **Электротехника.** Правила игры используются для моделирования самовосстанавливающихся электрических цепей.
- **Химия.** Конфигурации, подобные строящимся в игре, возникают во время химических реакций на поверхности.
- Возможно, эта игра связана и с другими научными явлениями, в том числе и с теми, о которых современной науке пока неизвестно. Также возможно, что не открытые на сегодня законы природы и общества станут более понятными благодаря «Жизни» и её модификациям.

В 2002 году Стивен Вольфрам (англ. Stephen Wolfram, род. 29 августа 1959, Лондон) – британский физик, математик, программист, писатель. Разработчик системы компьютерной алгебры Mathematica и системы извлечения знаний WolframAlpha в 2002 году выпустил книгу «Новый вид науки», результат более чем десятилетней плодотворной работы, которая быстро стала бестселлером.

Она содержит эмпирическое и систематическое обсуждение таких вычислительных систем, как клеточный автомат. Аргументируется, что достижения в области клеточных автоматов не являются изолированными, но весьма устойчивы и имеют большое значение для всех областей науки.

Основными положениями книги A New Kind of Science являются утверждение, что природу вычислений необходимо изучать экспериментально, а также утверждение, что результаты этих экспериментов имеют большое значение для понимания окружающего мира.

Приходит к заключению о необходимости совершенно нового метода. По его мнению, традиционная математика была не в состоянии по существу описать наблюдаемую сложность динамики этих систем. Он высказывает предположение, что каждая система состоит из многих более или менее идентичных элементов, допуская возможность присутствия различных типов элементов в одной и той же системе, и что каждый элемент имеет ограниченное число возможных состояний. Состояние элемента зависит от состояний расположенных рядом элементов и правил, определяющих эту зависимость.

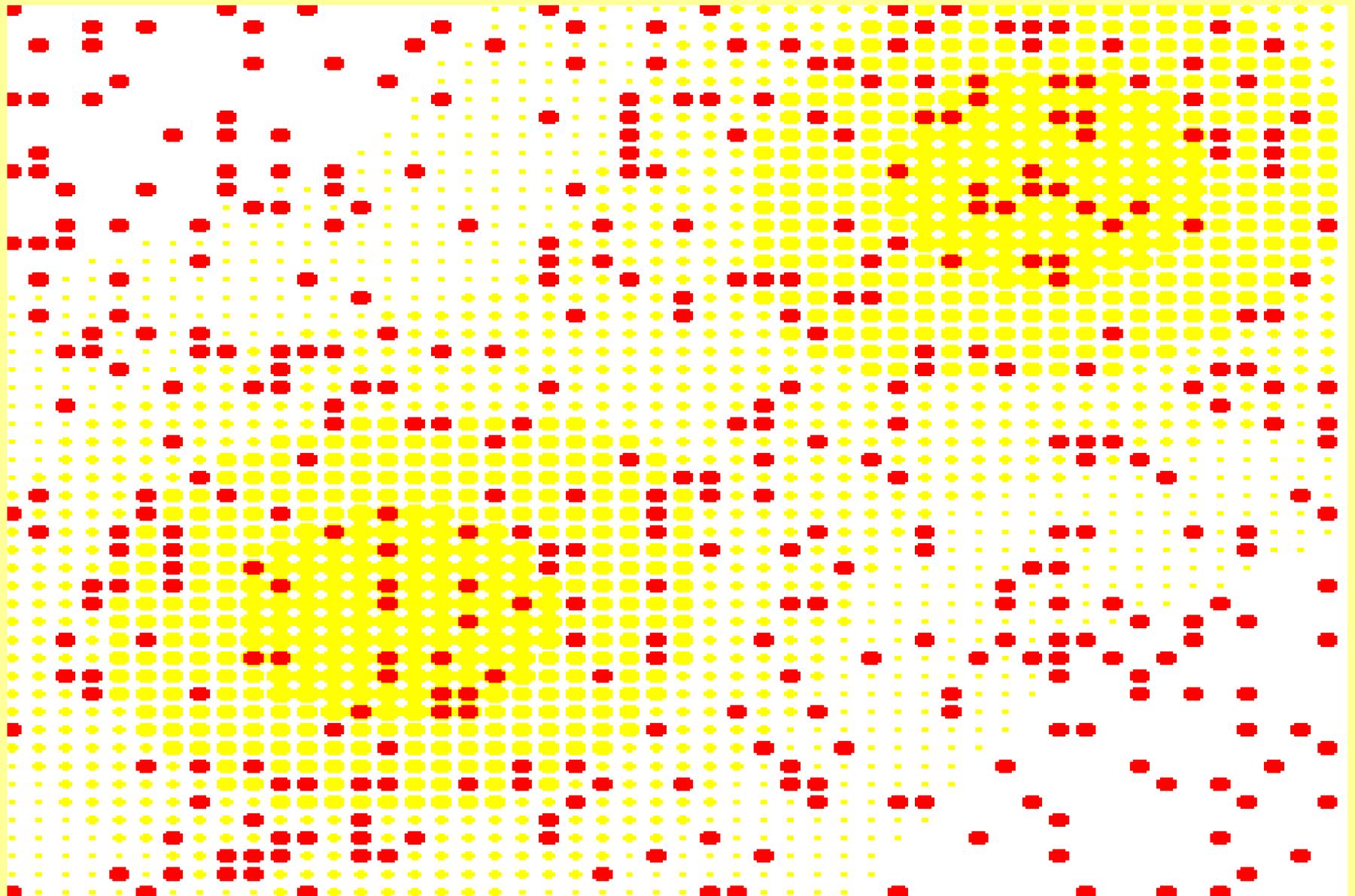
Посредством сочетания экспериментальных и теоретических подходов в книге излагается метод, который Вольфрам считает наиболее перспективным для успешного продвижения в научном изучении вычислительных систем и применимым в широком ряде дисциплин (биология, экология, социология, планирование дорожного движения).

Другой не менее известной АОМ является сахарная модель (SugarScare), предложенная Джошуа Эпштейном и Робертом Экстеллом (Epstein, Axtell (1996)).

Пространство для взаимодействия агентов задано в виде двумерной решетки, в каждой клетке которой находится некоторое количество сахара, изменяемое в следующий момент времени. Как правило, сахар распределен по пространству не равномерно, а в виде скоплений (обычно в правом верхнем и левом нижнем углах). Количество сахара восстанавливается с регулируемым пользователем темпом.

Поведение и атрибуты агентов модели задаются следующими правилами:

- Для каждого агента задается количество сахара, которое он должен потребить в единицу времени.
- У каждого агента имеется запас сахара, который он может переносить с собой из клетки в клетку (переменная величина, поскольку в случае отсутствия сахара в ячейке агент расходует запас).
- Агент может «видеть» и соответственно перемещаться в соседние клетки, причем «горизонт видимости» ограничен ближайшими восемью ячейками (в случае если агент находится не на границе игрового поля).
- В процессе работы модели агент осматривает доступные для видения клетки и выбирает незанятую с наибольшим количеством сахара. После занятия соответствующей клетки агент забирает весь имеющийся в ней сахар. Таким образом, общее количество сахара агента складывается из запасов, а также полученного в новой клетке сахара за вычетом потребленного в текущем периоде.
- Агент погибает в том случае, если кончился запас сахара, в текущей ячейке нет сахара и текущие потребности нечем восполнить.



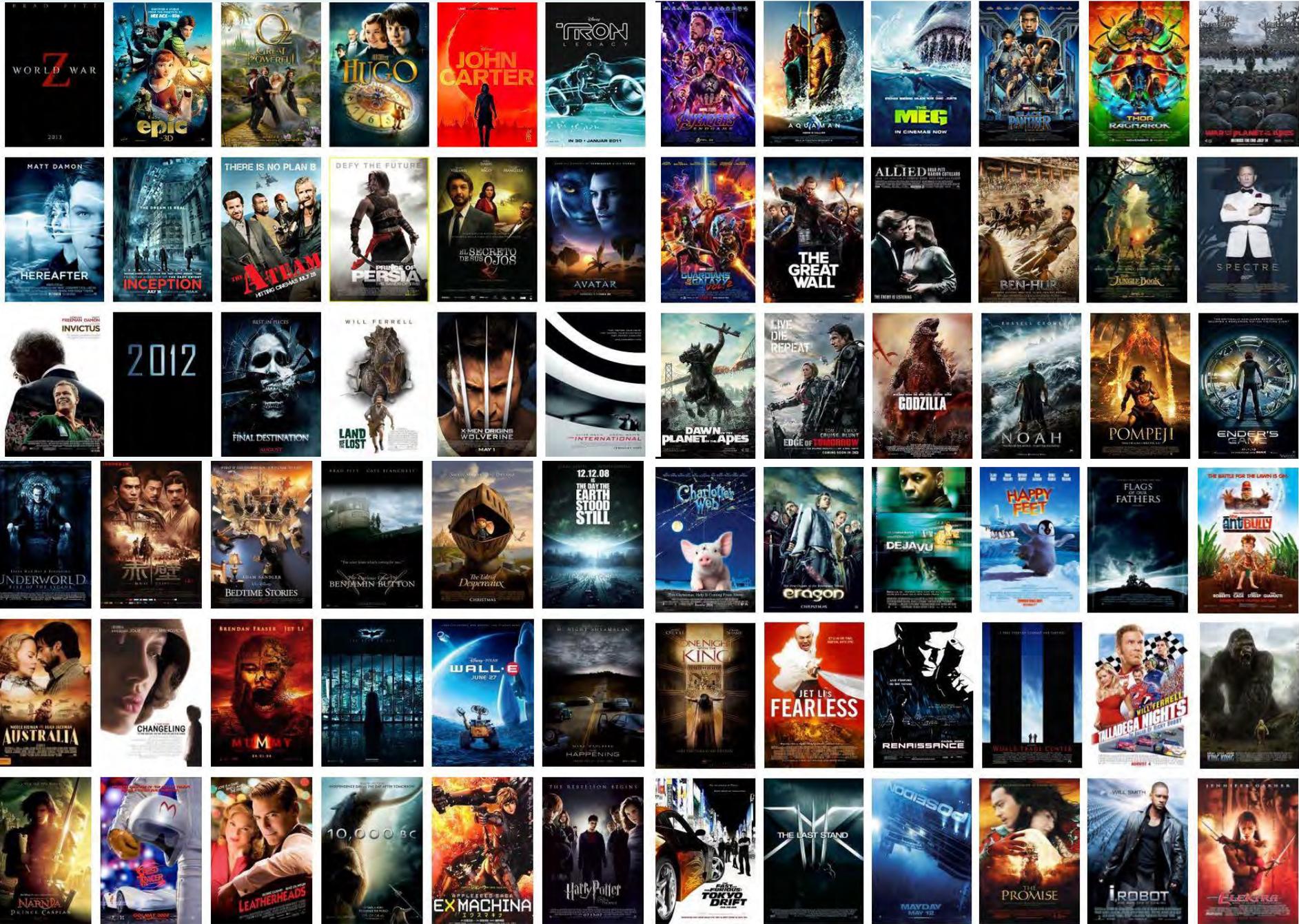
Помимо названных моделей существует достаточно большое количество АОМ, схожих с упомянутыми и в каком-то смысле являющихся их клонами (с незначительными вариациями).

Модель распространения инфекции. В двумерном пространстве задается совокупность людей, поделенных на три группы: 1) потенциально инфицированные, но пока здоровые; 2) инфицированные и 3) здоровые и уже обладающие иммунитетом. Люди могут умереть либо от болезни, либо от старости. В процессе работы модели они перемещаются в пространстве и вступают друг с другом в контакт. Изменяя количество здорового и инфицированного населения, способ перемещения людей, возрастной порог, вероятность смерти от инфекции и прочие параметры, можно моделировать скорость распространения инфекции и определять ситуации, при которых рассматриваемому социуму удастся полностью победить болезнь (Yorke (1979)); (Wilensky (1998)).

Модель сегрегации Шеллинга (Schelling (1978)) - Шеллинга – американский экономист, лауреат Нобелевской премии 2005 года «За расширение понимания проблем конфликта и кооперации с помощью анализа в рамках теории игр». В 1971 году, в статье «Динамические модели сегрегации» предложил модель, описывающую процесс сегрегации. Шеллинг наблюдал за процессом образования гетто, и в результате пришел к выводу, что «черные» районы образуются не из-за поголовной вражды людей разного цвета кожи, а из-за того, что человек отдает предпочтение тому месту проживания, где его соседями будут похожие на него люди.

Тепловые жуки (Heat Bugs) (Wilensky (2004)).

MASSIVE (Multiple Agent Simulation System in Virtual Environment)

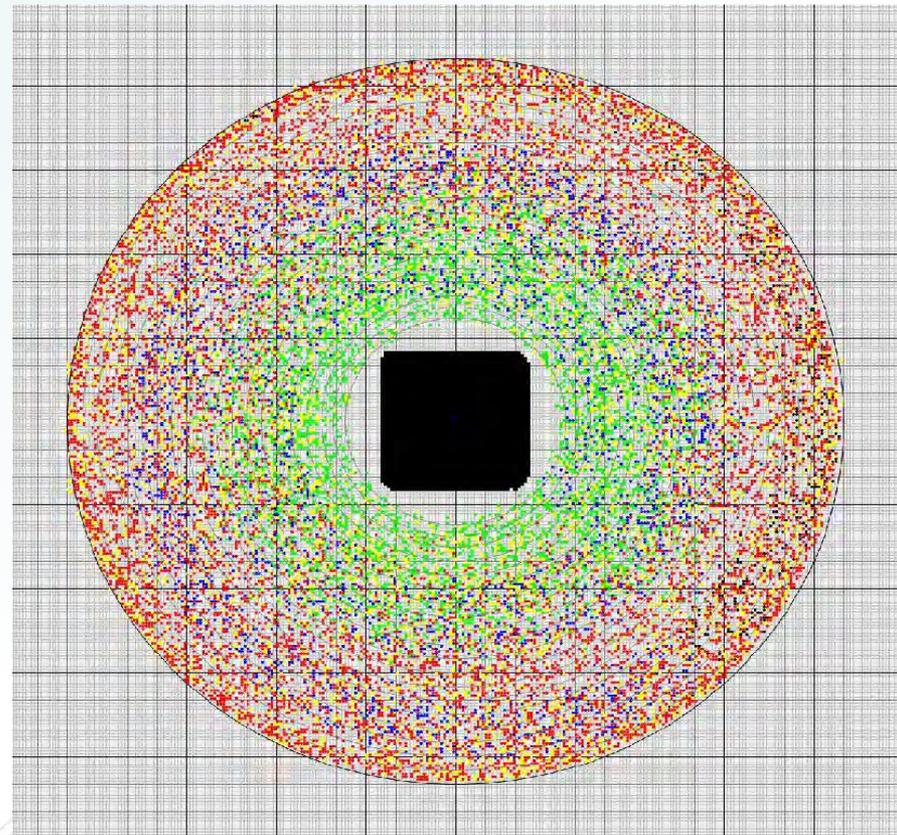




Мост Джамарат, используемый паломниками во время ритуала побивания камнями шайтана



Агент-ориентированная модель: имитация эвакуации 100 000 агентов с моста Джамарат



Агент-ориентированная модель: агенты-паломники выполняют обход вокруг Каабы

GTAP, MIRAGRODEP, MIRAGE, GLOBE, MULTIMOD, GEM, Global Macrofinancial Model, The Long Term Growth Model, Moody's Research Labs Inc. Model, WorldScan, LINK, WEFM, KPMG-MACRO, NiGEM

- Dong, Yan & Whalley, John, 2012. "Gains and Losses from Potential Bilateral US-China Trade Retaliation". Economic Modelling, Elsevier, vol. 29(6), pages 2226-2236.
- Gompert, David C., Astrid Stuth Cevallos, and Cristina L. Garafola, War with China: Thinking Through the Unthinkable, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-1140-A, 2016.
- Corong, E., Hertel, T., McDougall, R., Tsigas, M., & van der Mensbrugghe, D. (2017). The Standard GTAP Model, Version 7. Journal of Global Economic Analysis, 2(1), 1-119.
- Bouët, Antoine and Laborde Debucquet, David. 2017. US trade wars with emerging countries in the 21st century: Make America and Its partners lose again. IFPRI Discussion Paper 1669. Washington, D.C.
- McDonald S., Thierfelder K. (2015): Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data.
- Bollen Johannes, Rojas-Romagosa Hugo (2018): Trade Wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliations. An International Perspective. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, June 2018.
- Altshuler Clive, Holland Dawn, Hong Pingfan, Li Hung-Yi (2016): The World Economic Forecasting Model at the United Nations // Development Policy and Analysis Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, August 2016.
- Boissay F., Villetell J. (2005): The French Block of the ESCB Multi-Country Model // ECB Working Paper no. 456, March 2005.
- Angelini E., D'Agostino A., McAdam P. (2006): The Italian Block of the ESCB Multi-Country Model // ECB Working Paper No. 660, July 2006.
- Angelini E., Boissay F., Ciccarelli M. (2006): The Dutch block of the ESCB multi-country model // ECB Working Paper Series, 646/June.
- Vetlov I., Warmedinger T. (2006): The German Block of the ESCB Multi-Country model // ECB Working Papers Series, 654/July 2006.
- Chunding Li, Chuantian He & Chuangwei Lin (2018): Economic Impacts of the Possible China-US Trade War, Emerging Markets Finance and Trade.
- Trade Wars: There are no winners // KPMG Economics & Tax Centre, August 2018.
- Hopkins Mark (2018): About the Moody's Analytics Global Macroeconomic Model // Moody's Analytics, March 2018
- Herve K. et al. (2010): The OECD's New Global Model // OECD Economics Department Working Papers, No. 768, OECD Publishing, Paris.
- Vitek F. (2018): The Global Macrofinancial Model // International Monetary Fund Working Paper WP/18/81, April 2018.

.....

Большинство научных публикаций, посвященных анализу экономических войн, носит характер обзоров произошедших событий и предположений о дальнейшем их развитии, исходя из выступлений влиятельных персон. Совсем незначительная часть исследований использует математические методы оценки последствий решений, принимаемых субъектами международных отношений, имеющих как прямое, так и опосредованное влияние на других участников.

Следует отметить, что аналитические центры США и Китая уже давно предполагали вероятность введения обоюдных санкций и в этой связи заблаговременно рассчитывали последствия.

К примеру, в одной из работ 2012 г., описывается разработанная модель общего равновесия, рассматривающая торговые отношения между их укрупненными участниками (США, Китай, ЕС, Япония и объединенный остальной мир). Так, при введении обоюдных импортных пошлин со стороны США и Китая на соответствующие товары до уровня **25%**, уровень благосостояния в США увеличится на **0,31%**, а у Китая и остального мира снизится на **-0,15%** и **-0,04%** соответственно. В случае же увеличения пошлин до **100%**, уровень благосостояния в США вырастет на **0,91%**, а у Китая и остального мира снизится еще сильнее на **-0,51%** и **-0,13%** соответственно.

Dong, Yan & Whalley, John, 2012. "Gains and Losses from Potential Bilateral US-China Trade Retaliation". Economic Modelling, Elsevier, vol. 29(6), pages 2226-2236.

В **RAND corporation**, стратегическом исследовательском центре США, выполняющим работы по заказу государственных структур, в т.ч. вооруженных сил, проводятся исследования по оценке последствий предполагаемых войн различного типа с Китаем (торговых, информационных и, в том числе, непосредственных столкновений с использованием боевых подразделений и военной техники). В частности, оценивались последствия от частичного и полного прекращения торговли. При реализации самого стрессового варианта – полного прекращения торговли, ВВП США снизится на **6%** в первый год реализации данного сценария, а ВВП Китая на сократится на **10%**.

Gompert, David C., Astrid Stuth Cevallos, and Cristina L. Garafola, War with China: Thinking Through the Unthinkable, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, RR-1140-A, 2016.
https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1140.html.

Проект глобального торгового анализа (**The Global Trade Analysis Project (GTAP)**) представляет собой международный консорциум, объединяющий исследователей, занимающихся вопросами количественного анализа международных отношений с целью повышения его качества (членов консорциума более **18 тыс. из 176 стран**).

Corong, E., Hertel, T., McDougall, R., Tsigas, M., & van der Mensbrugghe, D. (2017). The Standard GTAP Model, Version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, 2(1), 1-119. doi:<http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.020101AF>



С использованием методологии GTAP было разработано несколько глобальных моделей, в том числе используемых для оценки последствий торговых войн. К примеру, в Международном исследовательском институте продовольственной политики (Вашингтон, США), разработана CGE модель **MIRAGRODEP**, базирующаяся на более общей модели **MIRAGE** (Modelling International Relationships under Applied General Equilibrium).



Были рассчитаны основные **18** сценариев торговой войны. При установлении импортных пошлин на уровне **35%** со стороны США против Китая и Мексики, уровень благосостояния населения у последних снижается в диапазоне от **-0,3%** до **-1,0%** для Китая и от **-0,3%** до **-3,2%** для Мексики относительно базового варианта, при котором никаких мер не предусматривается. Но и для самих США, все рассчитанные варианты влекут незначительное снижение упомянутого показателя (в диапазоне от **-0,1%** до **-0,2%**).



Bouët, Antoine and Laborde Debucquet, David. 2017. US trade wars with emerging countries in the 21st century: Make America and Its partners lose again. IFPRI Discussion Paper 1669. Washington, D.C. <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368>

Глобальная мультисекторальная модель – **GLOBE** (McDonald, Thierfelder, 2015), разработанная специалистами Гогенгеймского университета (Штутгарта, Германия) и военно-морской академии США также с использованием методологии GTAP, была использована для оценки последствий торговых войн между странами североамериканской зоны свободной торговли, регулируемой соответствующим соглашением (о свободной торговле (North American Free Trade Agreement, NAFTA)).

Изменение ВВП в результате реализации двух сценариев изменения режима торговли

	США	Мексика	Канада
Сценарий 1	- 0.23	- 4.62	- 0.05
Сценарий 2	- 0.37	- 4.63	- 1.35

WorldScan – модельный комплекс, включающий в себя CGE модели, позволяющие анализировать макроэкономические процессы для ряда стран на различных уровнях (глобальном, отдельной страны, региона или отрасли), рассматривает **29** товарных групп (продукция промышленного производства, сельского хозяйства, транспортные, коммуникационные, финансовые услуги и др.), торгуемых **30** отдельными странами (имеющими наибольший вес в мировом ВВП) и укрупненными регионами.

Bollen Johannes, Rojas-Romagosa Hugo (2018): Trade Wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliations. An International Perspective. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, June 2018

Результаты моделирования: изменения ВВП ряда стран по сравнению с базовыми значениями этого показателя в 2030 году, в зависимости от изменений уровней импортных пошлин

	США	Китай	ЕС	Япония	Южная Корея	Канада	Мексика
Увеличение на 2,5%	-1,4	-2,1	-1,1	-4,3	-6,4	-1,1	-1,2
Увеличение на 5%	-2,3	-3,1	-1,7	-6,4	-9,3	-1,8	-1,9
Увеличение на 10%	-2,9	-3,8	-2,0	-7,7	-11,1	-2,1	-2,3
Увеличение на 15%	-3,1	-4	-2,1	-8,1	-11,6	-2,2	-2,5

Проект **LINK** - консорциум, объединяющий исследователей из более **100 стран** и управляемый исследовательским Центром проекта **LINK** в Университете Торонто, а также Департаментом Организации Объединенных Наций по экономическим и социальным вопросам (United Nations Department of Economic and Social Affairs). Проект был начат в 1968 году под эгидой Совета по исследованиям в области социальных наук США (U.S. Social Science Research Council) под руководством лауреата Нобелевской премии Лоуренса Клейна и его главным результатам стало интегрирование национальных моделей стран-участниц проекта в единую глобальную эконометрическую модель.

С учетом опыта проекта **LINK** в 2005 году была начата работа по созданию Модели мирового экономического прогнозирования (World Economic Forecasting Model (**WEFM**)) к настоящему моменту включающая **176 стран** и около **60** отслеживаемых показателей для каждой из них (**Altshuler Clive, Holland Dawn, Hong Pingfan, Li Hung-Yi, 2016**).

Наработанная для **WEFM** методология также используется в многострановой модели Европейской системы центральных банков (The European System of Central Banks (ESCB) Multi-Country Model), реализованной для Франции (**Boissay, Villetell, 2005**), Нидерландов (**Angelini, Boissay, Ciccarelli, 2006**), Германии (**Vetlov, Warmedinger, 2006**), Италии (**Angelini, D'Agostino, McAdam, 2006**) и др.

Центр международной торговли и экономики и Институт мировой экономики и политики Китайской академии общественных наук разработали глобальную модель (29 государств) для оценки последствий торговой войны между США и Китаем, относящуюся к классу CGE моделей.

	Торговая война между США и Китаем		Торговая война между Китаем, США и Мексикой	
	США-Китай (15%)	США-Китай (60%)	США-Китай (45%) США-Мексика (20%)	США-Китай (45%) США-Мексика (35%)
Китай	-0,667	-1,79	-1,518	-1,518
США	0,007	0,126	-0,074	-0,134
ЕС	-0,024	-0,057	-0,055	-0,055
Япония	-0,044	-0,11	-0,102	-0,104
Корея	-0,102	-0,261	-0,239	-0,242
Канада	-0,006	0,023	-0,023	-0,031
Австралия	-0,084	-0,222	-0,208	-0,216
Новая Зеландия	-0,299	-0,803	-0,755	-0,79
Сингапур	-0,108	-0,283	-0,263	-0,272
Индия	-0,065	-0,169	-0,161	-0,168
Россия	-0,058	-0,152	-0,141	-0,145
Бразилия	-0,054	-0,141	-0,138	-0,145
Мексика	-0,014	0,006	-3,096	-4,543
Индонезия	-0,114	-0,301	-0,281	-0,291
Малайзия	-0,204	-0,535	-0,5	-0,518
Филиппины	-0,239	-0,638	-0,596	-0,62
Таиланд	-0,176	-0,462	-0,427	-0,44
Вьетнам	-0,298	-0,788	-0,739	-0,768
Перу	-0,276	-0,737	-0,707	-0,744
Бруней	-0,098	-0,255	-0,23	-0,235
Остальной мир	-0,046	-0,111	-0,101	-0,101
ВСЬ МИР	-0,114	-0,277	-0,336	-0,376

[Chunding Li, Chuantian He & Chuangwei Lin (2018): Economic Impacts of the Possible China-US Trade War, Emerging Markets Finance and Trade, DOI: 10.1080/1540496X.2018.1446131]

Глобальная модель **KPMG-MACRO**, разработанная в Австралийском подразделении компании KPMG.

В свою очередь **KPMG-MACRO** построена на базе ежеквартальной макроэкономической модели **NiGEM** (National Institute's Global Econometric Model), поддерживаемой Национальным институтом экономических и социальных исследований Великобритании (National Institute of Economic and Social Research) и используемой Казначейством Великобритании, МВФ, Банком Англии, ОЭСР и Европейским центральным банком для широкого спектра исследований.

В **KPMG-MACRO** рассматривается более **60 стран**, взаимодействующих на финансовых, товарных рынках, а также рынках труда.

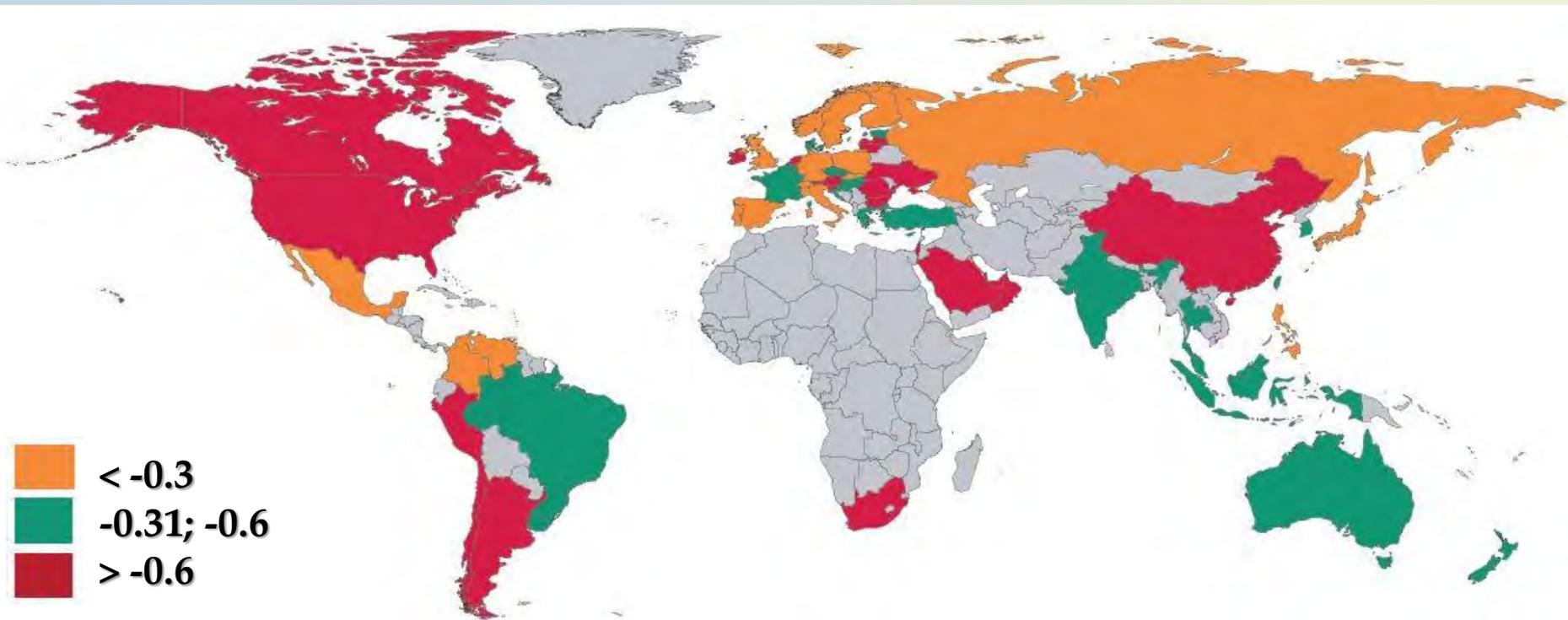
Среднегодовые потери в результате введения импортных пошлин в ходе ведения экономической войны, изменение ВВП соответствующих государств относительно базового сценария

	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
	США и Китай вводят обоюдные 15% пошлины на ввозимые товары	США и Китай вводят обоюдные 25% пошлины на ввозимые товары	Распространение экономической войны между США и Китаем на остальные страны – повышение пошлин на 15%
Австралия	-0,3%	-0,5%	-2,4%
США	-0,4%	-0,7%	-4,6%
Китай	-0,6%	-1,0%	-5,3%
Европа	-0,2%	-0,3%	-2,1%
Весь мир	-0,3%	-0,5%	-3,5%

Trade Wars: There are no winners // KPMG Economics & Tax Centre, August 2018, <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/au/pdf/2018/trade-wars-no-winners.pdf>

Аналитической службой **Moody's Analytics** и исследовательским центром **Moody's Research Labs Inc.** были рассчитаны последствия торговых войн между США и Китаем, предусматривающие обоюдное повышение импортных пошлин на ввозимые товары на **25%**.

Для расчетов использовалась глобальная макроэкономическая модель, включающая **64** страны, которые в совокупности производят более **95%** мирового ВВП в разрезе более **10 000** показателей.



Изменение ВВП по странам, в % к базовому сценарию

Инструменты, разработанные другими организациями (**Международный валютный фонд, Всемирный банк и др.**), показали результаты, повторяющие приведенные оценки с незначительными вариациями. К примеру, МВФ прогнозирует снижение мирового ВВП на **0,5%**.

Свои многострановые модели разработали крупнейшие международные организации:

- новая глобальная модель **OECD (The OECD's New Global Model)**, включающая в себя укрупненные территории: (1) США, (2) Японию, (3) Китай, (4) страны зоны Евро, (5) другие европейские страны OECD, (6) другие страны OECD, (7) страны Азии, не входящие в OECD, (8) европейские страны, не входящие в OECD и (9) страны Африки, Ближнего Востока и Латинской Америки, не входящие в OECD (**Herve, 2010**);
- модели **Международного валютного фонда MULTIMOD, GEM** и одна из самых последних – глобальная макрофинансовая модель (**Global Macrofinancial Model**), относящаяся к классу динамических стохастических моделей общего равновесия (DSGE) и рассматривающая более **40** крупнейших по размеру экономики стран мира (**Vitek, 2018**);
- модели **Всемирного банка** (к примеру, модель долгосрочного роста (**The Long Term Growth Model**)) и др.

Прогнозы, получаемые с использованием этих инструментов, с небольшими вариациями повторяют приведенные ранее результаты, которые можно обобщить следующим образом:

1. в результате мировых торговых войн ухудшают свое положение все страны мира (как непосредственно вовлеченные, так и опосредованные участники);
 2. потери для больших стран с устойчивыми и диверсифицированными экономическими системами, менее ощутимы по сравнению с небольшими государствами;
 3. как правило, страна иницирующая повышение импортных пошлин, находится в более выигрышном положении, нежели страна, против которой эти меры были приняты.
-

1 На данный момент разработано большое количество различных моделей, описывающих экономические системы отдельных стран. Однако лишь в редких случаях в моделях одновременно учитываются несколько государств, несмотря на упомянутые международные проекты.

2 Доступные для анализа модели в подавляющем большинстве относятся к классу CGE моделей, что несколько снижает их реалистичность, поскольку равновесный подход неплохо себя оправдывает для анализа сбалансированных и устойчивых экономических систем, а множество стран не соответствуют данным критериям.

3 Анализ зарубежных моделей и полученные с их использованием результаты оставляют ощущение ангажированности в пользу групп государств, а соответственно, страдают и результаты оценки.

4 Модели, включающие в себя группу государств, разрабатываются исследовательскими группами, относящимися, как правило, только к одной стране и, как следствие, не в полной мере учитываются специфические особенности остальных стран.

5 Имеющиеся в свободном доступе описания моделей, также как и их закрытые аналоги, дополнительно не содержат доступные для использования компьютерные реализации, а учитывая, что разработка подобных инструментов является затратным по времени и ресурсам (финансовым и интеллектуальным) процессом, это делает крайне затруднительным воспроизводство и проведение дополнительных расчетов сторонними исследователями.

6 Дополнительно к предыдущему пункту отметим, что учитывая современные реалии, наибольший интерес при разработке глобальных моделей и оценке последствий экономических войн вызывают крупнейшие мировые игроки – в первую очередь, США и Китай. В свою очередь Россия, к сожалению, присутствует в виде отдельного субъекта далеко не всегда, и в большинстве случаев входит в группу стран под общим названием «остальной мир», а для нас интерес представляет именно наша страна. Пока введенные против нас санкции не приняли масштабный характер, но под давлением США, ряд стран могут инициировать процесс введения импортных пошлин.



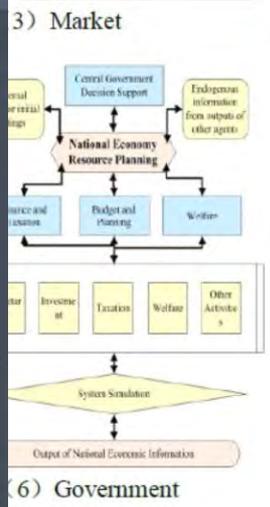
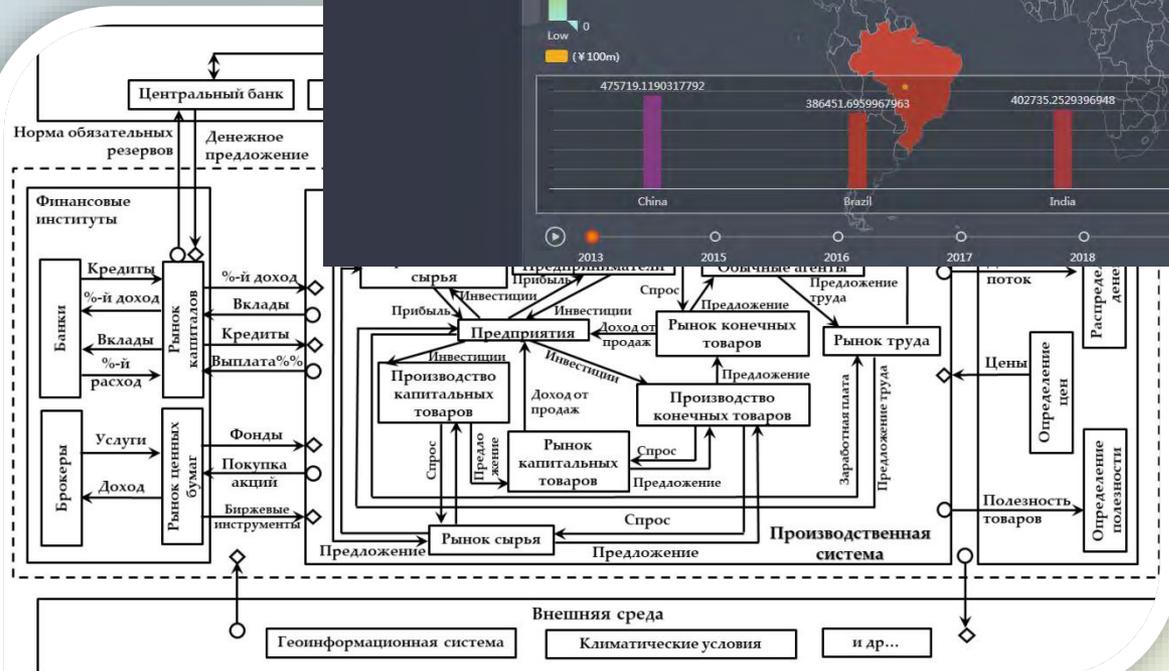
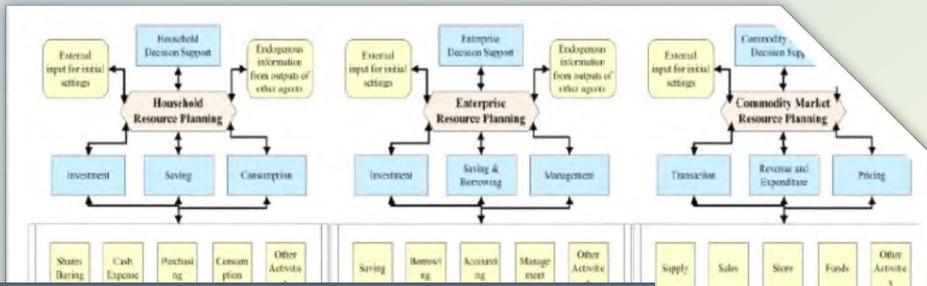
◆ Подписание соглашения о создании многосторонней международной **Лаборатории оценки последствий межстрановых торговых войн.**

Участники:

- IT компания Guangzhou Milestone Software Co., Ltd. (КНР)
- Национальный суперкомпьютерный центр КНР
- Академия общественных наук КНР
- Компания Fok Ying Tung Ming Yuan Development Co., Ltd. (Гонконг)
- Компания PricewaterhouseCoopers Ltd. (отделение в Гонконг)
- ЦЭМИ РАН (Россия)

◆ Анализ международных отношений и оценка последствий межстрановых торговых войн с использованием программно-аналитического комплекса, разрабатываемого в коалиции с IT компанией Guangzhou Milestone Software Co., Ltd., Академией общественных наук КНР и Национальным суперкомпьютерным центром Китая.

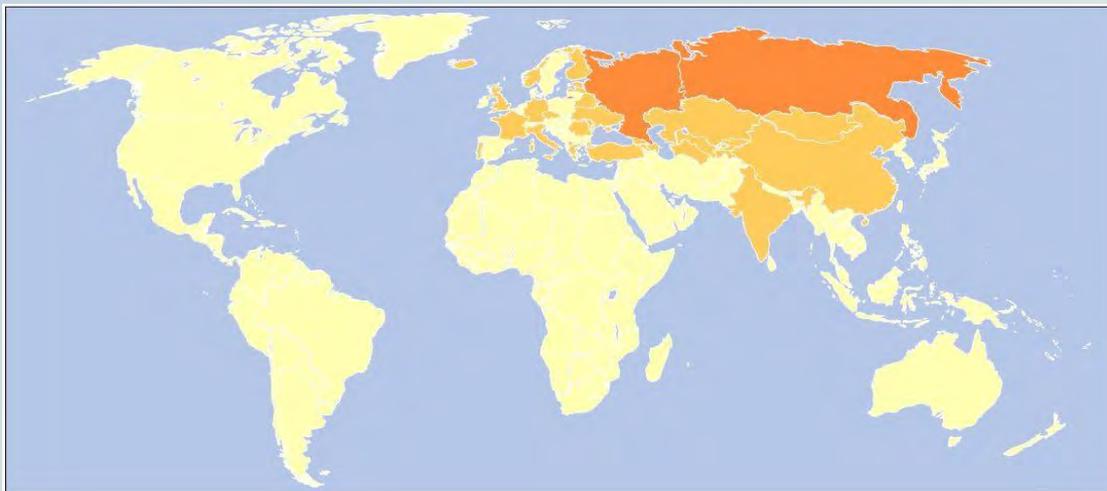
Симулятор для прогнозирования социально-экономической динамики (Social Economic Dynamics (SED))



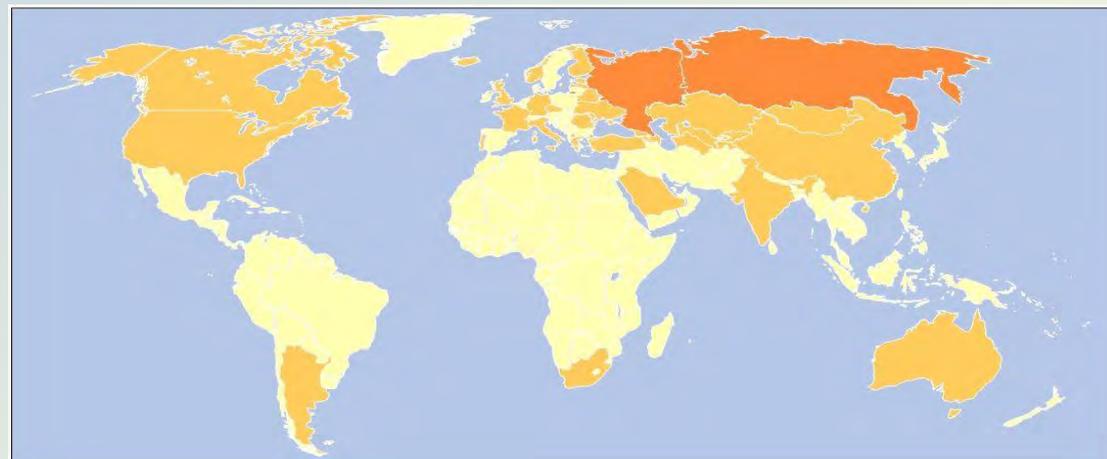
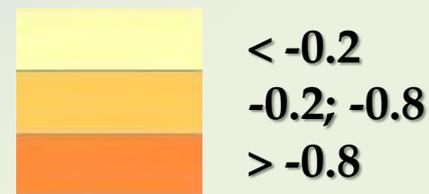
Платформа SED охватывает более 100 стран, каждая из которых представлена совокупностью различных агентов (домашние хозяйства, фирмы, отрасли, банки, правительства и т.д.).

№№	Функции	Национальный уровень				Глобальный уровень
		Общая часть и отрасли	Общая часть и провинции	Общая часть, провинции и города	Общая часть, регионы, города, уезды и волости	
1	Контроль за социально-экономическими показателями	●	●	●	●	●
2	Мониторинг за флуктуациями (национальный уровень)	●	●	●	●	●
3	Анализ экономического состояния (национальный уровень)	●	●	●	●	●
4	Прогноз экономического роста (национальный уровень)	●	●	●	●	●
5	Анализ экономической эффективности (национальный уровень)	●	●	●	●	●
6	Множественный эксперимент (национальный уровень)	●	●	●	●	●
7	Контроль за социально-экономическими показателями	●				
8	Мониторинг за флуктуациями (отраслевой уровень)	●				
9	Анализ экономического состояния (отраслевой уровень)	●				
10	Прогноз экономического роста (отраслевой уровень)	●				
11	Анализ экономической эффективности (отраслевой уровень)	●				
12	Множественный эксперимент (отраслевой уровень)	●				
13	Контроль за социально-экономическими показателями		●	●	●	●
14	Мониторинг за флуктуациями (уровень провинций)		●	●	●	●
15	Анализ экономического состояния (уровень провинций)		●	●	●	●
16	Прогноз экономического роста (уровень провинций)		●	●	●	●
17	Анализ экономической эффективности (уровень провинций)		●	●	●	●
18	Множественный эксперимент (уровень провинций)		●	●	●	●
19	Контроль за социально-экономическими показателями			●	●	
20	Мониторинг за флуктуациями (уровень городских округов)			●	●	
21	Анализ экономического состояния (уровень городских округов)			●	●	
22	Прогноз экономического роста (уровень городских округов)			●	●	
23	Анализ экономической эффективности			●	●	
24	Множественный эксперимент (уровень городских округов)			●	●	
25	Контроль за социально-экономическими показателями				●	
26	Мониторинг за флуктуациями (уровень уездов и волостей)				●	
27	Анализ экономического состояния (уровень уездов и волостей)				●	
28	Прогноз экономического роста (уровень уездов и волостей)				●	
29	Анализ экономической эффективности				●	
30	Множественный эксперимент (уровень уездов и волостей)				●	
31	Контроль за социально-экономическими показателями					●
32	Мониторинг за флуктуациями (глобальный уровень)					●
33	Анализ экономического состояния (глобальный уровень)					●
34	Прогноз экономического роста (глобальный уровень)					●
35	Анализ экономической эффективности (глобальный уровень)					●
36	Множественный эксперимент (глобальный уровень)					●

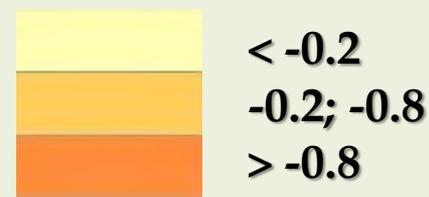
Изменение ВВП по странам, в % к базовому сценарию



Повышение импортных пошлин со стороны США и стран ЕС против России и Китая на 10%

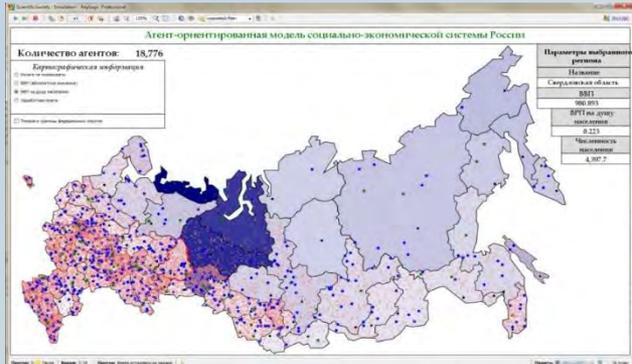


Обоюдное повышение импортных пошлин (США и страны ЕС) против (России и Китая) на 10%

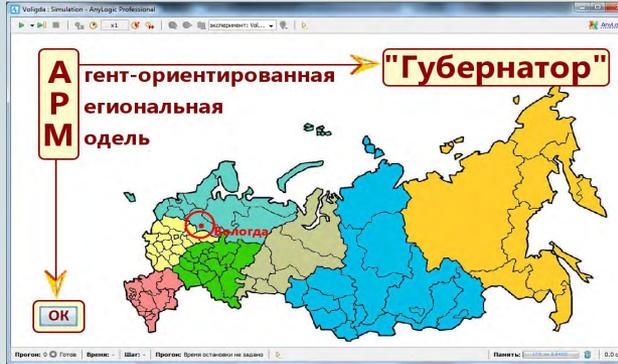


Модельный комплекс в ЦЭМИ РАН

Агентная модель России



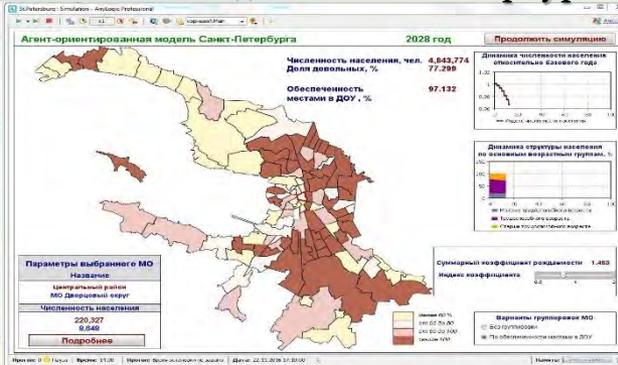
Региональная модель «Губернатор»



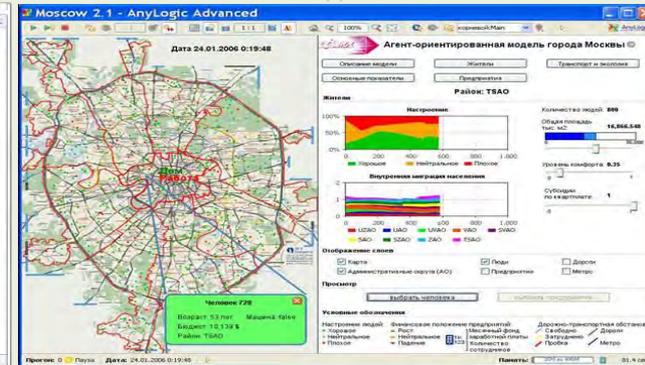
Агентная модель Евразии



Агентная модель Санкт-Петербурга



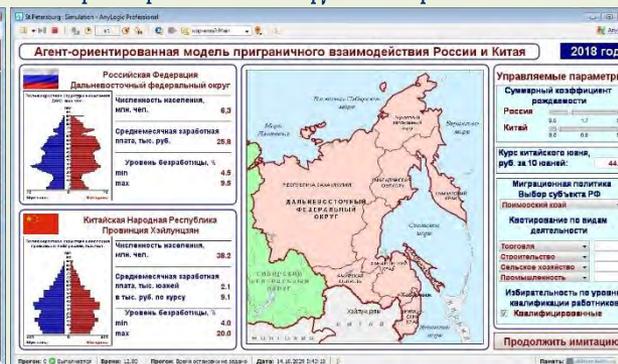
Агентная модель Москвы



Агентная модель Европейского союза



Агент-ориентированная модель трудовой миграции из Китая в Россию

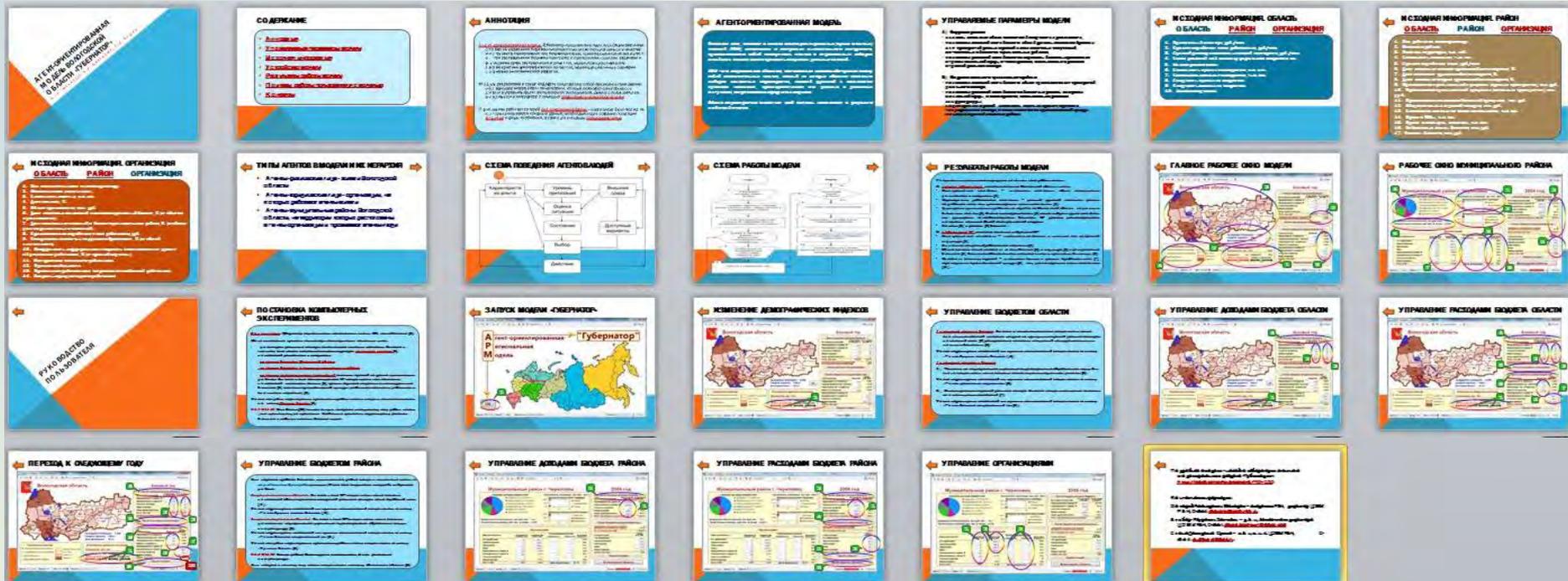


Агентная модель Роскосмоса



Паспорт модели

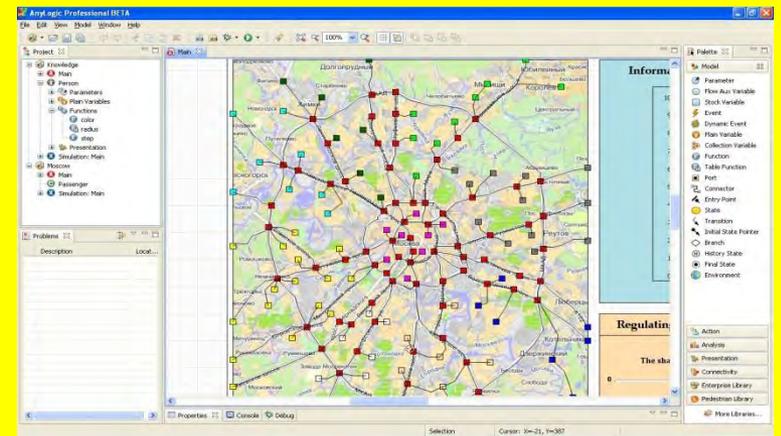
1. **Название модели.**
2. **Авторы разработки.**
3. **Время выхода первой версии.** Номер актуальной версии. Если размещается не первая версия модели, то следует указать те улучшения, новые возможности модели, которые отличают ее от первой версии.
4. **Описание модели.** Основные характеристики: моделируемые процессы, примененные математические методы, структура и источники исходной информации, управляемые параметры и результирующие показатели.
5. **Технические характеристики.** Указывается среда разработки, в которой реализована модель, и/или язык программирования, на котором она написана; требования к системным ресурсам и пр.
6. **Сфера применения.** Здесь нужно указать как общее научное и/или прикладное направление исследований, так и конкретные проблемы в рамках этих направлений, в которых может быть использована модель.
7. **Потенциальные заказчики и потребители.**
8. **Руководство пользователя.** Это должно быть практическое руководство работы с интерфейсом модели, показывающее последовательность действий пользователя при решении тех задач, на которые он настроен.
9. **Примеры расчетов.** Описание примеров поставленных на модели экспериментов с пояснением полученных результатов.
10. **Список основных публикаций.**



Агент-ориентированная модель автомобильных пробок

(на примере Москвы)

*В.Л. Макаров,
А.Р. Бахтизин,
В.А. Житков*



Разработанная модель позволяет решать задачи масштаба городской агломерации, связанные с оценкой работы всей транспортной системы в результате изменения следующих ее элементов:

- введение новых радиальных или кольцевых автомагистралей;
- строительство новых жилых районов или ввод в эксплуатацию объектов, концентрирующих вокруг себя транспортные потоки (к примеру, это может быть крупный торговый центр);
- временное закрытие или ликвидация какого-либо элемента транспортной системы;
- введение экономических санкций (плата за проезд по магистрали, за въезд в зону центра и т.п.).

Межрайонные корреспонденции

В модели для оценки межрайонных корреспонденций используется *гравитационная модель*, основанная на предположении о том, что корреспонденция из одного района в другой тем больше, чем больше емкости районов прибытия и отправления, и чем ближе друг к другу расположены эти районы.

Гравитационная модель связана с законом всемирного тяготения, согласно которому сила притяжения пропорциональна массам тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Роль масс в модели играют емкости районов, рассматриваемых как общие объемы прибытия и отправления.

Межрайонные корреспонденции

Межрайонная корреспонденция, оцениваемая с помощью гравитационной модели, описывается следующей функцией:

$$F_{ij} \approx O_i \cdot D_j \cdot \exp(-\lambda \cdot C_{ij})$$

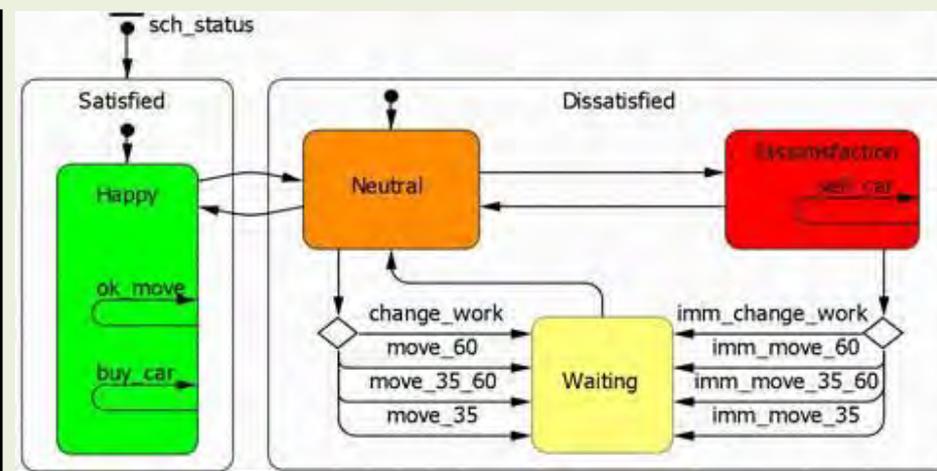
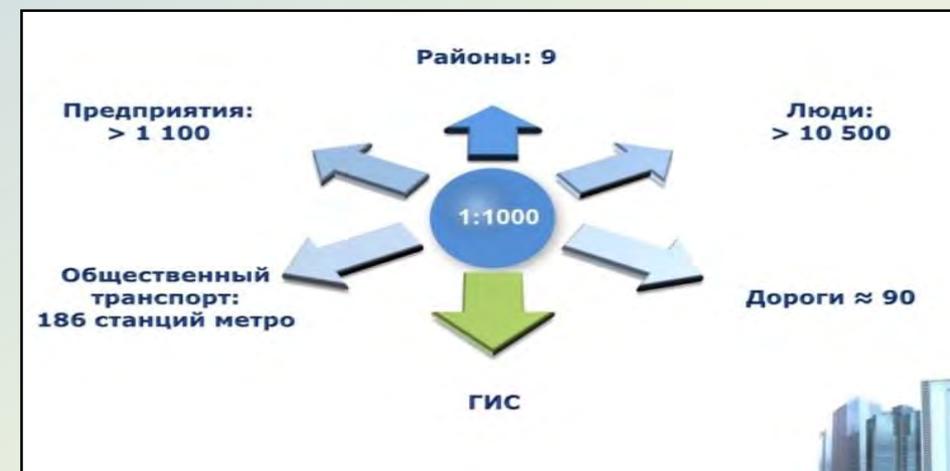
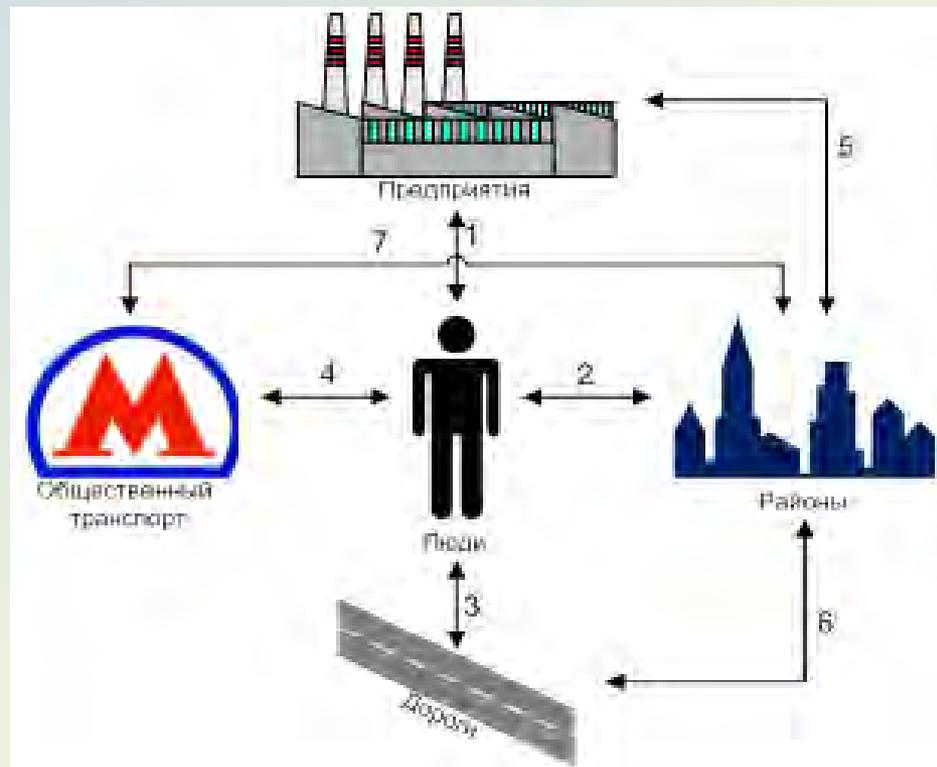
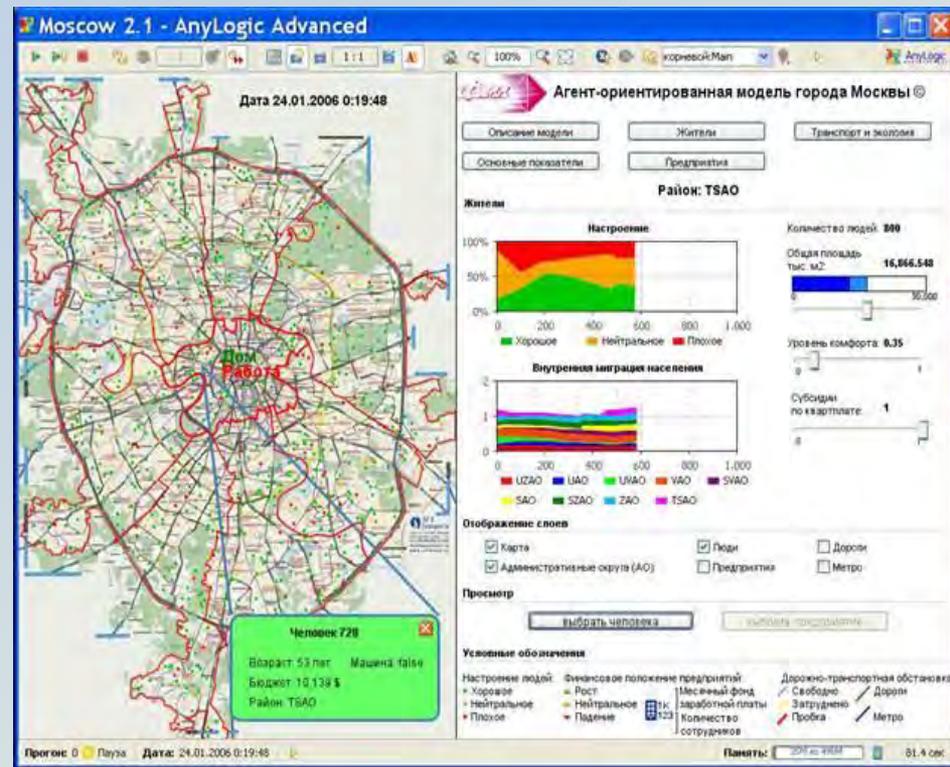
O_i – отправление из района i

D_j – прибытие в район j

C_{ij} – расстояние между районами i и j

Гравитационная модель связана с законом тяготения, согласно которому сила притяжения пропорциональна массам тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Роль масс в модели играют емкости районов, рассматриваемых как общие объемы прибытия и отправления.

Агентная модель Москвы (В.Д. Макаров, М.Р. Фаттахов А.Р. Бахтизин)



В.Л. Макаров, Е.Д. Сушко, А.Р. Бахтизин

Voligda : Simulation - AnyLogic Professional

эксперимент: Vol...

AnyLogic

А
Р
М

гент-ориентированная
региональная
одедь

→ "Губернатор"

Вологда

OK

Прогон: 0 Готов Время: - Шаг: - Прогон: Время остановки не задано

Память: 17M из 3.640M 0.0 сек

Целью разработки модели «Губернатор» являлось создание достаточно реалистичной компьютерной модели, имитирующей поведение субъекта Российской Федерации (региона) и правила его функционирования как сложной социально-экономической системы на основе реконструкции его внутренней структуры, а также структуры и поведения действующих на его территории самостоятельных экономических субъектов.

Поэтому в модели региона присутствуют агенты следующих типов, соответствующих основным видам экономических субъектов:

- 1) агенты – физические лица (люди – жители региона);
- 2) агенты – юридические лица (предприятия, организации);
- 3) агенты – муниципальные районы.

Типы агентов в модели образуют снизу вверх соответствующую иерархию.

Для адекватного моделирования трудового потенциала региона, его развития и использования, а также имитации процессов модель включает:

- процедуру прогнозирования демографической ситуации на территории региона и отдельных его муниципальных районов;
- модель трудового потенциала одного агента-человека и его поведения как работника;
- модель рынка труда;
- модель производства;
- модель формирования и использования бюджета.

На основе этих процедур в модели имитируются процессы воспроизводства населения – рождаемость и смертность; процессы повышения квалификации агентов-людей, а также выбора ими места работы и/или места жительства; взаимодействие агентов-людей с агентами-предприятиями в процессе производства; взаимодействие агентов-предприятий с внешней для них средой – властями разного уровня – посредством уплаты налогов в бюджеты соответствующих уровней.

Интерфейс модели. Главное рабочее окно



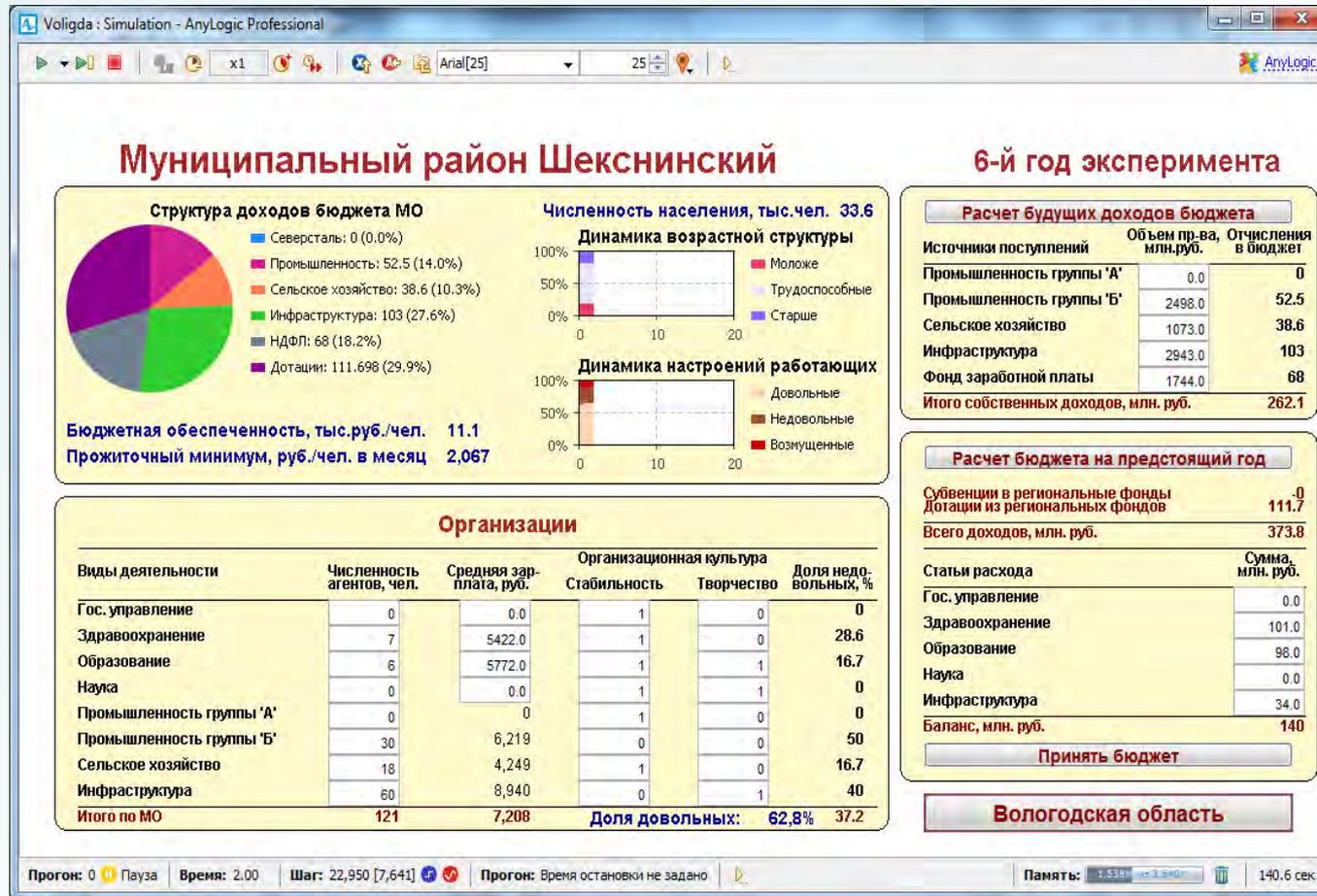
Модель предназначена для апробации различных вариантов управляющих воздействий, связанных с управлением бюджетным процессом.

На уровне региона это,

во-первых, показатели доходной части бюджета: общий уровень налогового бремени для предприятий разных отраслей и доли налоговых поступлений, оставляемых в бюджетах муниципальных районов;

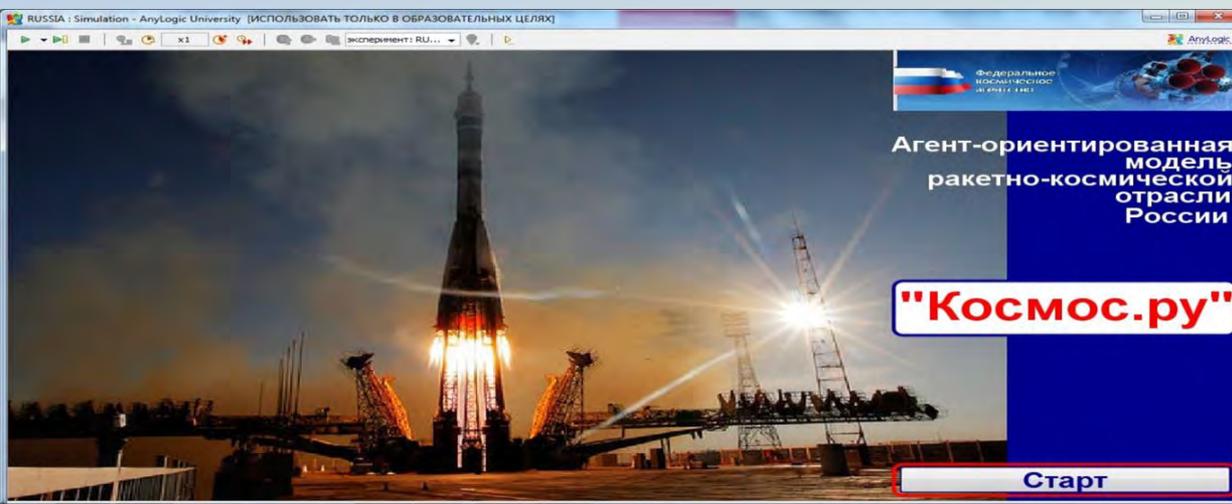
во-вторых, – это показатели расходной части бюджетов: нормативы бюджетных расходов на отрасли социальной сферы, а также средства, вкладываемые в развитие отраслей реального сектора.

Интерфейс муниципального района



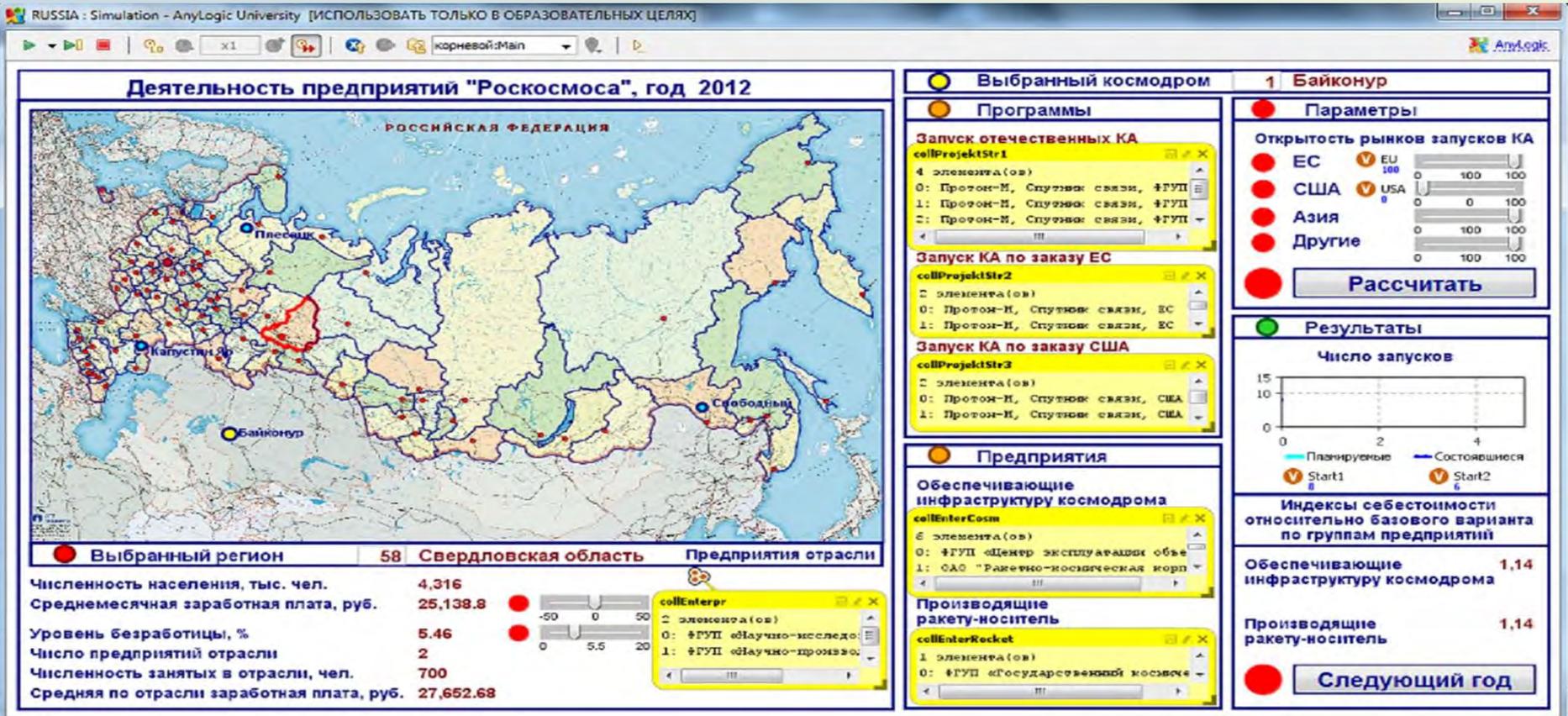
На уровне отдельного муниципального района пользователь, кроме параметров муниципального бюджета, может управлять также такими характеристиками отраслей, как численность занятых и средняя зарплата в государственном секторе, а также показателями организационной культуры основных отраслей экономики района, играющих роль предприятий.

Кроме того, модель позволяет проводить эксперименты, варьируя параметры внешней для региона среды (например, индексы изменения показателей воспроизводства населения), то есть, рассматривая не только различные комбинации управляющих воздействий, но и различные сценарии социально-экономического развития страны в целом.



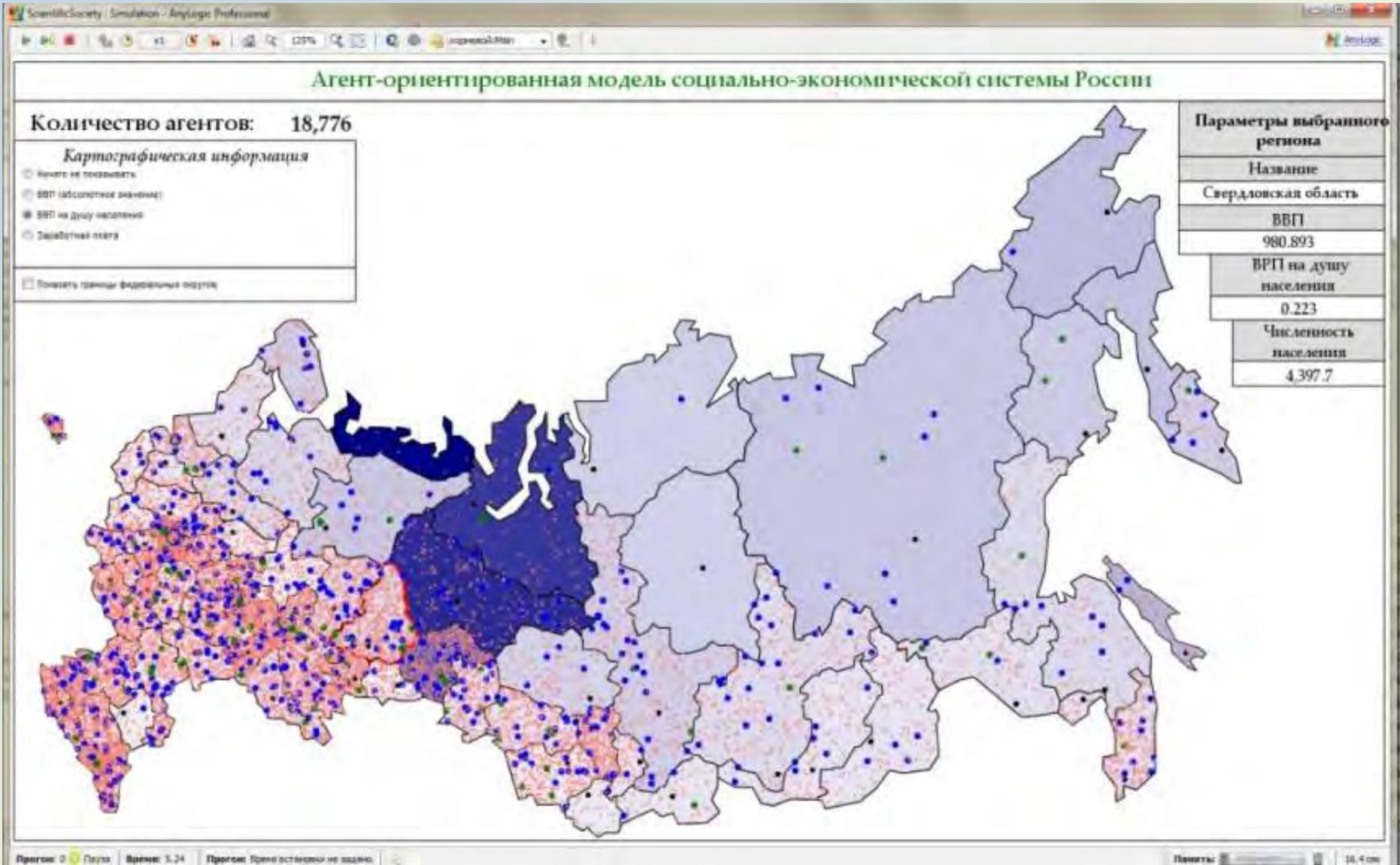
**В.Л. Макаров,
Е.Д. Сушко,
А.Р. Бахтизин**

**Отраслевая АОМ
Ракетно-космической
промышленности**



Демографическая АОМ России

В.Л. Макаров, Е.Д. Сушко, А.Р. Бахтизин

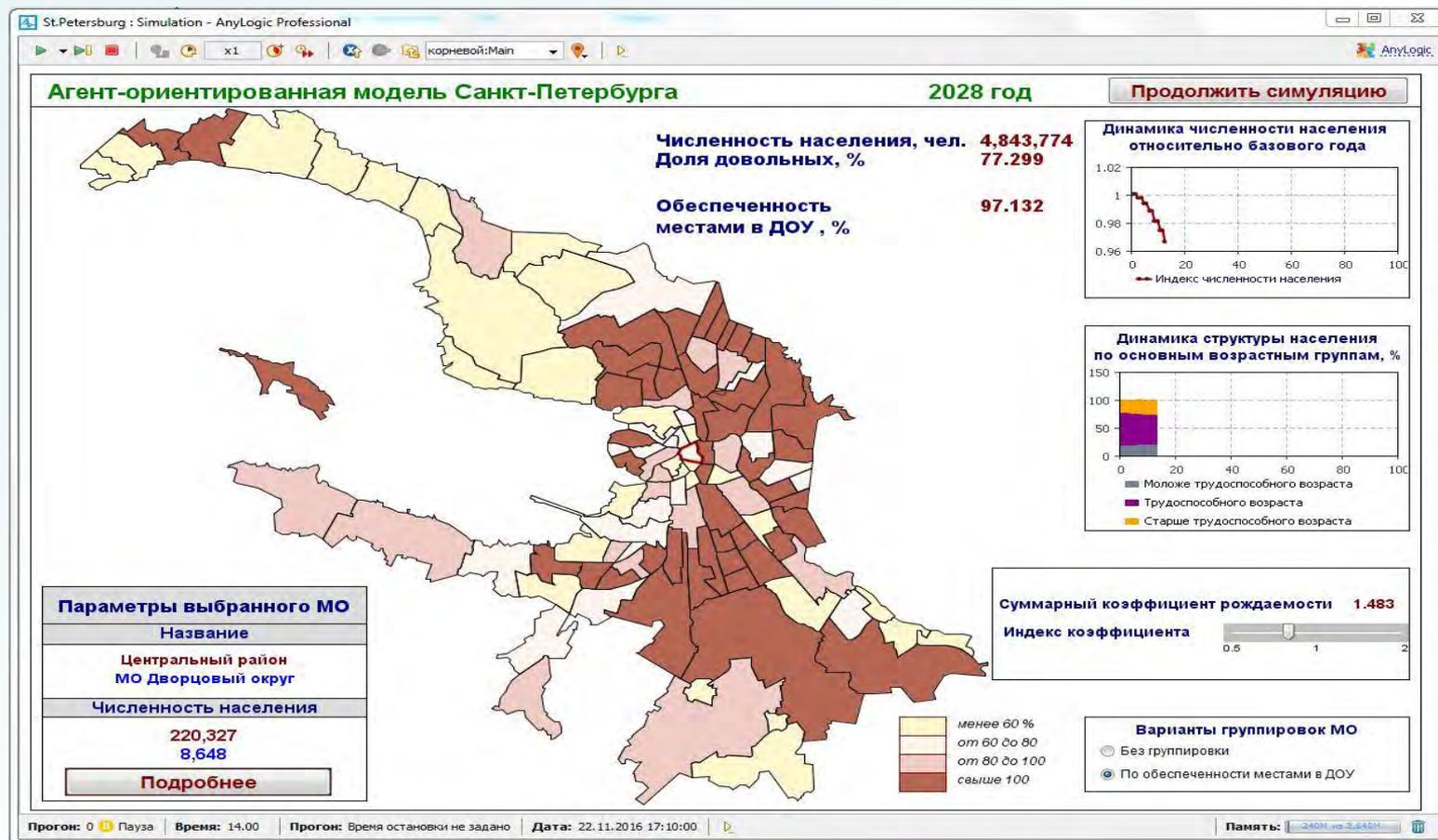


Агентная модель Санкт-Петербурга



Макаров В.Д., Квинт В.Д., Бахтизин А.Р.,
Сушко Е.Д., Макаров С.В., Наумов В.Н.

Северо-Западный Институт
Управления РАНХиГС



Одно из важнейших направлений использования модели – стать рабочим инструментом Стратегии экономического и социального развития г. Санкт-Петербурга на период до 2030 г. в части оценки последствий управленческих решений, при реализации задач Стратегии и в части прогнозирования социально-экономического развития Санкт-Петербурга.

Ситуационная комната



4

Экономический блок (предприятия, отрасли, бюджет)



3

- моделирование трудового потенциала
- влияние основных факторов социальной среды на человеческий капитал (здравоохранение, образование)



2

Экологический блок для базовой модели города



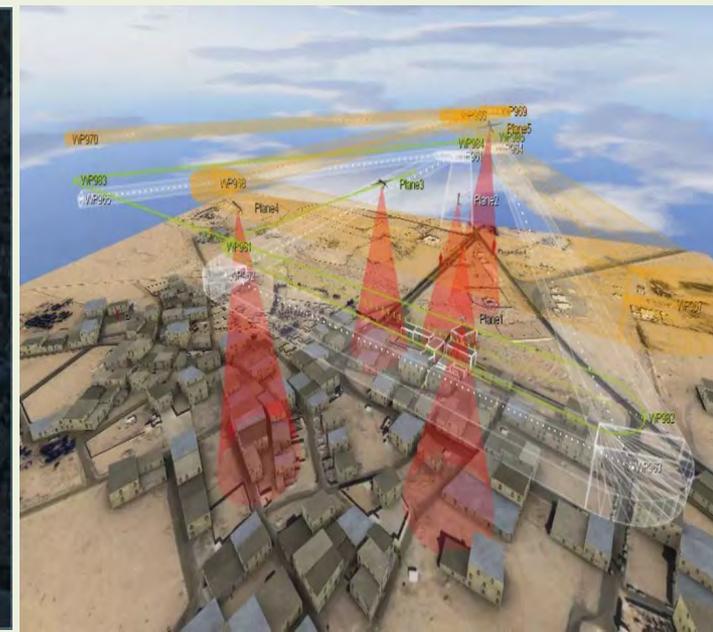
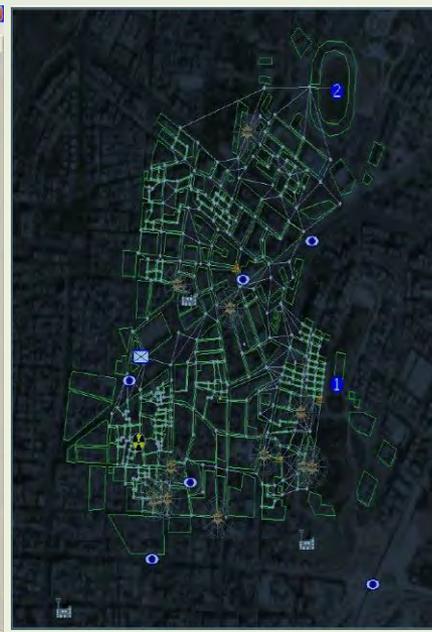
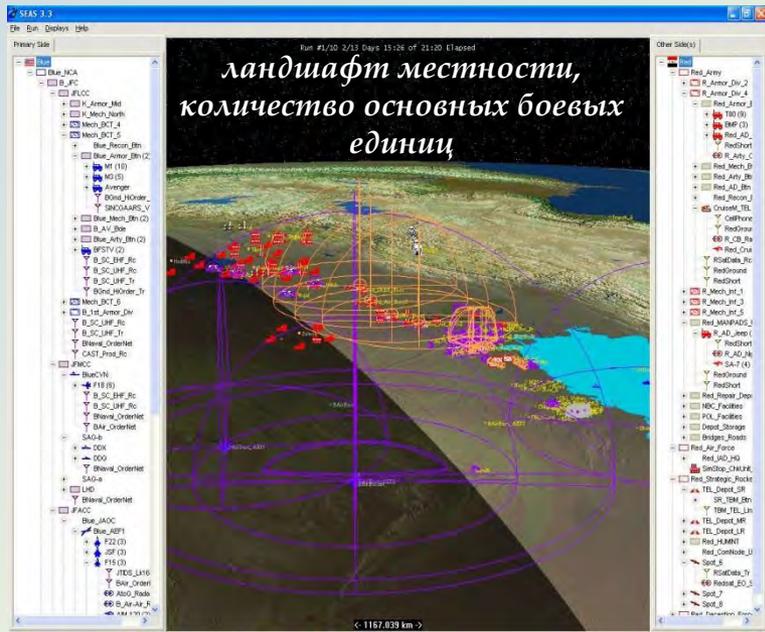
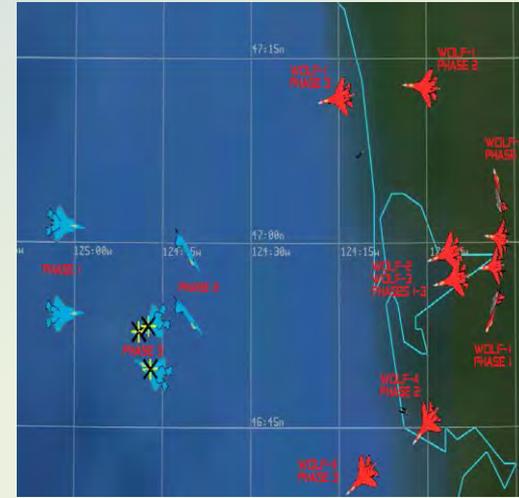
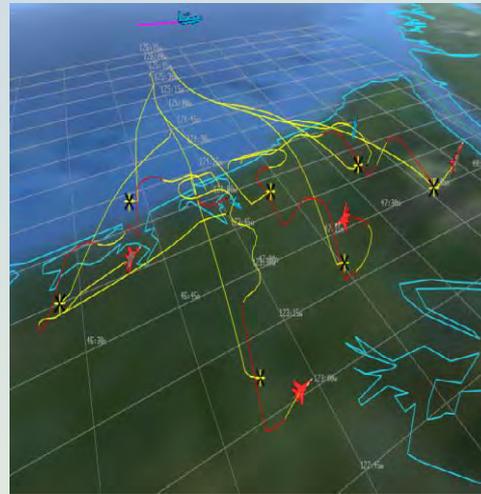
1

Базовый модуль – демографическая модель Санкт-Петербурга

AOM – стандарт для ситуационных центров

EADSIM, SEAS, ESAMS, BRAWLER, AFSIM....

...всего более **1000** имитационных моделей, разработанных для Министерства обороны США (Department of Defense) для моделирования военных операций, проигрывания различных вариантов боевых действий с целью нахождения наиболее эффективной стратегии для заданной местности с учетом имеющегося арсенала и количества боевых единиц; планирования использования ресурсов и т.д.



Зарубежные СЦ органов государственной власти (с 1960-х гг.):

1) Ситуационная комната Белого дома (White House Situation Room), 1961 г.

2) Стратегический информационно-оперативный центр - (Strategic Information and Operations Center), в штаб-квартире ФБР, 1998 г.

3) Ситуационный центр управления по обеспечению безопасности территории страны ВМФ США (Homeland Security Coordination Center), 2002 г.

4) Национальная сеть Центров сбора и обработки информации (National Network of Fusion Centers)

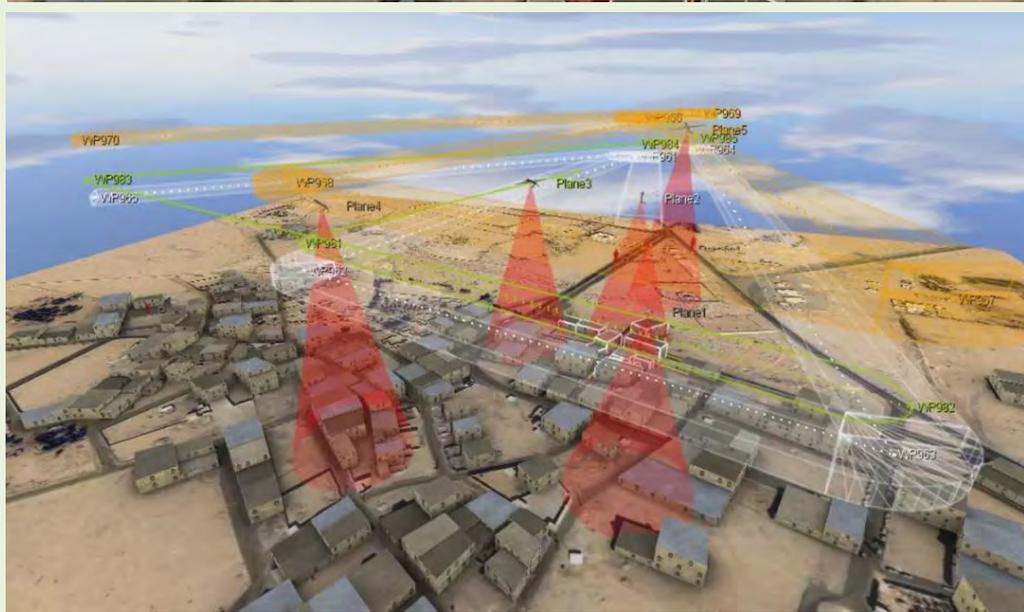
Всего в мире несколько тысяч +



Компания **AgentFly Technologies** – разработчик специализированного программного обеспечения на базе **агент-ориентированного подхода** для ВВС США, армии США и военно-морского флота США.

Ключевые особенности:

- одновременное выполнение большого количества операций;
- автоматическое распределение задач по процессорам;
- возможность задания множества сценариев военных операций;
- поиск наилучших решений с учетом многих факторов;
- средства 3D визуализации и ландшафтный редактор;
- возможность командной разработки моделей;
- средства конвертации известных форматов данных.



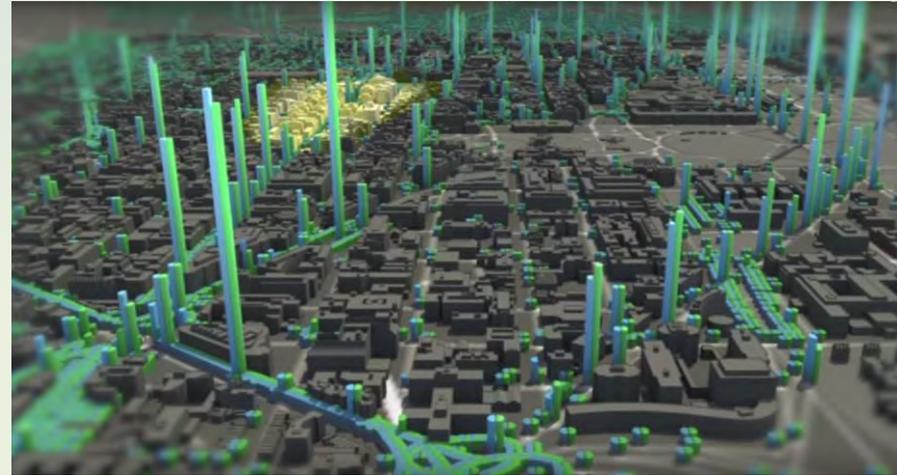
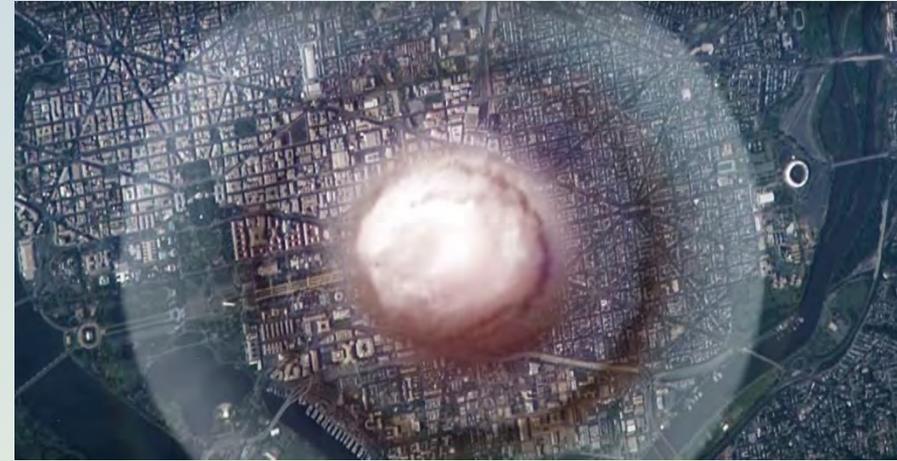
What if a nuke goes off in Washington, D.C.?
Simulations of artificial societies help planners
cope with the unthinkable // **SCIENCE AAAS**
by M. MITCHELL WALDROP APR. 12, 2018

Агент-ориентированная модель для оценки
Сценария национального планирования # 1 –
плана федерального правительства
Соединенных Штатов на ядерную атаку
(National Planning Scenario 1 (NPS1))

Агент-ориентированная модель содержит ГИС
со множеством слоев (дома, транспорт,
энергосистемы, погодные условия) и несколько
млн. агентов, различающихся по полу,
возрасту, профессии и реагирующих на
происходящее, используя различные режимы
поведения (паника, поиск членов семьи и др.).

Последствия взрыва ядерного заряда
мощностью в 12 килотонн в центре
Вашингтона через несколько часов:

- облако радиоактивных осадков (пятно
желтого цвета) простирается на восток;
- высота столбиков показывает
количество людей в конкретном месте,
а цвет указывает на их состояние
(**красный цвет** – болезнь или смерть).



План работ по модернизации действующих и созданию новых ситуационных центров

Ситуационные центры федеральных органов государственной власти

Федеральное Собрание		СЦ Президента РФ	СЦ Правительства РФ			
Совет Федерации	Администрация Президента РФ	Министерство внутренних дел Российской Федерации	Министерство здравоохранения Российской Федерации	Министерство промышленности и торговли Российской Федерации	Министерство транспорта Российской Федерации	Министерство экономического развития Российской Федерации
Государственная Дума	Контрольное управление	МЧС России	Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения	Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии	Федеральная служба по надзору в сфере транспорта	Федеральная служба по аккредитации
Судебная система. Прокуратура	Управление по работе с обращениями граждан и организаций	Министерство иностранных дел Российской Федерации	Федеральное медико-биологическое агентство	Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока	Федеральное агентство воздушного транспорта	Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии
Конституционный Суд РФ	Совет Безопасности РФ	Федеральное агентство по делам СНГ	Министерство культуры Российской Федерации	Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации	Федеральное дорожное агентство	Федеральная служба государственной статистики
Верховный Суд РФ		Министерство обороны Российской Федерации	Федеральное агентство по туризму	Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций	Федеральное агентство железнодорожного транспорта	Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Генеральная Прокуратура РФ		Федеральная служба по военно-техническому сотрудничеству	Министерство образования и науки Российской Федерации	Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям	Федеральное агентство морского и речного транспорта	Федеральное агентство по управлению государственным имуществом
Следственный комитет Российской Федерации		Федеральная служба по техническому и экспортному контролю	Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки	Федеральное агентство связи	Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации	Министерство энергетики Российской Федерации
		Министерство юстиции Российской Федерации	Федеральное агентство по делам молодежи	Министерство Российской Федерации по делам Северного Кавказа	Федеральная служба по труду и занятости	Федеральная антимонопольная служба
		Федеральная служба исполнения наказаний	Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации	Министерство сельского хозяйства Российской Федерации	Министерство финансов Российской Федерации	Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
		Федеральная служба судебных приставов	Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору	Федеральная налоговая служба	Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
		Государственная фельдъегерская служба Российской Федерации	Федеральная служба по надзору в сфере природопользования	Федеральное агентство по рыболовству	Федеральная служба по регулированию алкогольного рынка	Федеральное агентство по государственным резервам
		Федеральная служба безопасности Российской Федерации	Федеральное агентство водных ресурсов	Министерство спорта Российской Федерации	Федеральная таможенная служба	Федеральное агентство научных организаций
		Федеральная служба охраны Российской Федерации	Федеральное агентство лесного хозяйства	Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации	Федеральное казначейство (Федеральная служба)	Федеральное агентство по делам национальностей
		Федеральная служба по финансовому мониторингу	Федеральное агентство по недропользованию			Пенсионный фонд Российской Федерации
		Федеральная служба войск национальной гвардии Российской Федерации				

СЦ созданы

СЦ создаются или модернизируются

Планируется создание СЦ

СЦ отсутствуют

В ФОИВ работы по созданию СЦ ведутся недостаточно активно

*по материалам д.т.н., профессора, Н.И. Ильина



Региональные ситуационные центры

ППП Президента РФ в ЦФО	ППП Президента РФ в СЗФО	ППП Президента РФ в ЮФО	ППП Президента РФ в СКФО	ППП Президента РФ в ПФО	ППП Президента РФ в УФО	ППП Президента РФ в СФО	ППП Президента РФ в ДФО
Белгородская область	Республика Карелия	Республика Адыгея	Республика Дагестан	Республика Башкортостан	Курганская область	Республика Алтай	Республика Саха (Якутия)
Брянская область	Республика Коми	Республика Калмыкия	Республика Ингушетия	Республика Марий Эл	Свердловская область	Республика Бурятия	Камчатский край
Владимирская область	Архангельская область	Краснодарский край	Кабардино-Балкарская Республика	Республика Мордовия	Тюменская область	Республика Тыва	Приморский край
Воронежская область	Вологодская область	Астраханская область	Карачаево-Черкесская Республика	Республика Татарстан	Челябинская область	Республика Хакасия	Хабаровский край
Ивановская область	Калининградская область	Волгоградская область	Республика Северная Осетия-Алания	Удмуртская Республика	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	Алтайский край	Амурская область
Калужская область	Ленинградская область	Ростовская область	Чеченская Республика	Чувашская Республика	Ямало-Ненецкий автономный округ	Забайкальский край	Магаданская область
Костромская область	Мурманская область	Республика Крым	Ставропольский край	Пермский край		Красноярский край	Сахалинская область
Курская область	Новгородская область	Севастополь		Кировская область		Иркутская область	Еврейская автономная область
Липецкая область	Псковская область			Нижегородская область		Кемеровская область	Чукотский автономный округ
Московская область	Санкт-Петербург			Оренбургская область		Новосибирская область	
Орловская область	Ненецкий автономный округ			Пензенская область		Омская область	
Рязанская область				Самарская область		Томская область	
Смоленская область				Саратовская область			
Тамбовская область				Ульяновская область			
Тверская область							
Тульская область							
Ярославская область							
Москва							

СЦ созданы – **30**
 СЦ создаются или модернизируются – **24**
 Планируется создание СЦ – **31**
 Решение о создании СЦ не принято – **8**

В субъектах РФ СЦ интенсивно создаются, наращивается их информационная компонента

Комплексный план научных исследований «Научное обеспечение создания и развития системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия», инициированный Министерством науки и высшего образования, выполняемый под руководством **академика РАН И.А. Соколова** и курируемый заместителем начальника управления информационных систем спецсвязи ФСО России, заслуженным деятелем науки, д.т.н., профессором, **Н.И. Ильиным**.



Разработанные технологии

1

**Построение АОМ на базе
геоинформационных систем**

2

Реализация АОМ на суперкомпьютерах

По своей сути геоинформационные системы (ГИС) – это системы, позволяющие создавать базы данных, которые сочетают в себе графическое и атрибутивное представление разнородной информации.

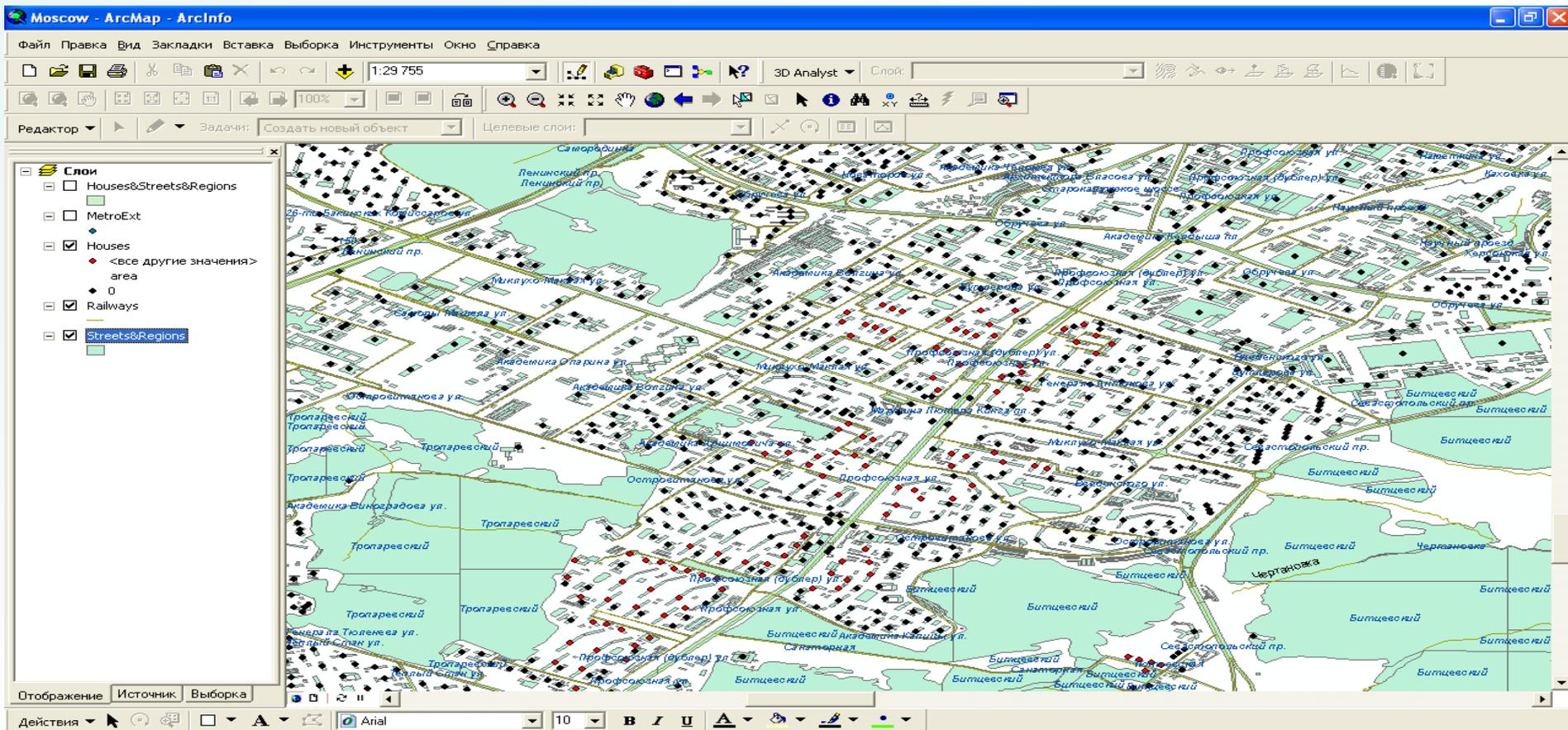
ГИС обеспечивают возможность пространственного анализа данных и представление его результатов в привычной для пользователей форме (в виде графиков, диаграмм, таблиц, карт и т.д.).

Решаемые с помощью ГИС задачи

- Оптимизация размещения предприятий;
 - Поиск места под новое строительство (транспортное, жилищное, промышленное);
 - Управление инфраструктурой (энергосети, трубопроводы, дорожное хозяйство);
 - Кадастровое картографирование земель и объектов собственности;
 - Планирование землепользования, анализ пригодности земель, районирование и комплексная оценка территорий;
 - Экологический мониторинг, оценка и прогнозирование состояния окружающей среды;
 - и т.д.
-
- **Новое направление: использование ГИС для агент-ориентированных моделей.**

Разработка ГИС ЮЗАО г. Москвы

1. Прописка – плотность проживания жителей;
2. ГИБДД – плотность проживания владельцев автомобилей;
3. Налоговая отчетность – плотность проживания людей с различными доходами;
4. ЕГРЮЛ (предприятия Москвы) – данные по инфраструктуре города в разрезе юридических лиц (адрес, оборот, специализация – ОКВЭД и т.д.).



Такая система позволяет решать широкий круг задач даже без применения математических методов и моделей – к примеру, задачи **геомаркетинга**.

Допустим, требуется обосновать выбор места для открытия нового торгового центра.

В этом случае ГИС с упомянутой детализацией позволит провести пространственный анализ данных, сканируя слои ГИС, с целью оптимизации будущего расположения центра относительно:

- целевого сегмента (жителей с определенным уровнем дохода);
- конкурентов;
- точек собственной сети;
- объектов городской инфраструктуры (метро, рынки, бизнес-центры и пр.);
- и др.

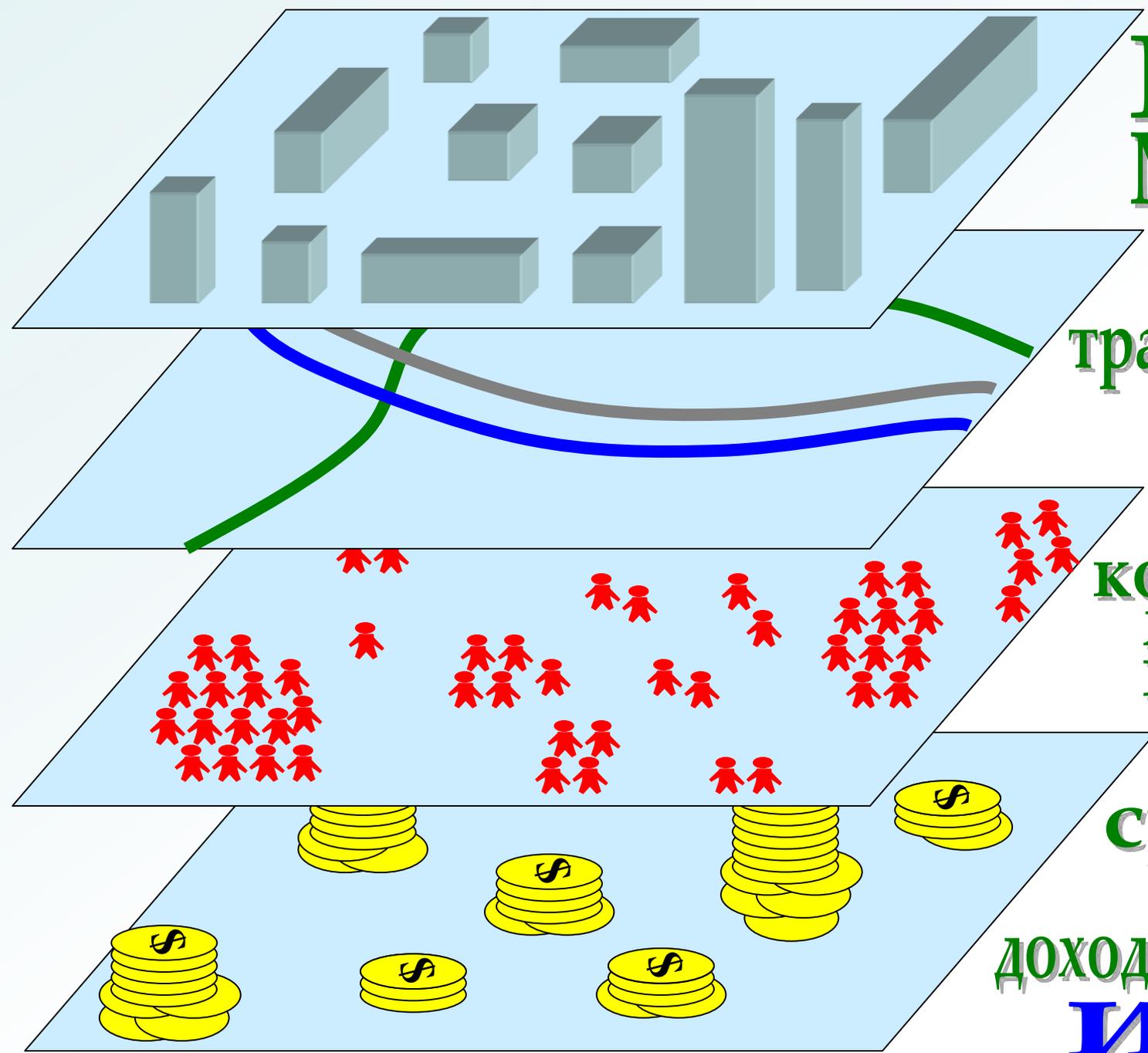
ГИС Москвы

транспортная
система

количество
жителей
по домам

средний
уровень
дохода (по домам)

И Т.Д.



ГИС-технологии, используемые в основном для анализа и визуализации пространственных данных, первоначально не рассматривались в качестве инструментов для динамического имитационного моделирования.

Вместе с тем, все возможности ГИС:

- сложный анализ пространственных данных;
- создание и редактирование пространственных объектов;
- размещение символов и надписей на карте, анализа поверхности;
- правила пространственного поведения объектов;

пользователи используют через графический интерфейс, но в том числе доступ к ним возможен и через интерфейс программирования API.

Механизмы интеграции АОМ И ГИС

Первый способ: ГИС и АОМ – отдельные продукты

Первый тип связывания: слабая (неплотная) связь – выполнение асинхронных операций

Второй тип связывания: сильная связь через COM или .NET интерфейсы; одновременное выполнения кода

Второй способ: создание единой системы. Интегрирование АОМ и ГИС в единую систему, называемую

1) ГИС-центричной

или

2) АОМ-центричной

в зависимости от того, на базе какого из инструментов осуществлено интегрирование

http://gisagents.org/

GIS and Agent-Based Modelling: ABS2: Agent Based Spatial Simulation - Microsoft Internet Explorer

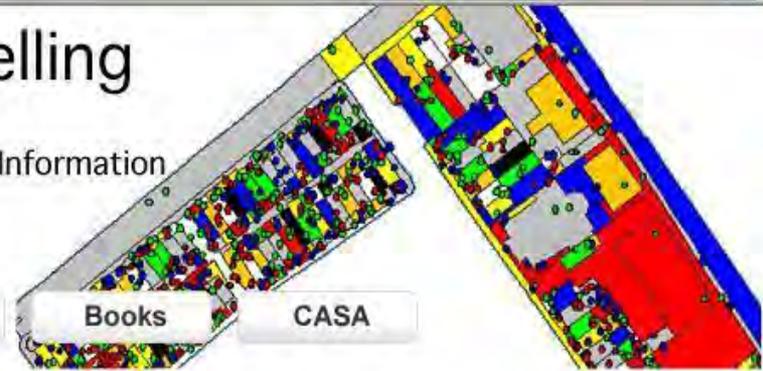
Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка



Адрес: http://gisagents.blogspot.com/2008/12/abs2-agent-based-spatial-simulation.html

GIS and Agent-Based Modelling

A blog focused around our interests in Geographical Information Science (GIS) and Agent-Based Modelling (ABM)



Home

About

Links

Contact

Books

CASA

Ads by Google

Agent Based Modelling

Individual Attributes & Behaviours Health, Defence and Staffing Apps
www.decisionmodelling.com

ITIL simulation & gaming

Accelerate ITSM/ITIL understanding and acceptance with simulation
www.g2g3.com

Geostatistics Software

MONDAY, DECEMBER 22, 2008

ABS2: Agent Based Spatial Simulation

A few weeks ago I attended a S4 workshop entitled "ABS2 Agent Based Spatial Simulation" organised by the SIMBAD (Simulation Based on Agents to Aid Decision) working group. The meeting was very interesting bringing agent-based modellers from a range of European countries to discuss recent work. The full program and presentations can be found here.

Modellers used a variety of software toolkits ranging from NetLogo, JADE, MATSims, AnyLogic and bespoke programs to explore a variety of spatial simulations ranging from traffic simulations to land use change.



For example, road charging in Moscow (using AnyLogic), using MATSim to model travel and locational choices in Lyon, urban daily

SUBSCRIBE TO:

Posts

Comments

BLOG ARCHIVE

▼ 2009 (16)

▼ March (3)

The Research Potential of Virtual Worlds for ABM

Simulating Crime with Agent-Based Models

Segregation within Social Networks

Реализация АОМ на суперкомпьютерах

Технология поддержки АОМ для
суперкомпьютеров **STARS** (**S**upercomputer
Technology for **A**gent-**o****R**iented **S**imulation)

ЦЭМИ РАН (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко)
МГУ (В.А. Васенин, В.А. Роганов, И.А. Трифонов)

Тренд развития агентных моделей – **суперкомпьютерное моделирование**. Это направление активно развиваются и на мировых конгрессах, посвященных АОМ, уже давно рассматриваются на пленарных докладах, а также обсуждаются на специализированных сессиях.

К примеру, SC Conference Series – ежегодная конференция с 1988 г. Среднее число участников – 5 000.

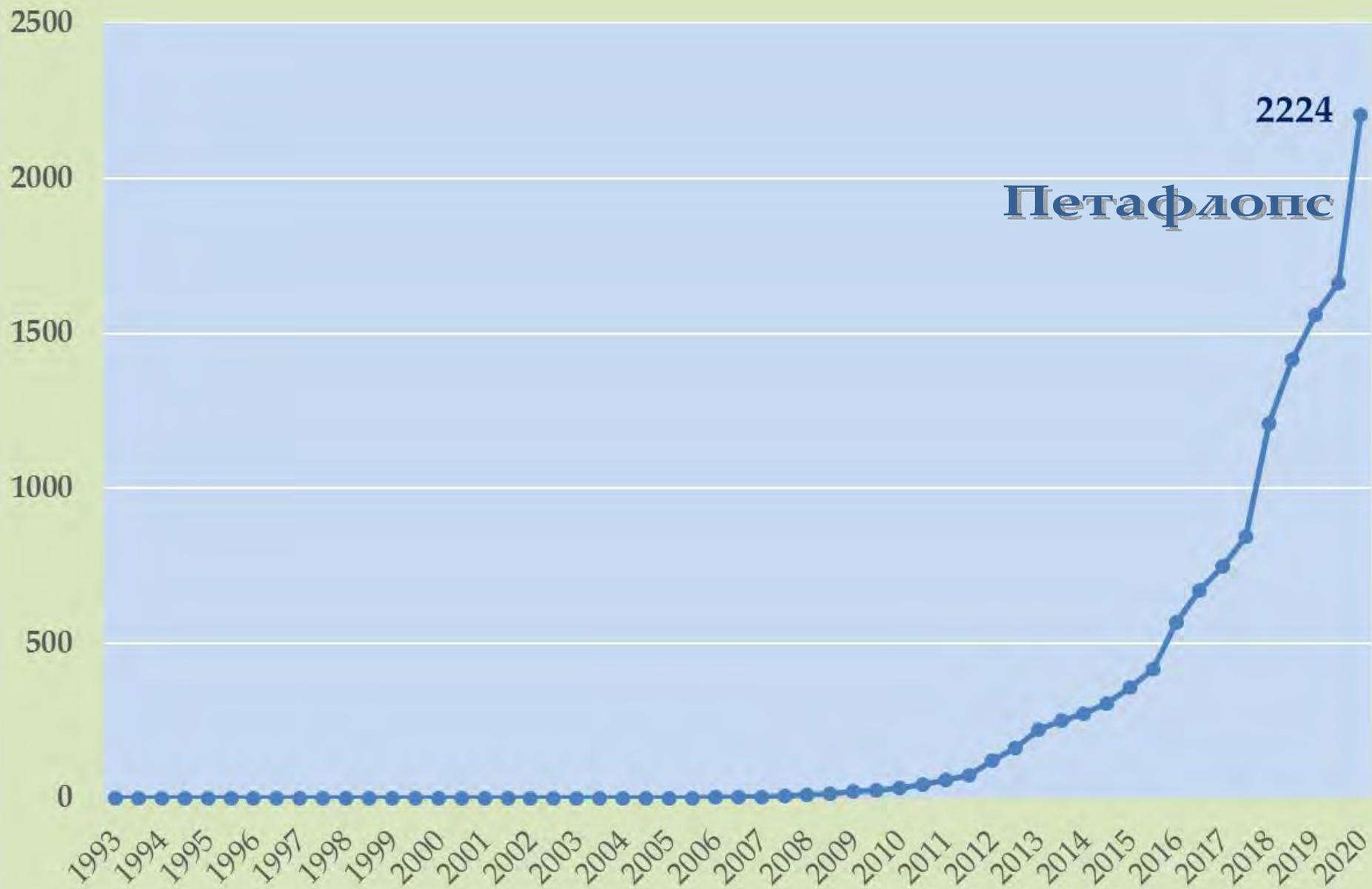


Компания **IDC (International Data Corporation)** прогнозирует достижение общего объема данных к 2025 г. в **175 зеттабайт**, по сравнению с **1 200 эксабайт** в 2010 г., что означает почти **150-кратный рост** за **15 лет** (блоги, социальные сети, аналитические материалы, фото, карты и др.).

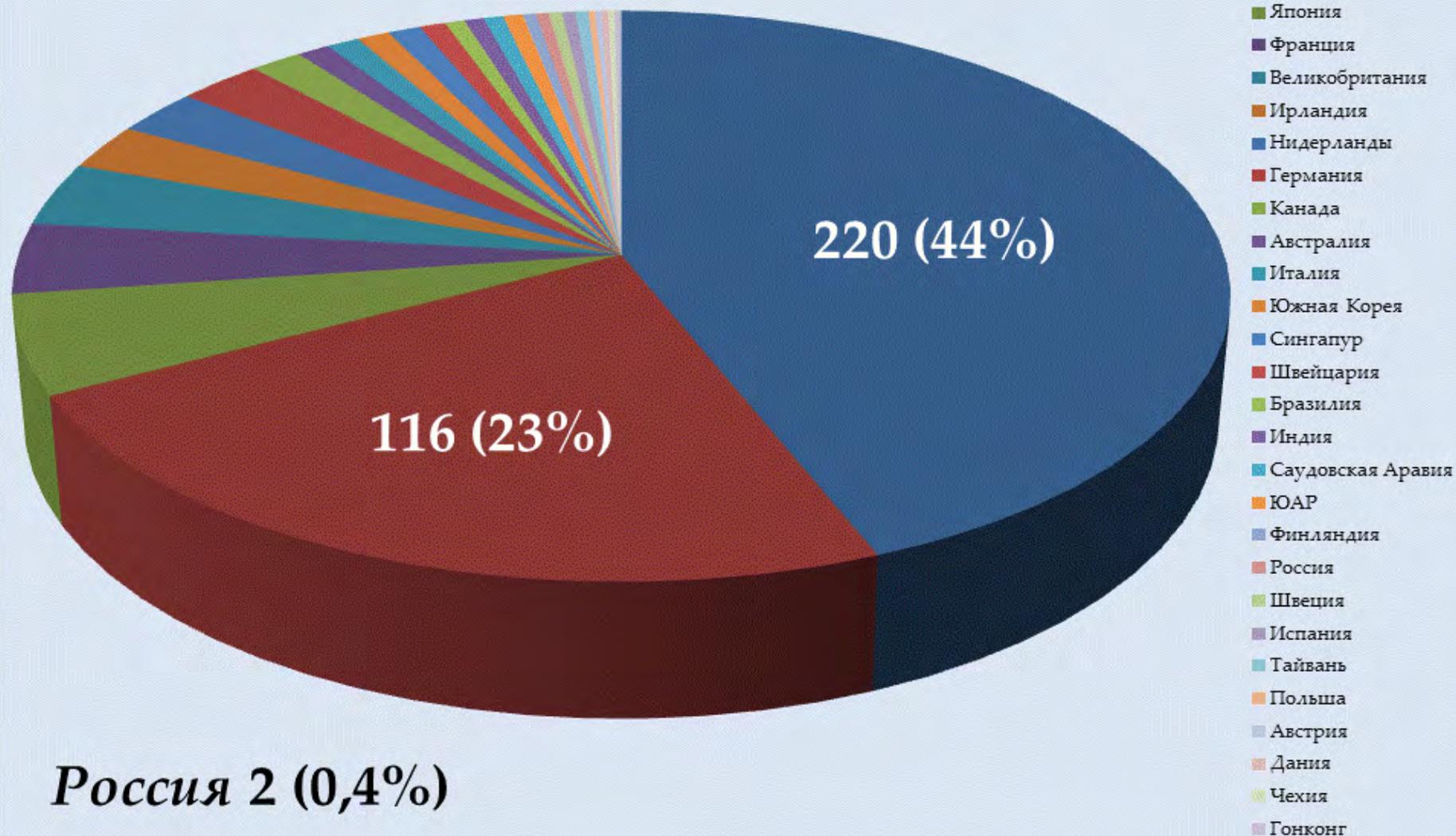
Необходимость обработки такого объема данных обуславливает появление аналитических систем нового поколения, включающих усовершенствованные методы вычислений, распознавания образов, организации хранилищ данных, сбора статистики с целью извлечения смысла из данных и получения информационного контекста.

Среди приоритетных направлений развития информационно-телекоммуникационных систем - **предсказательное суперкомпьютерное моделирование**, и, в частности, создание систем краткосрочного и долгосрочного предсказательного моделирования социальных явлений и событий. В том числе ставка делается на глубокие нейронные сети и агентные модели.

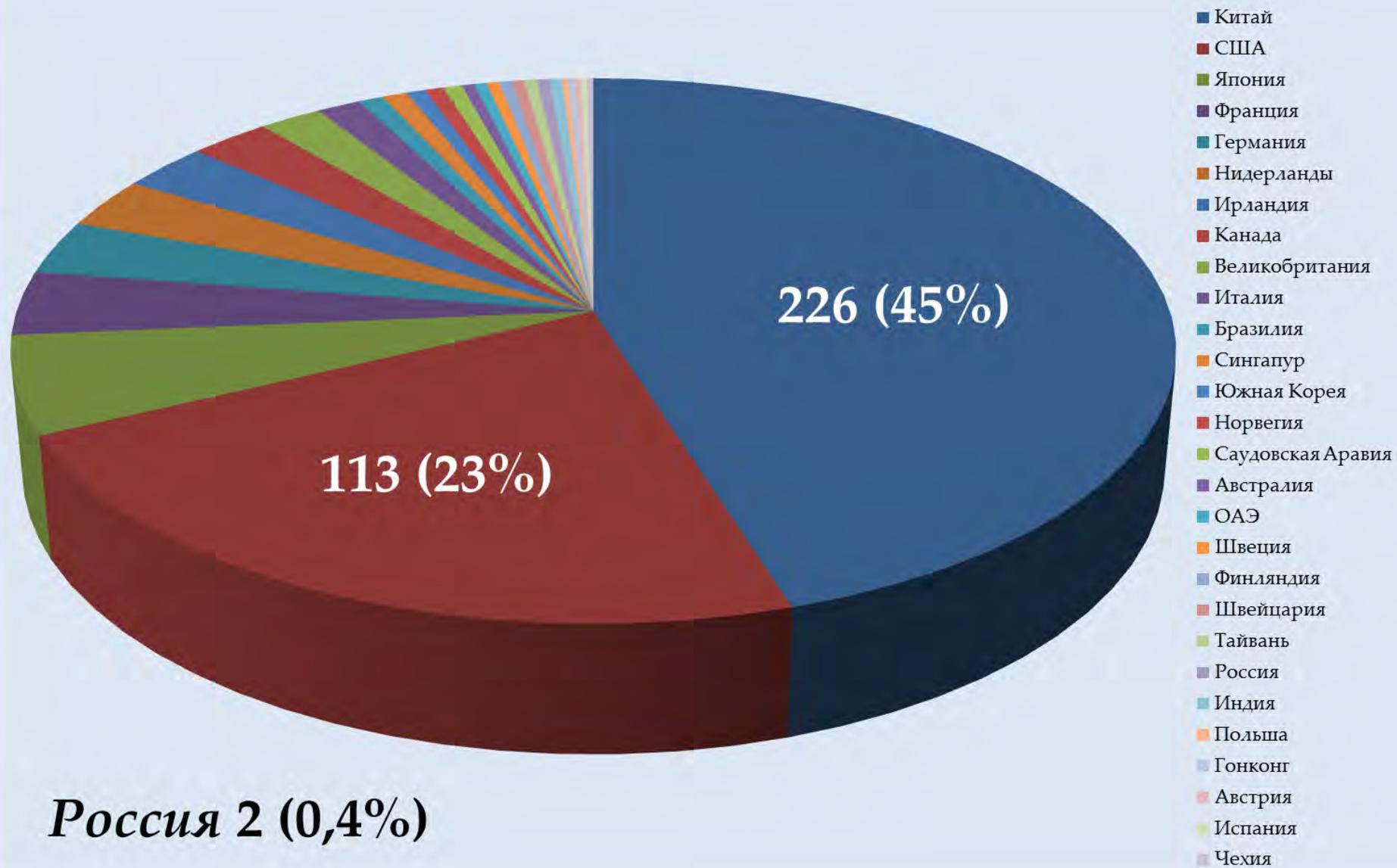
Суммарная производительность ТОП-500 суперкомпьютеров



Количество суперкомпьютеров из ТОП-500 в 2019 году по странам

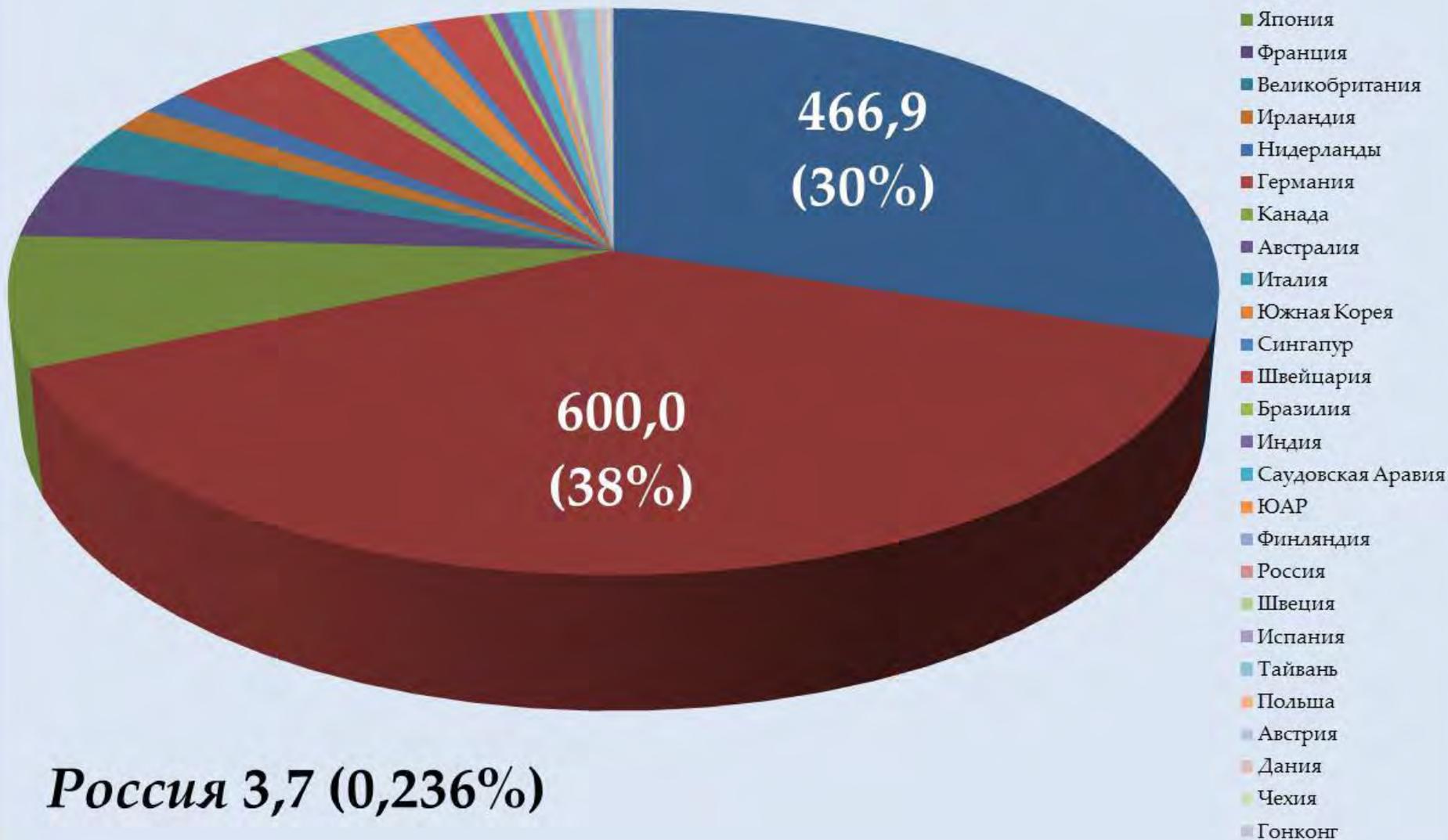


Количество суперкомпьютеров из ТОП-500 в 2020 году по странам



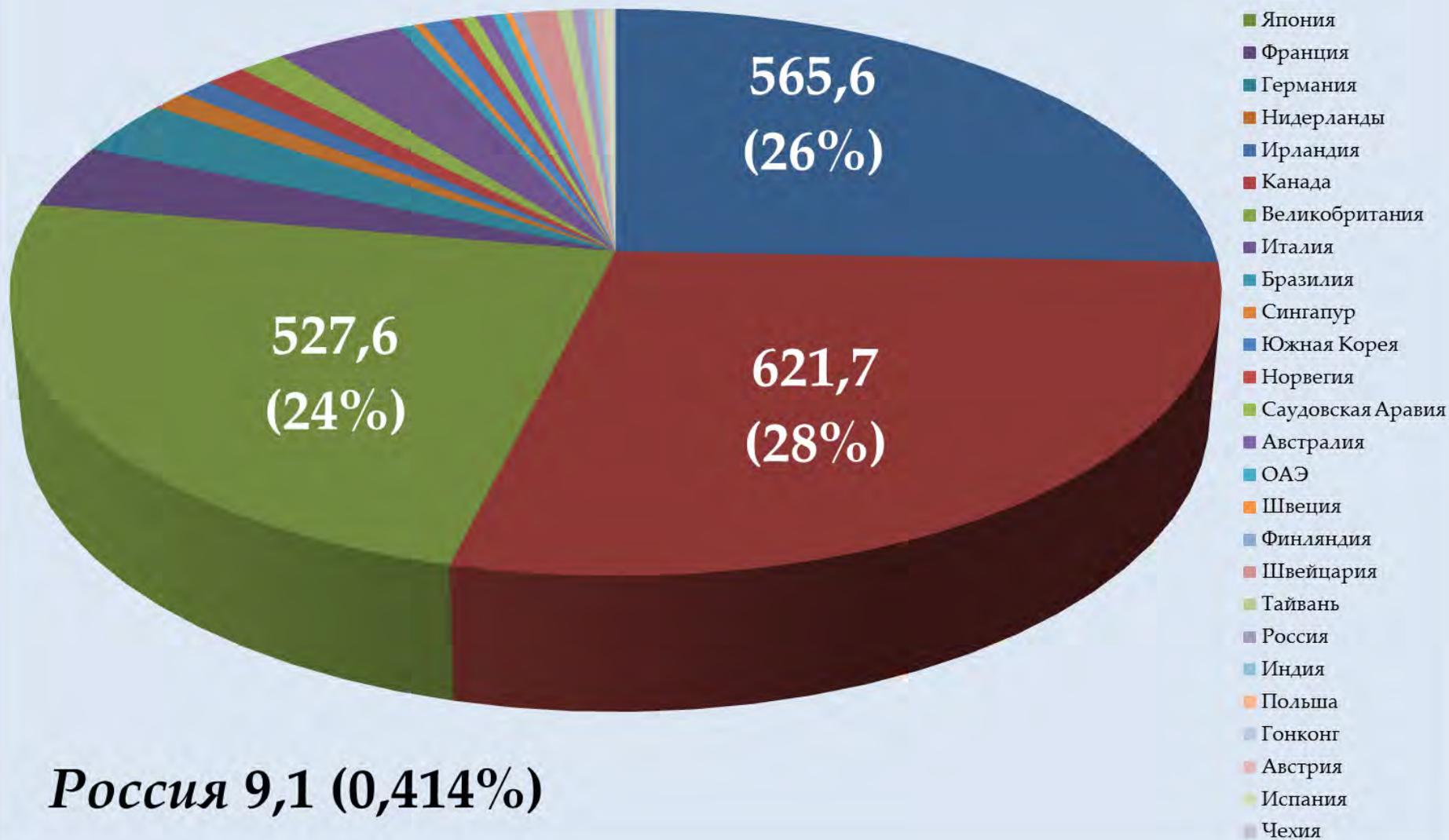
Производительность ТОП-500 суперкомпьютеров в 2019 году по странам

Петафлопс (в скобках доля от общей производительности)



Производительность ТОП-500 суперкомпьютеров в 2020 году по странам

Петафлопс (в скобках доля от общей производительности)

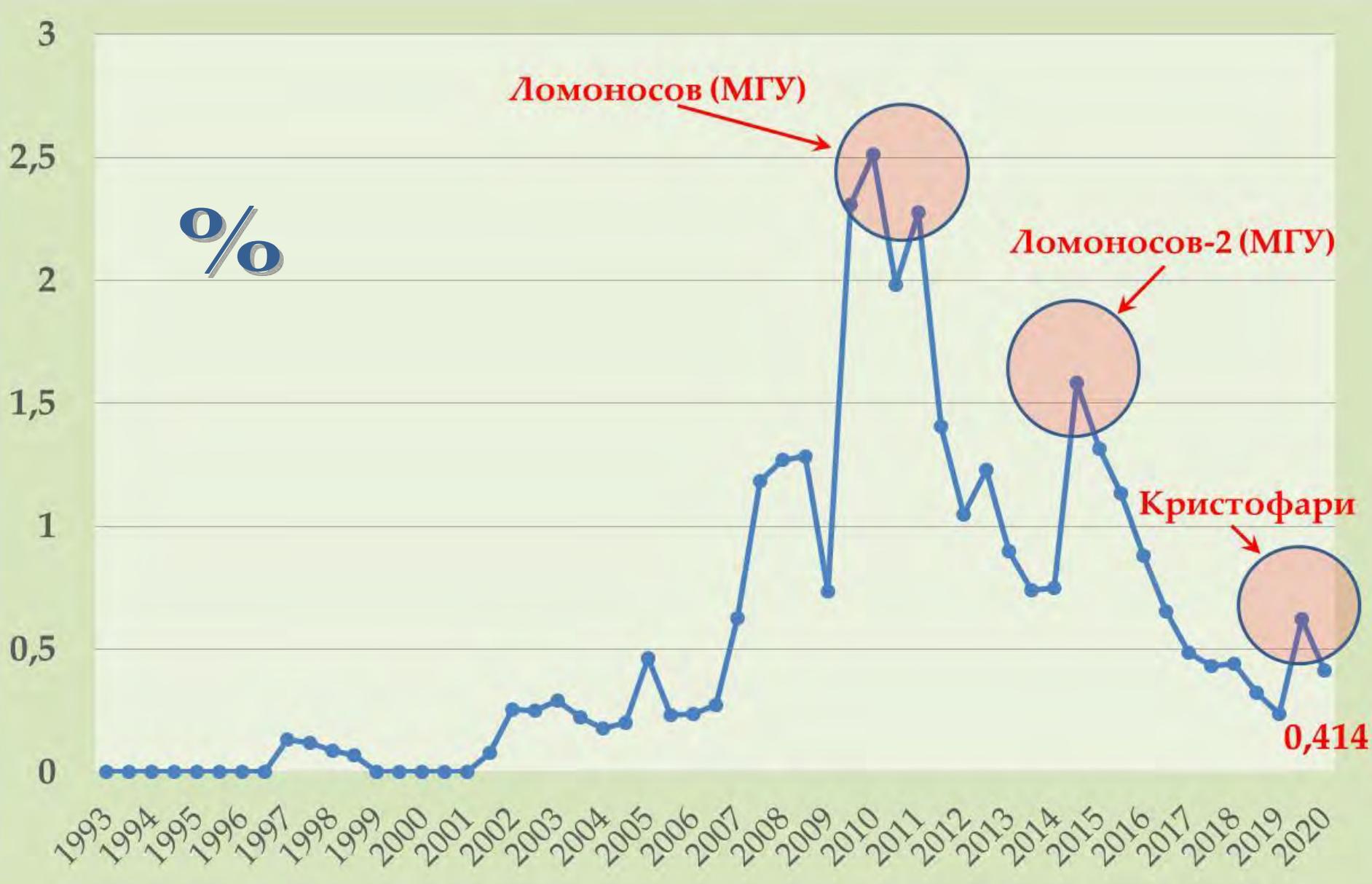


Доля стран в суммарной производительности суперкомпьютеров из ТОП-500



Источник: <https://www.top500.org>

Доля России в суммарной производительности суперкомпьютеров из ТОП-500



ТОП-10 суперкомпьютеров в 2019 году

	Суперкомпьютеры	Число ядер	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)
1	Summit (Национальная лаборатория Ок-Ридж, США)	2 414 592	148 600	200 795
2	Sierra (Ливерморская национальная лаборатория, США)	1 572 480	94 640	125 712
3	Sunway TaihuLight (Национальный суперкомпьютерный центр Уси, Китай)	10 649 600	93 015	125 436
4	Tianhe-2A (Национальный суперкомпьютерный центр Гуанчжоу, Китай)	4 981 760	61 445	100 679
5	Frontera (Техасский центр передовых вычислений Техасского университета в Остине, США)	448 448	23 516	38 746
6	Piz Daint (Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр, Швейцария)	387 872	21 230	27 154
7	Trinity (Лос-Аламосская национальная лаборатория, США)	979 072	20 159	41 461
8	AI Bridging Cloud Infrastructure (Национальный институт передовой промышленной науки и технологии, Япония)	391 680	19 880	32 577
9	SuperMUC-NG (Суперкомпьютерный центр Лейбница Баварской академии наук, Германия)	305 856	19 477	26 874
10	Lassen (Ливерморская национальная лаборатория, США)	288 288	18 200	23 047

ТОП-10 суперкомпьютеров в 2020 году

	Суперкомпьютеры (Источник: https://www.top500.org)	Число ядер	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)
1	Fugaku (Институт физико-химических исследований RIKEN, Япония), Fujitsu A64FX	7 299 072	415 530	513 854
2	Summit (Национальная лаборатория Ок-Ридж, США), IBM POWER9	2 414 592	148 600	200 795
3	Sierra (Ливерморская национальная лаборатория, США), IBM POWER9	1 572 480	94 640	125 712
4	Sunway TaihuLight (Национальный суперкомпьютерный центр Уси, Китай), Sunway SW26010	10 649 600	93 015	125 436
5	Tianhe-2A (Национальный суперкомпьютерный центр Гуанчжоу, Китай), Intel Xeon E5-2692v2	4 981 760	61 445	100 679
6	HPC5 (Нефтегазовая компания ENI, Италия), Intel Xeon Gold 6252	669 760	35 450	51 721
7	Selene (Компания NVIDIA, США), AMD EPYC 7742	272 800	27 580	34 569
8	Frontera (Техасский центр передовых вычислений Техасского университета в Остине, США), Intel Xeon Platinum 8280	448 448	23 516	38 746
9	Marconi-100 (Исследовательский центр CINECA), IBM POWER9	347 776	21 640	29 354
10	Piz Daint (Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр, Швейцария), Intel Xeon E5-2690v3	387 872	21 230	27 154
35	Christofari (Сбербанк, Россия), NVIDIA Tesla V100, Intel Xeon Platinum 8168	99 600	6 669	8 790
130	Lomonosov 2 (МГУ, Россия), Intel Xeon E5-2697v3	64 384	2 478	4 947

Фуугаку – «гора Фуудзи» (пиковая производительность 513 PFlop/s)

Центр вычислительных наук Института физико-химических исследований (RIKEN) в Кобе, Япония (самый быстрый в мире по состоянию на июнь 2020 г.)

Процессор – Fujitsu A64FX на базе архитектуры ARM (Advanced Reduced instruction set computer Machine)

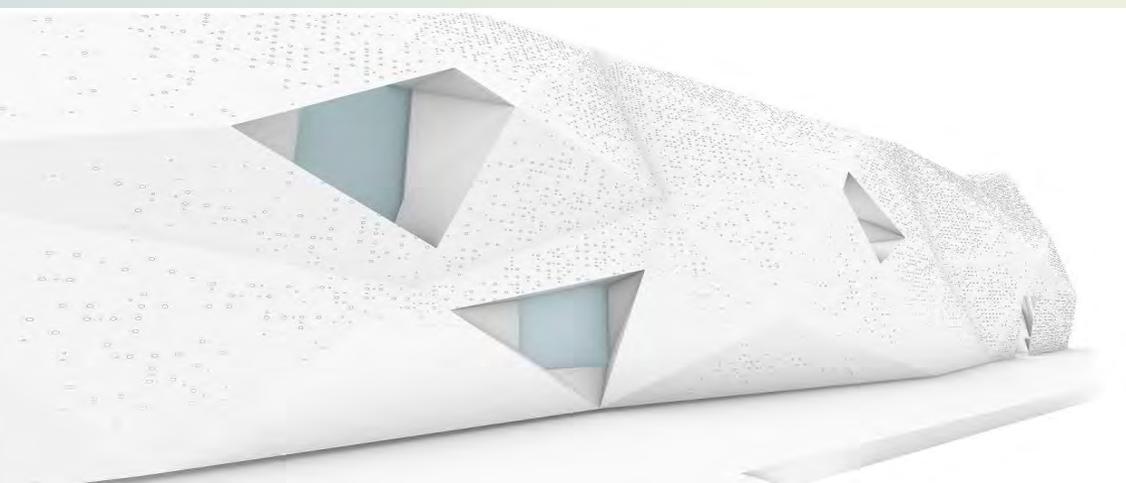
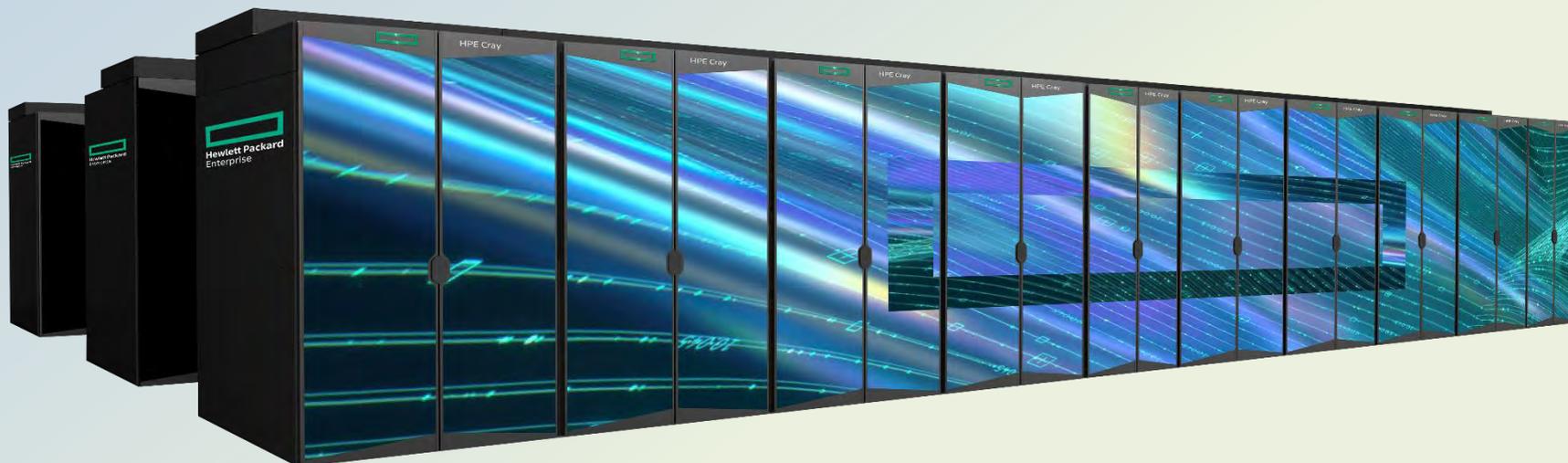


Узел Фуугаку



Суперкомпьютер LUMI (пиковая производительность 552 PFlop/s)

Центр обработки данных в Каяани, Финляндия. Поставщик системы – Hewlett Packard Enterprise (HPE), на базе процессоров AMD EPYC и графических ускорителей AMD Instinct.



LUMI станет самым производительным суперкомпьютером, используемым для научных исследований.
Ориентировочный срок эксплуатации **2021-2026 гг.**

Области применения (основные):

- ❑ Математика (криптография)
- ❑ Физика (ядерная физика, физика плазмы, разработка термоядерного оружия, моделирование испытаний, газодинамика, гидродинамика, материаловедение)
- ❑ Наука о Земле (прогнозирование погоды, изменений климата, землетрясений, состояния океанов, геологоразведка и др.)
- ❑ Биология (расшифровка ДНК)
- ❑ Химия и медицина (моделирование лекарств)
- ❑ Новые способы обработки информации (искусственный интеллект)

Отрасли:

Промышленность – **57,6%**

Наука – **19%**

Образование – **12,6%**

Государственные органы управления – **7,8%**

Другие – **3%**

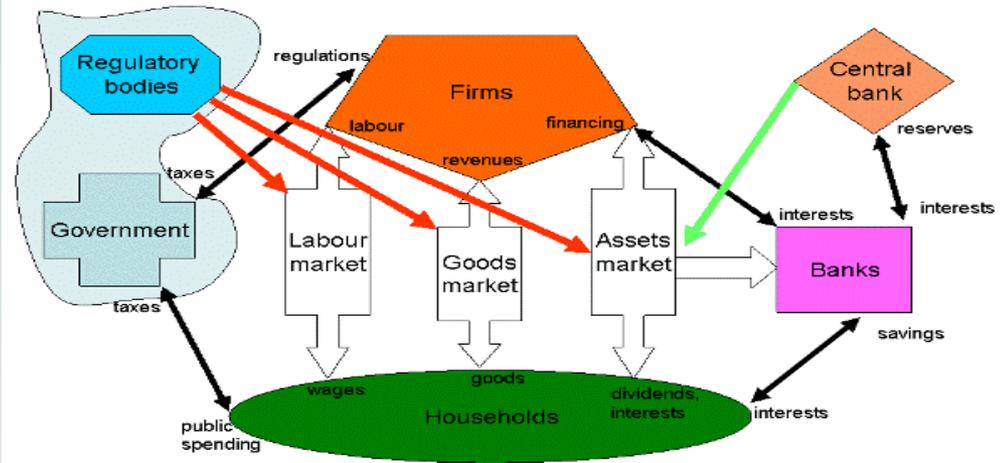
Источник: <https://www.top500.org>

- **прогнозирование развития социально-экономических систем – стран, регионов, городов** (примеры: проекты EURACE и FuturICT);
- **воспроизведение исторических событий** (примеры: 1) исследование гоминидов (Университет Цюриха); 2) средневековые военные походы - похода византийской армии на Манцикерт, 1071 г. н.э. (Школа информатики Бирмингемского университета));
- **моделирование миграционных процессов** (примеры: проекты Pandora; EURACE и FuturICT);
- **моделирование распространения эпидемий** (примеры: 1) Центр социальной и экономической динамики Брукингского института - Глобальная Агентная Модель пандемии (Global-Scale Agent Model (GSAM)); 2) Институт биоинформатики Вирджинии – проект EpiFast);
- **моделирование транспортных систем** (примеры: 1) транспортный симулятор X10 от Токийской лаборатории компании IBM; 2) платформа POLARIS от Аргоннской национальной лаборатории);
- **имитация и оптимизация пешеходного движения** (пример: проект Университета Шеффилда);
- **предсказание политических событий на основе сканирования новостей** (пример: анализ контекстного содержания статей в Центре вычислительных наук университета Теннесси);
- **прогнозирование экологического состояния окружающей среды и т.д.** (примеры: EURACE; FuturICT; оценка Сценария национального планирования # 1 – плана федерального правительства Соединенных Штатов на ядерную атаку (National Planning Scenario 1 (NPS1)).

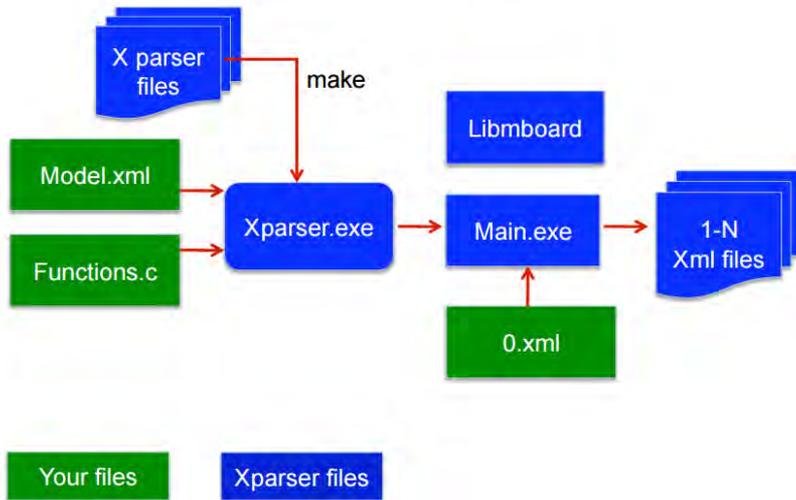
Опыт запуска агент-ориентированных моделей на суперкомпьютерах

Наиболее известные примеры

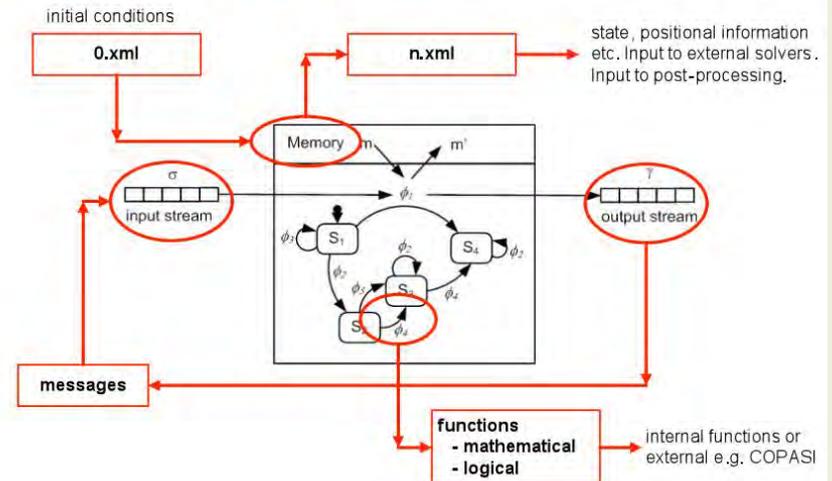
EURACE



FLAME Block Diagram



The X-machine



Полномасштабная распределенная агент-ориентированная модель эпидемий

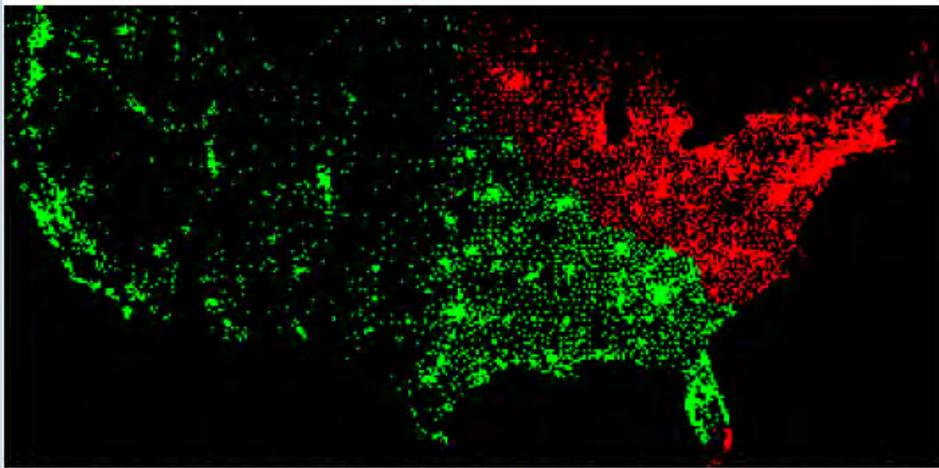


Figure 1: The quasi-optimal distribution of agents between two nodes.

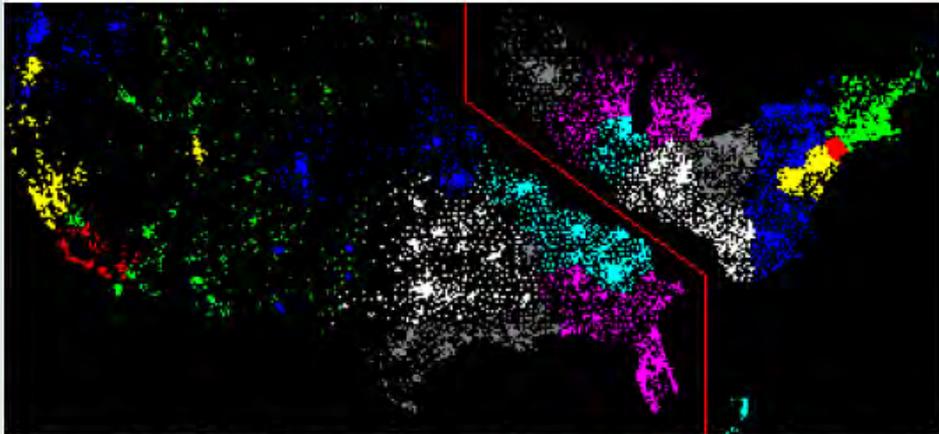


Figure 2: This figure shows the same distribution as in Figure 1 except the colors represent the distribution between the thread of each node.



Parker Jon (2007): A Flexible, Large-Scale, Distributed Agent Based Epidemic Model. Center on Social and Economic Dynamics, Working Paper No. 52.

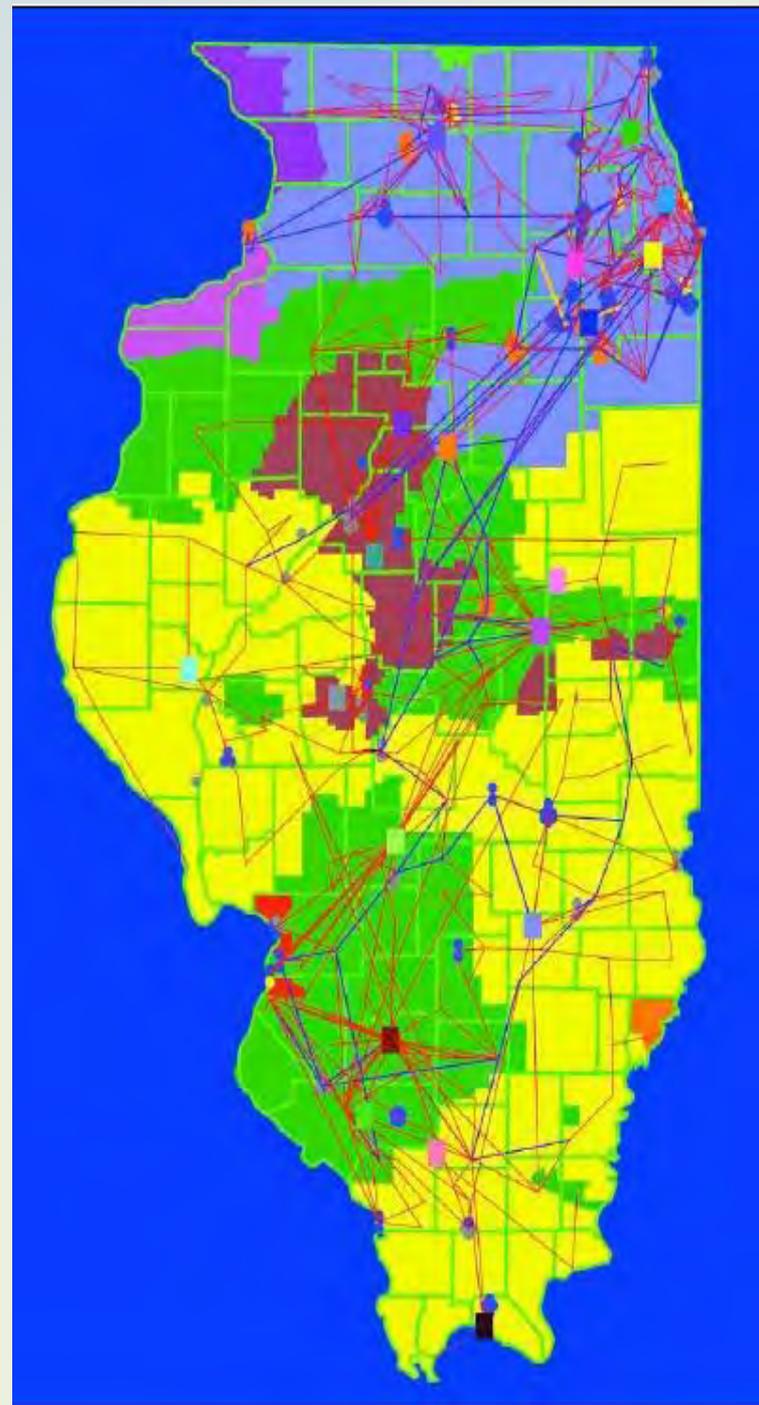
Агент-ориентированные модели для систем с эксафлопной производительностью



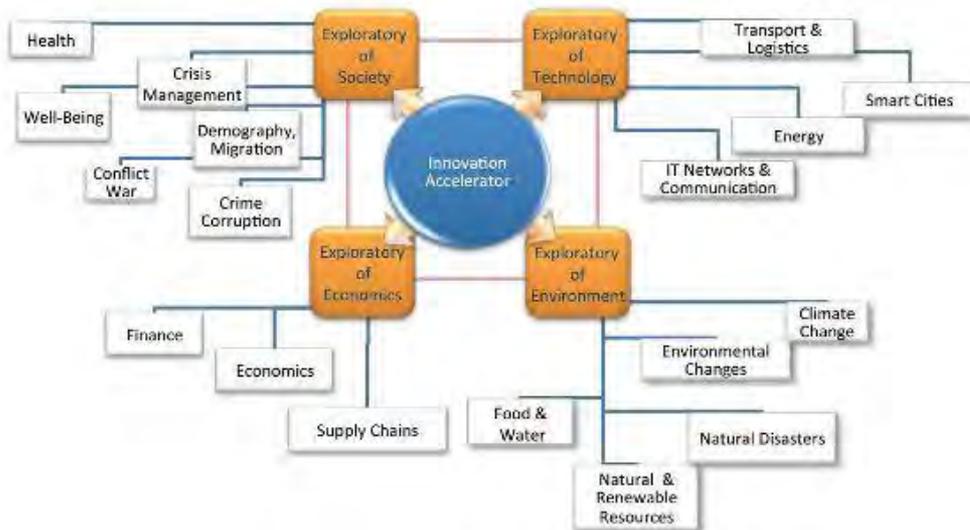
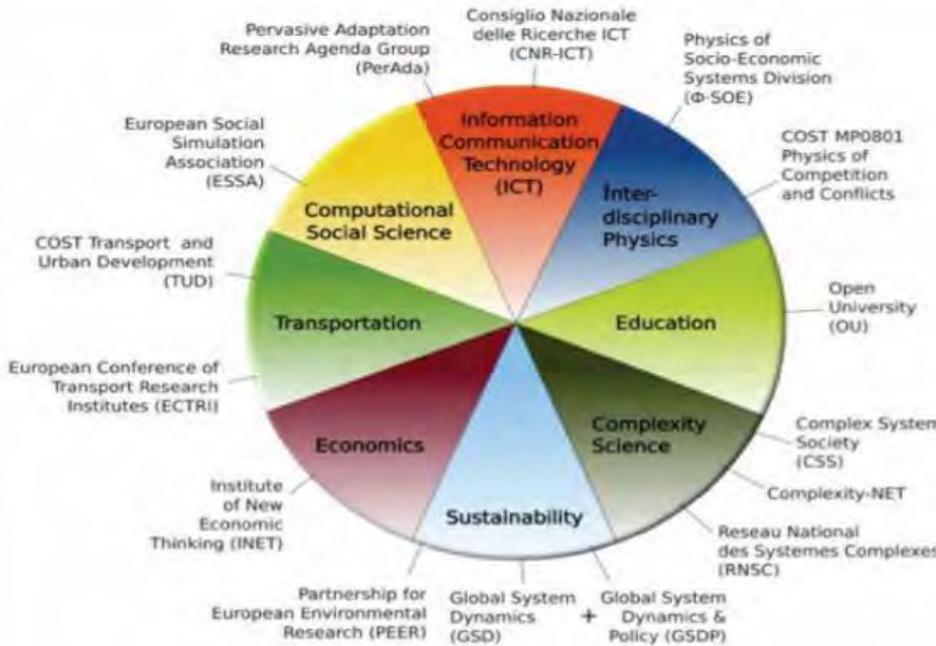
Argonne National Laboratory

<http://www.dis.anl.gov/exp/cas/index.html>

<http://www.alcf.anl.gov/>



FuturICT



www.futurict.eu

Известное ПО для распараллеливания АМ

- Microsoft AXUM
- RepastHPC
- CyberGIS
- MUSE (Miami University Simulation Environment)
- Pandora
- SWAGES
- HPABM (A Hierarchical Parallel Simulation Framework for Spatially-explicit Agent-based Models)



Среда проектирования агентных моделей для суперкомпьютеров — RepastHPC



```
src/Demo_01_Model.cpp  src/Demo_01_Agent.cpp  include/Demo_01_Agent.h  include/Demo_01_Model.h

emoAgent(repast::AgentId id);
emoAgent(repast::AgentId id, double newC, double newTotal);
DemoAgent();

/* Getters */
repast::AgentId& getId(){ return id; }
const repast::AgentId& getId() const { return id; }

/* specific to this kind of Agent */
C(){ return c; }
Total(){ return total; }

/* Setter */
void set(int currentRank, double newC, double newTotal);

/* Actions */
bool cooperate();
void play(repast::SharedContext* context); // Will indicate whether the agent cooperates or not, probability determined by = c
};

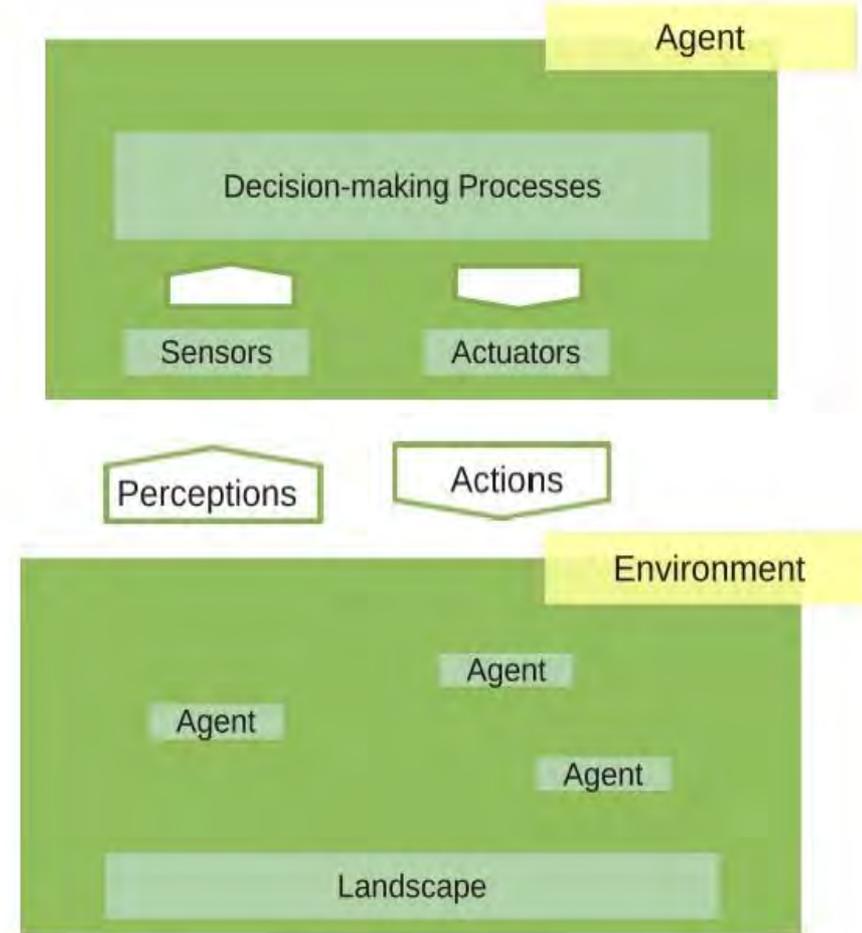
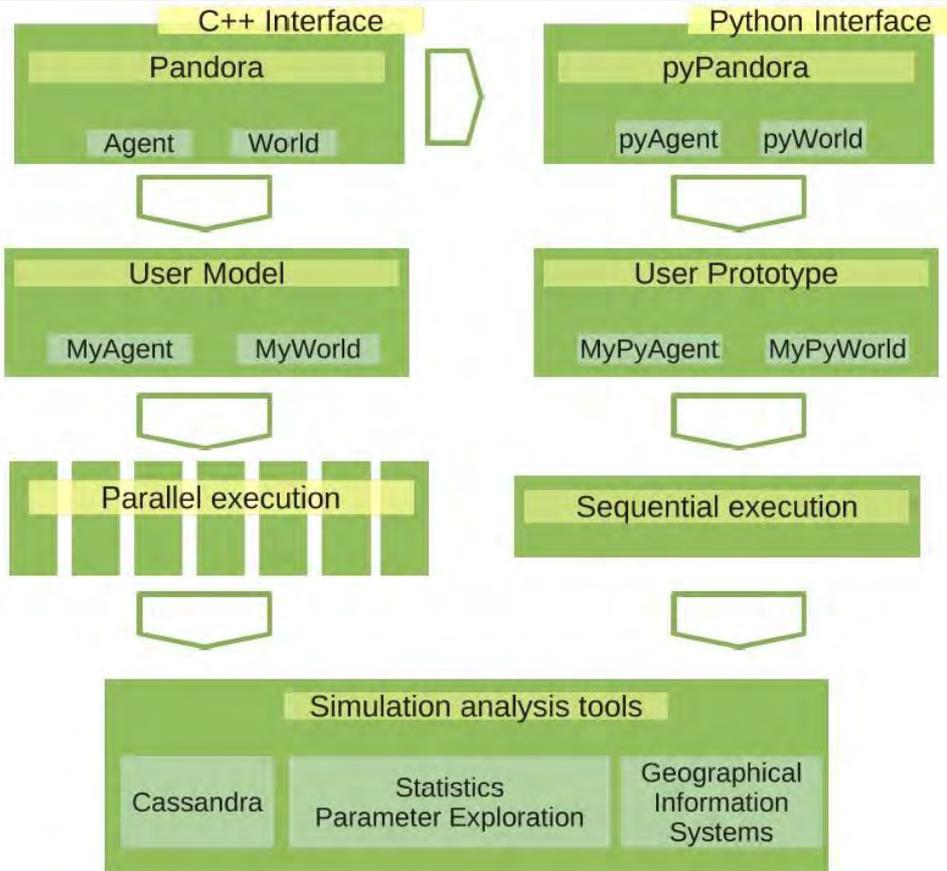
#endif
```

Logs & others

File	Line	Message
/home/repasthpc/D...	38	error: 'repast::SharedContext' is not a type
/home/repasthpc/D...	22	error: variable or field 'play' declared void
/home/repasthpc/D...	22	error: missing template arguments before '**' token
/home/repasthpc/D...	22	error: 'context' was not declared in this scope
== Build finished: 4 errors, 0 warnings ==		

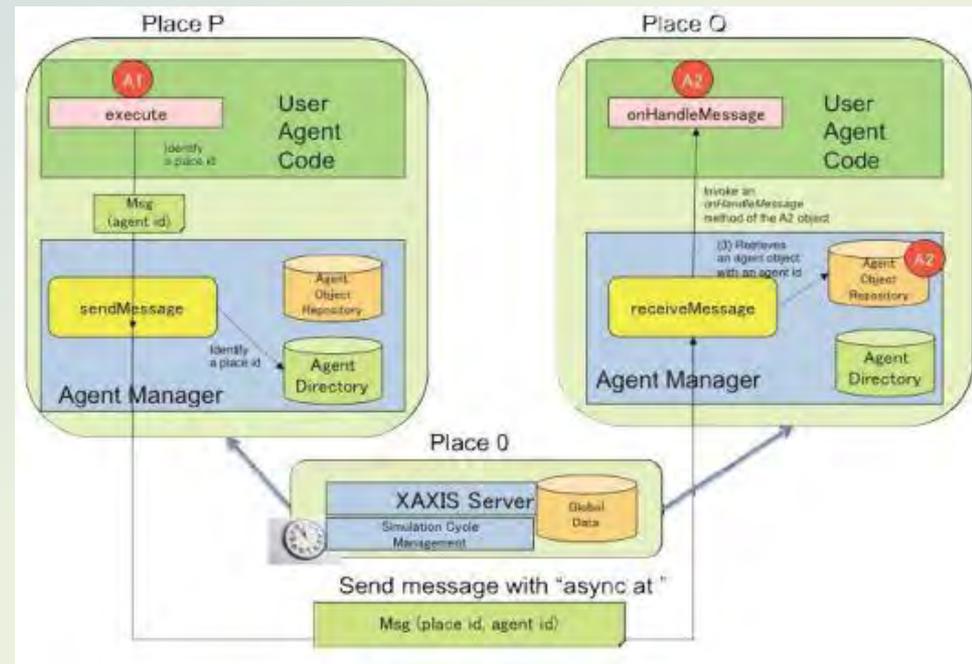
http://repast.sourceforge.net/repast_hpc.php

Пандора – высокопроизводительное программное обеспечение для построения агент-ориентированных моделей



Wittek P., Rubio-Campillo X. (2012): Scalable agent-based modelling with cloud HPC resources for social simulations. IEEE 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), December 3-6, Taipei, Taiwan.

Параллельный, крупномасштабный симулятор транспортных потоков с использованием агент-ориентированного подхода и языка X10

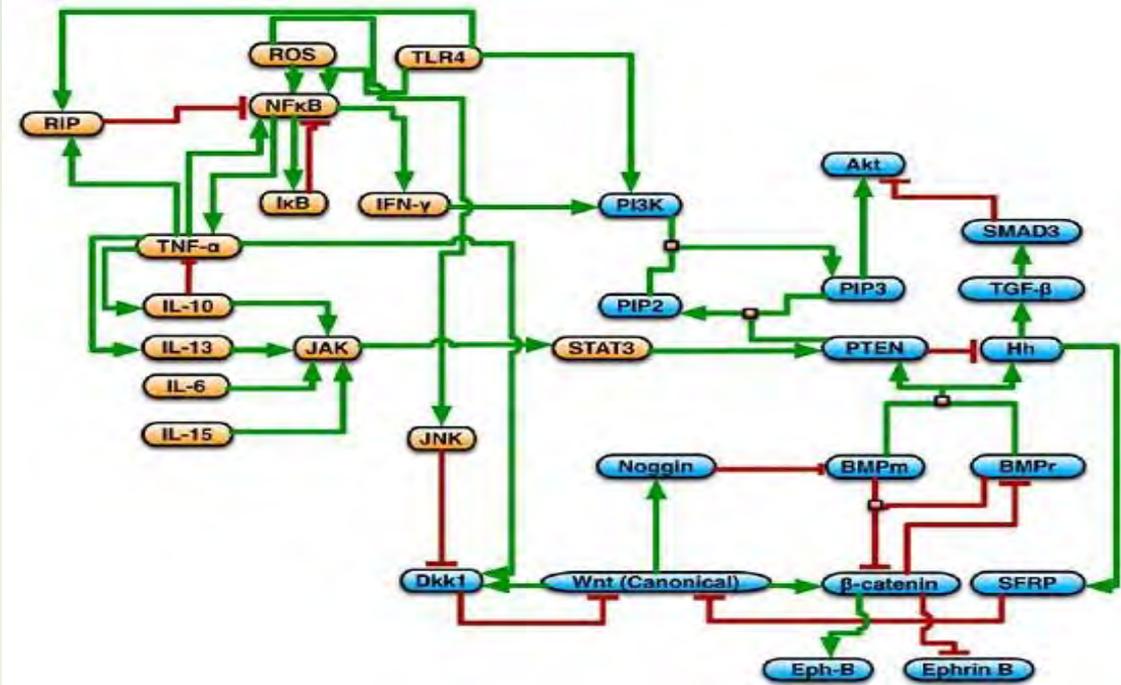
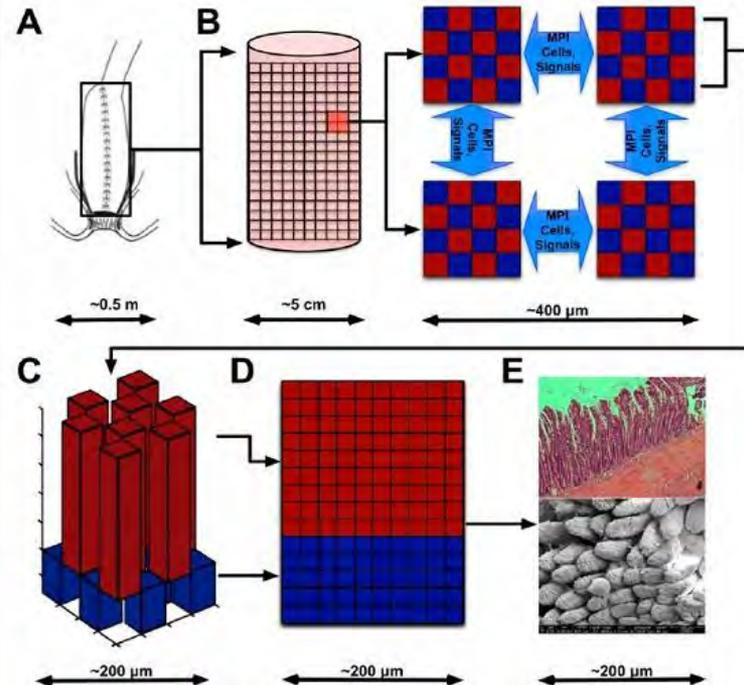


Специалисты исследовательской лаборатории компании IBM в г. Токио совместно с учеными Токийского технологического института разработали платформу для построения крупномасштабных симуляторов транспортных потоков с использованием нового языка для параллельного программирования X10.

В Чикагском университете была разработана модель эпителия кишечника с использованием агент-ориентированного подхода и параллельных вычислений, позволяющая имитировать процесс воспаления подвздошной кишки в случае язвенного колита. Хотя это исследование напрямую не относится к общественным наукам, однако, разработанное высокопроизводительное программное обеспечение может быть использовано для реализации агентных моделей в других областях.

По мнению ученых, использование агентного подхода как нельзя лучше подходит для отображения деятельности миллиардов клеток, содержащих ДНК и РНК, но с другой стороны обработка такого массива информации требует использования суперкомпьютеров и в этой связи исследователями была разработана пространственная модель общего назначения для исследования кишечной ткани (Spatially Explicit General-purpose Model of Enteric Tissue (SEGMEnt)).

Если моделировать работу клеток всего организма с учетом развития различных заболеваний, то исследовательская группа увязывает эту возможность с появлением суперкомпьютеров эксафлопсной производительностью, причем теоретически SEGMEnt к этому уже готова.



Общие недостатки

- ❑ Все эти пакеты изначально разрабатывались не как средства разработки приложений широкого спектра, а как программы для решения специфических задач и в этой связи имеют естественные ограничения.
- ❑ Отсутствие средств визуализации (даже у Repast это решетка, а Pandora – пока еще плохо настроенный конвертер в ГИС)

Адаптация АОМ для суперкомпьютеров

Совместно со специалистами суперкомпьютерного центра МГУ (*В.А. Васенин, В.А. Роганов, В.А. Борисов, И.А. Трифонов*) демографическая АОМ (*В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко*) была переписана для запуска на суперкомпьютере «Ломоносов», что позволило увеличить число агентов с **20 тыс.** до **100 млн.**, а также на порядок повысить скорость расчетов.



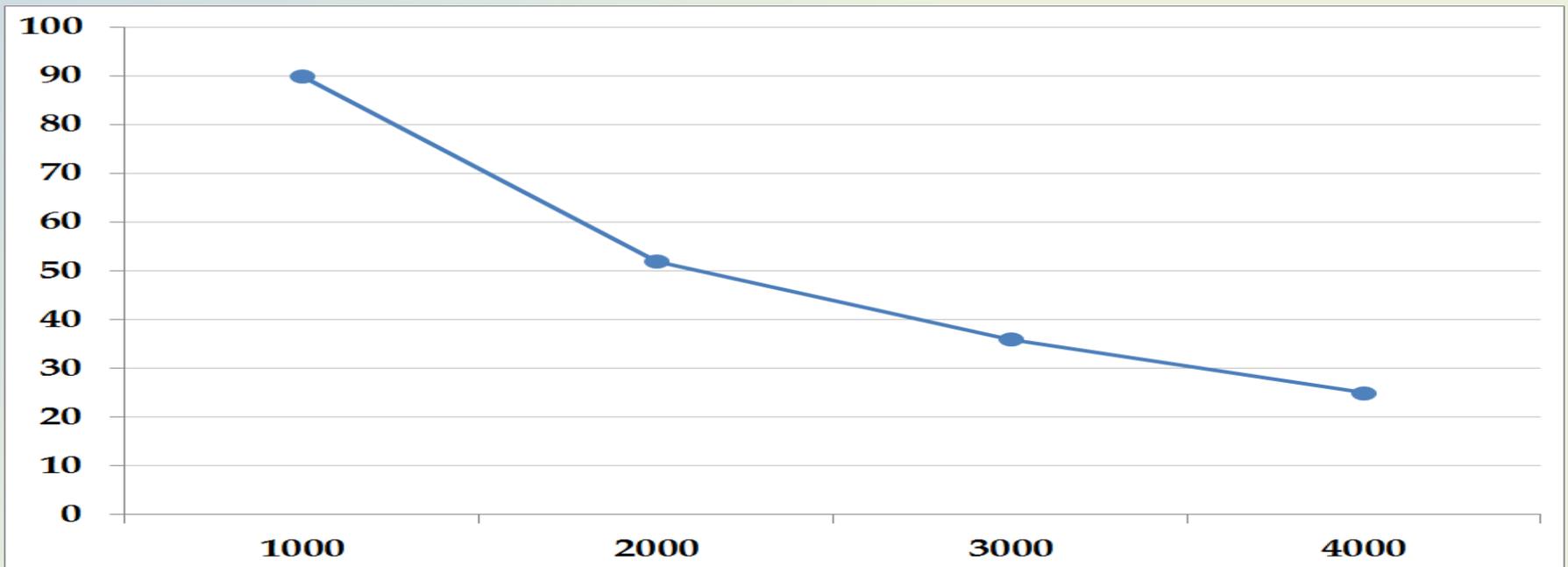
Конвертация модели в суперкомпьютерную программу

Модель, отработанная на **AnyLogic**



Конвертируется код **XML** в код **C++** программы, вычисляющей эту модель.

При этом выделяется **2 основные стадии** трансляции (генерация параметров, генерация классов).



(X – количество процессоров, Y – время в секундах)



С вычислительной точки зрения модель должна эффективно масштабироваться до **10⁹ агентов**. Чтобы проводить симуляцию такой системы программа должна быть адаптирована к запуску на современных суперкомпьютерах.

В качестве платформы для проведения расчётов мы использовали комбинацию базового уровня, написанного с использованием низкоуровневого языка **C++** и библиотеки **MPI (Message Passing Interface)**, предоставляемой системой, и платформы **Microsoft .NET** в качестве среды исполнения основного кода модели, написанного на высокоуровневом языке **C#**.

Для балансировки нагрузки между процессами используются алгоритмы **METIS / ParMETIS**, которые обычно используются для декомпозиции больших графов (**до 10⁹**), расчётных сеток и матриц.

Численные эксперименты

Для того, чтобы оценить влияние параметров модели на параллельную масштабируемость и эффективность были проведены численные эксперименты. Для каждого набора значений параметров модели проводилось несколько расчётов и осреднение результатов.

Результаты численных экспериментов

Для изучения параллельной эффективности программы использовался следующий набор параметров:

$N = 10\,000\,000$ (число агентов)

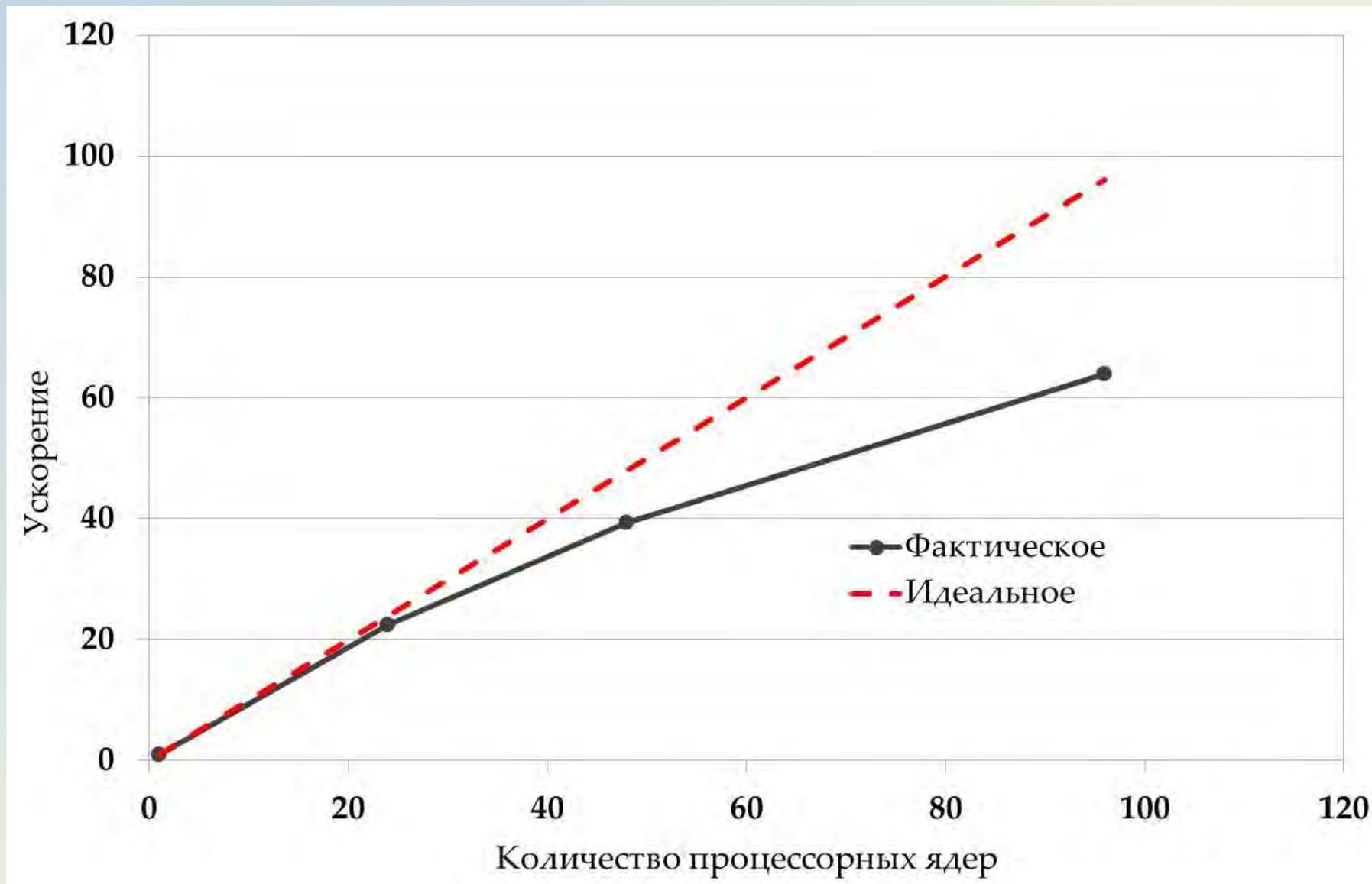
$S = 200\,000$ (число агентов, отправляющих сообщения на каждом шаге моделирования)

$I = 10$ (максимальное количество сообщений для одного агента на каждом шаге)

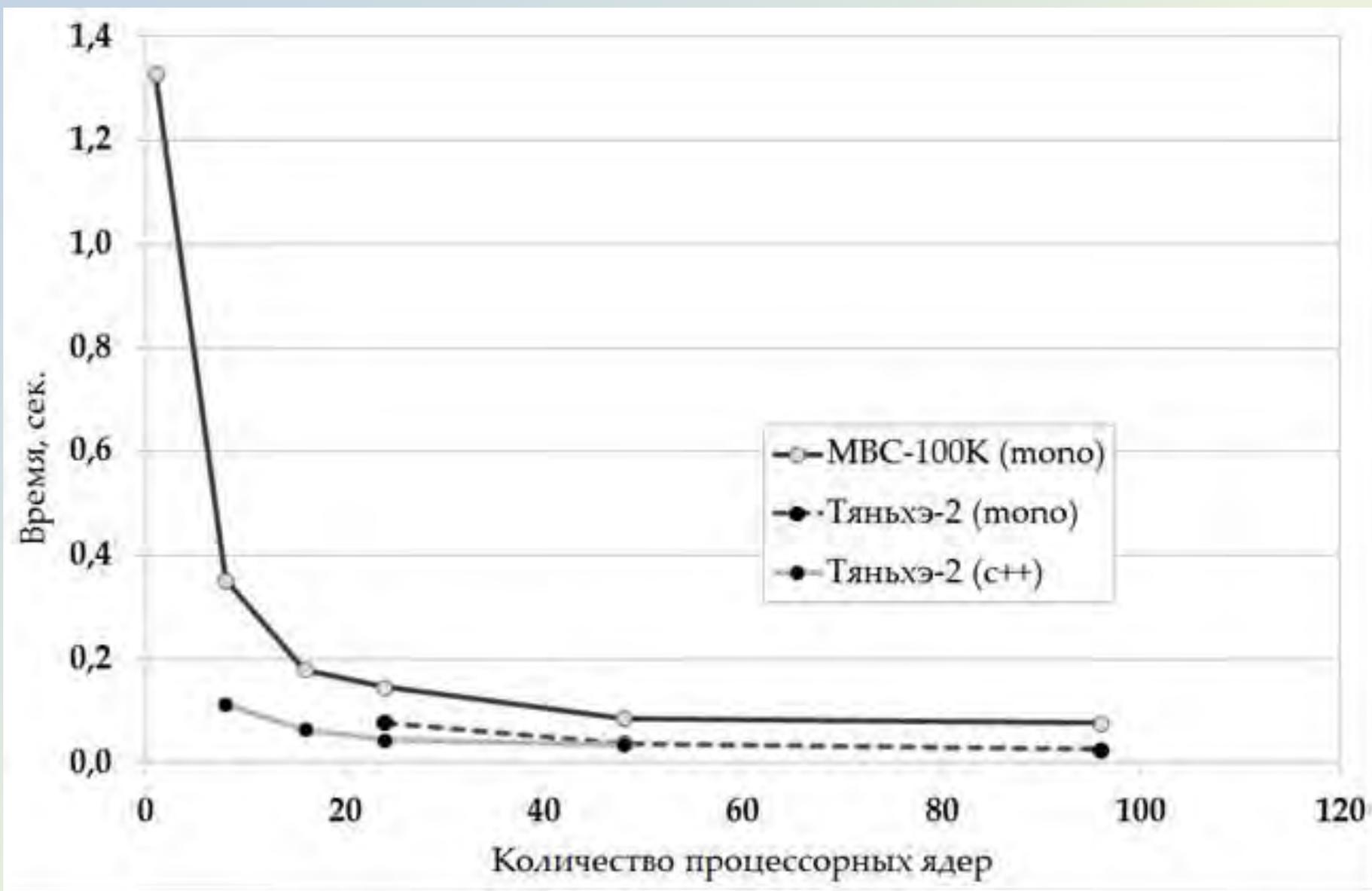
$T = 3\,000$ (число шагов моделирования)

Моделирование проводилось для числа MPI-процессов $M = 1, 2, 4, 8, 9, 6$. Запуски с разным числом MPI-процессоров сравнивались в терминах параллельного ускорения (отношение общего времени вычисления для параллельных и последовательных случаев)

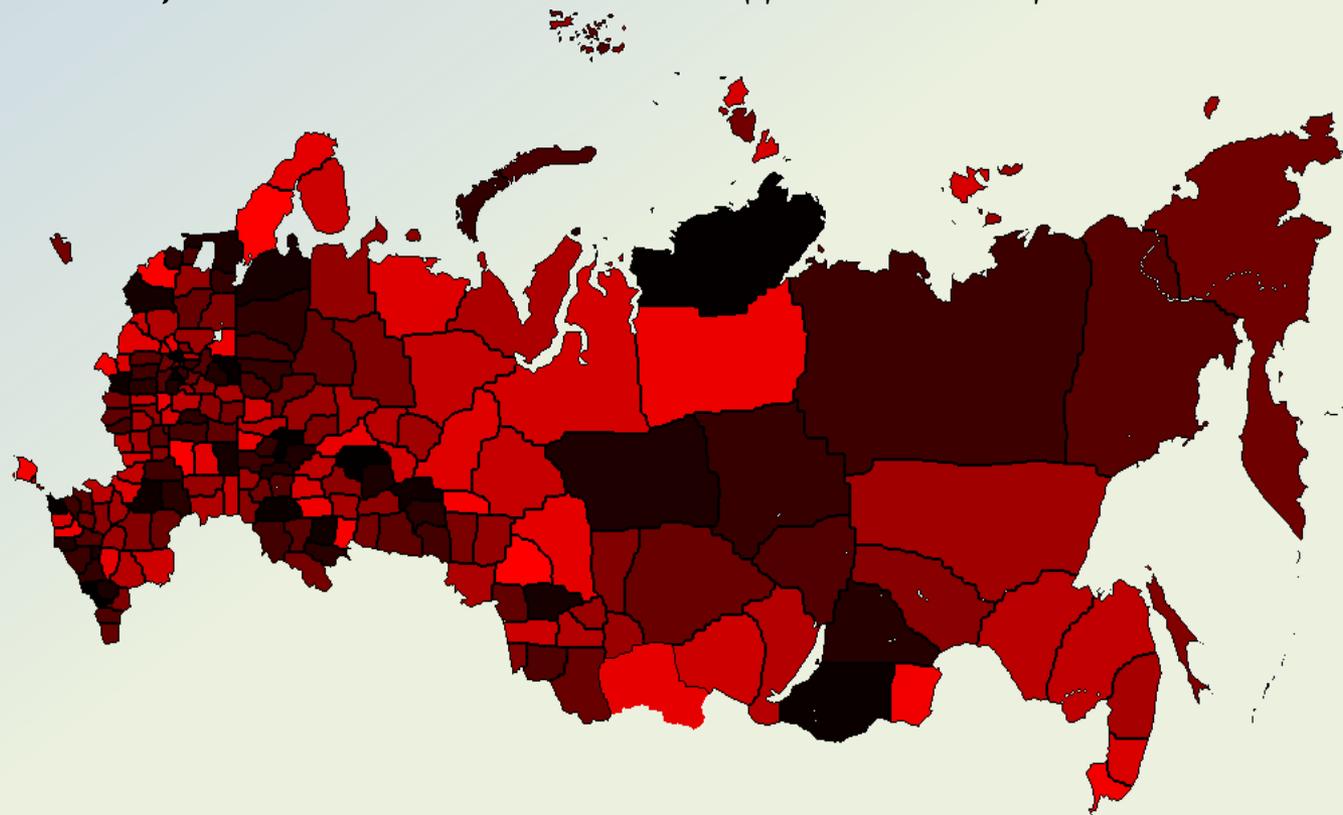
Зависимость ускорения от числа ядер процессора. Увеличение числа ядер процессора приводит к почти линейному ускорению вычислений. Использование **96 ядер** приводит к ускорению вычислений **в 60 раз**, что означает **65%** эффективность использования кластера.



Время расчета итерации двух версий агентной модели для различных кластеров, в секундах



На рисунке показано распределение расчетной сетки по 192 процессорам, построенное с учётом плотности населения. В построенном распределении среднее число агентов, приходящихся на один процессор, было равно 772000. Численность агентов, приходящихся на один процессор варьировалась в диапазоне от 743711 до 787266, т.е. разброс числа агентов на одном процессоре составлял ~6% от среднего значения. Расчёт одного шага в данной симуляции занимал примерно 70 секунд. В дальнейшем, разброс числа агентов может быть снижен за счёт использования более мелкой расчётной сетки, что повысит точность декомпозиции.



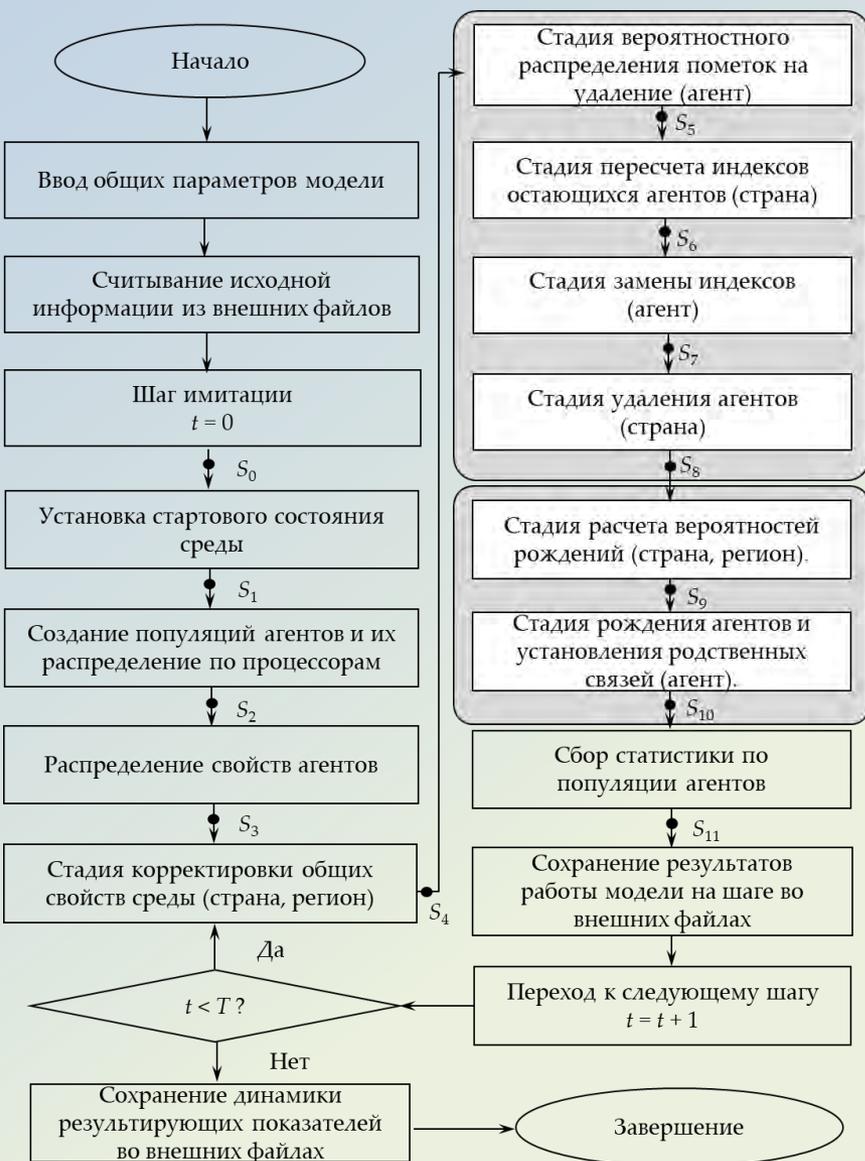
Декомпозиция расчётной сетки на 192 процессора с учётом плотности населения

Система проектирования «МЁБИУС-суперкомпьютер» (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко, Г.Б. Сушко)

Система МЁБИУС-суперкомпьютер имеет следующие отличительные **особенности**:

- 1.** Она организована не как библиотека (подобно таким системам проектирования АОМ как RepastHPC), а как базовый блок, ядро, для которого реализованы все основные функции, включая автоматическое распределение выполняемого кода, балансировки вычислительной нагрузки, связи и синхронизации. Ядро содержит также механизмы, обеспечивающие добавление новых блоков по мере их разработки.
- 2.** Архитектура системы двухуровневая – модули, отвечающие за процедуры распараллеливания, балансировки нагрузки и обмена сообщениями между агентами реализованы на языке C++ и отделены от модулей, предназначенных для имитации социально-экономических процессов. Последние для облегчения процесса разработки АОМ могут быть реализованы на языке высокого уровня C#. Такой подход аналогичен концепции системы проектирования АОМ Care HPS.
- 3.** Система поддерживает привязку агентов к месту жительства на территории моделируемого региона (страны), осуществляемую автоматически в соответствии с исходными данными о численности агентов и их распределении по отдельным территориям, а также информацией о геометрии территорий, получаемой из карты региона в растровом формате.
- 4.** Система поддерживает социальные связи агентов, которые реализуются через обмен сообщениями между ними, а также исчезновение агентов и появление новых в течение симуляции.
- 5.** Результаты работы модели сохраняются во внешних файлах формата .csv и могут использоваться для последующей статистической обработки и визуализации.

Обобщенная схема организации работы масштабируемой АОМ. Крупными точками S_0, \dots, S_{11} обозначены точки синхронизации, а T – заданное число шагов имитации.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020612410

Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети

Правообладатели: *Бахтизин Альберт Рауфович (RU), Макаров Валерий Леонидович (RU), Сушко Елена Давидовна (RU), Сушко Геннадий Борисович (RU)*

Авторы: *Бахтизин Альберт Рауфович (RU), Макаров Валерий Леонидович (RU), Сушко Елена Давидовна (RU), Сушко Геннадий Борисович (RU)*

Заявка № 2020611366

Дата поступления 06 февраля 2020 г.

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 20 февраля 2020 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Релевант Г.П. Ивлиев

Анализ эффективности распараллеливания

Оценка ускорения параллельных вычислений в зависимости от количества используемых процессоров на суперкомпьютере «Ломоносов - 2» для двух и восьми миллионов агентов: усредненные значения по множеству прогонов при постоянных значениях смертности и фертильности

Число процессоров	Время компьютерной симуляции для 2 млн. агентов, в секундах	Ускорение параллельных вычислений для 2 млн. агентов, в разах	Время компьютерной симуляции для 8 млн. агентов, в секундах	Ускорение параллельных вычислений для 8 млн. агентов, в разах
1	3,029	1,00	17,211	1,00
2	2,016	1,50	11,064	1,55
4	0,948	3,19	7,053	2,44
8	0,625	4,84	5,215	3,30
16	0,653	4,64	2,962	5,81
24	0,499	6,07	2,245	7,66
32	0,476	6,35	1,019	16,88
48	0,383	7,90	1,395	12,33

Сопоставление полученных результатов с теоретически достижимым уровнем ускорения (в соответствии с законом Амдала) показывает, что снижение эффективности сопоставимо со сценариями, при которых доля последовательных вычислений составляет **10%** (для **двух миллионов агентов**) и **5%** (для **восьми миллионов агентов**).

Прогоны осуществлялись также на ресурсах национального суперкомпьютерного центра КНР (суперкомпьютер «Млечный путь-2») для проверки переносимости программного пакета. Абсолютное значение времени симуляции за счет более новых процессоров в этом случае было меньше, однако кривые ускорения остались такими же.

Агент-ориентированная модель трудовой миграции из Китая в Россию

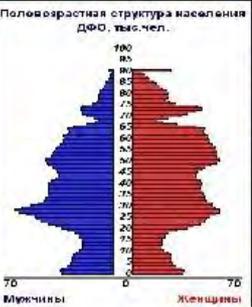
St.Petersburg : Simulation - AnyLogic Professional

корневой:Main

Агент-ориентированная модель приграничного взаимодействия России и Китая

2018 год

Российская Федерация Дальневосточный федеральный округ



Численность населения, млн. чел. **6,3**

Среднемесячная заработная плата, тыс. руб. **25,8**

Уровень безработицы, %
min **4,5**
max **9,5**



Восточно-Сибирское море
Море Лаптевых
Чукотский автономный округ
Берингово море
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)
МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ
КАМЧАТКИЙ КРАЙ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ
Охотское море
Хабаровск
Хэйлунцзян
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ
АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ
ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ
ИМЕНИНСКИЙ КРАЙ
КИТАЙ
Нерпиковское море

Управляемые параметры

Суммарный коэффициент рождаемости

Россия 0.5 1.7 5

Китай 0.5 0.9 5

Курс китайского юаня, руб. за 10 юаней: **44.2**

Миграционная политика
Выбор субъекта РФ
Приморский край

Квотирование по видам деятельности

Торговля

Строительство

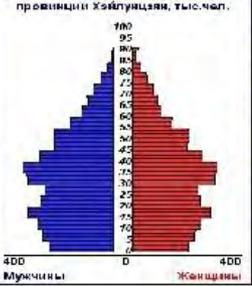
Сельское хозяйство

Промышленность

Избирательность по уровню квалификации работников
 Квалифицированные

Продолжить имитацию

Китайская Народная Республика Провинция Хэйлунцзян



Численность населения, млн. чел. **38.2**

Среднемесячная заработная плата, тыс. юаней **2.1**
в тыс. руб. по курсу **9.1**

Уровень безработицы, %
min **4.0**
max **20.0**

МОНГОЛИЯ

Прогон: 0 ▶ Выполняется | Время: 12.80 | Прогон: Время остановки не задано | Дата: 14.10.2029 5:43:18 | Память: 152M из 910M

Концепция разработанной в ЦЭМИ РАН АОМ трудовой миграции из Китая в Россию опирается на максимально приближенную к реальности имитацию поведения людей исходя из их внутренних установок, обуславливающих выбор агентами-людьми территории - места жительства.

Ключевые особенности модели

Забайкальский край

Дальний Восток



Китай



1

Колоссальная разница в **численности населения** приграничных территорий. Так, численность населения двух провинций и автономного округа Китая более чем в **15 раз** превышает общую численность граничащих с ними российских регионов **Дальнего Востока и Забайкалья**

Ключевые особенности модели

2

Отличия в репродуктивных стратегиях жителей двух стран. В Китае эта сфера жестко регулируется государством, ограничивающем число детей в семье (причем, для сельского населения ограничения менее жесткие, чем для городского)

3

Значительная разница в уровне жизни между сельским и городским населением Китая (доходы городского населения превышают доходы сельских жителей в **3,3 раза**), а также в уровне безработицы в городе (**около 4%**) и на селе (по оценкам специалистов **порядка 20%**);

4

Китайцы сохраняют этническую и гражданскую идентичность, поэтому при выборе цели миграции предпочитают регионы внутри страны, если там есть работа, соответствующая уровню их запросов

5

Практически все китайские мигранты имеют образование не ниже средней школы первой ступени, а пятая часть — даже высшее

Ключевые особенности модели

6

Социально-демографический состав китайских мигрантов в России характеризуется явным преобладанием мужчин над женщинами, а также доминированием людей молодых и средних возрастов (максимальная доля мигрантов приходится на возрастные группы от **26 до 30 лет** и от **31 до 35 лет**)

7

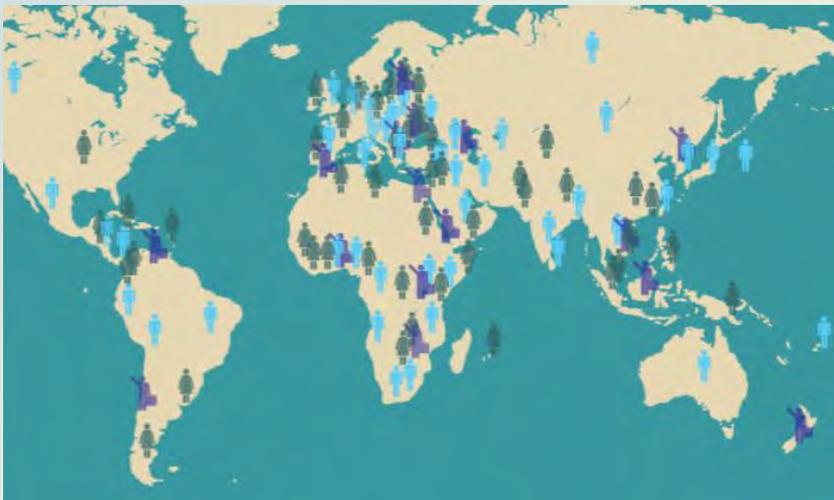
Виды деятельности, в которых заняты мигранты: некоторые отрасли промышленности (швейная, обувная и т.п.), строительство и сельское хозяйство (в сумме примерно **20% от общей численности**), сфера оказания посреднических услуг своим же соотечественникам (**около 10%**), большинство же занято в торговле

8

Информацию, необходимую для переезда и устройства в России, будущие мигранты получают, в основном, через неофициальные каналы – рассказы родственников, знакомых, интернет-сайты

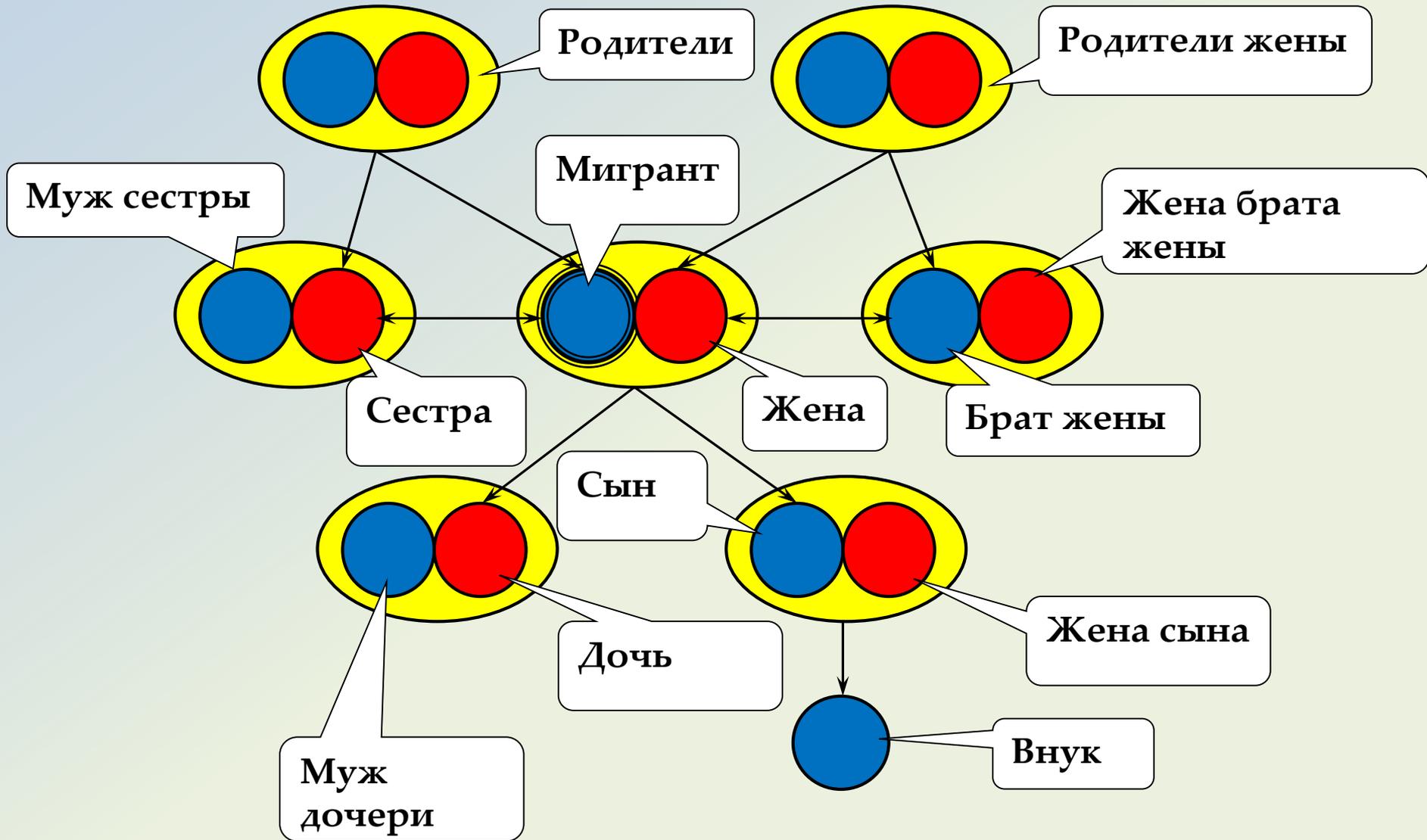
В модели рассматривается именно трудовая миграция китайских граждан в Россию, то есть, речь идет о той категории мигрантов, которую китайцы называют **«Хуацяо»** (китайский гражданин, постоянно проживающий за границей), без выделения в особую группу мигрантов, которые приняли российское гражданство.

Такой подход в первом приближении оправдан, когда мы рассматриваем китайскую миграцию в Россию, так как в нашей стране доля китайских мигрантов, сменивших гражданство, крайне мала.



При построении системы социальных связей агентов мы опирались на принятое в Китае выделение категории граждан, проживающих в Китае и являющихся ближайшими родственниками эмигрантов. К этой категории относятся: супруг(а), родители обоих супругов, супруги детей, братья и сестры супругов.

Пример родственных связей агента-мигранта

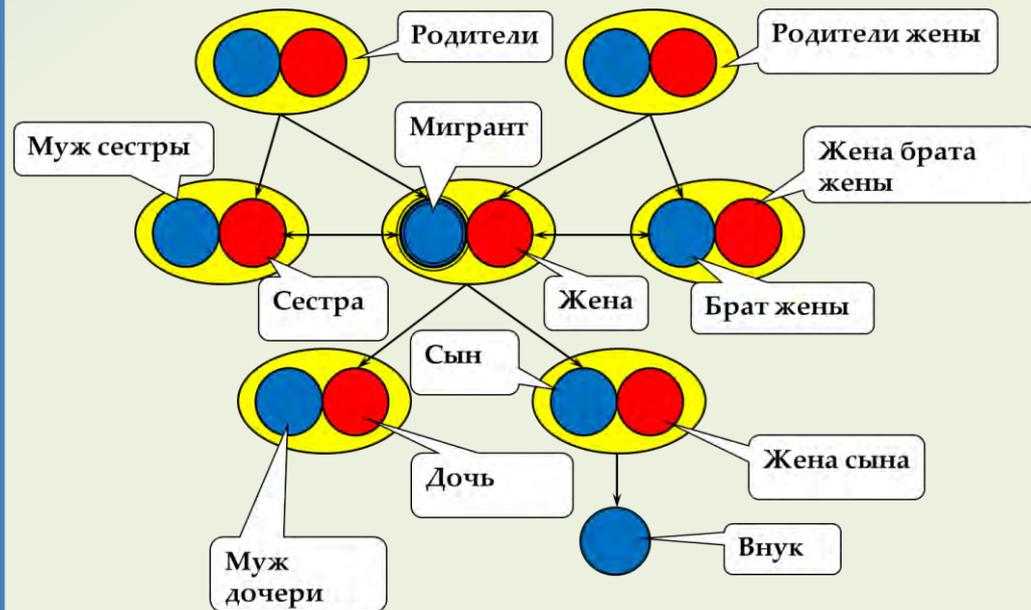


Под уровнем притязаний понимается набор характеристик желательной для агента позиции на рынке труда:

- а) статус работника (характер труда);
- б) вид деятельности;
- в) заработная плата

Для имитации поведения агентов принципиальным полагается их деление на группы работников разной квалификации. Так, от уровня квалификации агента зависят не только его фактический заработок и шансы на трудоустройство, но и сама его осведомленность о таких возможностях.

Например, рисунок дает наглядное представление о том, что каждый китайский мигрант может служить источником информации об условиях своей жизни и работы в России для достаточно широкого круга своих родственников, живущих в Китае. Однако доля китайцев, работающих в России, крайне мала относительно общей численности населения Китая, значит, и информацию из подобных источников может почерпнуть только малая часть населения.



Агенты в модели живут и работают на территории регионов в городах или в сельской местности, а регионы, в свою очередь, принадлежат странам. Наибольшая доля иммигрантов из КНР приезжает в Россию из приграничных северо-восточных провинций:

Хэйлунцзян

Ляонин

Цзилинь

**Внутренняя
Монголия**



Расселяются они в приграничных субъектах РФ, входящих в ДФО. Поэтому в прототипе модели в качестве объекта моделирования со стороны Китая была выбрана провинция Хэйлунцзян, а со стороны России – ДФО в целом. Для построения и калибровки модели использовались данные Росстата и Национального бюро статистики Китая (<http://www.stats.gov.cn/english/>).

При объектно-ориентированном подходе объекты реального мира заменяются их моделями, то есть определенными формальными конструкциями («классами»), представляющими их в программной системе. Таким образом, основой архитектуры модели служит следующая система программных классов:

Класс стран (Россия и Китай)

Характеристики:

- 1) курс национальной валюты;
- 2) ВВП;
- 3) численность постоянного населения и его половозрастная структура;
- 4) ВВП на душу населения;
- 5) доля людей с высшим образованием среди взрослого населения;
- 6) численность сельского и городского населения;
- 7) уровень безработицы среди сельского и городского населения;
- 8) средняя заработная плата по видам деятельности;
- 9) коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту;
- 10) суммарные коэффициенты рождаемости или правила ее регулирования для сельского и городского населения



Класс содержит также список (коллекцию) регионов, расположенных на территории страны (в прототипе модели речь идет об одном регионе для каждой из стран).

Класс регионов

Характеристики:

- 1) страна, к которой принадлежит регион;
- 2) ВРП;
- 3) численность постоянного населения и его половозрастная структура;
- 4) ВРП на душу населения;
- 5) численность сельского и городского населения;
- 6) уровень безработицы среди сельского и городского населения;
- 7) численность занятых по видам деятельности;
- 8) средняя заработная плата по видам деятельности;
- 9) численность мигрантов и их половозрастная структура.

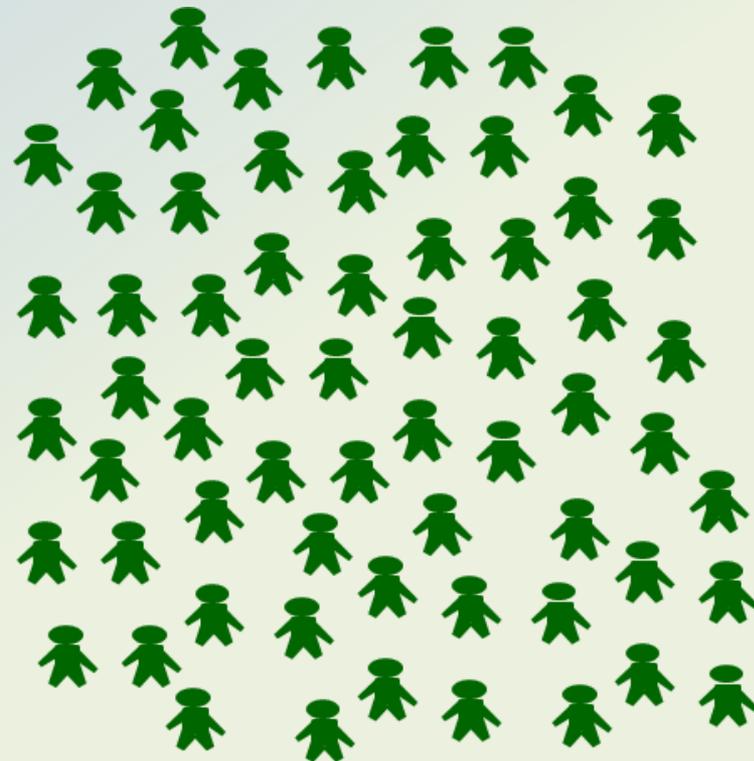
Класс содержит популяцию агентов-людей – его жителей, а также коллекцию из восьми объектов-видов деятельности, которые представляют отрасли на его территории.



Класс агентов-людей (100 000 агентов)

Характеристики:

- 1) гражданство;
- 2) регион – место жительства;
- 3) регион – место рождения;
- 4) социальная категория (сельский или городской житель);
- 5) социальная категория при рождении;
- 6) пол;
- 7) возраст;
- 8) желаемое число детей в семье;
- 9) фактическое число детей;
- 10) родственные связи (коллекции ближайших родственников: родители, братья и сестры, супруг, дети);
- 11) уровень образования;
- 12) вид деятельности;
- 13) статус работника (неквалифицированный работник, квалифицированный и высококвалифицированный);
- 14) заработная плата;
- 15) текущий уровень притязаний;
- 16) признак готовности к миграции.



Класс содержит также методы:

- 1) метод, осуществляющий поиск партнера и рождение ребенка;
- 2) метод, осуществляющий сбор информации;
- 3) метод, определяющий уровень притязаний;
- 4) метод, реализующий миграцию.

Класс видов деятельности (сельское хозяйство, промышленность, добывающие отрасли, строительство, торговля, услуги, наука и технологии, управление)

Характеристики:

- 1) распределение работников по уровню квалификации;
- 2) коэффициенты дифференциации заработной платы для работников разного уровня квалификации

Общее управление работой модели осуществляет **главный класс**. Он обеспечивает **ввод** исходной информации; **создание** популяции агентов и экземпляров других классов модели заданной численности (при создании каждый экземпляр класса получает индивидуальный номер)

Он также определяет **установку** начального состояния системы, соответствующего базовому году имитации; **отображение** состояния популяции агентов и других обобщающих показателей МАС на экране; **организацию диалога** с пользователем; **организацию процесса имитации** на каждом шаге

Отличительные черты поведения агентов с разным уровнем квалификации

	Группы агентов-работников по уровню квалификации		
	Высококвалифицированные	Квалифицированные	Работники с низким уровнем квалификации
Состав группы	Агенты с высшим образованием	1. α агентов без высшего образования, занятых в высокотехнологичных отраслях; 2. β агентов без высшего образования, занятых в остальных отраслях.	Все остальные взрослые агенты
Информация для принятия решения о поиске работы и ее источники	Полная информация об уровне заработной платы по видам деятельности и регионам обеих стран. Источник – накопленная в модели обобщающая информация	1. Информация об уровне заработной платы в своем виде деятельности по регионам обеих стран. Источник – накопленная в модели обобщающая информация 2. Информация об уровне заработной платы в России в отдельном виде деятельности. Источник – мигрант, входящий в ближайшее окружение агента	Информация об уровне заработной платы в России в отдельном виде деятельности. Источник – мигрант, входящий в ближайшее окружение агента
Уровень притязаний:			
Статус работника	Сохранить свой статус	Сохранить свой статус / понизить, если компенсируется заработком	Сохранить свой статус
Вид деятельности	Сохранить свой вид деятельности	Сохранить свой вид деятельности / сменить, если компенсируется заработком	Любой
Уровень заработка	Увеличить в δ_1 раз	Увеличить в δ_2 раз	Увеличить в δ_3 раз

Результаты апробации модели

Для оценки адекватности модели были проведены эксперименты при следующих исходных условиях:

- численность популяции агентов – **100 тысяч**;
- все агенты-мигранты – выходцы из провинции Хэйлунцзян, причем половина – из сельской местности;
- уровень безработицы для городских территорий провинции – **4%**, а для сельских – **20%**;
- условия рынка труда в ДФО показаны в таблице.

Распределение китайских мигрантов по видам деятельности и соотношение их среднемесячной заработной платы в ДФО и в провинции Хэйлунцзян

Отрасли	Доля занятых, %	Соотношение заработной платы при разных значениях курса юаня		
		6,264	9,74	10,466
Строительство	8,5	1,86	1,20	1,11
Промышленность	8,5	1,28	0,82	0,76
Сельское хозяйство	8,5	1,60	1,03	0,96
Торговля	59,5	1,84	1,18	1,10
Услуги своим соотечественникам	10,0	1,50	1,20	1,20
Научные исследования	5,0	3,75	3,75	3,75

Эксперимент. Варьирование курса валют

Целью эксперимента было оценить влияние снижения **курса рубля** по отношению к **юаню** на общие показатели трудовой миграции, а также ее структуру. Стартовое состояние системы воспроизводило ситуацию 2013 года, а затем имитировался переход к следующему году, и агенты-мигранты заново оценивали привлекательность своей трудовой деятельности в ДФО, а агенты-жители китайской провинции решали, становиться ли им мигрантами. Выходным параметром модели считалась численность агентов-мигрантов.

Для каждого значения **курса юаня** проводилась серия экспериментов, так как результат зависит от многих случайных величин (например, в модели случайным образом назначается вид деятельности агентам и устанавливаются их родственные связи).

Снижение **курса рубля** при неизменных показателях предложения на рынке труда в России и Китае снижало и привлекательность рабочих мест в России. Хотя для специалистов в модели было сделано исключение – их заработок фиксировался в **юанях** по базовому состоянию.

Эксперимент показал адекватную реакцию модели на изменения значений управляемого параметра. То есть, в ходе эксперимента наблюдалось ожидаемое снижение общего миграционного потока, которое не коснулось группы китайских специалистов, работающих в России.

Так, при курсе **9,74** происходило снижение общей численности агентов-мигрантов не менее чем на **10,9%** относительно базового варианта, а при курсе **10,466** – уже более чем на **25%**. Причем, в последнем случае мигрантами, в основном, становились безработные.

АОМ на GPU

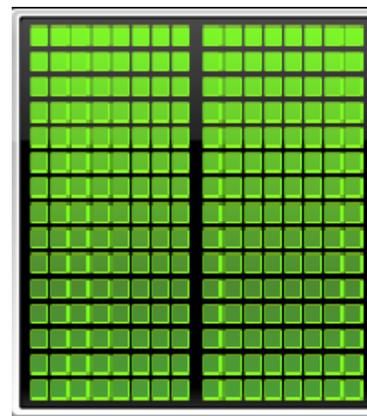
Для распараллеливания агентных моделей на суперкомпьютерах, построенных с использованием графических процессоров (graphics processing unit, GPU) вместо обычных центральных процессоров (central processing unit, CPU). Напомним, что для графических процессоров компания NVIDIA разработала специальную архитектуру параллельных вычислений – CUDA (Compute Unified Device Architecture), которая позволяет эффективно управлять памятью графического ускорителя, организовывать доступ к его набору инструкций и эффективно организовывать параллельные вычисления, используя упрощенную версию языка C.

Основное отличие между CPU и GPU (помимо механизмов доступа к памяти) заключается в том, что первые созданы для выполнения одного потока последовательных инструкций с максимальной производительностью, а GPU для выполнения большого числа параллельных потоков.

К примеру, персональный компьютер на базе процессора NVIDIA Tesla C2070 с 448 ядрами CUDA может обеспечить пиковую производительность до 1 терафлопа, т.е. в сотни раз быстрее обычного ПК.

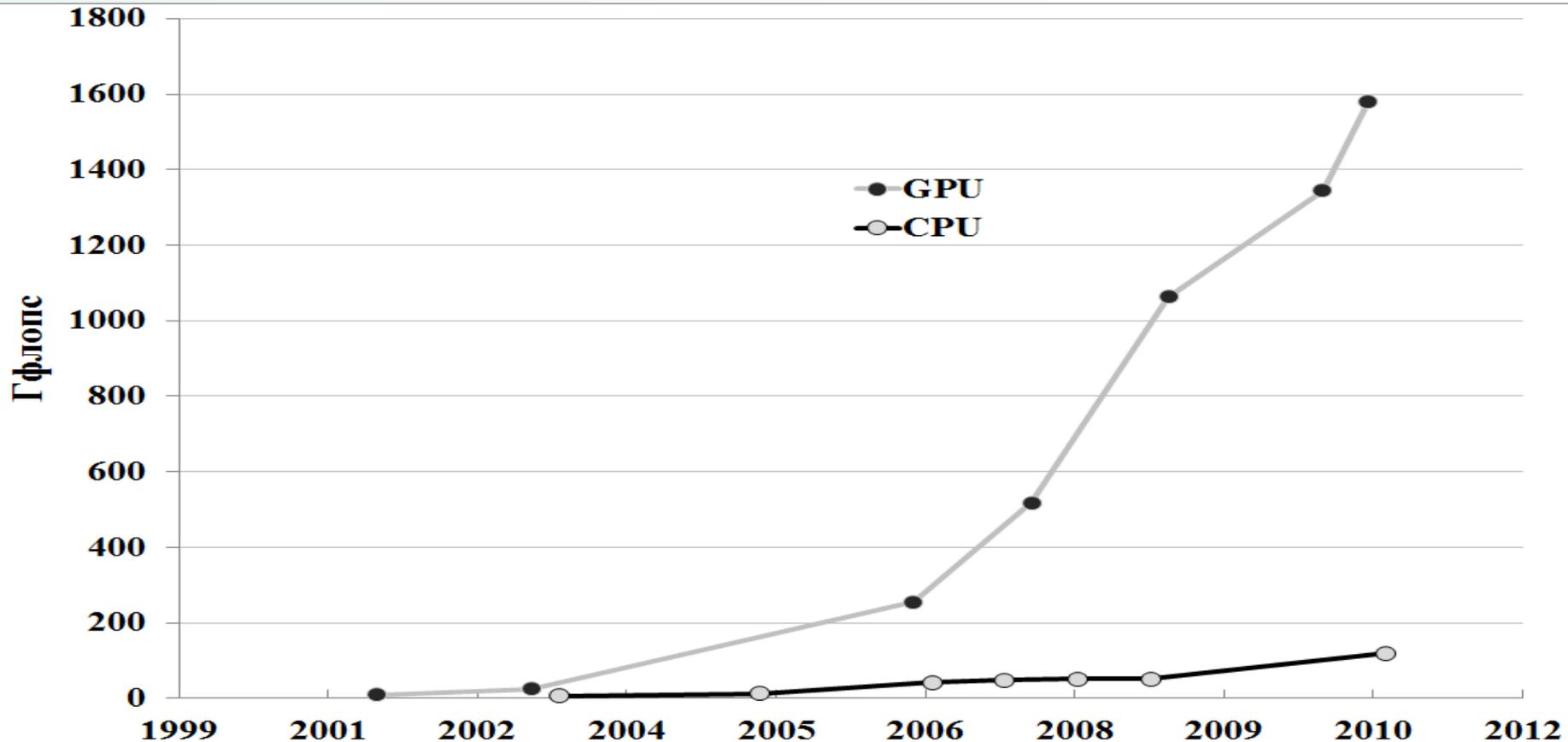


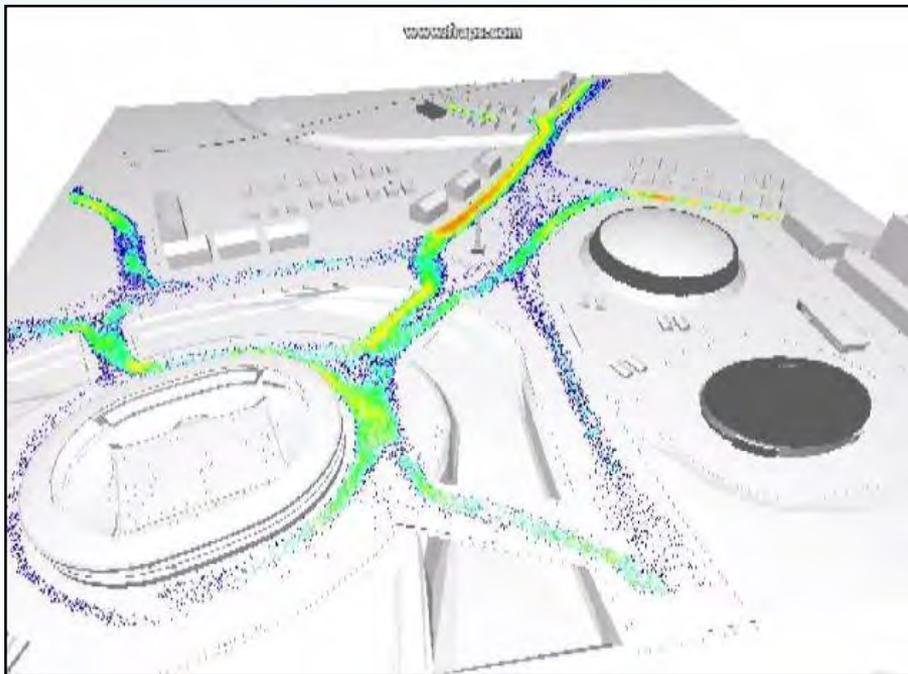
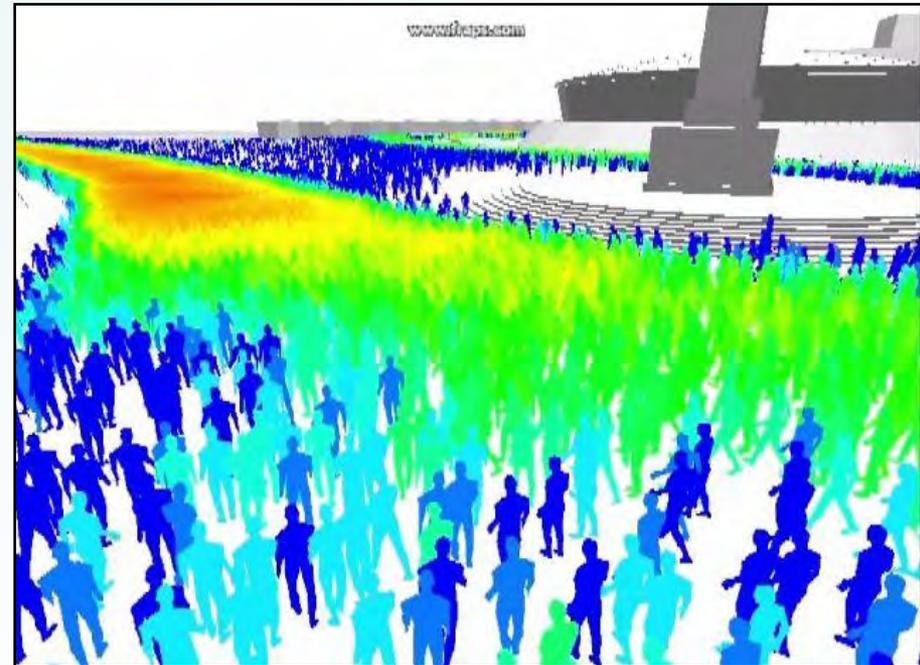
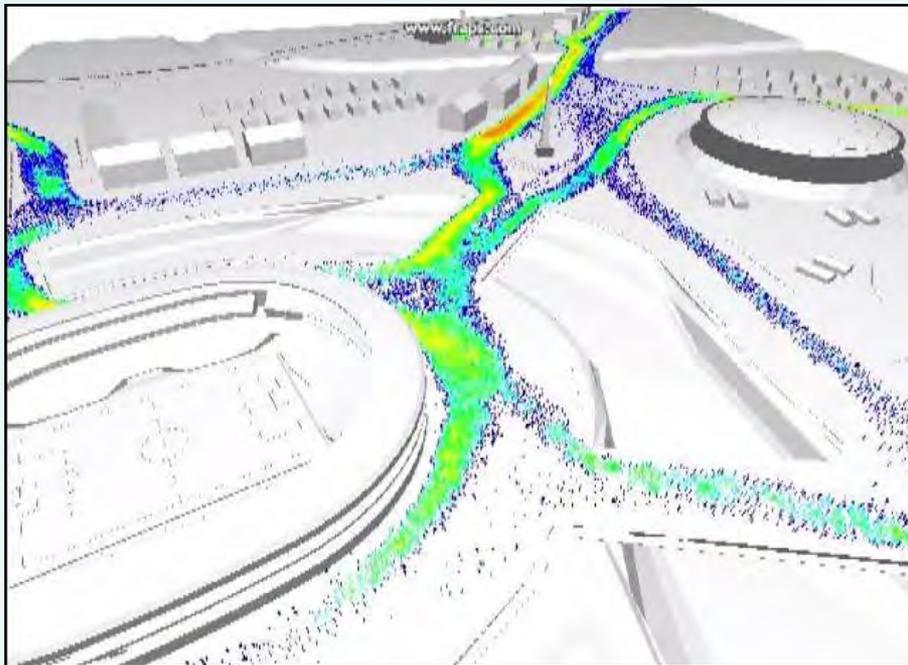
**Центральный
процессор**



**Графический
процессор**

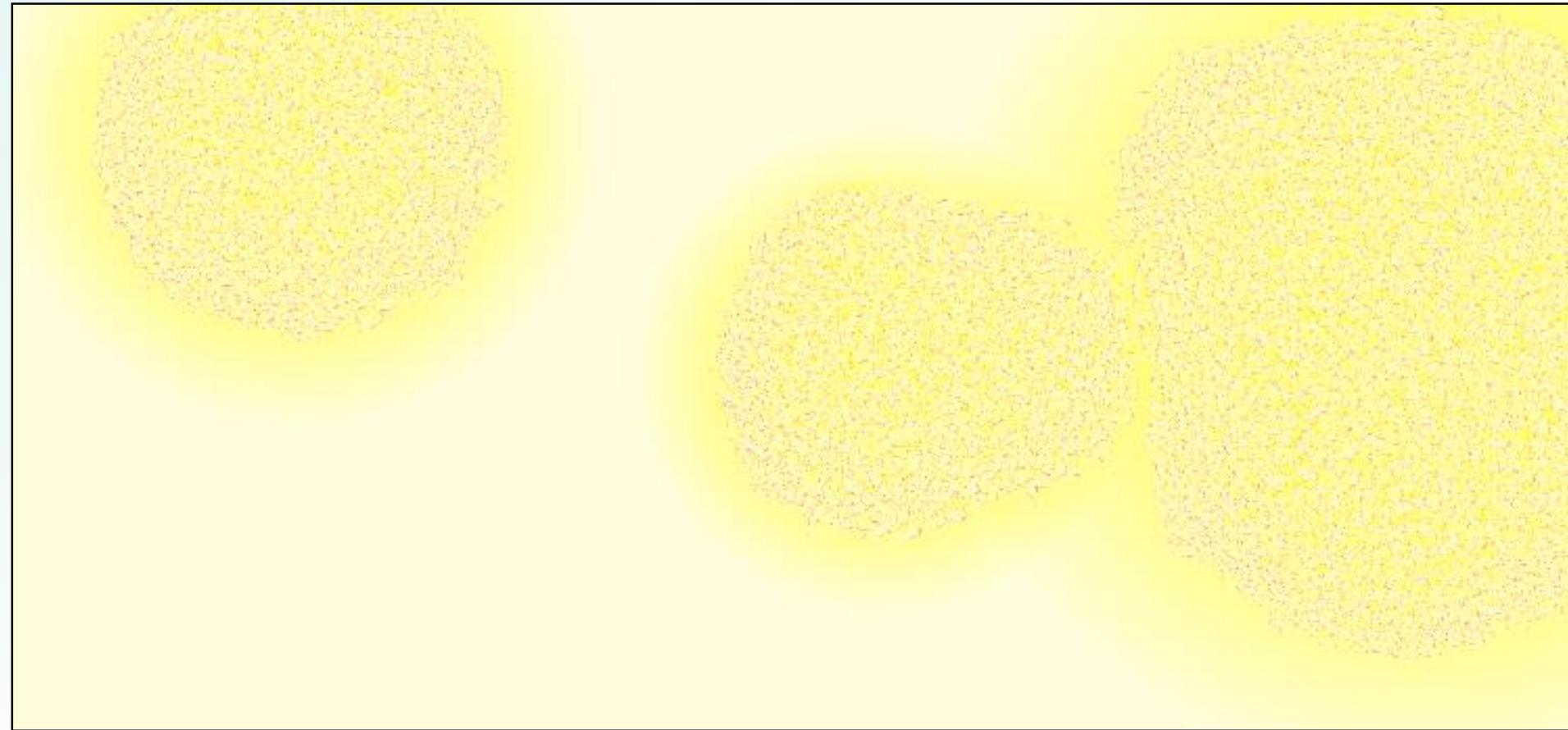
За последнее десятилетие в области вычислений над операциями с плавающей точкой графические процессоры намного опередили центральные процессоры. Так, на сайте компании NVIDIA – мирового лидера в разработке графических ускорителей и процессоров для них – приведены данные по увеличению производительности программ за счет переноса расчетов на видеочипы. Усредненные оценки демонстрируют ускорение по сравнению с универсальными процессорами в 30–50 раз, а максимальные оценки доходят до 1500 (!) раз.





**Агентная модель
передвижения 65 тыс.
человек,
реализованная на
FLAME GPU (Paul
Richmond, University of
Sheffield).**

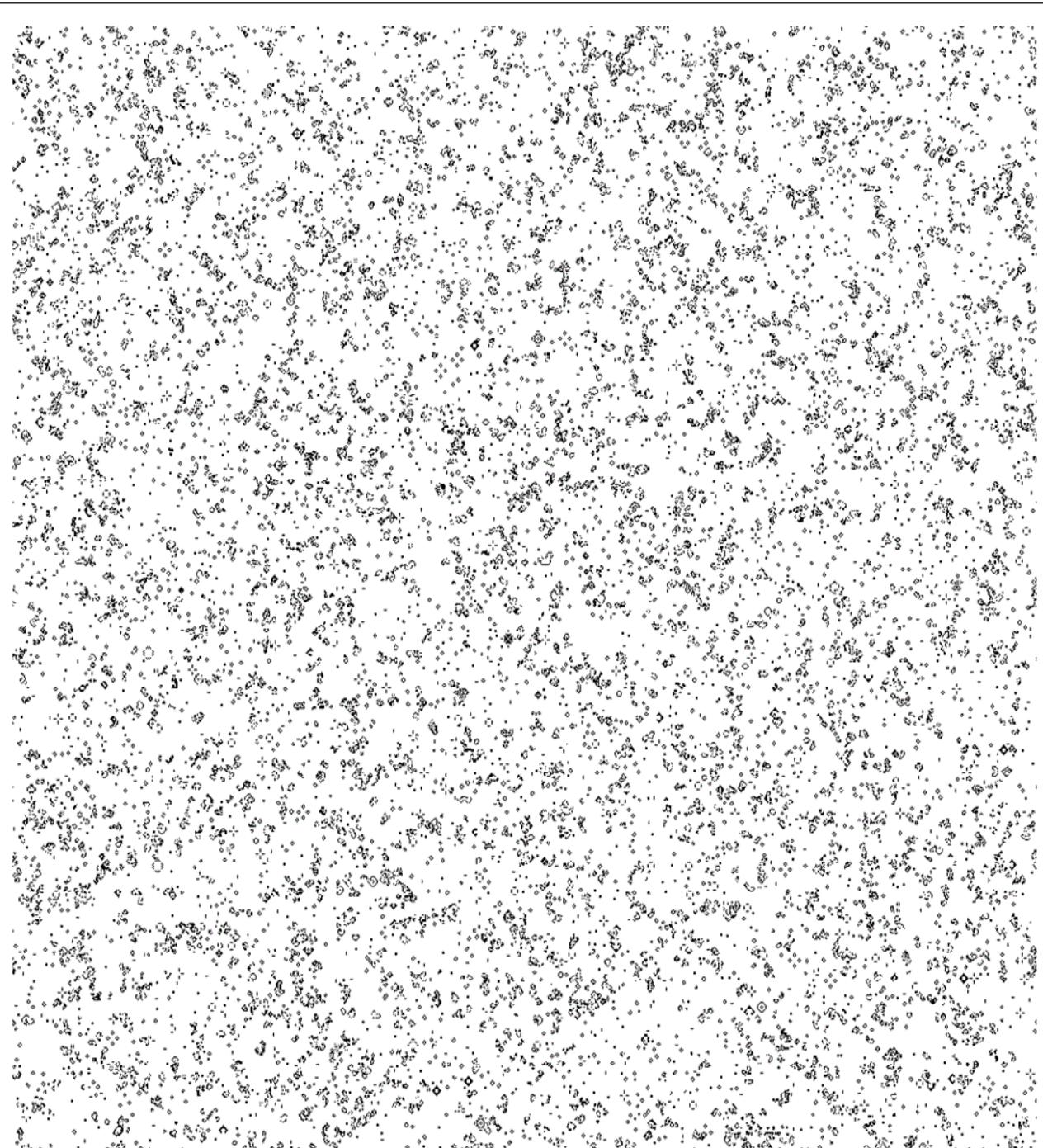
Пример запуска АОМ на графическом суперкомпьютере:
клеточный автомат SugarScape на решетке 2560×1024 с 2 млн.
агентов — 50 итераций в секунду (D'Souza R.M. , Lysenko M.,
Rahmani K. *Sugarscape on steroids: simulating over a million agents
at interactive rates*)



Среднее время запуска в 100 раз быстрее, чем в версиях для
CPU

К примеру, при
тестировании
производительности
выполнения
игры «Жизнь»
(клеточный
автомат)

размерностью
 $3\ 750 \times 3\ 750$



Международная сеть Центров

- 1) Университет Джорджа Мейсона (Фэрфакс, США)
- 2) Университет Джонса Хопкинса (Балтимор, США)
- 3) Центр социальной и экономической динамики Брукингского института (Вашингтон, США)
- 4) Швейцарская высшая техническая школа Цюриха (Цюрих, Швейцария)
- 5) Токийский технологический институт (Токио, Япония)
- 6) Аргоннская национальная лаборатория (Лемонт, США)
- 7) Европейская ассоциация по социальному моделированию

Мировые конгрессы

Первый мировой конгресс по социальному моделированию
(WCSS-1, 21 – 25 августа 2006 г., г. Киото, Япония)

Второй мировой конгресс по социальному моделированию
(WCSS-2, 14 – 17 июля 2008 г., г. Вашингтон, США)

Третий мировой конгресс по социальному моделированию
(WCSS-3, 6 – 9 сентября 2010 г., г. Кассель, Германия)

Четвертый мировой конгресс по социальному моделированию
(WCSS-4, 4 – 7 сентября 2012 г., г. Тайбэй, Тайвань)

Пятый мировой конгресс по социальному моделированию
(WCSS-5, 4 – 7 ноября 2014 г., г. Сан-Паоло, Бразилия)

Конференция **2015 г.** по агент-ориентированному моделированию и анализу Big Data, 5 – 9 декабря 2015, г. Гуанчжоу, Китай

Шестой мировой конгресс по социальному моделированию
(19 – 23 сентября 2016 г., г. Рим, Италия)

www.supercomputer.pro

www.abm.center