

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

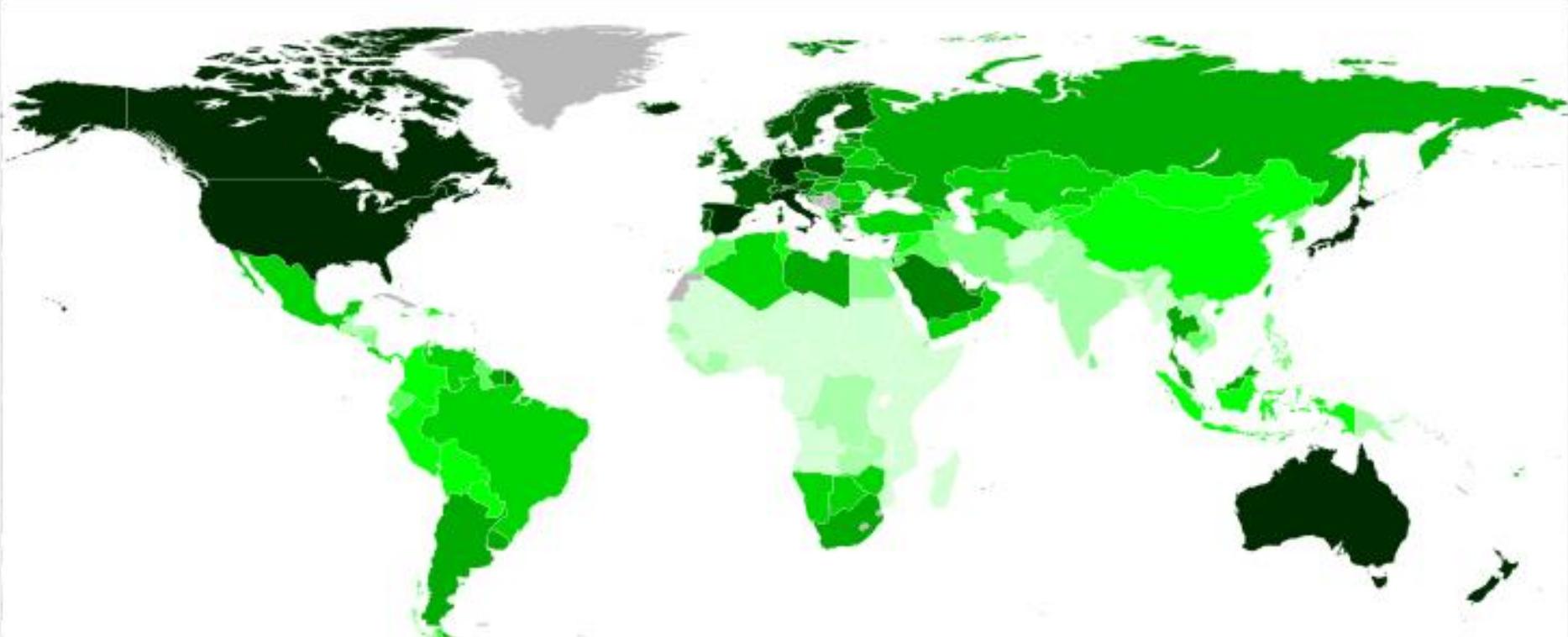
*Князьков К.В.*

ДЛЯ ЧЕГО ПРИМЕНЯЕТСЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ?

# ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ГОРОДА

- Разные виды транспорта (личный транспорт, служебный транспорт, общественный транспорт)
- Исходные данные зависят от множества факторов, связанных с поведением отдельных членов общества

# Личный транспорт



Уровень автомобилизации в странах мира (авто на 1000 чел.)

>600	301-500	101-150	41-60	11-20.
501-600	151-300	61-100	21-40	0-10

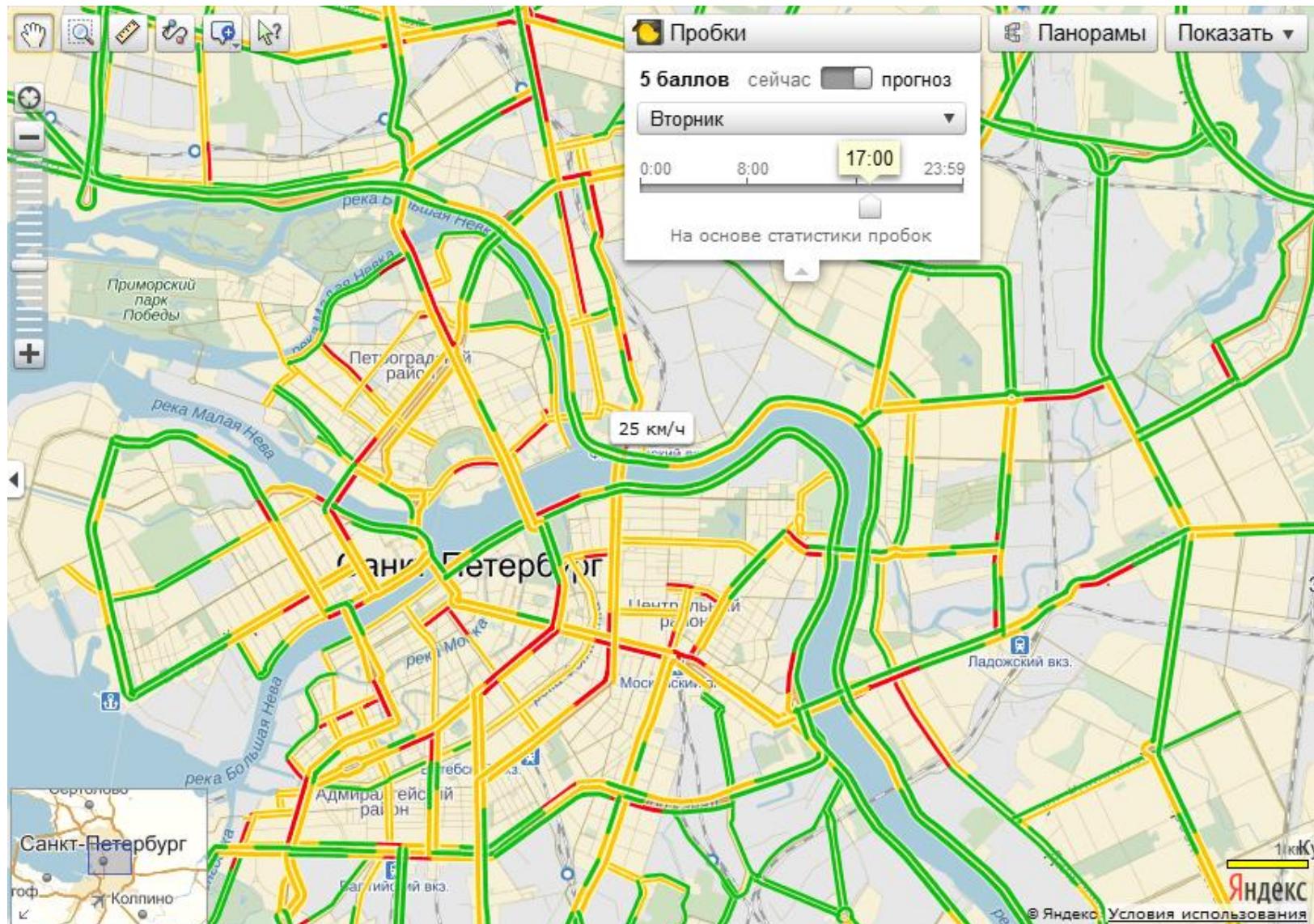
# САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

- **Общие характеристики города и УДС**
  - Количество транспорта ~295 на 1000 населения
  - Население 5 197 114 (РосСтат)
  - Количество светофоров ~1500 (ЦУДД)
  - Количество адресов ~116000 (УФМС)
  - Протяженность улиц >3000 км. (РБК)
- **Модель СПб на основе PTV VISUM**  
[http://www.ptv-vision.ru/project/sozdanie\\_transportnoy\\_modeli\\_sankt\\_peterburga](http://www.ptv-vision.ru/project/sozdanie_transportnoy_modeli_sankt_peterburga)
  - 132 575 узлов;
  - 248 764 отрезка;
  - 1 349 транспортных района;
  - 81 матрица корреспонденций;
  - 22 слоя спроса.

# ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

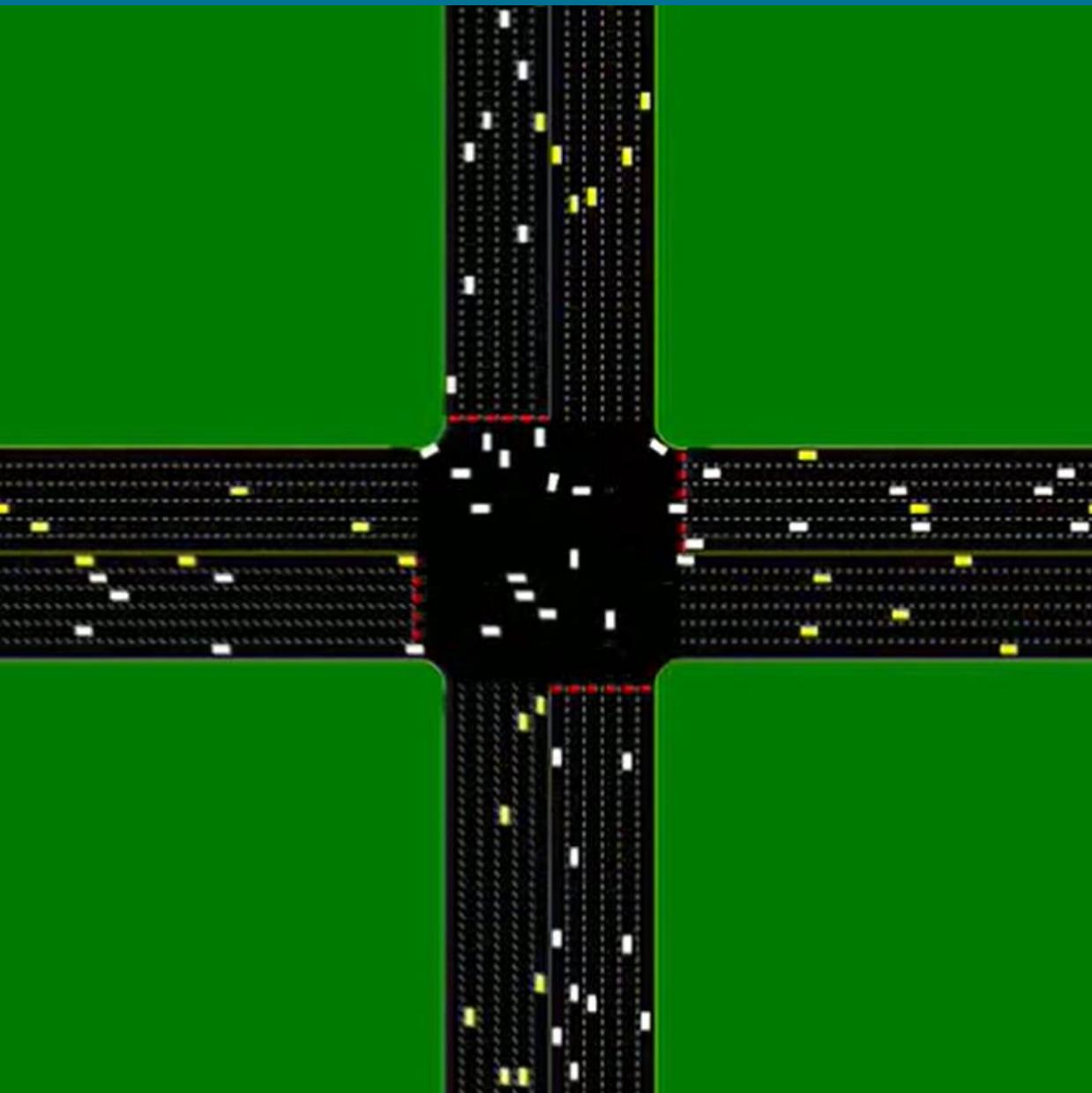
- **Прогнозирование** (сколько и куда?)
  - **Объект исследования:** транспортный поток
  - Оперативный уровень → поддержка принятия решений (*Yandex пробки*)
  - Долгосрочный уровень → Проектирование инфраструктуры, транспортное планирование (*планирование застройки*)
  - Ситуационное моделирование (what-if experiments) *Что будет, если перекрыть определенную дорогу?*
- **Имитация** (детали)
  - **Объект исследования:** транспортное средство
  - Объяснение эмпирических закономерностей
- **Оптимизация**
  - Перевозочный процесс, выработка маршрутов, конфигурация сети

# ПРИМЕР «ВОЗМОЖНОГО» ПРИМЕНЕНИЯ



<https://yandex.ru/maps/>

# ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

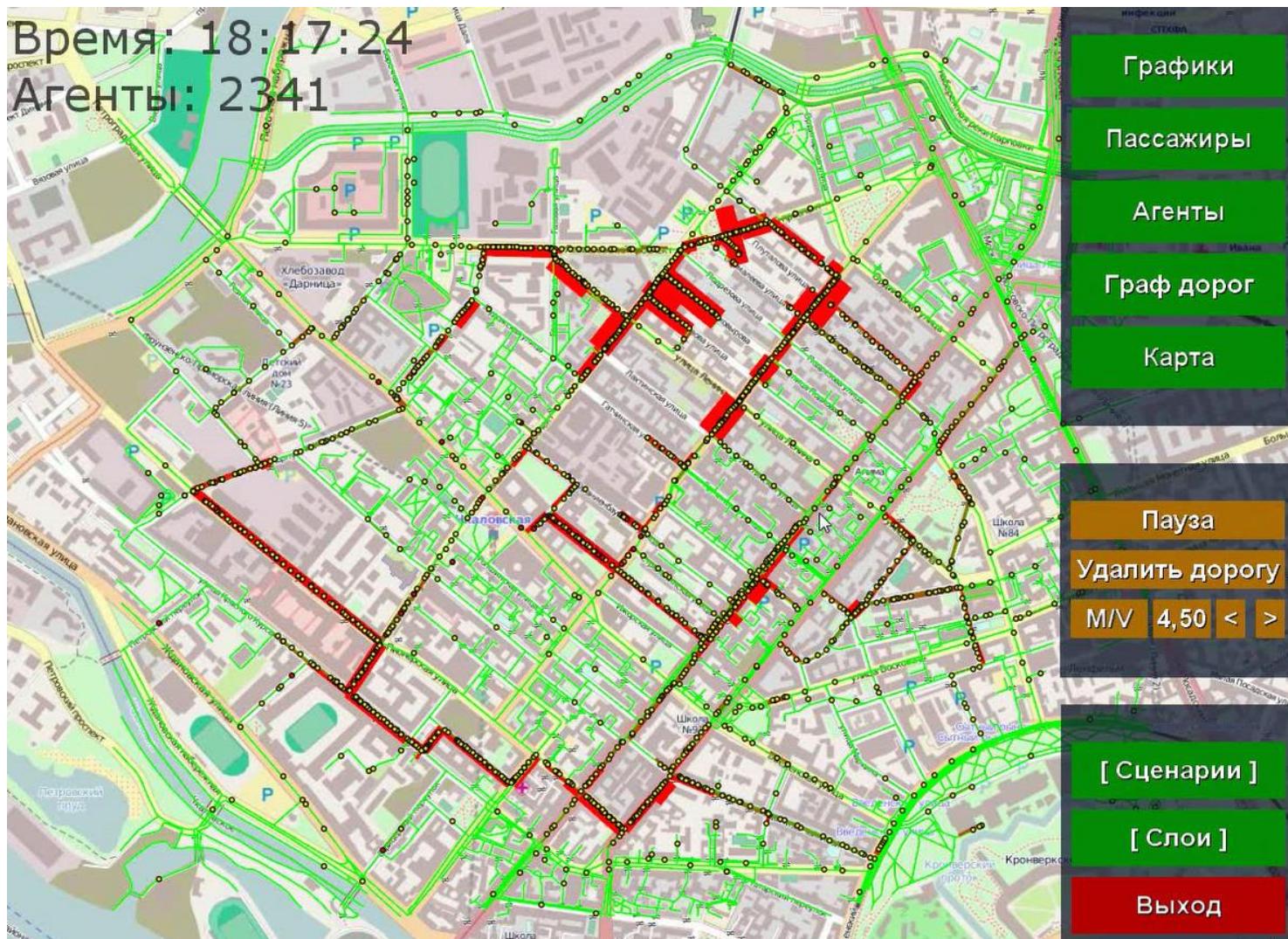


**Автономные транспортные средства пересекают бессветофорный перекресток:**

Источник:

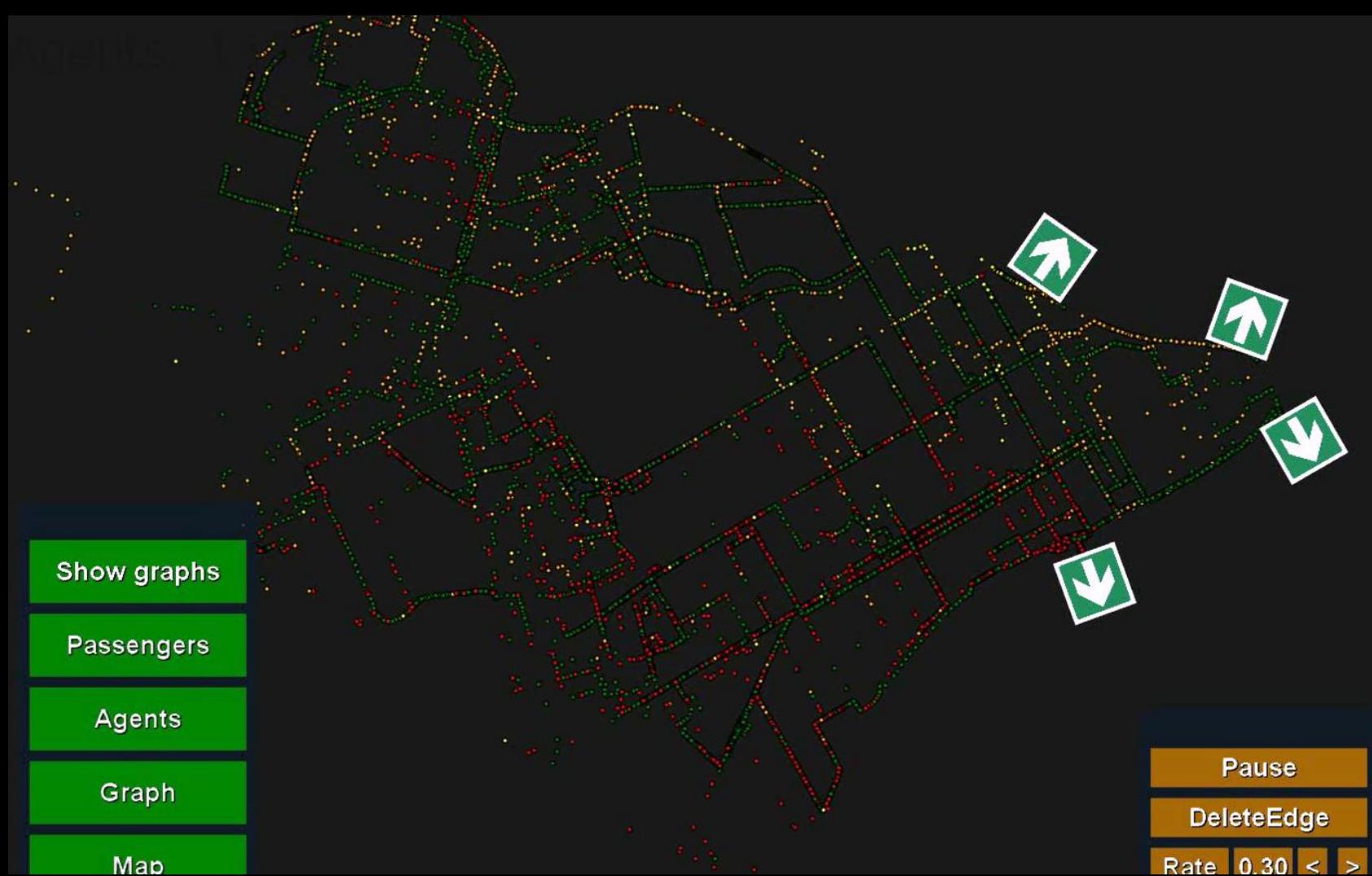
[http://www.youtube.com/watch?v=r7\\_lwq3BfkY](http://www.youtube.com/watch?v=r7_lwq3BfkY)

# ПРИМЕР СИТУАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ



DEMO <https://youtu.be/2uJjREpkngc>

# ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ



DEMO <https://youtu.be/x3-Lnng07YY>

ИЗ ЧЕГО СОСТОИТ  
ПРОГНОЗНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ?

# СПРОС И ПРЕДЛОЖЕНИЕ

- **Транспортный спрос** (demand) определяет потребность жителей города в перемещении.
  - Статистика: сведения о населении, количество трудоспособного населения; о рабочих местах, количество студентов и мест учебы; данные о распределении поездок по целям; данные о способах перемещений
- **Транспортное предложение** состоит из элементов с помощью которых транспортная система удовлетворяет транспортный спрос.
  - План города; пути движения транспорта; типы улиц и дорог;

# ЧЕТЫРЕХСТУПЕНЧАТАЯ СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 1. Генерация спроса (Trip generation)

оценка общих объемов прибытия и отправления из каждого района

## 2. Распределение спроса (Trip distribution)

определение матриц корреспонденций, определяющих объем передвижений между парой районов

## 3. Расщепление по режимам (Mode Choice)

пешие передвижения, общественный транспорт, личный автомобиль

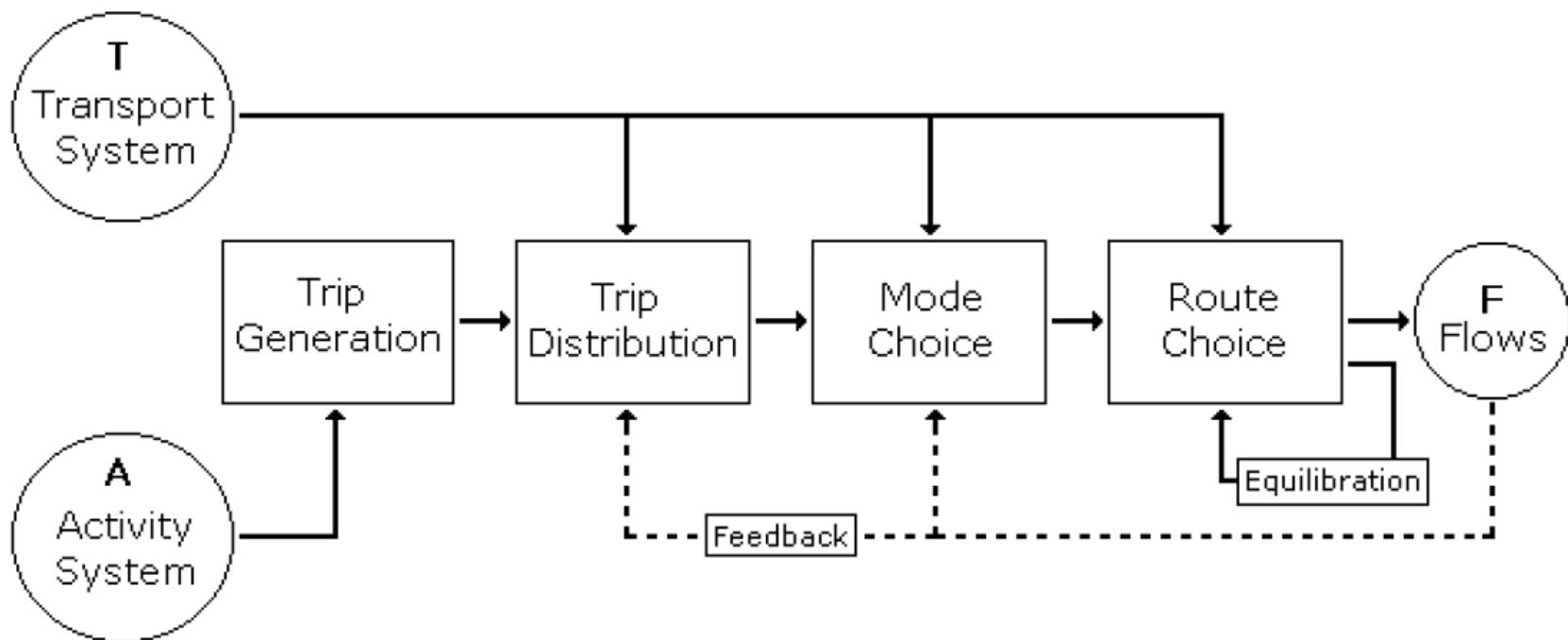
## 4. Перераспределение (Traffic Assignment)

распределение корреспонденций по транспортной сети, т.е. определение всех путей, выбираемых участниками движения и определение количества передвижений по каждому пути

# ЧЕТЫРЕХСТУПЕНЧАТАЯ СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Фундаментальная особенность формирования загрузки транспортной сети состоит в том, что выбор способов и путей одними пользователями сети влияет на выбор способов другими пользователями.

Реальные потоки в транспортной сети представляют собой *равновесное состояние*.



# ПРИНЦИПЫ РАВНОВЕСИЯ ВАРДРОПА

**Первый принцип:** Время путешествия по всем используемым маршрутам одинаково и меньше времени, которое потребовалось хотя бы одному транспортному средству для поездки по любому из неиспользуемых маршрутов.  
(User Optimal)

**Второй принцип:** В равновесном состоянии среднее время поездки минимально.  
(System Optimal)

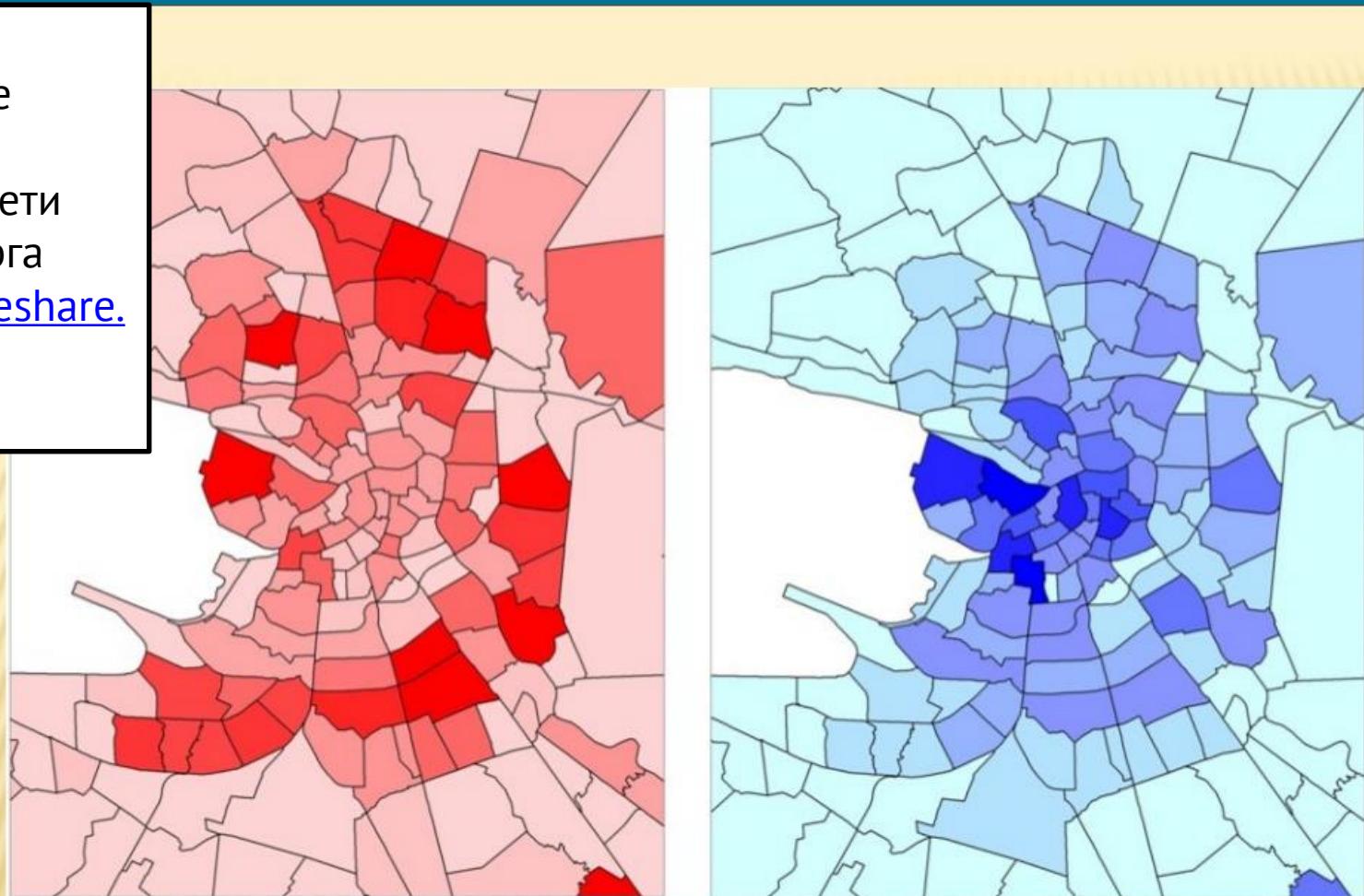
**Равновесие Нэша** – тип решений игры двух и более игроков, в котором ни один участник не может увеличить выигрыш, изменив своё решение в одностороннем порядке, когда другие участники не меняют решения.

# МАТРИЦА КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ

- Является количественной характеристикой структуры передвижений между районами города.
- Группы передвижений с различными целями:
  - От места жительства к местам приложения труда;
  - От места жительства к местам культурно-бытового обслуживания;
  - Между местами приложения труда;
  - Между объектами культурно-бытового обслуживания;
- Для каждой группы рассчитывается своя матрица межрайонных корреспонденций.

# ХАРАКТЕРИСТИКИ МОБИЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Лосин Л.А -  
Моделирование  
потоков в  
транспортной сети  
Санкт-Петербурга  
<http://www.slideshare.net/labgrad/ss-8500357>



*Распределение населения и мест приложения труда в С-Петербурге по транспортным районам*

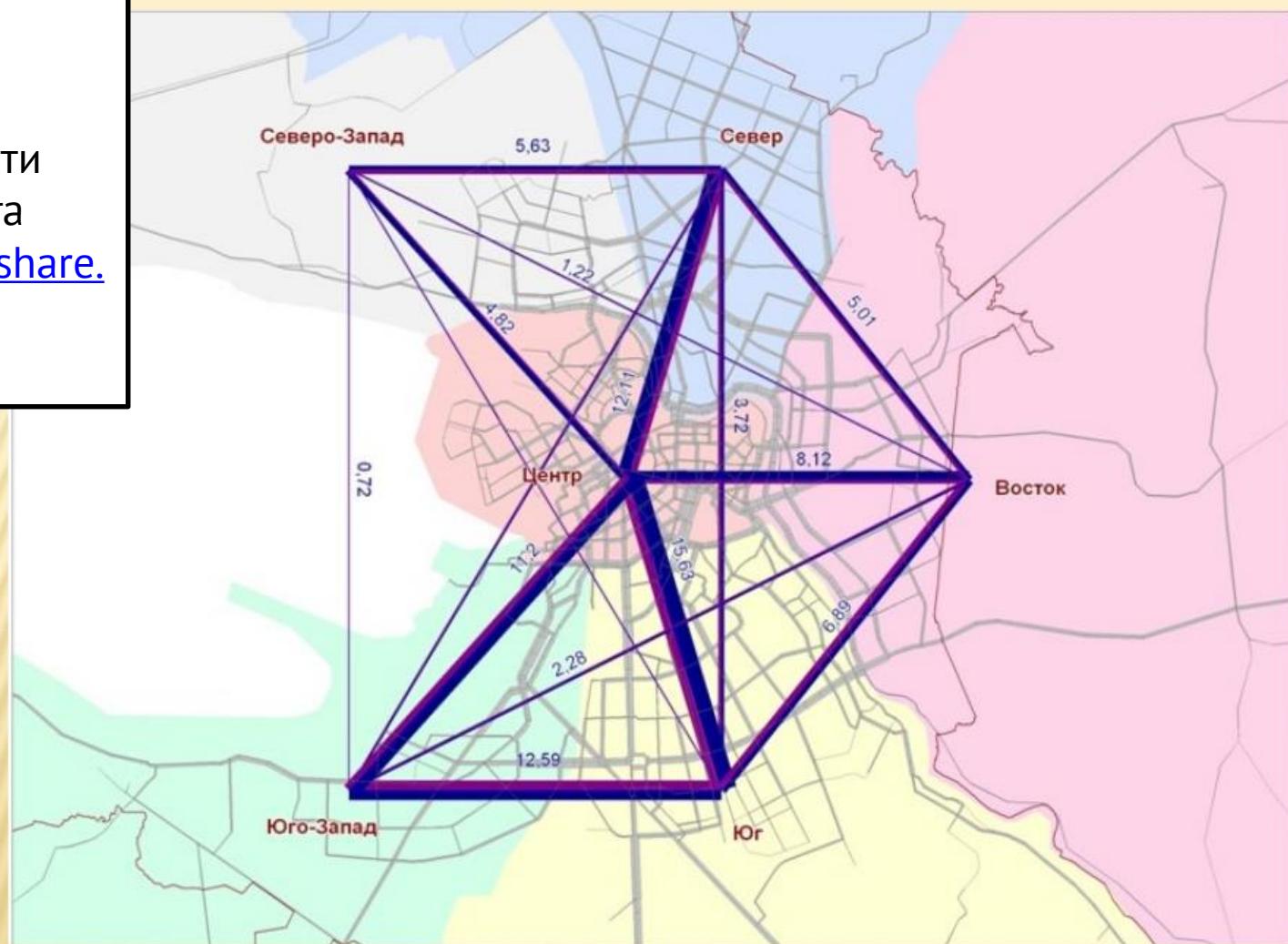
# МАТРИЦА КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ (OD-MATRIX)

Обзор		Имя	34	37	41	45	47	61	63	64	76	77	84	91	92	93	94	96
Узлы	Отрезки	Сумма	5751.03	8009.91	335.19	16606.87	14188.48	64607.29	26361.20	22510.88	19921.56	2099.90	4291.70	4372.39	2471.95	2563.84	6329.15	1275.67
Повороты	Повороты	5791.79	1.00	110.76	3.47	34.98	18.95	67.58	17.90	16.91	23.85	3.34	17.92	18.00	9.91	7.75	26.34	4.49
Районы	Районы	8345.94	110.59	3.60	9.57	46.95	30.85	129.66	34.28	18.31	24.08	3.03	41.93	22.37	11.33	13.54	33.57	4.63
Примыкания	Примыкания	347.92	3.87	9.75	0.01	2.14	1.80	7.82	2.10	1.21	1.13	0.09	1.82	0.77	0.40	0.45	1.10	0.21
Высшие узлы	Высшие узлы	17313.31	50.98	84.96	3.03	14.37	506.72	315.75	73.04	49.10	39.11	3.65	20.57	73.34	34.06	36.66	108.92	15.93
Высшие поворо	Высшие поворо	14316.34	20.56	40.06	1.82	582.04	9.93	277.67	61.26	33.30	39.70	5.40	12.06	64.88	28.11	23.10	100.94	11.65
Высшие районь	Высшие районь	65134.65	76.16	144.91	8.50	309.27	224.40	898.62	5230.14	3937.38	1259.18	142.57	72.20	78.57	42.62	34.56	119.39	18.15
Области	Области	26557.89	19.83	37.77	2.22	77.80	58.83	5158.37	61.95	2102.88	925.96	104.63	25.71	20.45	11.11	8.92	30.86	4.76
Корреспонденц	Высшие коррес	22829.54	18.01	20.07	1.27	51.14	31.21	390.93	2080.63	17.79	994.56	118.63	22.26	19.85	11.01	8.40	30.28	4.74
Пути	Пути	20086.90	25.15	23.33	1.16	43.22	35.58	1151.94	898.28	970.68	20.77	114.69	32.38	23.99	13.95	10.22	35.55	6.71
ЗОБСЛ	ЗОБСЛ	2122.39	3.38	2.85	0.10	4.09	5.00	133.50	103.57	118.63	116.49	0.22	4.10	1.85	1.19	1.08	2.58	0.70
Объекты ГИС	Объекты ГИС	4334.60	17.78	37.88	2.00	23.48	10.81	72.35	27.72	24.50	32.47	4.00	0.97	3.58	1.88	2.19	5.39	0.75
Линии экрана	Линии экрана	4372.79	19.12	19.53	0.54	65.67	64.80	91.97	24.43	18.15	22.58	1.67	3.48	0.99	23.68	16.82	53.54	12.04
Места подсчета	Места подсчета	2489.03	10.51	10.43	0.32	32.12	30.03	47.42	12.60	9.75	12.74	1.05	1.78	22.20	0.33	9.47	31.02	6.29
Детекторы	Детекторы	2569.92	7.90	12.87	0.38	38.26	24.19	38.28	10.10	7.31	9.27	1.03	2.05	16.25	9.53	0.19	42.27	8.73
Зоны платного г	Зоны платного г	6269.38	27.52	27.97	0.75	96.82	99.07	138.93	36.69	27.79	33.76	2.38	5.02	53.43	32.57	43.50	2.04	17.34
Пункты останов	Пункты останов	1306.03	4.86	4.37	0.17	15.36	12.65	20.65	5.51	4.29	6.26	0.62	0.73	11.56	6.35	8.99	16.86	0.08
Зоны остановки	Зоны остановки	6834.95	21.90	37.81	0.96	111.92	76.43	112.10	29.37	24.09	28.41	2.71	6.07	70.08	44.70	31.17	99.25	13.49
Остановки	Остановки	2163.94	8.84	8.67	0.26	31.82	30.88	45.21	11.92	9.81	12.27	0.90	1.52	18.53	11.14	14.24	26.50	5.88
Быстрый вид	Быстрый вид	5228.04	17.53	18.87	0.46	70.57	75.27	107.80	41.71	43.44	49.09	2.82	3.44	30.29	20.28	23.99	42.09	12.38
		3784.92	10.37	16.21	0.46	81.22	80.13	64.62	15.32	13.15	16.81	1.25	2.84	22.16	11.24	13.85	32.01	6.26
		3708.70	7.77	11.30	0.34	80.02	77.31	65.10	15.25	13.02	16.96	1.32	1.99	20.16	10.32	12.94	29.21	5.68
		2418.77	5.81	9.48	0.25	81.38	85.07	55.94	12.75	7.45	7.91	0.53	1.83	8.56	4.44	5.43	12.22	2.58
		3533.25	4.48	6.35	0.23	68.34	54.33	86.13	20.08	11.15	11.08	1.09	1.23	13.02	6.49	8.28	19.36	3.12
		3033.44	6.08	8.47	0.23	69.44	69.54	61.92	14.83	13.88	16.62	1.13	1.50	13.00	7.93	9.57	18.56	4.54
		1848.99	2.79	3.59	0.10	33.68	31.00	53.33	12.44	7.25	7.69	0.59	0.71	6.70	3.93	4.71	9.66	2.16
		6350.37	9.50	11.76	0.37	91.44	79.93	175.49	41.90	24.04	28.01	2.23	2.22	24.98	14.39	36.36	7.59	46.00
		2681.56	3.04	3.99	0.11	32.30	33.83	119.56	27.44	15.94	15.69	0.95	1.22	6.84	4.00	4.88	9.80	2.27
		2210.36	2.17	2.74	0.08	22.86	26.91	95.47	22.12	12.84	12.30	0.86	0.99	5.14	2.96	3.67	7.39	1.64
		2537.94	2.47	2.63	0.08	21.57	24.38	127.35	30.03	18.00	21.58	1.45	1.10	4.93	2.97	3.46	7.10	1.63
		5632.16	3.82	7.78	0.21	58.63	50.27	261.78	61.41	36.24	35.64	2.85	3.22	13.55	8.13	6.03	19.28	4.83
		2155.36	1.72	2.17	0.07	22.74	27.05	103.21	23.07	13.30	11.17	0.77	0.92	4.20	2.39	3.01	6.07	1.29
		4387.33	2.42	4.40	0.17	43.65	35.25	231.33	53.45	30.78	24.53	2.32	2.19	7.95	4.80	3.54	11.62	2.60
		6608.71	4.13	8.11	0.24	73.99	62.29	289.57	66.89	38.77	34.50	3.02	3.24	15.76	9.05	6.84	22.84	5.12
		4956.19	25.63	25.37	0.76	37.10	32.33	84.91	25.08	27.61	37.30	3.48	4.30	27.88	15.80	21.36	38.98	7.61
		4385.54	26.33	27.19	0.72	30.70	29.15	81.37	28.14	31.67	40.04	3.27	4.62	20.91	12.44	16.41	29.36	6.43
		6134.94	23.84	24.33	0.58	49.77	51.67	107.00	49.70	56.33	66.92	4.32	4.46	23.60	15.60	18.63	33.10	9.06
		3749.56	26.03	19.59	0.54	22.75	21.17	60.04	25.80	28.94	36.71	3.02	4.98	15.78	9.38	12.29	22.05	4.82
		9873.19	38.89	64.56	1.51	70.02	47.36	133.52	67.42	77.56	92.17	8.88	10.97	50.71	32.30	23.11	70.06	17.98
		4653.32	20.15	19.01	0.46	24.56	25.94	94.94	53.87	61.60	71.04	4.66	4.24	13.74	8.94	11.18	18.79	5.07
		6104.90	24.20	21.82	0.50	38.94	40.65	133.31	74.45	86.27	97.39	6.18	5.27	19.67	12.97	15.35	27.56	7.72
		2436.72	9.45	6.50	0.17	10.00	10.04	54.17	32.09	36.29	44.99	3.30	1.86	5.54	3.48	4.28	7.93	1.93
		5201.09	20.34	14.93	0.32	18.65	19.15	131.13	87.39	100.10	116.39	7.71	5.27	9.54	6.20	7.07	13.95	3.74
		3851.47	8.63	8.90	0.21	33.08	32.50	107.52	42.76	46.13	54.54	3.44	1.79	13.91	9.06	10.50	19.40	5.33
		3423.60	8.76	7.20	0.17	20.12	21.08	135.56	51.71	49.21	58.61	3.83	1.85	8.41	5.44	6.46	11.81	3.15
		5754.34	9.95	10.04	0.23	42.75	45.48	256.51	96.68	79.98	88.42	4.81	3.13	14.91	9.66	11.18	20.84	5.76
		1549.92	1.94	1.82	0.05	8.89	10.79	70.91	18.36	15.34	18.64	1.24	0.61	2.81	1.74	2.06	3.99	0.96
		3357.02	5.30	4.76	0.13	18.53	17.03	134.56	52.06	41.92	52.98	3.72	1.59	8.24	4.93	5.91	11.73	2.59
		2226.50	1.53	3.52	0.12	27.86	27.50	72.94	15.84	8.81	7.05	0.80	1.04	6.44	3.48	2.74	9.67	1.70

<http://road.perm.ru/index.php?id=1181>

# ПРИМЕР ГРАФА КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ

Лосин Л.А -  
Моделирование  
потоков в  
транспортной сети  
Санкт-Петербурга  
<http://www.slideshare.net/labgrad/ss-8500357>



Матрица межрайонных корреспонденций на автомобильном транспорте

# РАСЧЕТ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

$O_i$  – объем отправления из района  $i \in R$

$D_j$  – объем прибытия в район  $j \in R$

## Баланс прибытия и отправления

$$\sum_{i \in R} O_i = \sum_{j \in R} D_j$$

$$t_{ij} = \sum_k c^k(t_{ij}^1, \dots, t_{ij}^K) t_{ij}^k$$

$c^k$  – коэффициенты расщепления  
корреспонденций по типам перемещений

$$\sum_k c^k = 1$$

Гравитационная модель основана на положении: корреспонденция из района  $i$  в район  $j$  пропорциональна общему объему отправления из центра  $i$ , общему объему прибытия в центр  $j$  и некоторой функции  $C(t_{ij})$ , зависящей от транспортного расстояния  $t$  между  $i$  и  $j$ .

# РАСЧЕТ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

$$F_{ij} = A_i O_i B_j D_j C(t_{ij}), \quad i, j \in R,$$

$F_{ij}$  – корреспонденция из района  $i$  в район  $j$

$$\sum_{j \in R} F_{ij} = O_i, \quad i \in R,$$

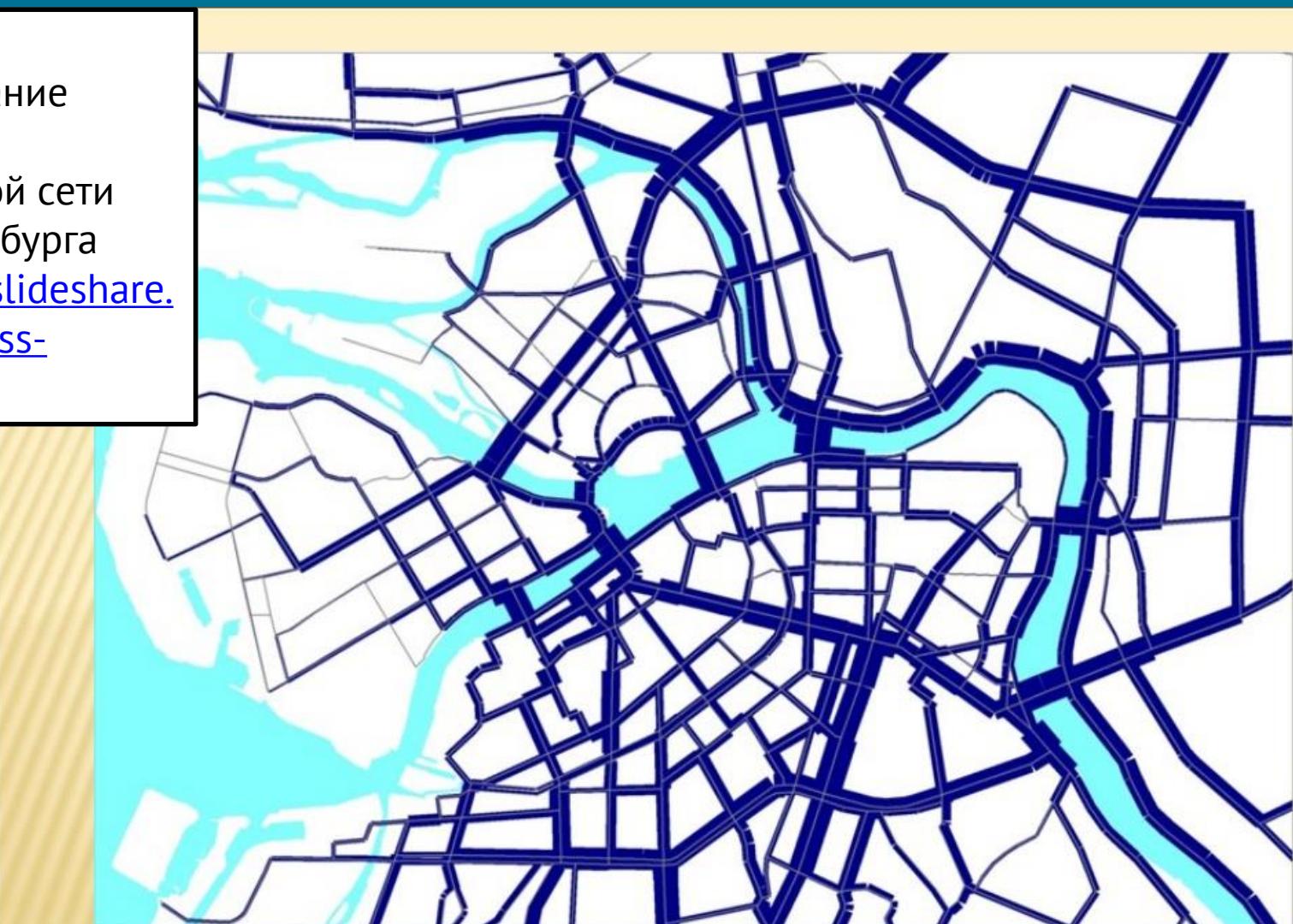
$$\sum_{i \in R} F_{ij} = D_j, \quad j \in R,$$

$$F_{ij} \geq 0, \quad i, j \in R$$

$C(t)$  – функция тяготения, априорная  
вероятность зарождения корреспонденции  
 $C(t) = e^{-\alpha t^\beta}, \quad \alpha \geq 0, \beta \geq 0$

# Модель распределения потоков

Лосин Л.А -  
Моделирование  
потоков в  
транспортной сети  
Санкт-Петербурга  
<http://www.slideshare.net/labgrad/ss-8500357>



Картограмма автомобильных потоков на улично-дорожной сети

# МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

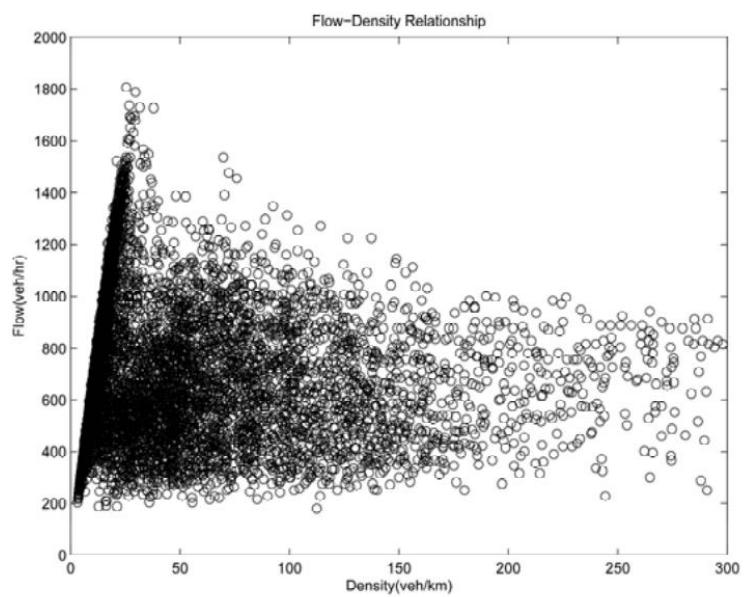
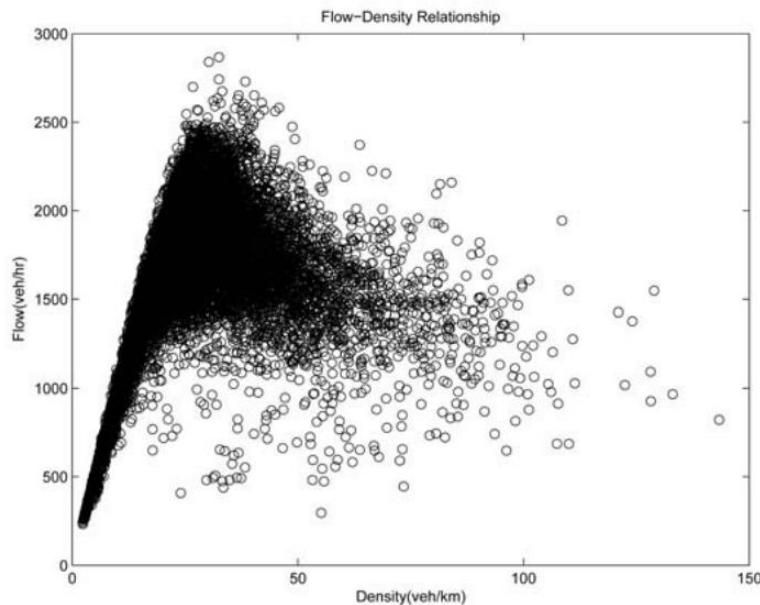
# КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПОТОКА

- Макроскопические (гидродинамические) описывают движение автомобилей в усредненных терминах (плотность, средняя скорость, поток)
- Кинетические (газодинамические) модели описывают плотность распределения автомобилей в фазовом пространстве (скоростей и координат)
- Микроскопические модели описывают движение каждого автомобиля

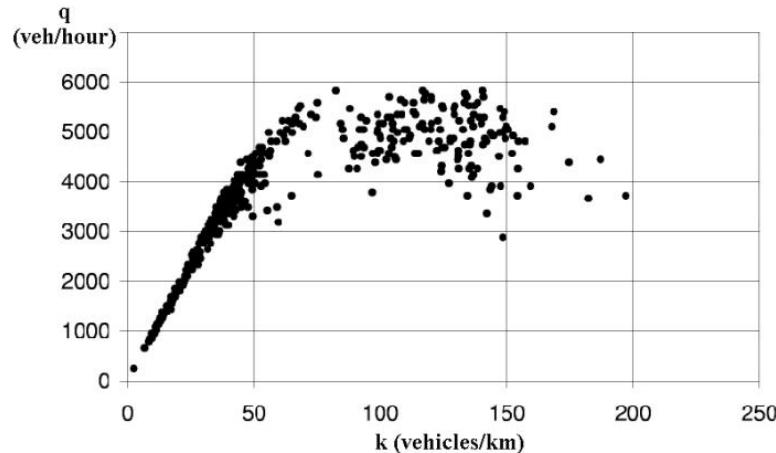
# МАКРО ХАРАКТЕРИСТИКИ

- $\rho(x,t)$  - плотность (количество автомобилей на единицу длины)
- $V(x,t)$  - средняя скорость автомобилей на участке дороги
- $Q(x,t)$  - поток, количество автомобилей, пересекающих точку  $x$  за время  $t$

# ЗАМЕРЫ

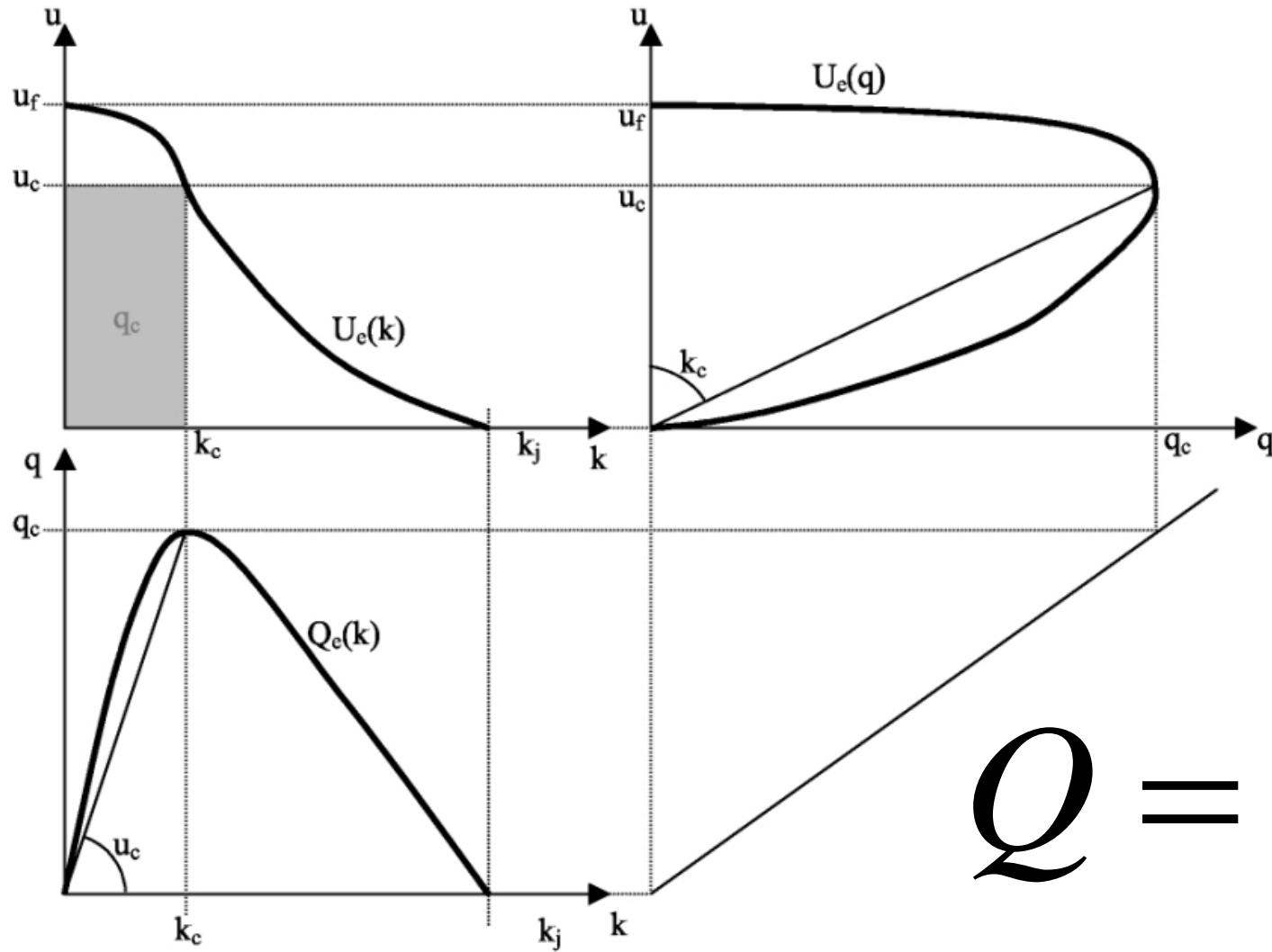


Liebe, C., Mahnke, R., & Kühne, R. (2011). From traffic breakdown to energy flow analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(2), 172-181.



Immers, L. H., & Loghe, S. (2002). Traffic flow theory. *Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Section Traffic and Infrastructure, Kasteelpark Arenberg, 40*.

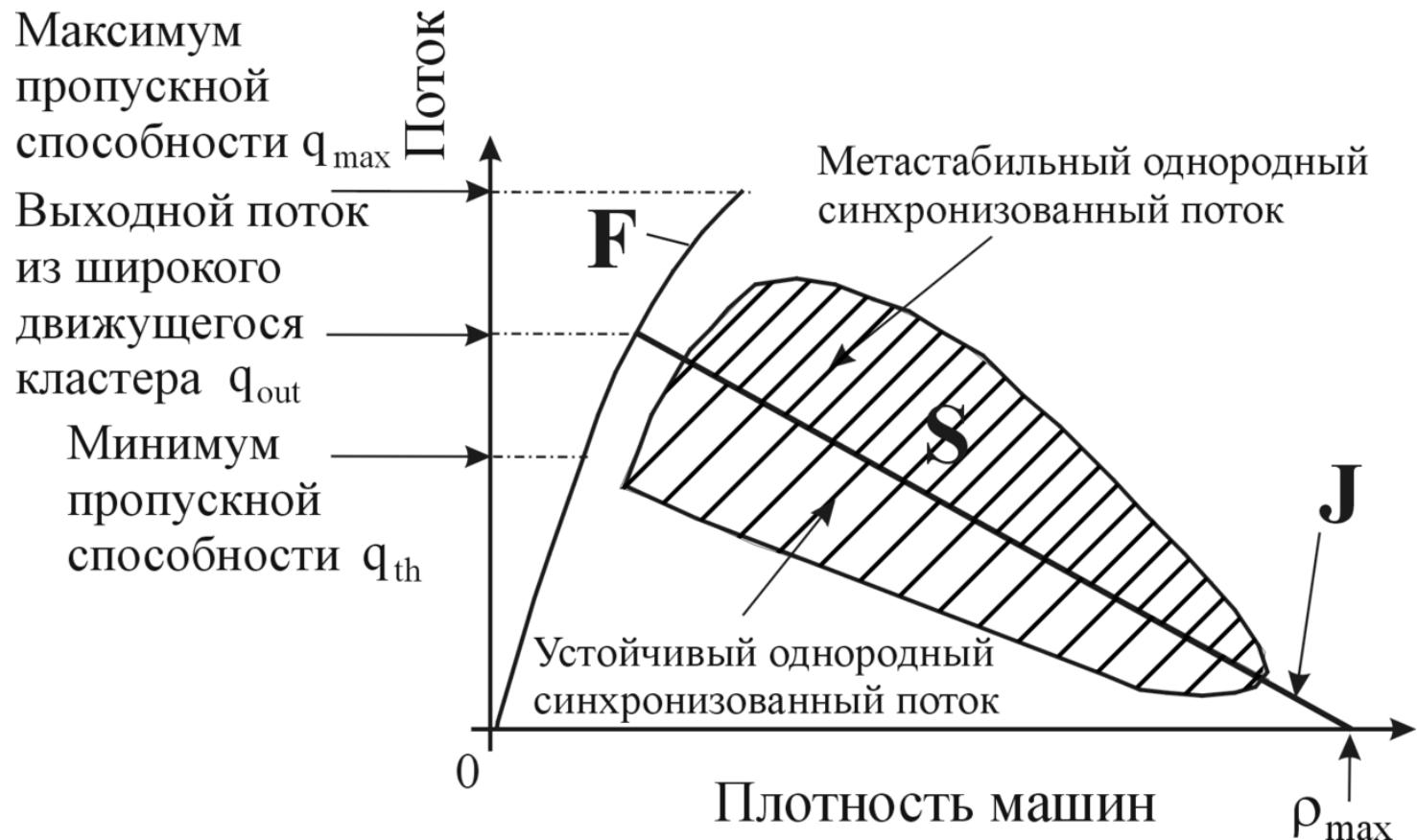
# ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ДИАГРАММА ТРАФИКА



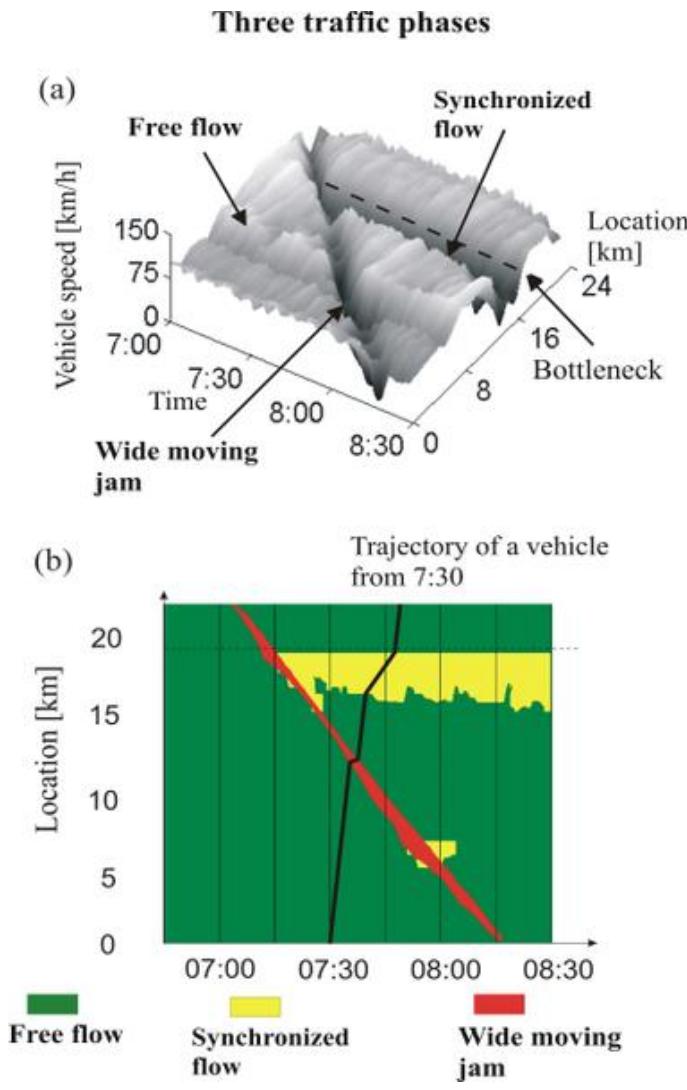
$$Q = \rho V$$

# ТРЕХФАЗНАЯ ТЕОРИЯ ТРАФИКА КЕРНЕРА

- Свободный поток ( $F$ )
- Синхронизованный поток ( $S$ )
- Широкий движущийся кластер машин ( $J$ )

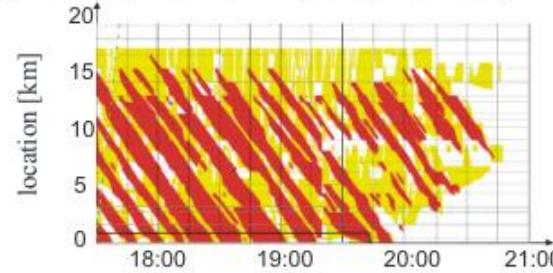


# ТРЕХФАЗНАЯ ТЕОРИЯ ТРАФИКА КЕРНЕРА

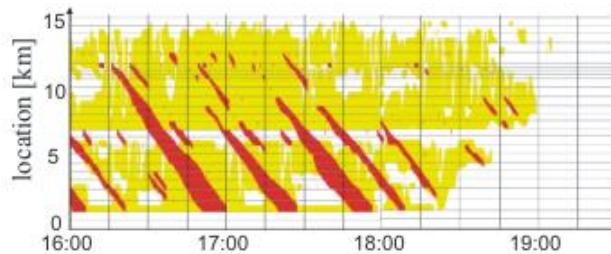


## Expanded General congested traffic Patterns (EGP)

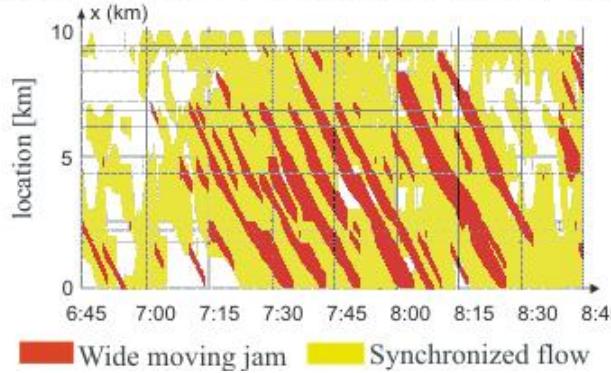
(a) Freeway A5-North (June, 14, 2006) in Germany



(b) Freeway M-42 (January 11, 2008) in the UK



(c) Freeway I405-South (March 4, 2003) in the USA



# Модель LIGHTHILL-WHITHAM (LW MODEL)

Гидродинамическая модель основана на том, что количество автомобилей на участках без съездов сохраняется.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0,$$

$$Q = \rho \cdot V,$$

$$V(x, t) = V_e(\rho(x, t)),$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left( V_e + \rho \frac{\partial V_e}{\partial \rho} \right) \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0.$$

# МИКРО МОДЕЛИ

- Следование за лидером
- Оптимальная скорость
- Клеточные автоматы

# INTELLIGENT DRIVER MODEL

$$s_\alpha := x_{\alpha-1} - x_\alpha - l_{\alpha-1}$$

$$\Delta v_\alpha := v_\alpha - v_{\alpha-1}$$

$$\dot{x}_\alpha = \frac{dx_\alpha}{dt} = v_\alpha$$

$$\dot{v}_\alpha = \frac{dv_\alpha}{dt} = a \left( 1 - \left( \frac{v_\alpha}{v_0} \right)^\delta - \left( \frac{s^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)}{s_\alpha} \right)^2 \right)$$

$$\text{with } s^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha) = s_0 + v_\alpha T + \frac{v_\alpha \Delta v_\alpha}{2 \sqrt{ab}}$$

$v_0, s_0, T, a$ , and  $b$  are model parameters which have the following mean

- *desired velocity*  $v_0$ :
- *minimum spacing*  $s_0$ :
- *desired time headway*  $T$ :
- *acceleration*  $a$
- *comfortable braking deceleration*  $b$

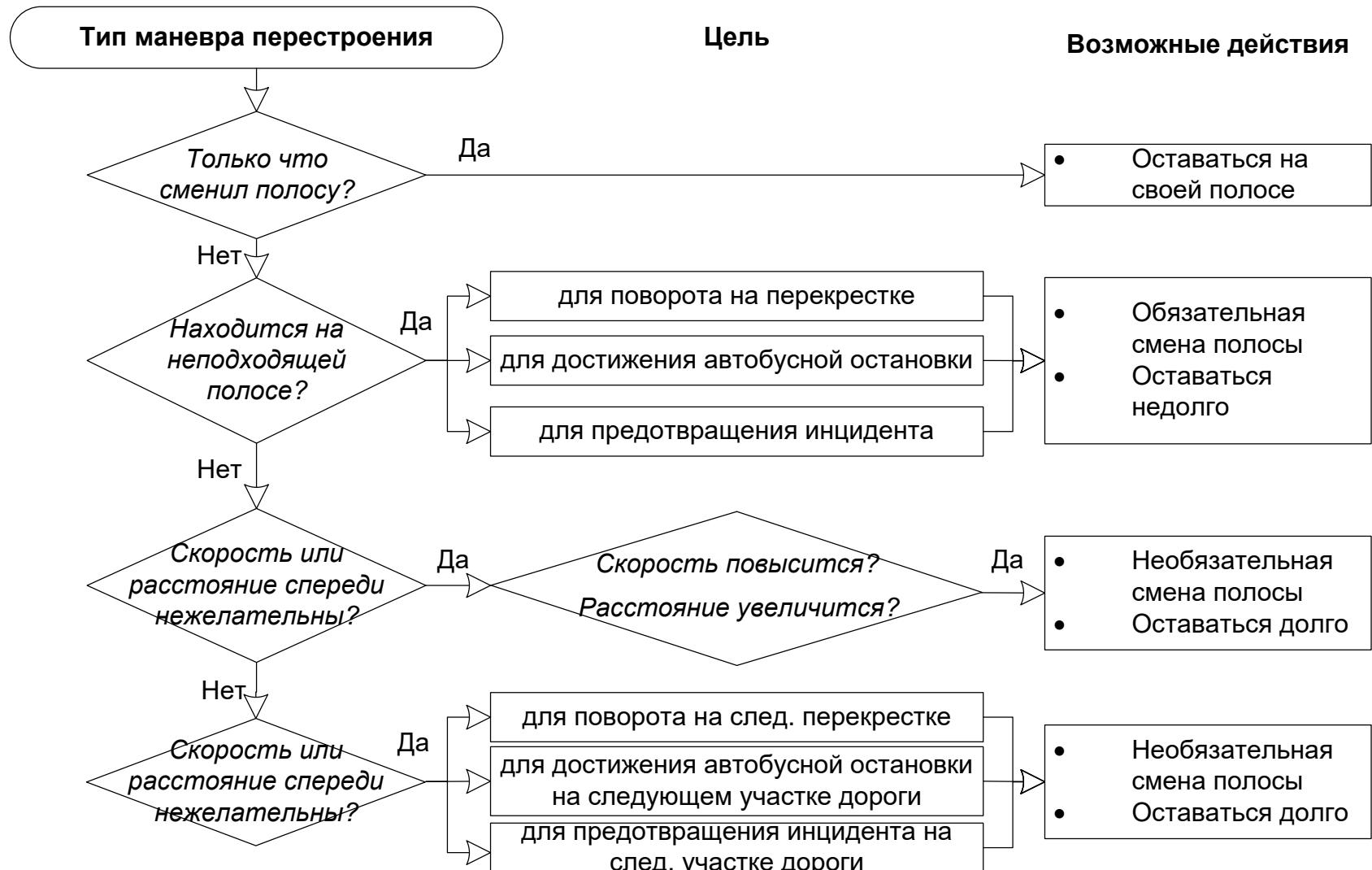
*Treiber, Martin; Hennecke, Ansgar; Helbing, Dirk (2000), "Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations", Physical Review E 62 (2): 1805–1824*

# КЛАССЫ АГЕНТОВ

Параметр IDM	Робкий	Нормальный	Агрессивный	Грузовик
Желаемая скорость , м/с	100	120	140	85
Желаемый интервал времени , с.	1.8	1.5	1.0	2.0
Заторная дистанция , м.	4.0	2.0	1.0	4.0
Максимальное ускорение , м/с <sup>2</sup>	1.0	1.4	2.0	0.7
Безопасное торможение , м/с <sup>2</sup>	1.0	2.0	3.0	2.0

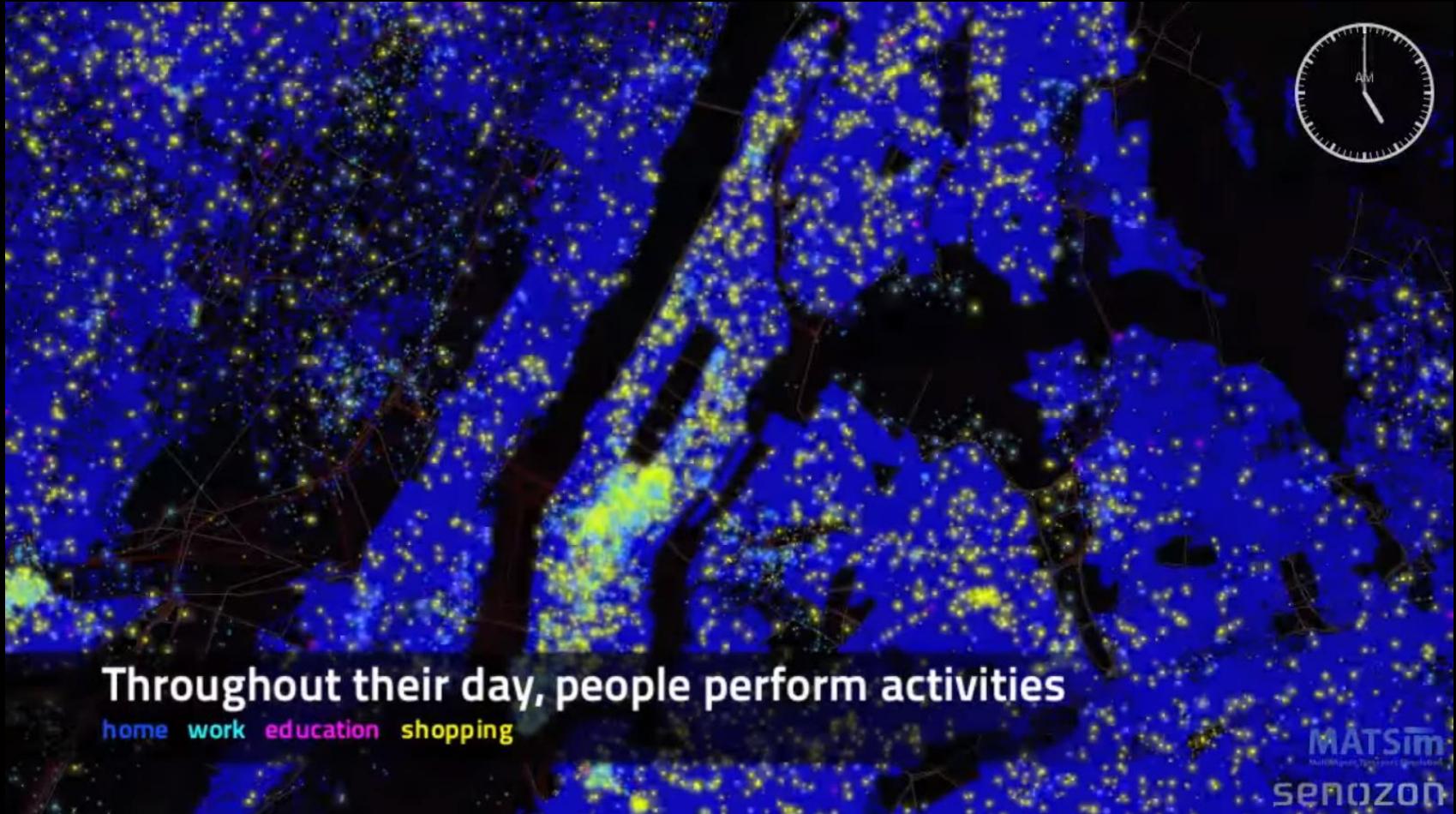
Kesting, A., Treiber, M., & Helbing, D. (2008).  
Agents for traffic simulation. *arXiv preprint arXiv:0805.0300*.

# ПЕРЕСТРОЕНИЯ



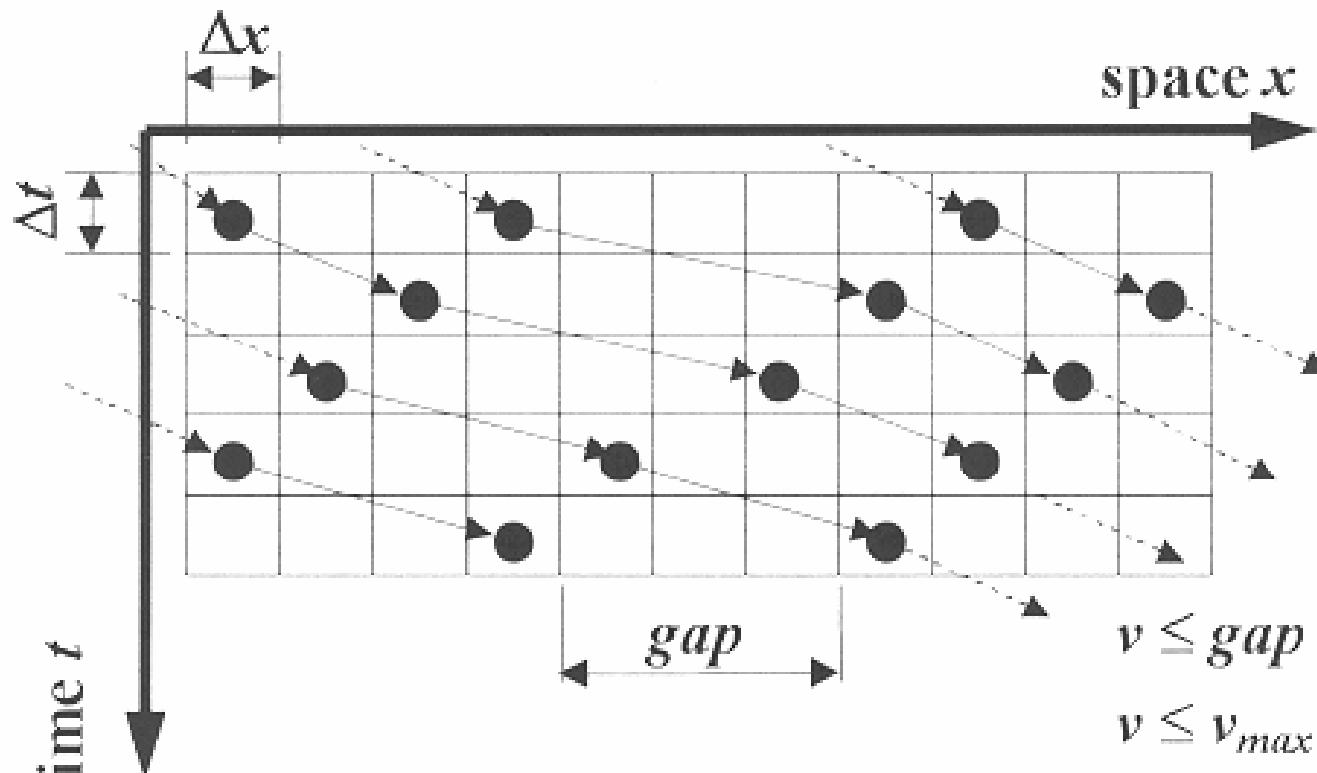
Liu, R. (2010). Traffic simulation with DRACULA. In *Fundamentals of Traffic Simulation* (pp. 295-322). Springer New York.

# MATSIM



<https://www.youtube.com/watch?v=5rnr0lAuqkg>

# КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ



e.g.,

$\Delta t = \text{reaction time} = 1\text{s}$   $\Delta x = 7.5\text{m}$   $v_{max} = 6 \text{ cells}/\Delta t = 162 \text{ km/h}$

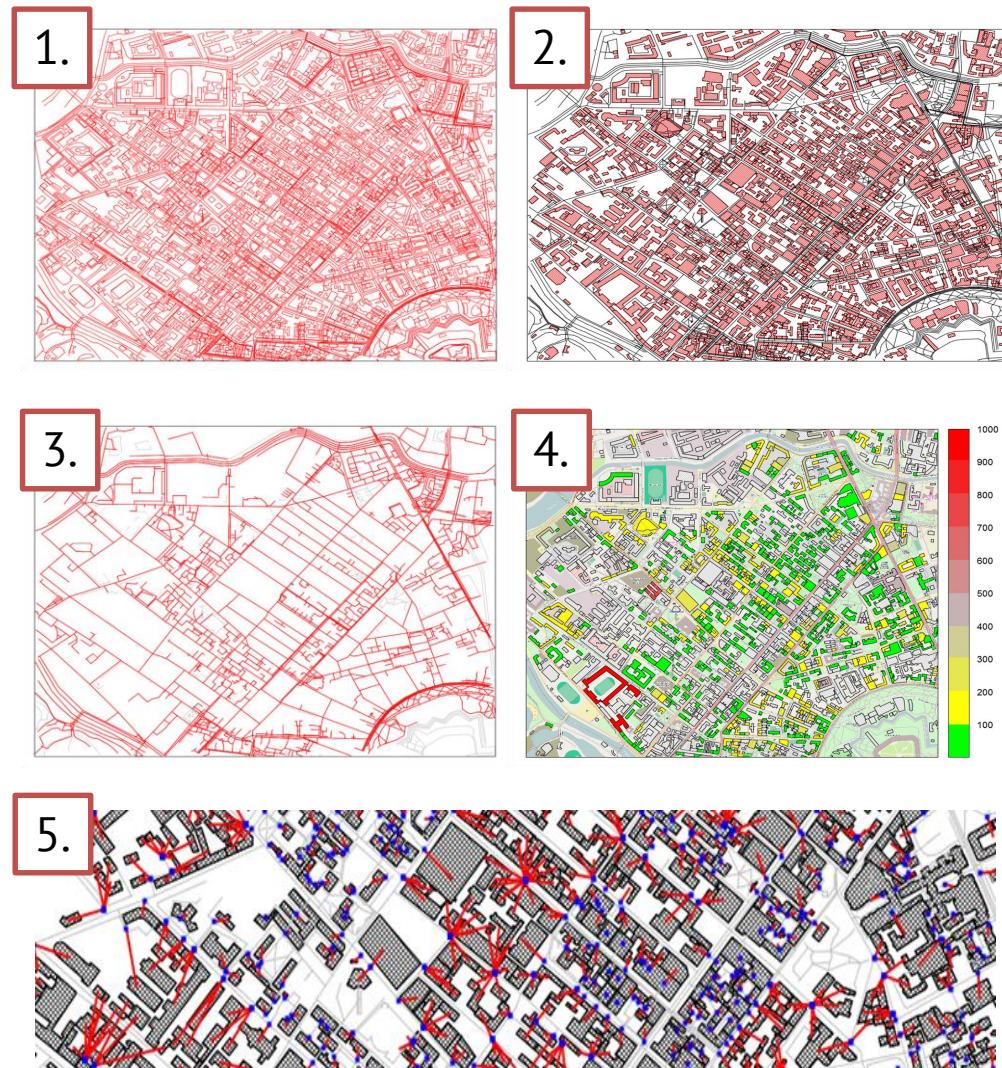
КАКИЕ ИСТОЧНИКИ  
ДАННЫХ ИСПОЛЬЗУЮТ ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ?

# Исходные данные

## Этапы подготовки:

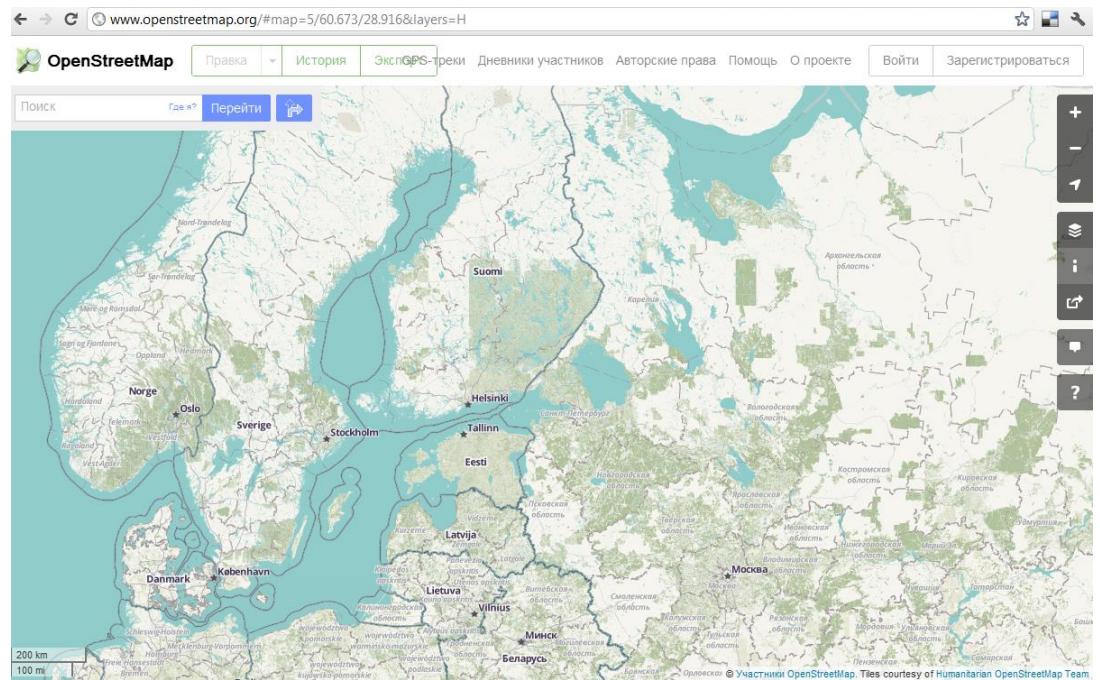
1. получение карты формата OpenStreetMap;
2. выделение в карте зданий и дорог;
3. формирование графа дорожной сети;
4. анализ зданий по количеству проживающих (использующих) людей
5. привязка зданий к дорожной сети

**Пример:** петроградский район г. Санкт-Петербурга (узлов – 4315, дуг – 9972)



# ОБРАБОТКА ДАННЫХ OPENSTREETMAP

1. Скачивание
2. Выборка и фильтрация
3. Контроль связности графа дорог
4. Оптимизация графа для моделирования



# Получение карты дорог (OSM)

## 0. Качаем файл OSM для региона (СПб)

[http://gis-lab.info/projects/osm\\_dump/](http://gis-lab.info/projects/osm_dump/)

## 1. Получение идентификатора отношения (relation)

Идем на OpenStreetMap.org и ищем Василеостровский район. Либо используем <http://nominatim.openstreetmap.org/>

Результат: 1114252

## 2. Генерируем poly-файл

<http://osm102.openstreetmap.fr/~jocelyn/polygons/index.py>

## 3. Фильтруем большой OSM

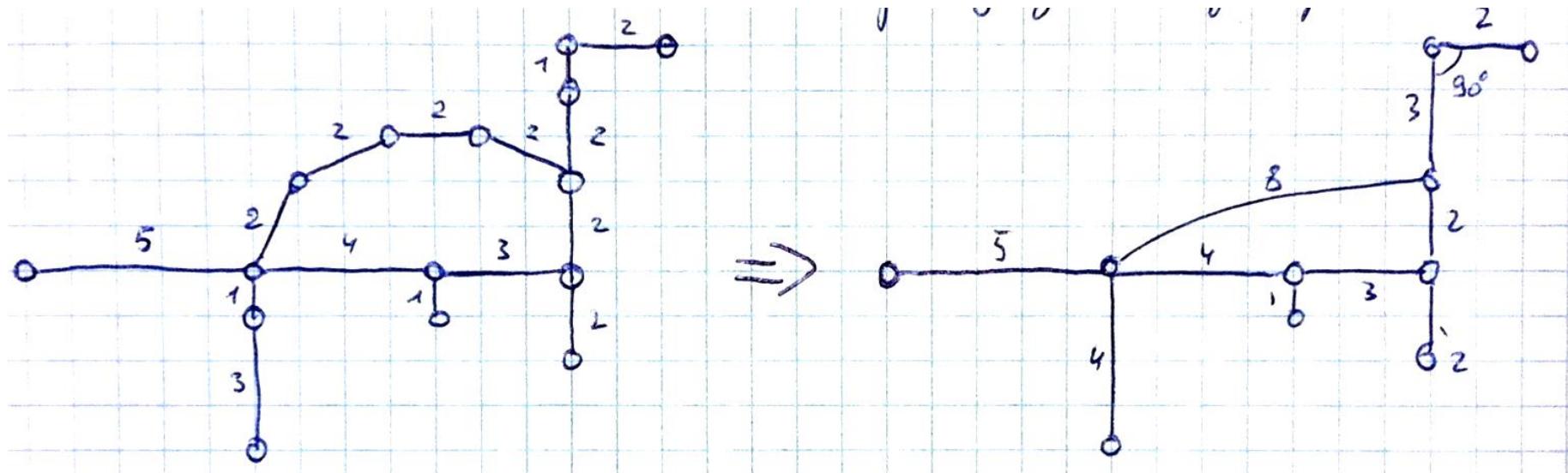
```
..\bin\osmosis.bat --read-xml file="C:\Users\kostya\Downloads\RU-SPE.osm" --  
bounding-polygon file="vi.poly" --tf reject-ways  
highway=footway,construction,proposed,path --tf reject-ways waterway=* --tf  
reject-ways natural=* --tf reject-ways leisure=* --tf reject-ways landuse=* --tf  
reject-relations --write-xml file="vi.osm"
```

## 4. Редактируем руками через JOSM

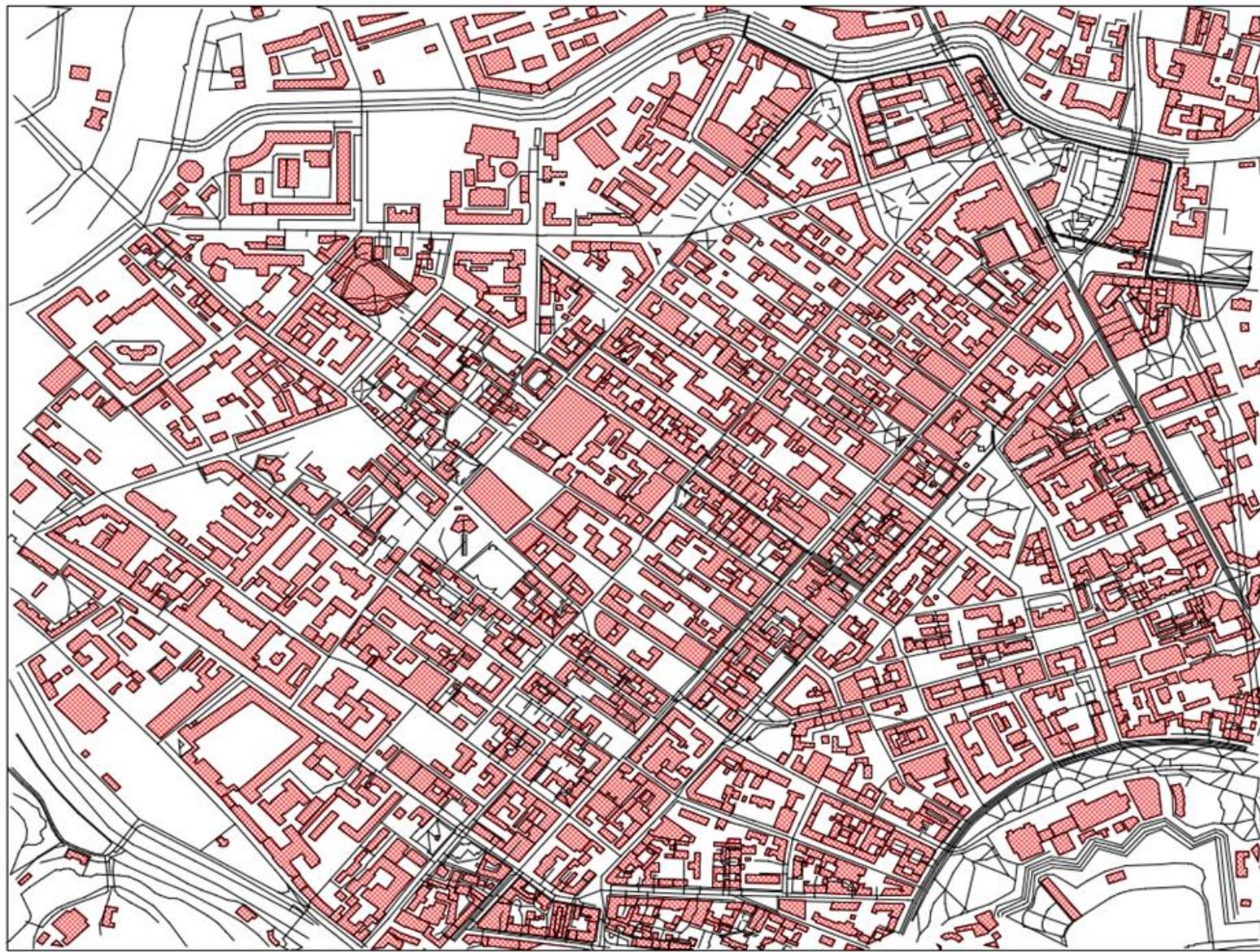
java.exe -jar -Xmx1212M "C:\PATH-TO-JOSM\josm-latest.jar"

# ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФА ДОРОГ

- Цели: повышение быстродействия, исключение численных ошибок
  - Проблемы
    - Не все ребра и узлы значимы
    - Существуют ребра с длиной менее длины автомобиля



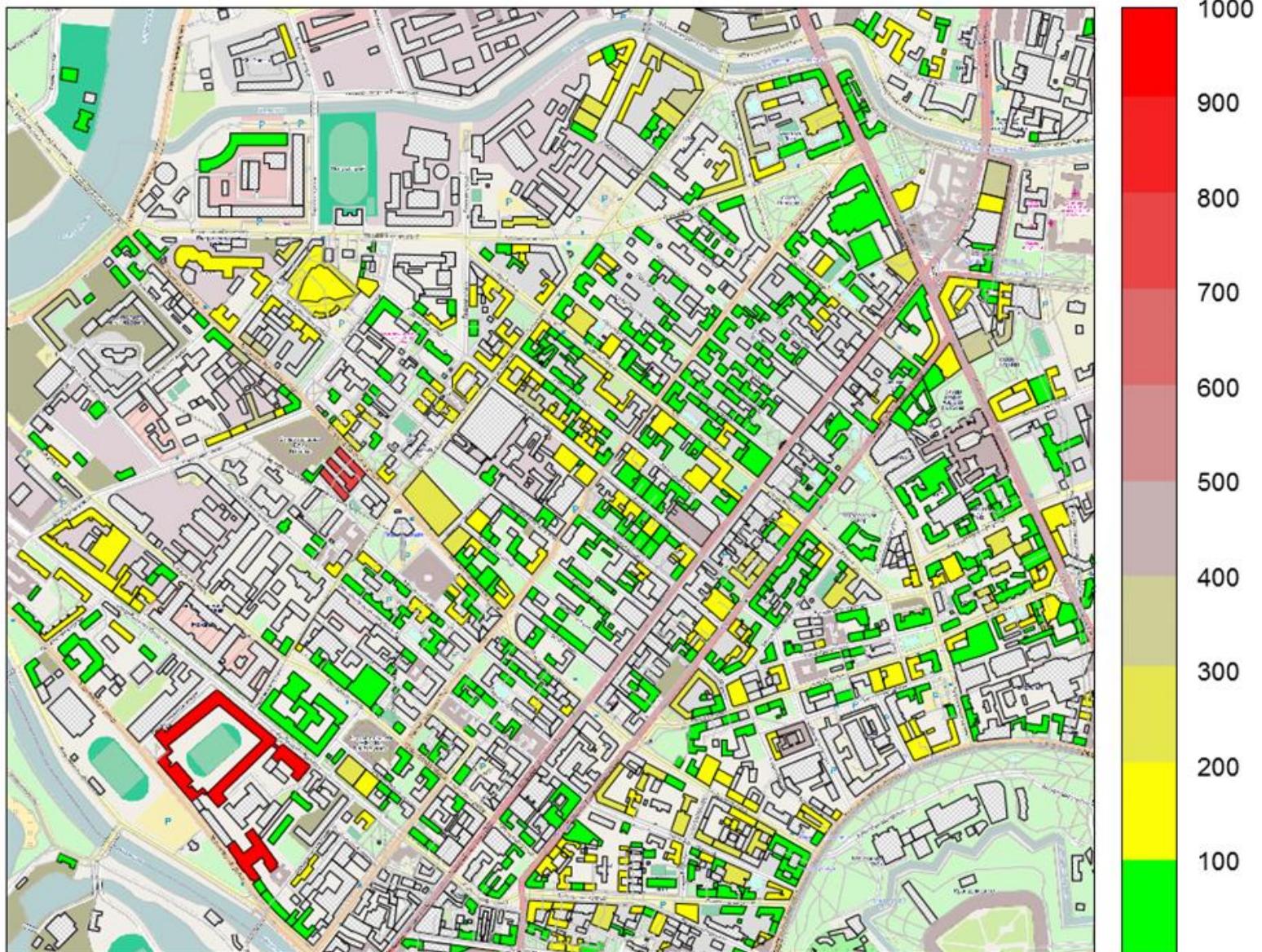
# Здания



# ПРИВЯЗКА АДРЕСОВ К УЗЛАМ СЕТИ

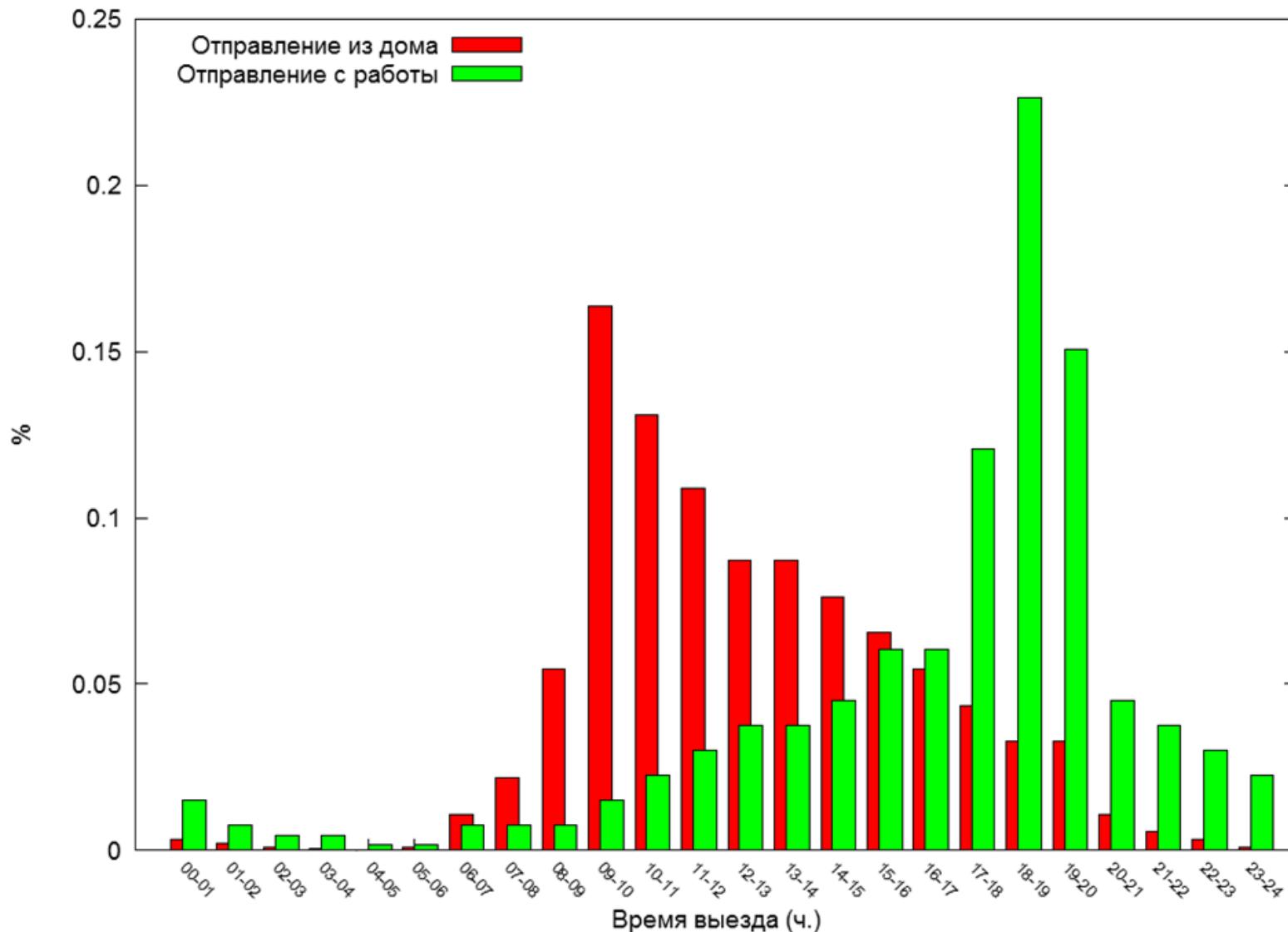


# ДАННЫЕ О НАСЕЛЕНИИ

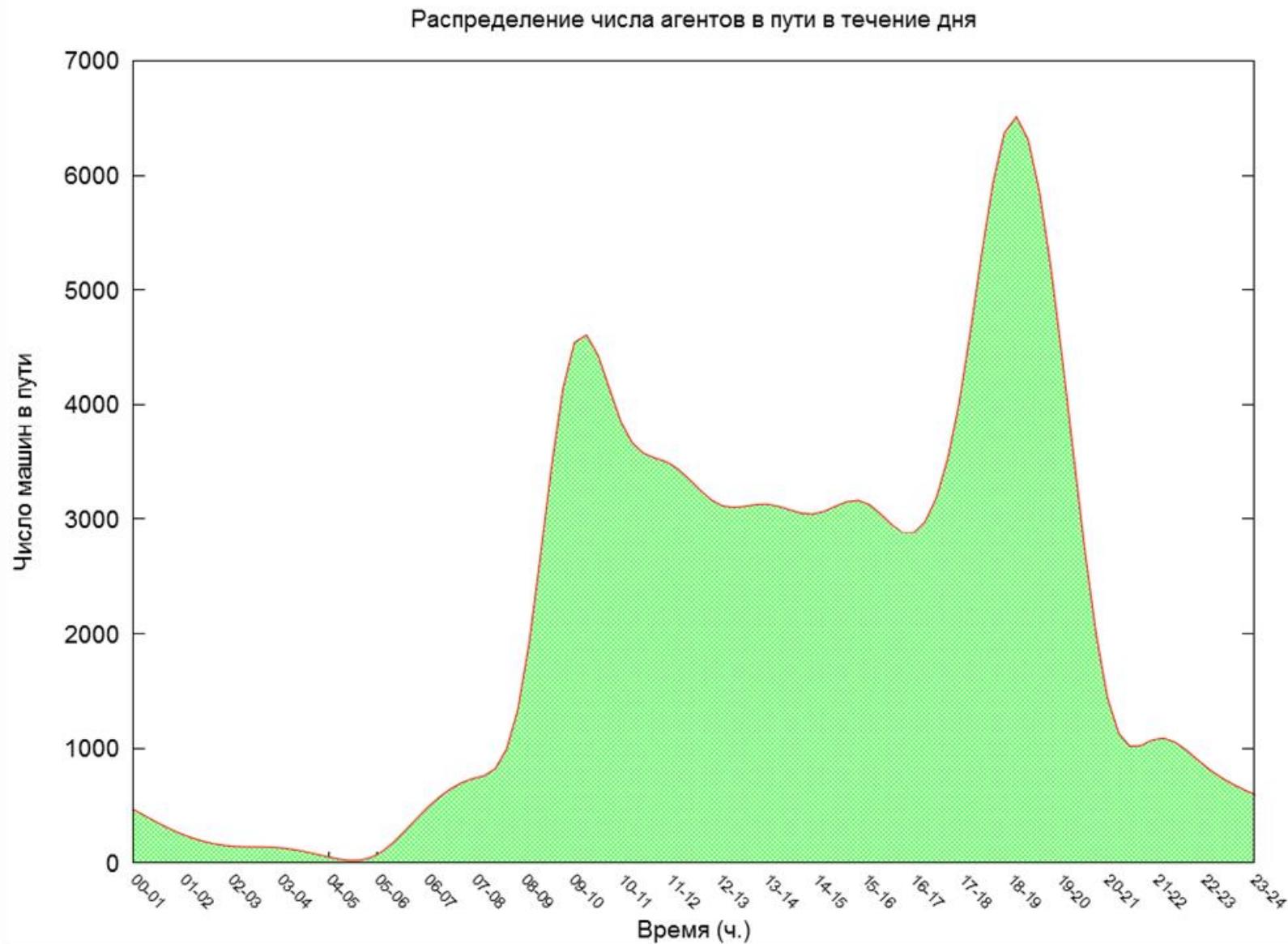


# ДАННЫЕ О МОБИЛЬНОСТИ

Распределение времен выезда агентов в/из дома



# ДАННЫЕ О МОБИЛЬНОСТИ

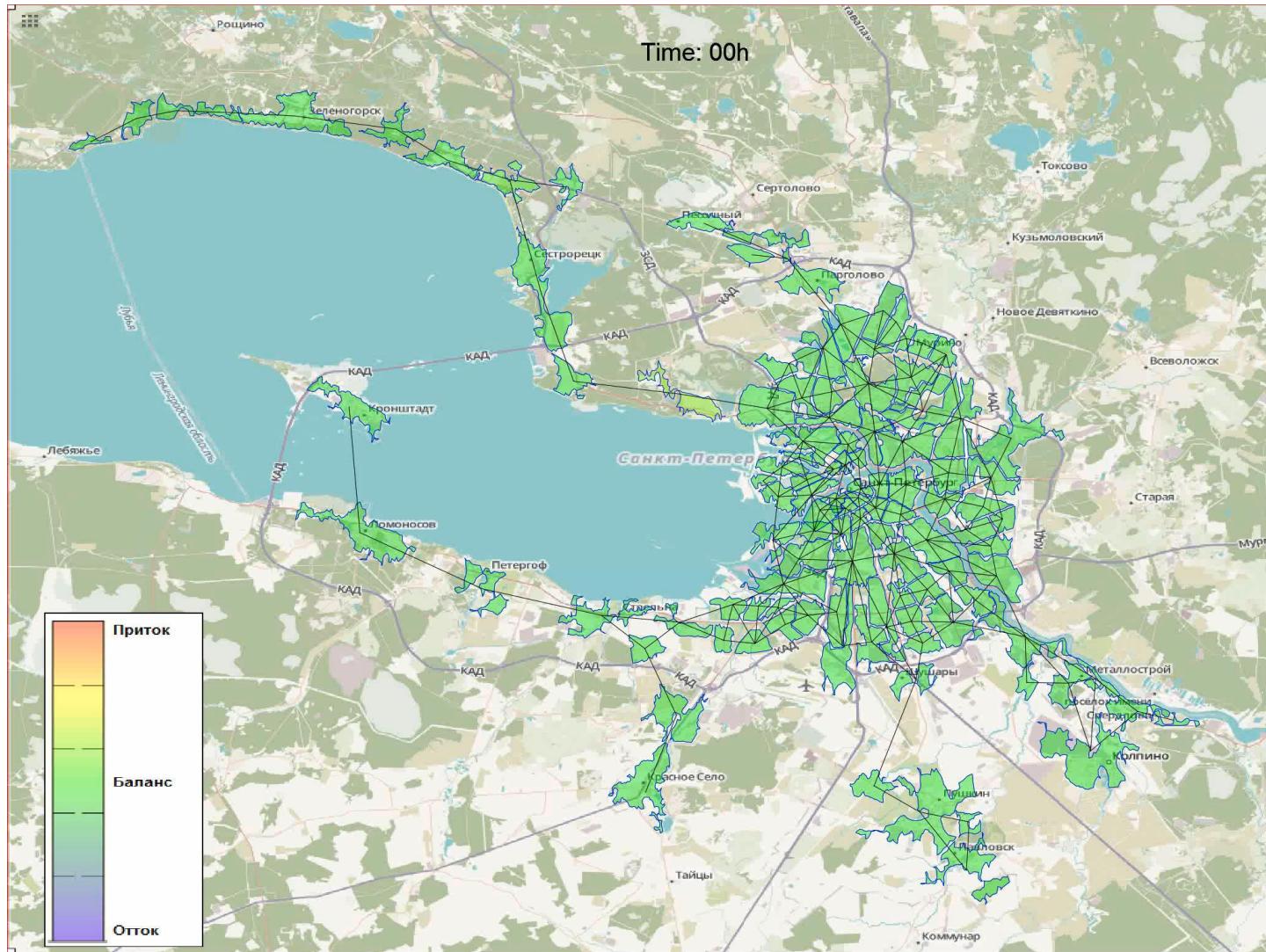


# ИНСТРУМЕНТЫ

# СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ

- PTV VISUM
- VISSIM
- Aimsun
- TRANSIMS
- PARAMICS
- MATSim
- SUMO

# МАКРО МОДЕЛЬ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ



# Микроскопическая мультиагентная модель потоков

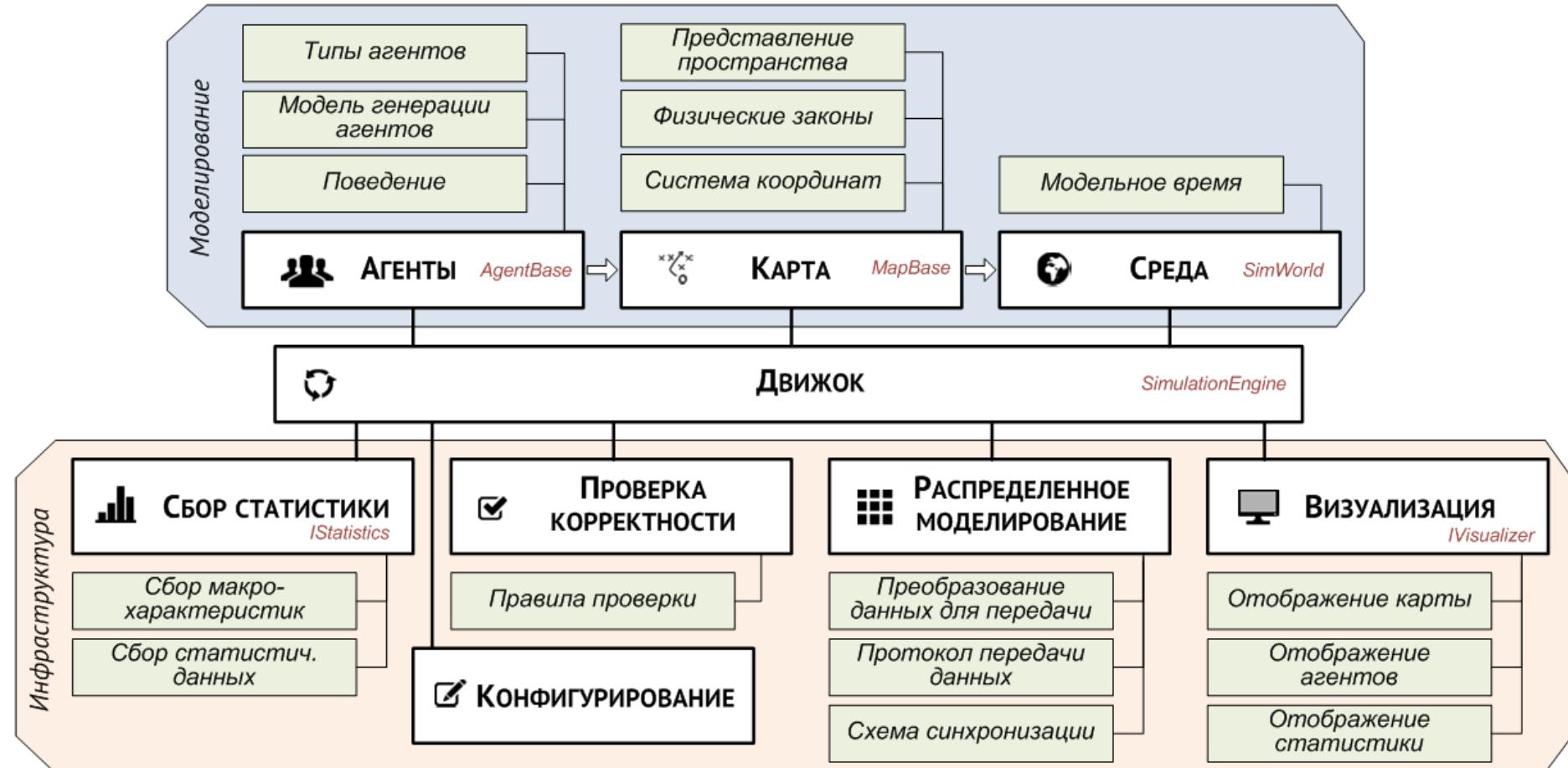
**Многоагентная система** ( англ. Multi-agent system) — это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами.

Свойства агентов в многоагентной системе:

- Автономность**: агенты, хотя бы частично, независимы.
- Ограниченностъ представления**: ни у одного из агентов нет представления о всей системе, или система слишком сложна, чтобы знание о ней имело практическое применение для агента.
- Децентрализация**: нет агентов, управляющих всей системой.

Ключевое свойство системы в целом: в многоагентных системах может проявляться самоорганизация и сложное поведение даже если стратегия поведения каждого агента достаточно проста.

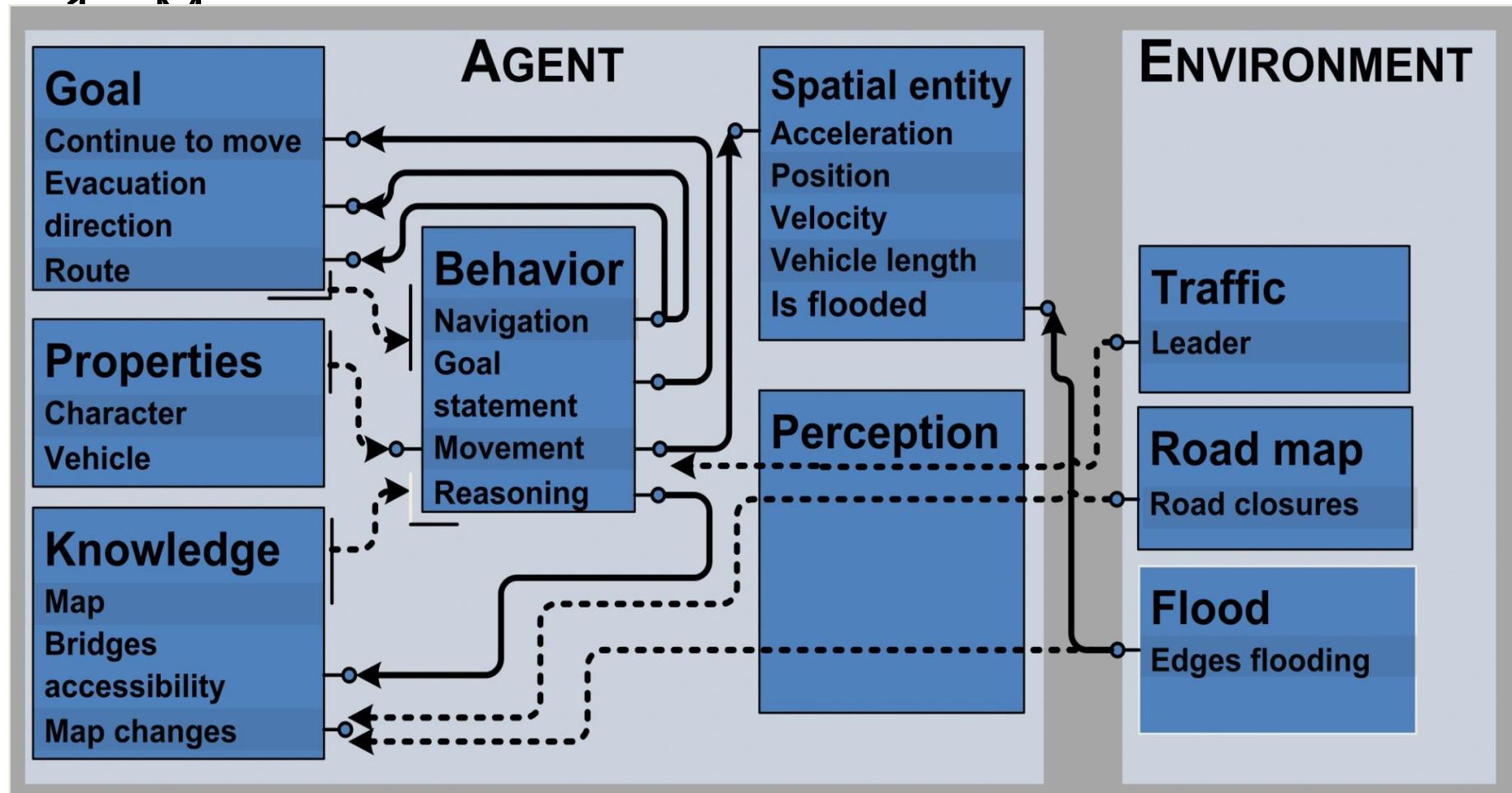
# БИБЛИОТЕКА МУЛЬТИАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ



# АГЕНТ

1. Модель движения  
(следование за лидером: IDM)
2. Выбор маршрутов  
(поиск в ширину, алгоритм Дейкстры)
3. Модель поведения: следование дневной активности (дом-работа)
4. Память (неполная информация о перекрытых дорогах)

# АГЕНТ



# ИТЕРАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

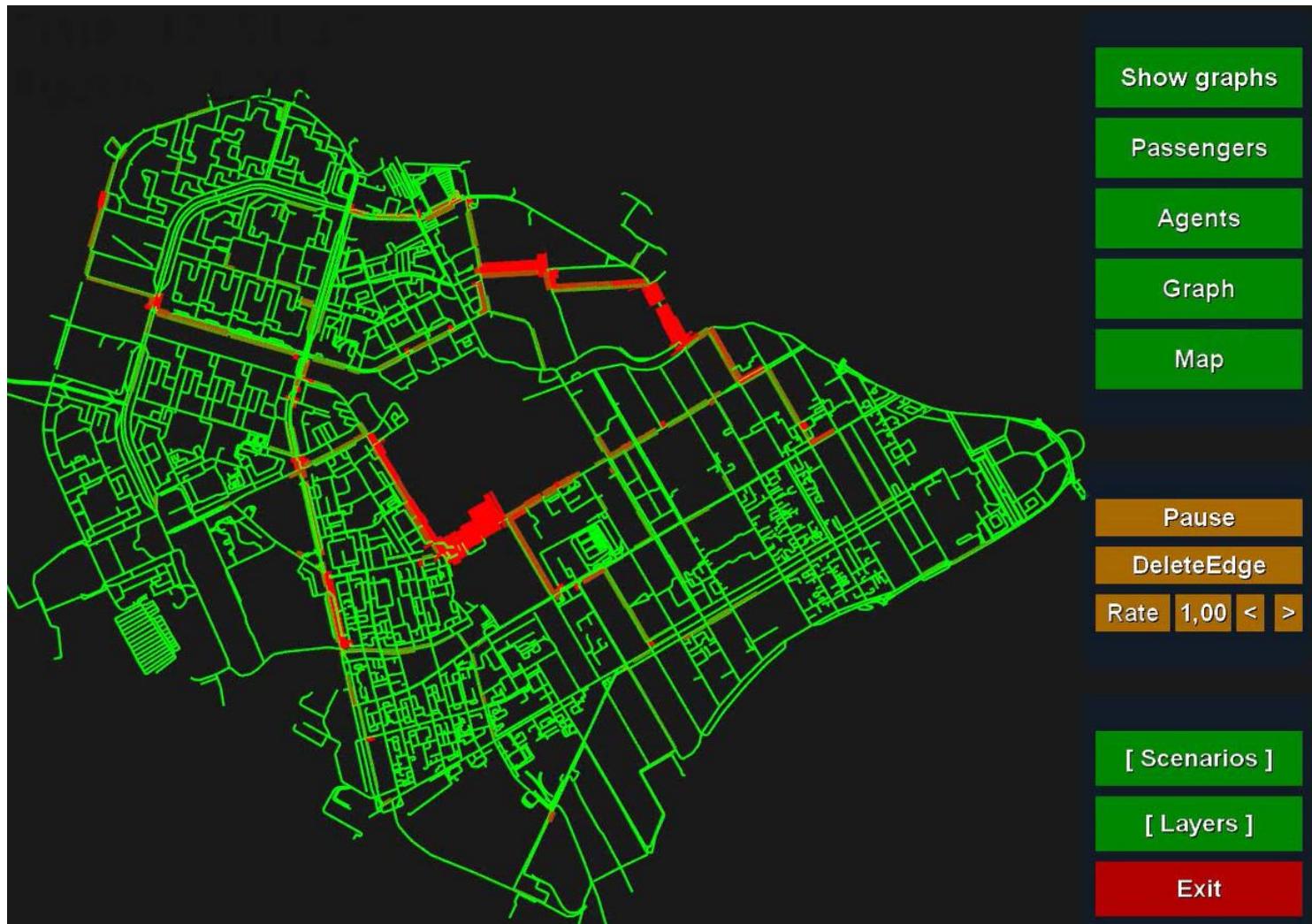
1. генерация агентов, соответствующих данному моменту модельного времени;
2. определение поведения всех агентов;
3. применение физических законов, движение агентов;
4. обновление реестра статистики;
5. увеличение модельного времени на шаг итерации;
6. удаление агентов, достигнувших свою цель;
7. синхронизация между вычислительными узлами (для распределенного варианта);
8. проверка условия остановки моделирования

# Результат

Agents on the edge (5 minutes mean)  
Time: 0 minutes



# ПАКЕТ МА-МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАФИКА



DEMO <https://youtu.be/Leph601z2j8>

# ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

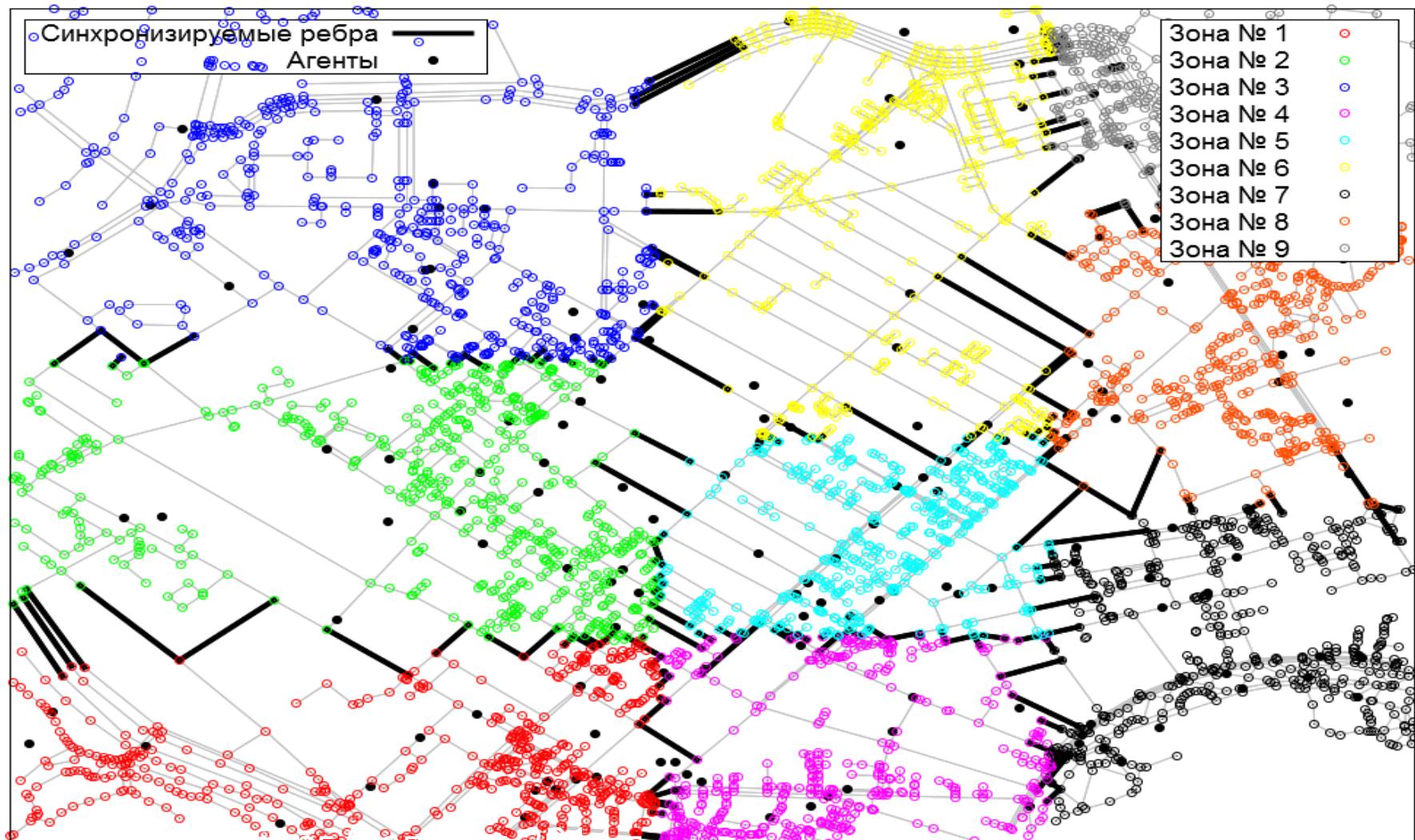
- Параллельность внутри узла
  - поведение агентов
- Внешняя параллельность по пространству моделирования
  - Параллельное моделирование каждой итерации с барьерной синхронизацией информации на границах моделируемых зон (обмен производится агентами)
  - Синхронизация по TCP с использованием протокола Protobuf;

## Алгоритм синхронизации на итерации

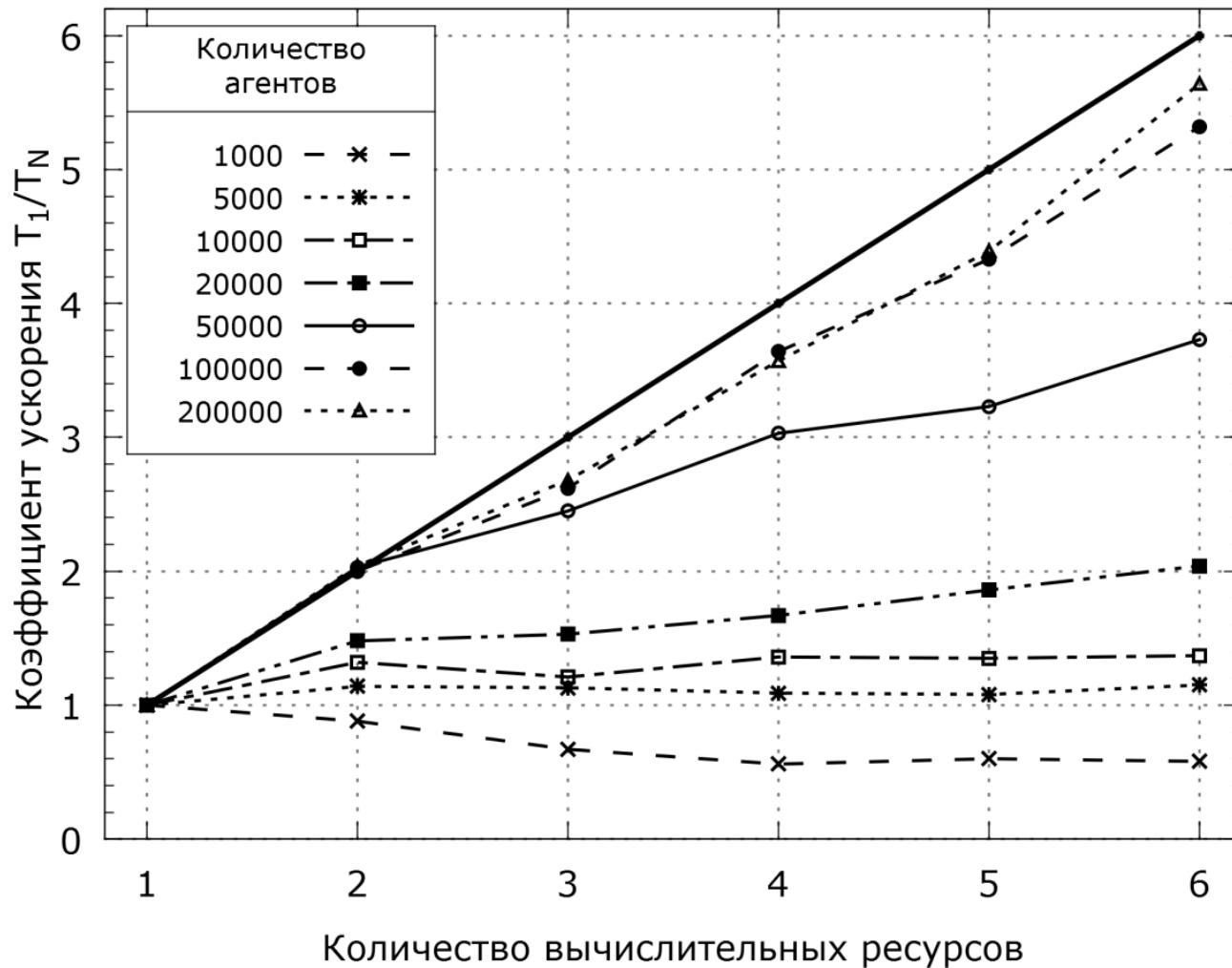
1. Вычисляются локальные условия остановки для узла.
2. По всем группам синхронизируемых дуг формируется список агентов, данные о которых передаются между узлами.
3. Производится обмен между вычислительными узлами данными о группах дуг (выполняется параллельно для разных групп).
4. Полученный результат проверяется на наличие ошибок: соответствия номеров итераций, расхождения состояния между узлами.
5. Производится обработка полученных данных: если появились новые агенты - они регистрируются в модели.
6. Вычисляются локальные условия остановки для узла (возможно, были добавлены новые агенты).
7. Оцениваются условия остановки на основе локальных данных и данных, полученных от других узлов.

# РАЗБИЕНИЕ ГРАФА НА СБАЛАНСИРОВАННЫЕ ЧАСТИ

Граф дорог с разделением на зоны



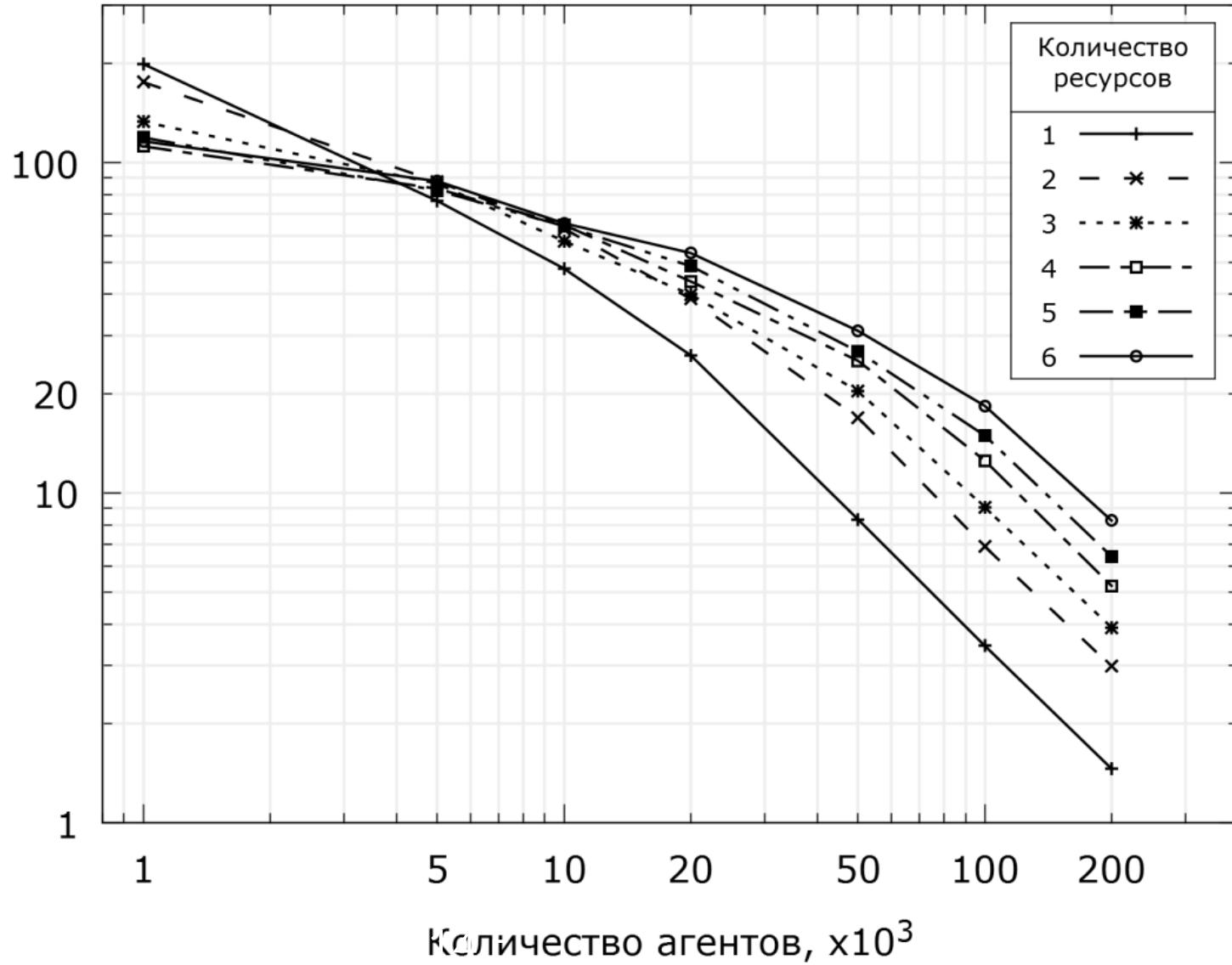
# ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ



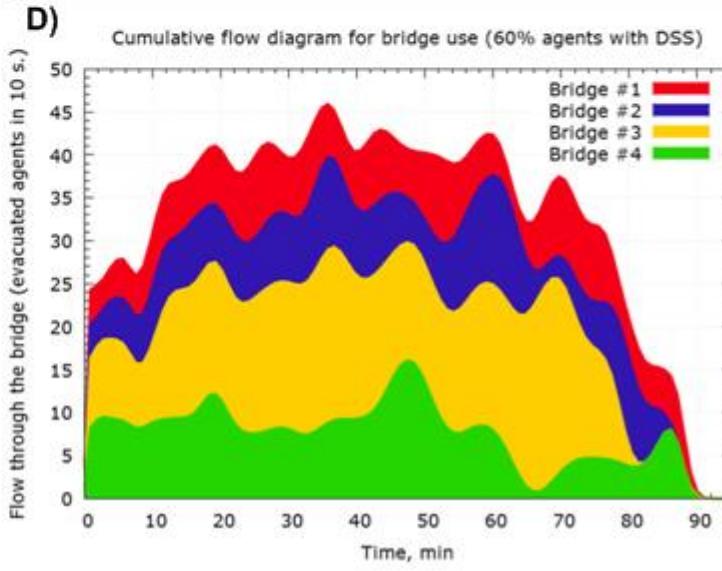
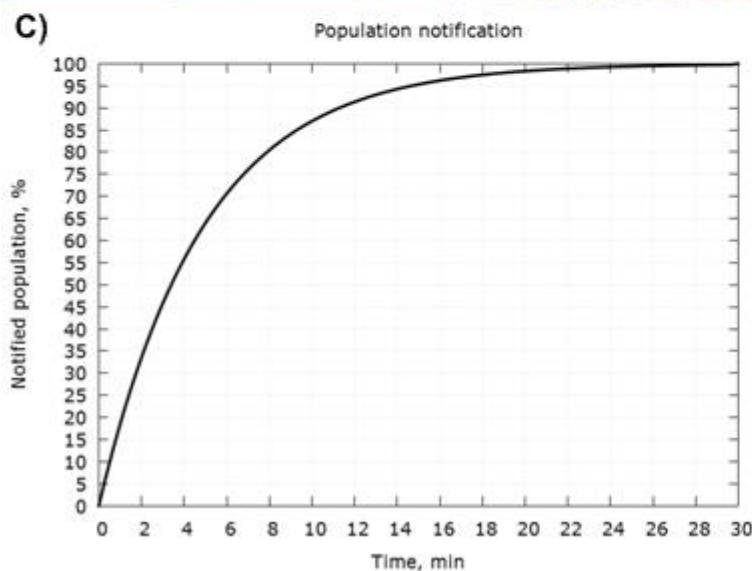
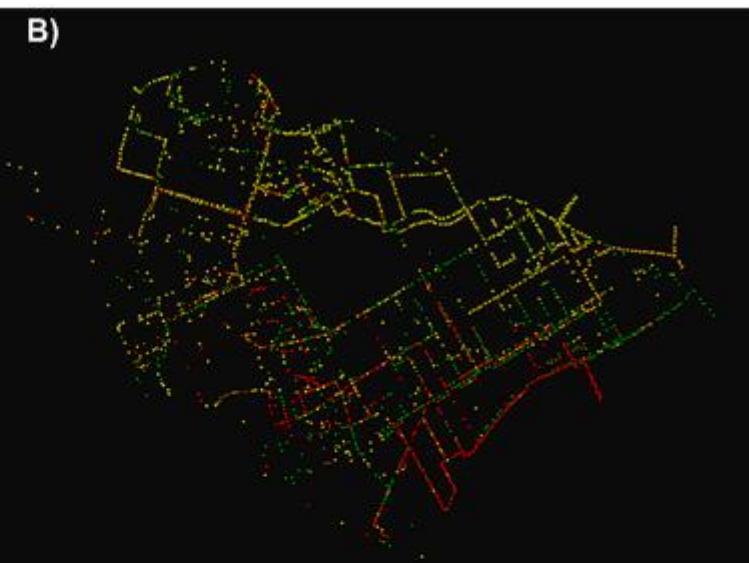
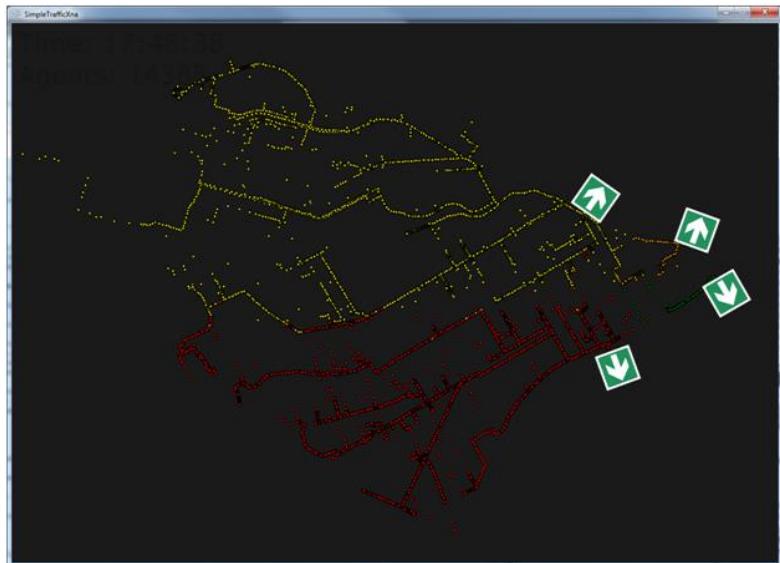
Иванов, С. В., Князьков, К. В., Чуров, Т. Н., Духанов, А. В., & Бухановский, А. В. (2013). Моделирование и оптимизация движения городского общественного транспорта в среде облачных вычислений CLAVIRE.

# СКОРОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Отношение модельного времени к реальному



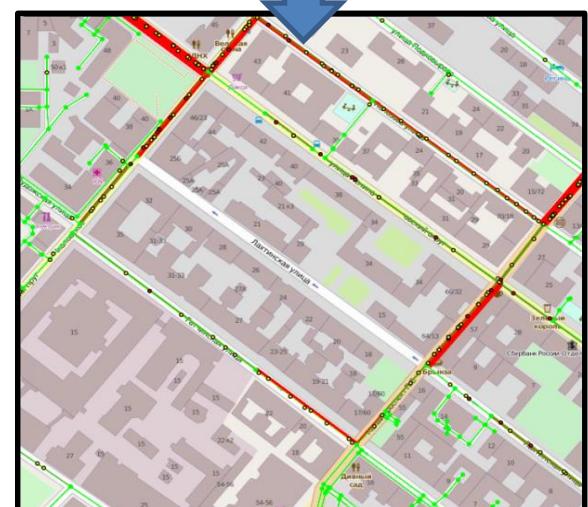
# СТАТИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



# Динамическая визуализация

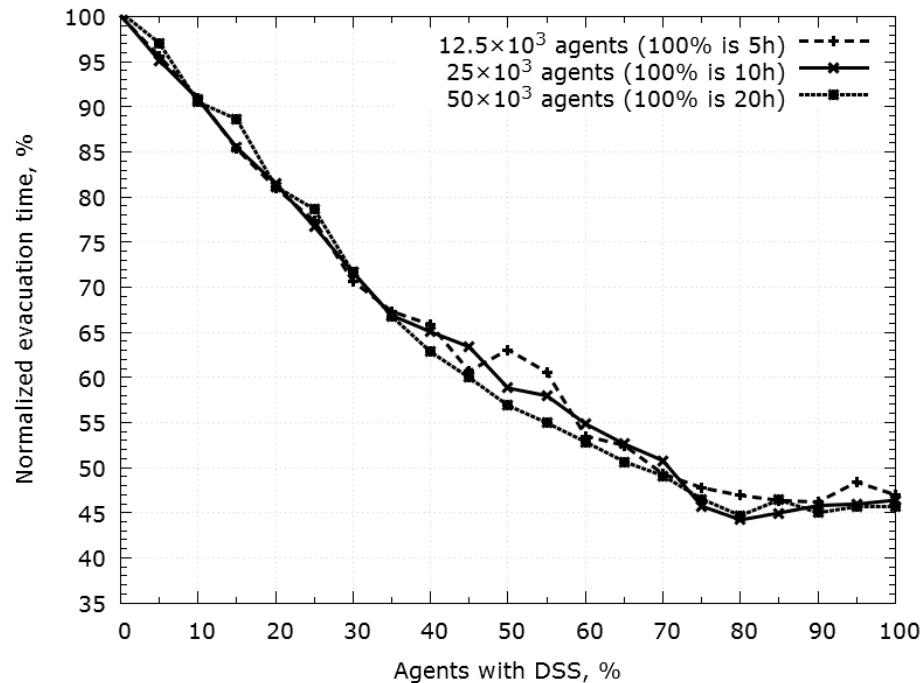
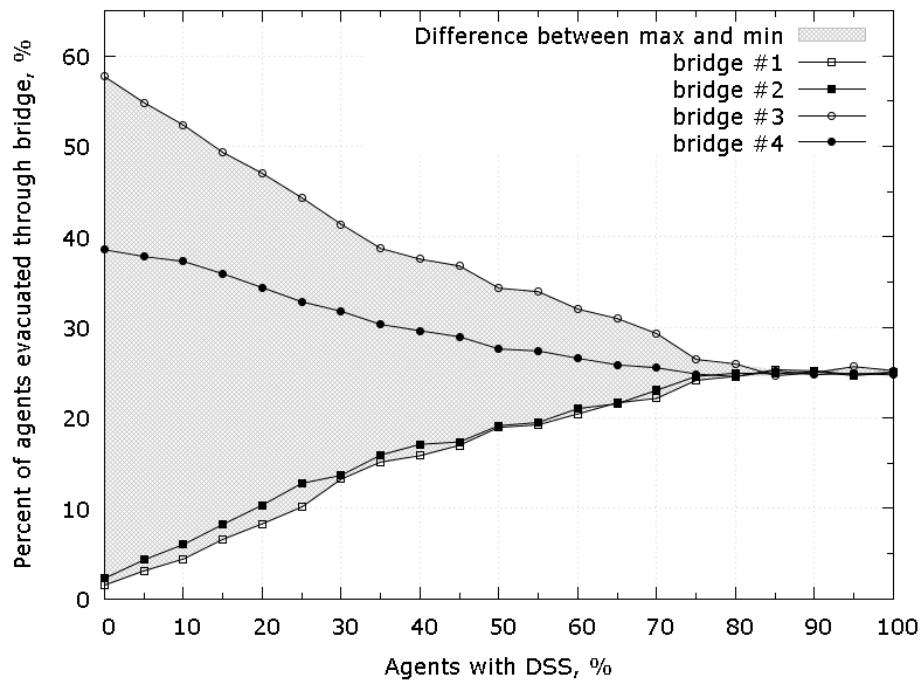


# ИНТЕРАКТИВНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ



# ПРИМЕРЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

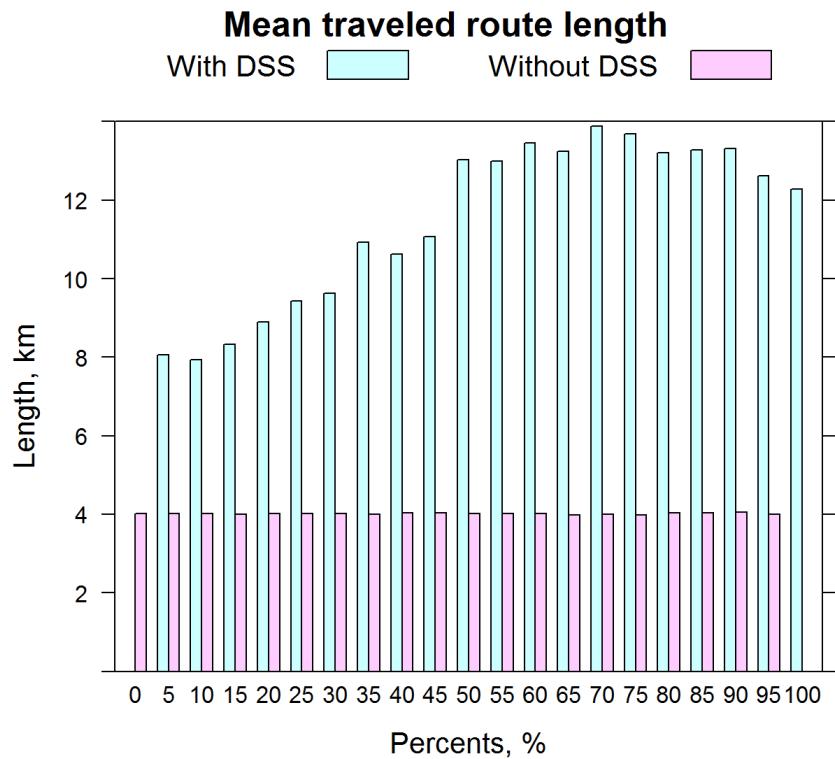
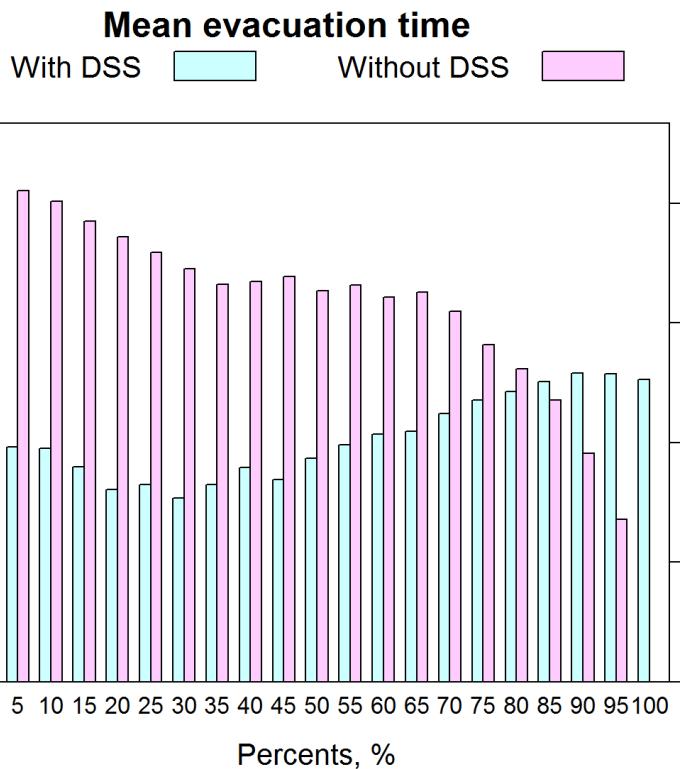
# ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НАВИГАТОРОВ



**Основные выводы:** минимальное время эвакуации достигается при использовании СППР ~75-80%-ми пользователей. При этом достигается оптимальный баланс использования мостов.

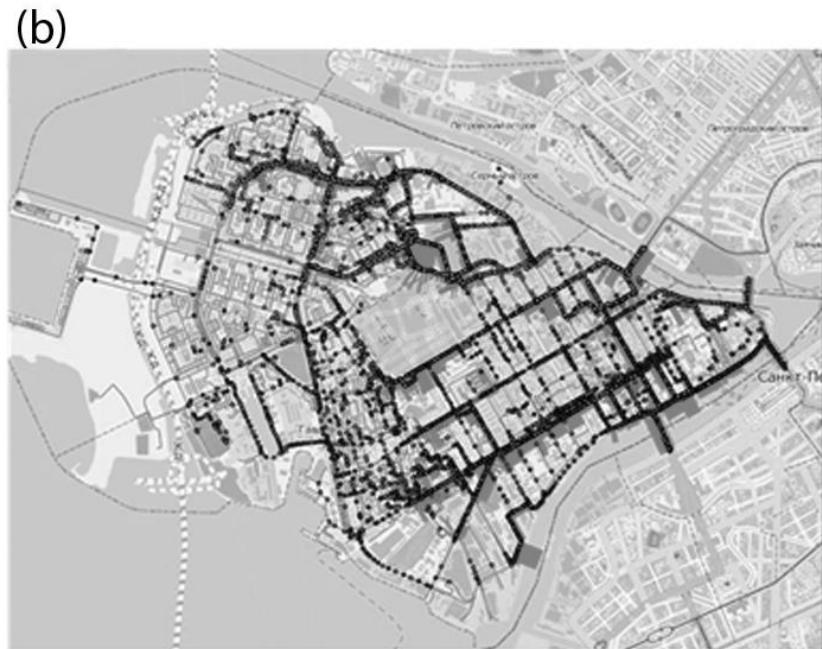
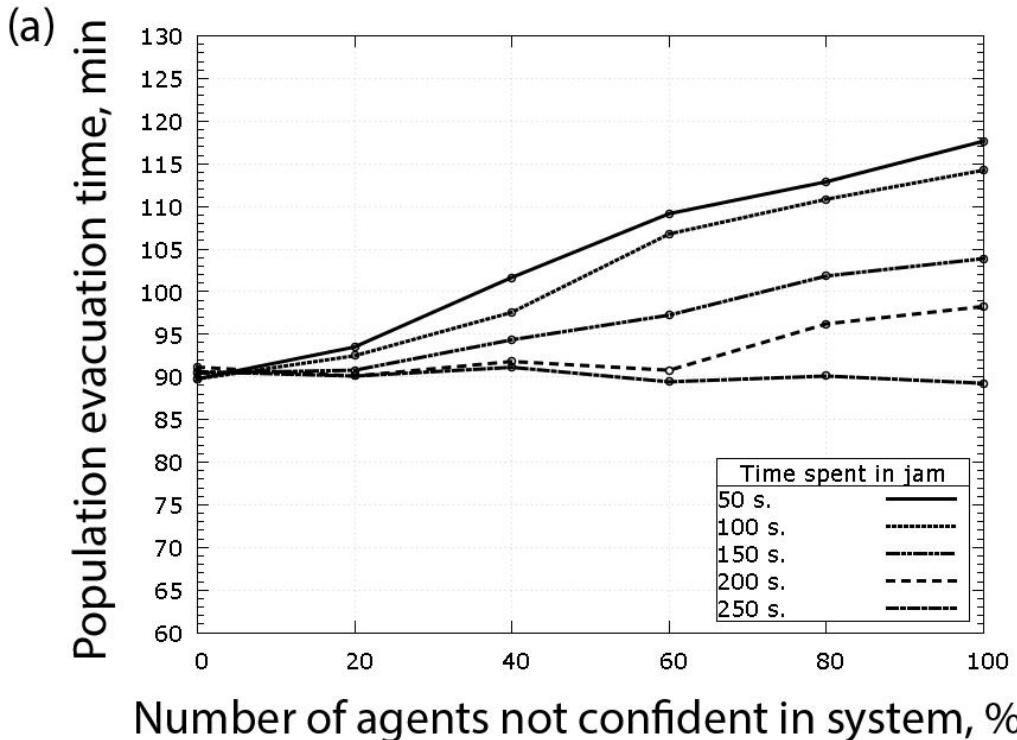
Ivanov, S. V., & Knyazkov, K. V. (2014). Evaluation of in-vehicle Decision Support System for Emergency Evacuation. *Procedia Computer Science*, 29, 1656-1666.

# ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ



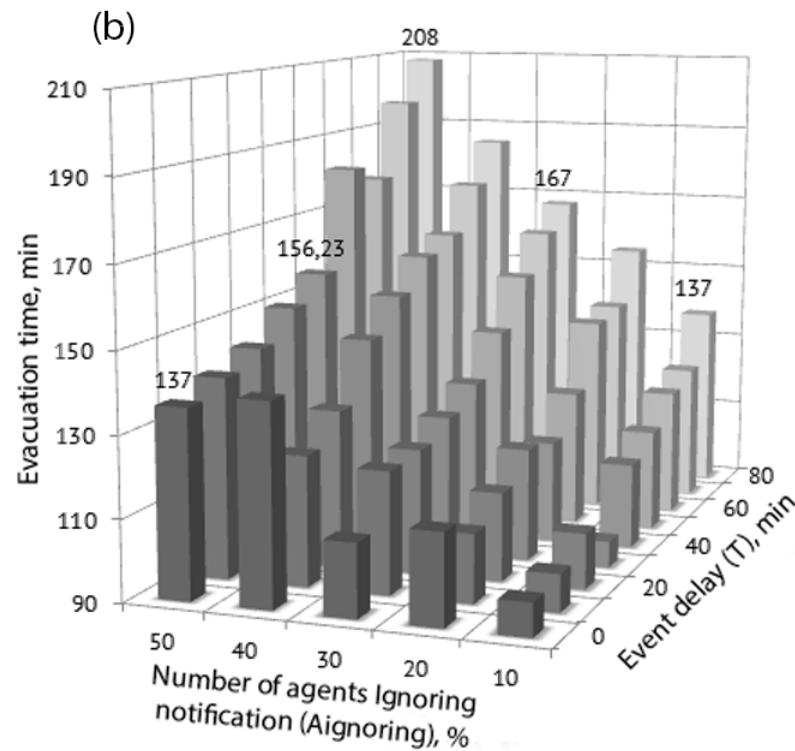
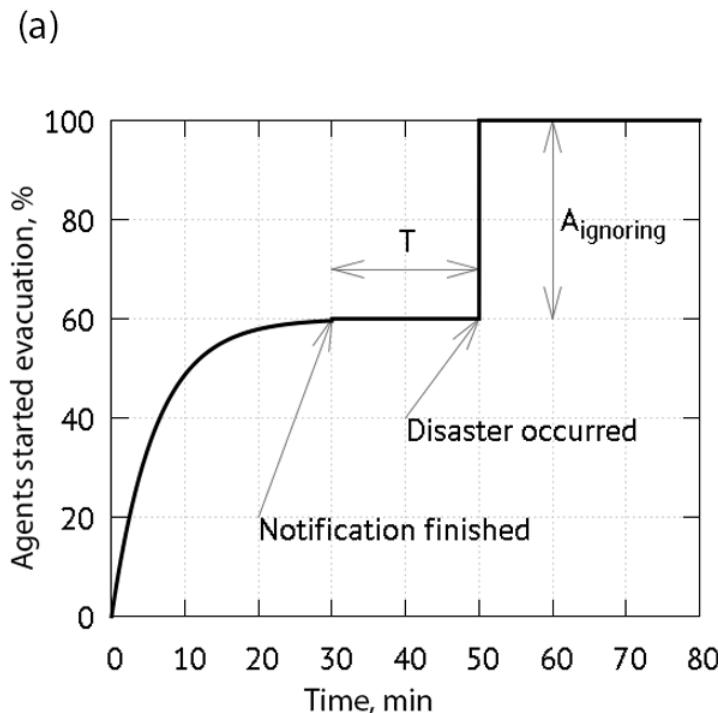
**Основные выводы:** минимальное время эвакуации с точки зрения отдельного водителя (с СППР) достигается при использовании СППР ~20-30%-ми пользователей. Длина оптимального маршрута может быть намного больше, чем кратчайшего до выезда.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОВЕРИЯ К СИСТЕМЕ



Influence of the agents' non-rational change of decisions on evacuation time (a) and simulation visualization (b)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОВЕРИЯ К СИСТЕМЕ



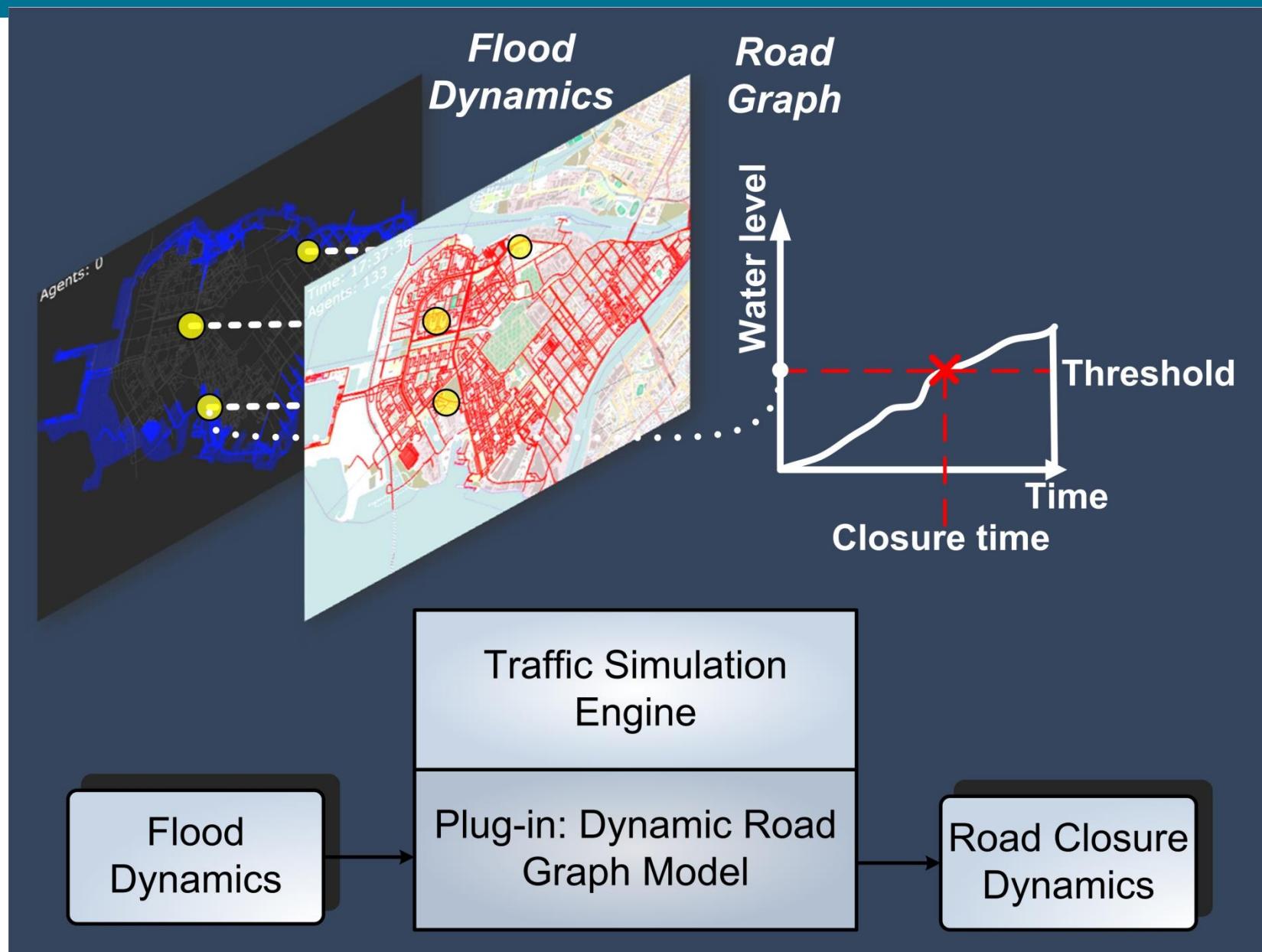
Evacuation curve (a) and influence of the agents ignoring warning notification on evacuation time (b)

Vladislav Karbovskii, Sergei Ivanov, Konstantin Knyazkov. A Multi-agent Simulation Of Human Behavior During Emergency Evacuations With In-vehicle Decision Support System // WIT Transactions on Information and Communication Technologies, V. 56, pp. 635-644 (2014)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ППР ПРИ ЭВАКУАЦИИ



# Совмещение моделей



# Виды ППР

	Type DSS	Optimal path	Information about flood dynamics	Agents' knowledge acquisitions
1	No DSS	Closets exit define by minimal length	No	Familiar with the whole map + own experience
2	Ordinary navigators	Minimization of estimation travel time	No	Familiar with the whole map + own experience + traffic jams
3	Learning navigators	Minimization of travel time by capability of knowledge sharing	Local	Own experience + commit knowledge to shared storage
4	Navigators with full information about flooding	Minimization of travel time with full information of flood dynamic	Full	Navigator

Time: 17:52:21  
Agents: 8042

S1: No DSS



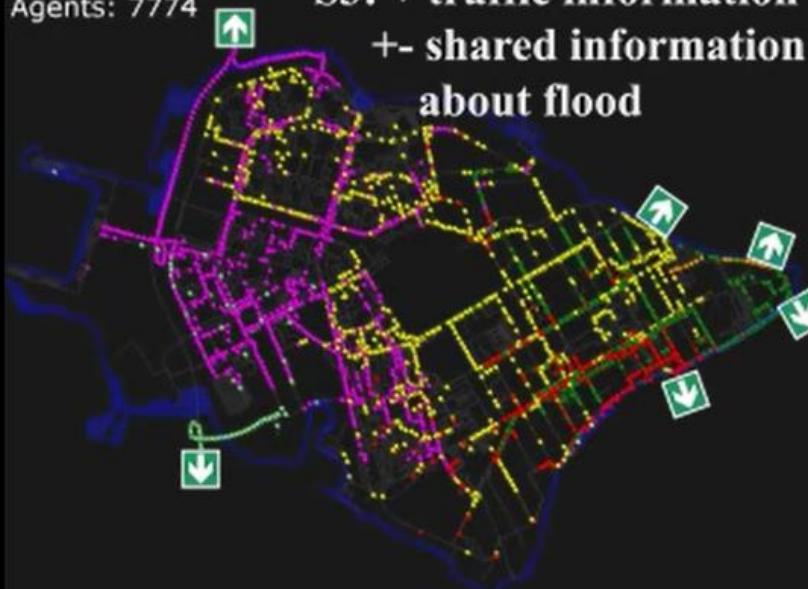
Time: 17:59:48  
Agents: 7541

S2: + traffic information  
- flood information



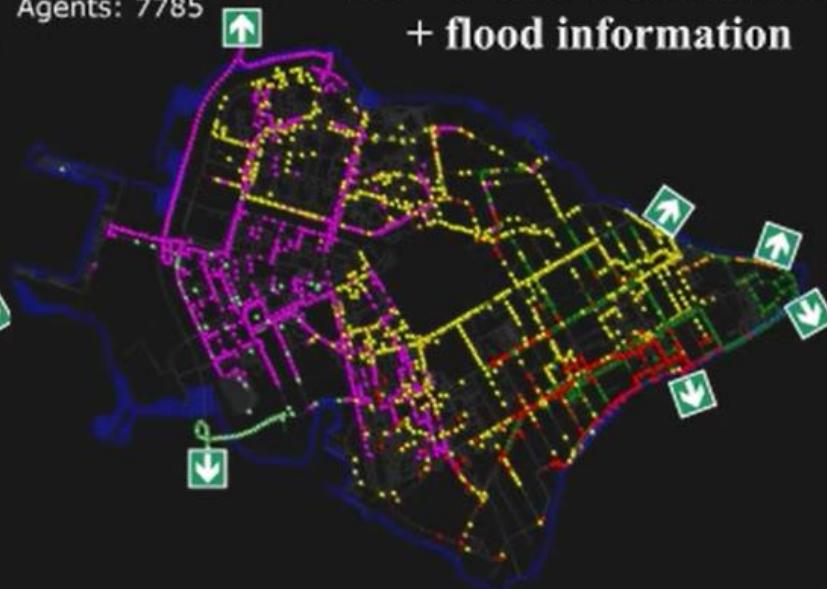
Time: 17:50:08  
Agents: 7774

S3: + traffic information  
+- shared information  
about flood



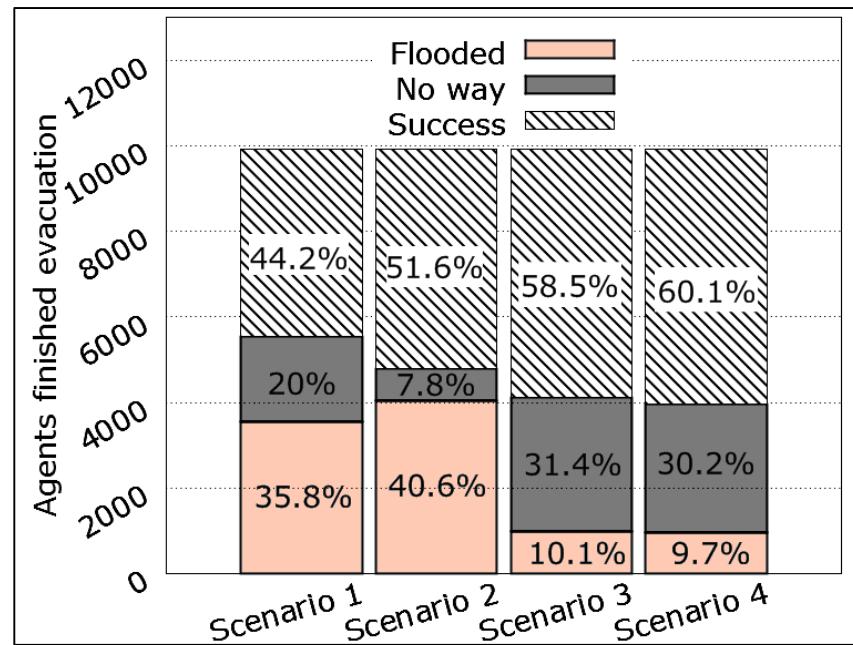
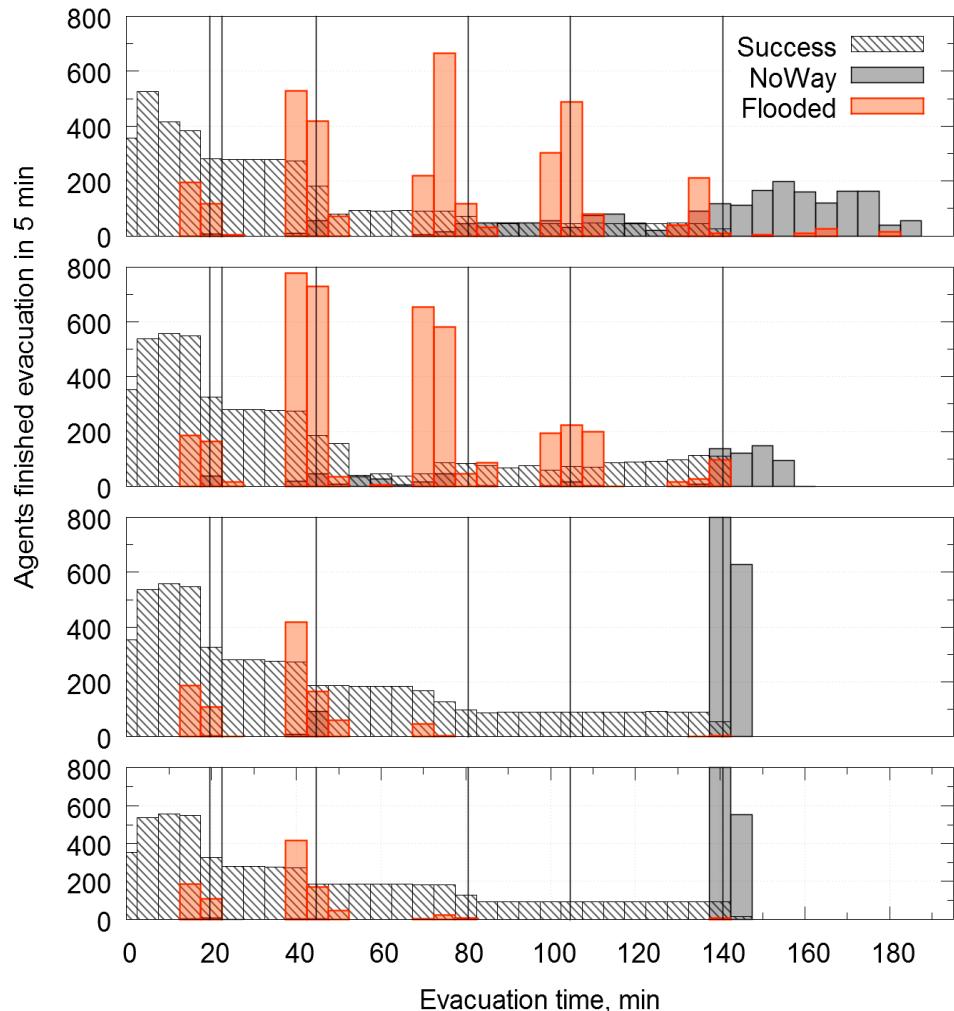
Time: 17:50:12  
Agents: 7785

S4: + traffic information  
+ flood information

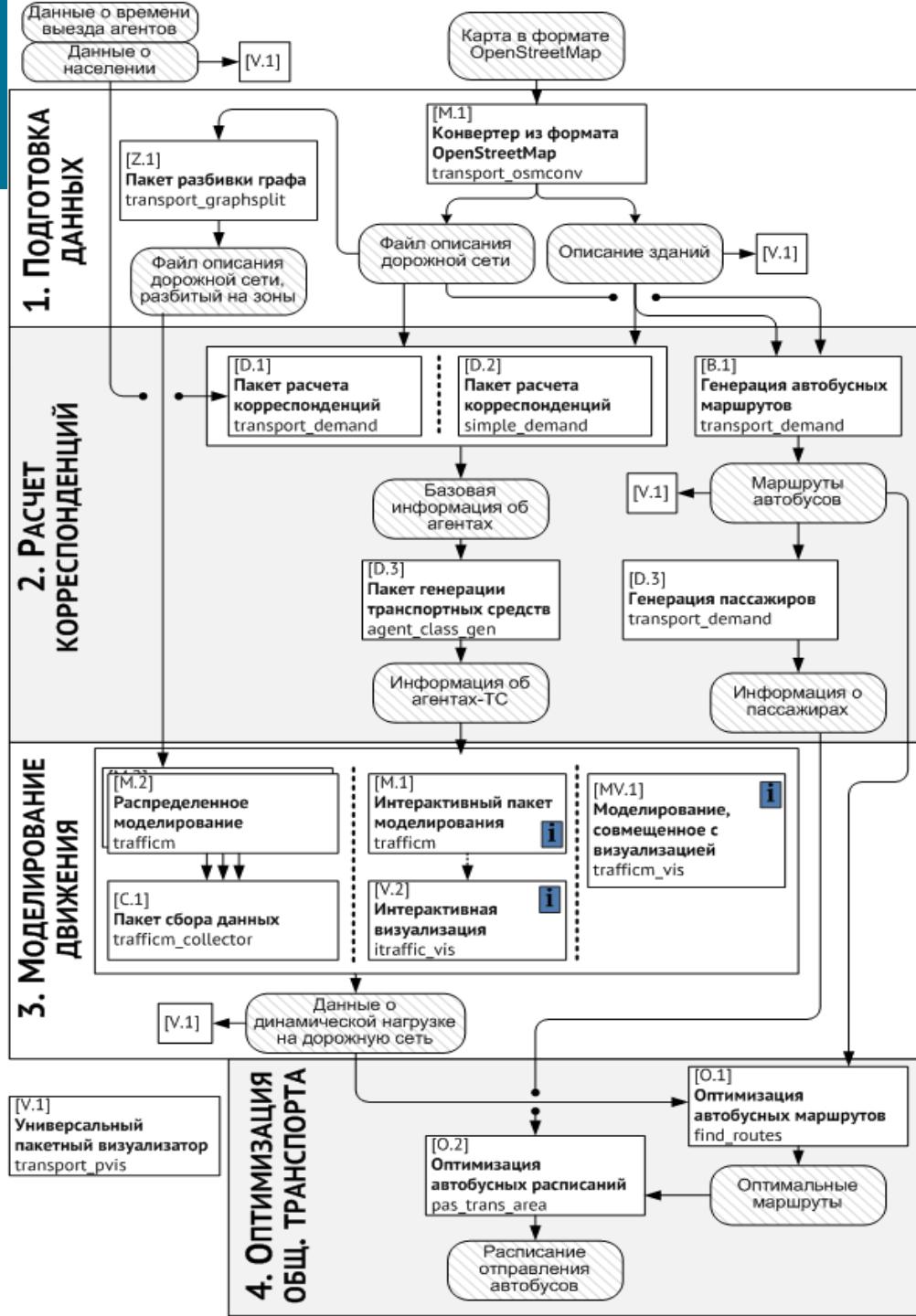


DEMO <https://youtu.be/T44NHUEbcyg>

# РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

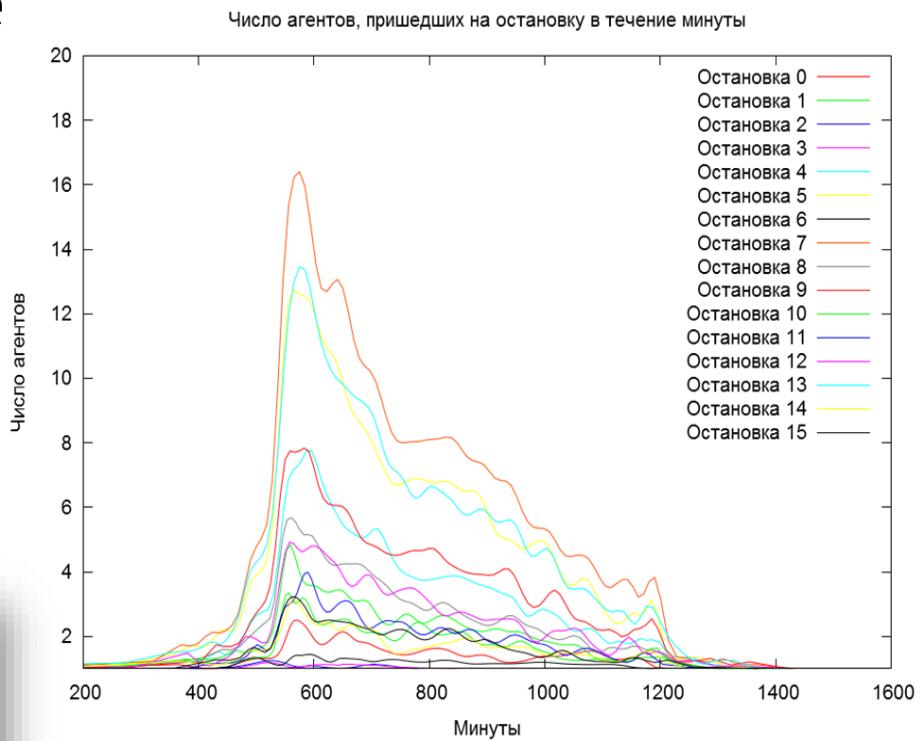
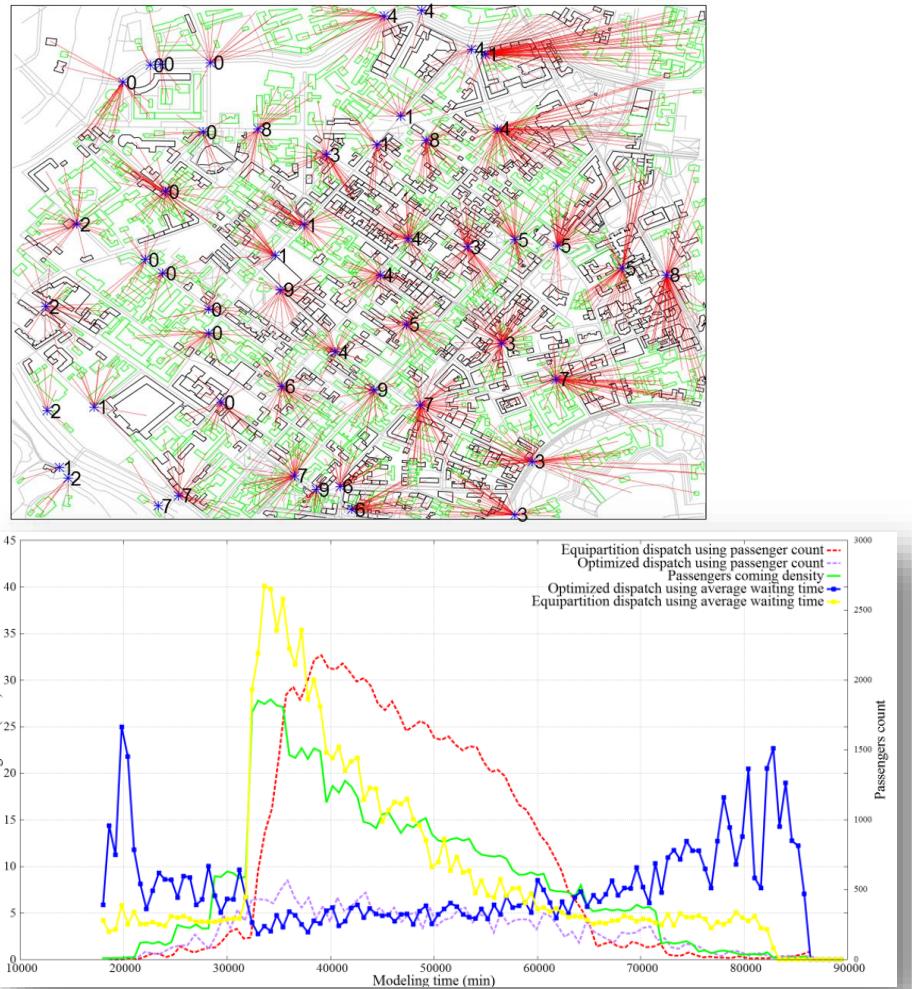


Knyazkov, K., Balakhontceva, M., & Ivanov, S. (2014). TOWARDS A FRAMEWORK FOR SIMULATION-BASED EVALUATION OF PERSONAL DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR FLOOD EVACUATION. *14th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing*, 1(SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-10-0/ISSN 1314-2704, June 19-25, 2014, Vol. 1), 883-894.

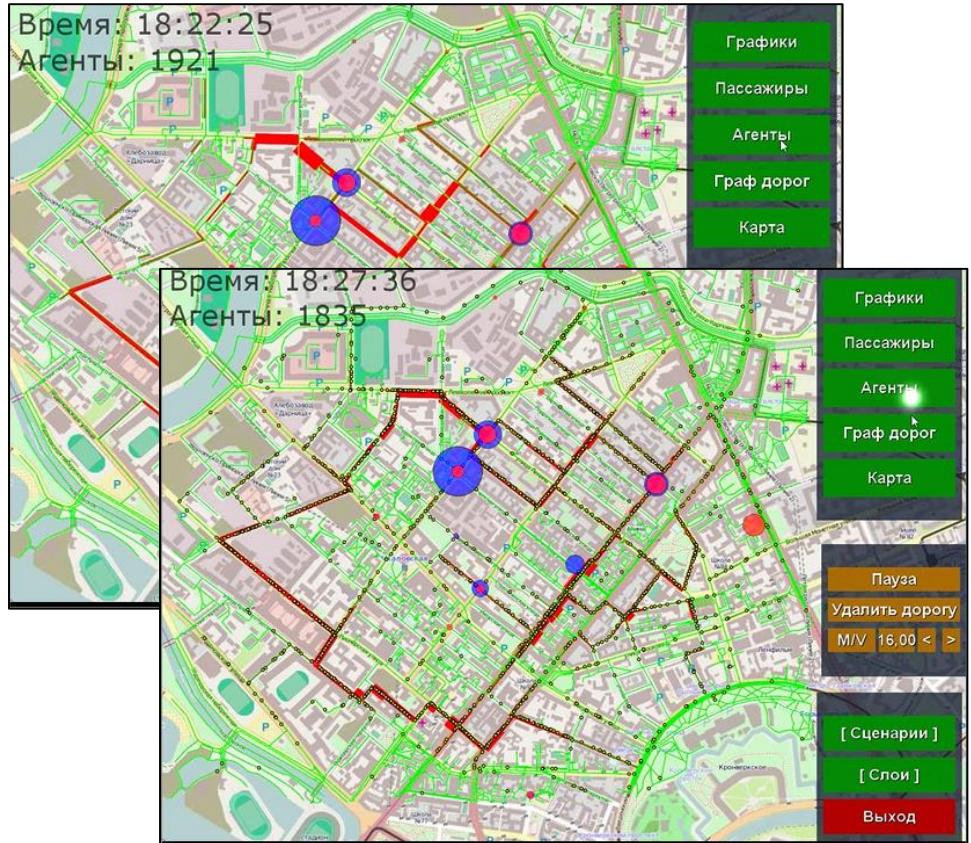
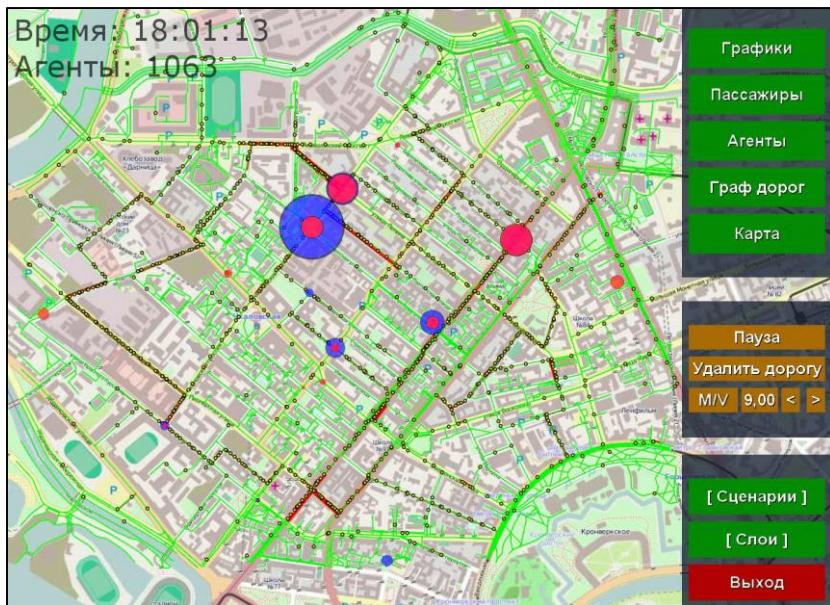


# Моделирование пассажиропотоков

Для определения числа агентов, которые приходят на остановку в каждый момент времени, производится привязка каждого здания к ближайшей автобусной остановке

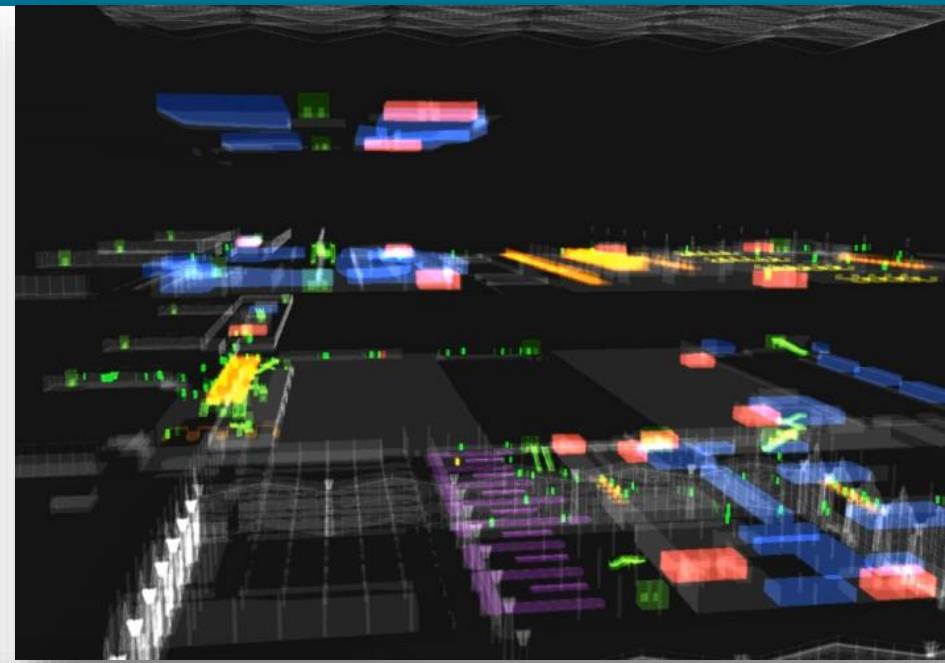
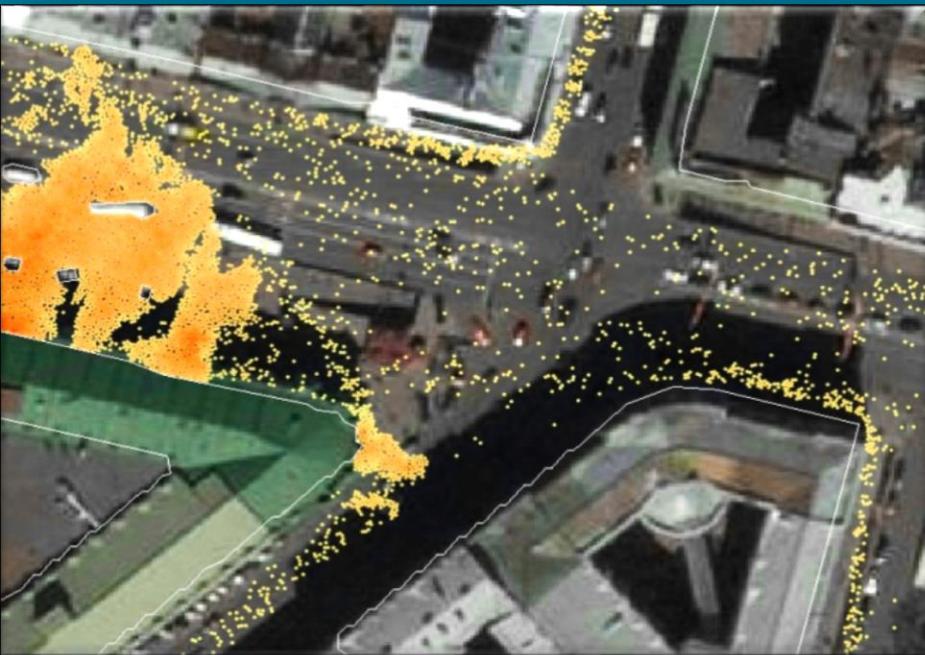


# Моделирование пассажиропотоков



Bus scheduling in dynamical urban transport networks with the use of genetic algorithms and high performance computing technologies  
VA Shmelev, AV Dukhanov, KV Knyazkov, SV Ivanov  
Knowledge, Information and Creativity Support Systems, 97-104

# Моделирование пешеходов



# Моделирование пешеходов



DEMO

<https://www.youtube.com/watch?v=JEtxNNvr708>  
<http://en.escience.ifmo.ru/research/view/7>

# ИСТОЧНИКИ И ССЫЛКИ

# Источники

- Семенов, В. В. (2004). Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса
- Швецов В.И. (2003). Математическое моделирование транспортных потоков
- Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р.Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
- Helbing, D. (2001). Traffic and related self-driven many-particle systems. *Reviews of modern physics*, 73(4), 1067.
- Bellomo, N., & Dogbe, C. (2011). On the modeling of traffic and crowds: A survey of models, speculations, and perspectives. *SIAM review*, 53(3), 409-463.