



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Транспортная модель Московского региона

Воробьев Алексей

Прогнозное моделирование транспортной системы



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Для решения в области стройкомплекса и для формирования сбалансированного Генерального плана развития города необходим надежный инструмент оценки последствий реализации того или иного градостроительного мероприятия и их совокупностей. Примеры «транспортных» градостроительных мероприятий:

1. Развитие транспортной инфраструктуры (строительство или реконструкция шоссе, прокладка новой линии метрополитена).
2. Развитие территорий (строительство крупных жилых массивов или производственных предприятий).

В области транспорта таким инструментом является

Статическая макроскопическая модель транспортной системы

Макроскопическая – транспортные потоки описываются в терминах своих макроскопических параметров (скорость, интенсивность, плотность, etc.)

Статическая – модель описывает «равновесное» состояние транспортной системы в период пиковых нагрузок (как правило, рассматривается утренний час пик).

Базовые принципы работы модели



Правительство
Москвы

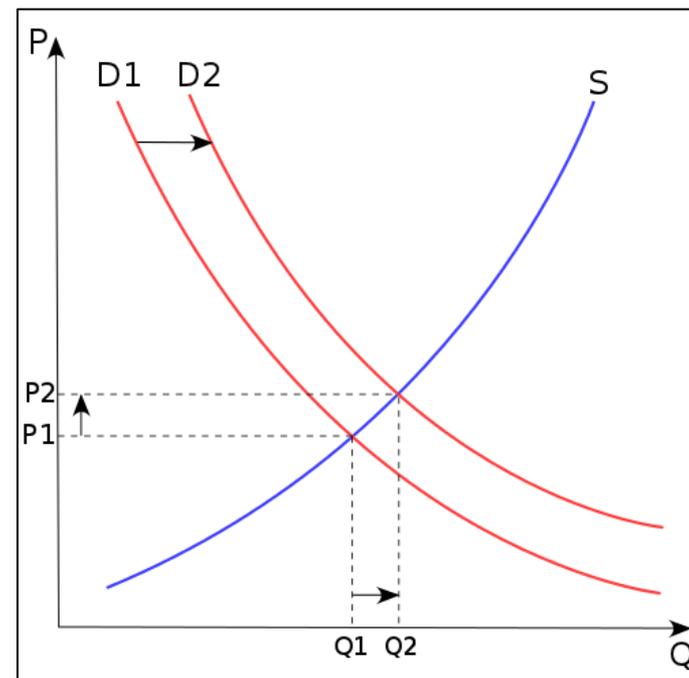


ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

В основе макроэкономической статической транспортной модели лежит принцип равновесия между спросом на транспортные услуги и транспортным предложением. Транспортная инфраструктура формирует транспортное предложение, а желающие воспользоваться транспортными услугами люди определяют транспортный спрос.

Макроэкономическое моделирование позволяет определить такие показатели, как неудовлетворенный спрос, превышение предложения над спросом, а также изменение этих показателей в случае реализации различных влияющих на транспортную ситуацию мероприятий. Эти мероприятия могут влиять как на спрос, так и на предложение.

Статическая макроэкономическая модель используется как для долгосрочных, так и для краткосрочных прогнозов и позволяет оценивать изменение транспортной обстановки как во всей транспортной сети, так и на отдельных ее участках.



Спрос на транспортные услуги



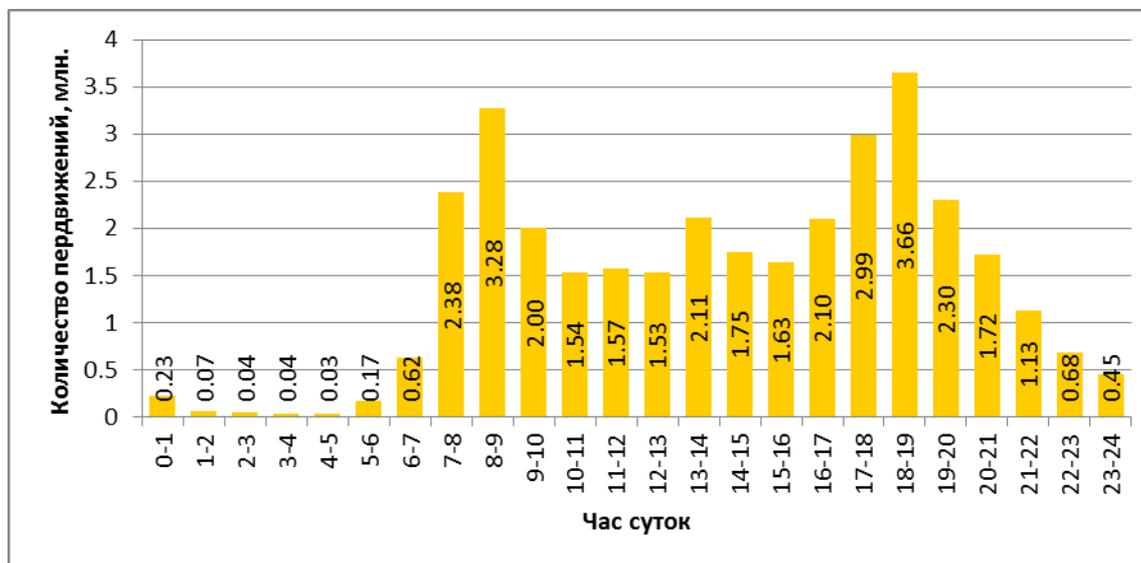
Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Спрос на транспортные услуги:

1. Распределение потокообразующих емкостей (проживающее население, места приложения труда, другие объекты притяжения) по области моделирования. Источники данных: официальная статистика, данные о площади недвижимости, налоговая служба, пенсионный фонд и т.д.
2. Закономерности передвижения населения (число поездок на тысячу жителей, цели этих поездок и проч.). Источники данных: социологические исследования. При прогнозных расчетах данные параметры как правило фиксируются.



Транспортное предложение



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Транспортное предложение:

1. Граф улично-дорожной сети, содержащий необходимую для моделирования информацию (разрешенные направления движения на перекрестках, максимальная скорость движения, количество полос для движения транспорта и проч.).
2. Информация о линиях пассажирского транспорта: остановочные пункты, интервалы движения, подвижной состав и т.д.



Общая схема работы модели



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Транспортная модель разработана с использованием программных комплексов **Citilabs Cube** и **INRO Emme**.

Исследуемая транспортная система (Москва и Московская область) разбивается на транспортные районы, моделируются корреспонденции между такими районами в с 8 до 9 часов в «типичный» рабочий день.

1 - TG

2 - TD

3 - MC

4 - TA

1. Trip Generation

Формирование стоков и истоков транспортных районов.

Регрессионная модель на основе данных транспортных районов (население, рабочие места) и параметров корреспонденций (коэффициенты подвижности населения).

2. Trip Distribution

Вычисление матрицы корреспонденций между районами.

Гравитационная модель – корреспонденции между районами пропорциональны «мощностям» их стоков и истоков и убывают с ростом «расстояния» между районами.

3. Mode Choice

Расщепление потоков по видам транспорта. Модель дискретного выбора Logit.

4. Traffic Assignment.

4a. HW-Assignment

Равновесное распределение маршрутов автомобильного транспорта согласно 1-му Принципу Вардропы.

4b. PT-Assignment

Распределение маршрутов на общественном транспорте на основе модели «оптимальной стратегии» или наименьшего ожидаемого времени по маршруту.

Trips Generation



Правительство
Москвы

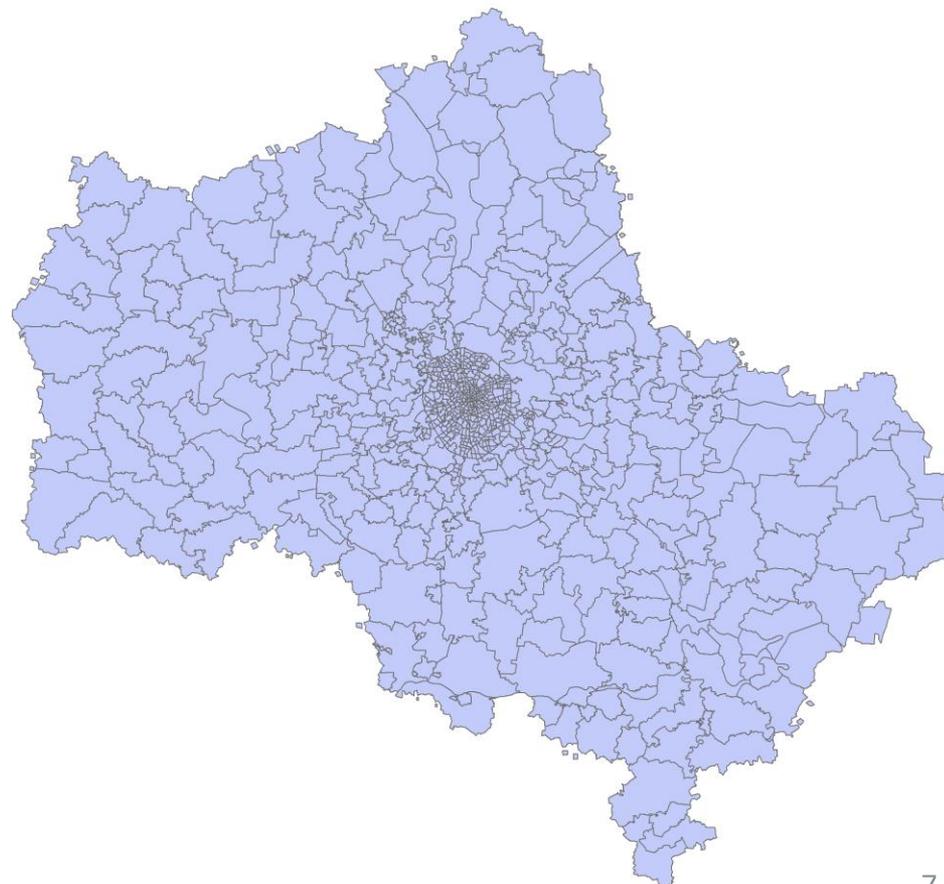


ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Для описания распределения объектов, порождающих перемещения населения, область моделирования (территория Москвы и Московской области) разбивается на транспортные районы. Каждый транспортный район имеет набор параметров, определяющих спрос населения на транспортные услуги, связанные с выездом из этого района и с приездом в этот район.

Примеры коэффициентов подвижности (т.е. число поездок на тысячу жителей) для утреннего часа пик (по результатам социологического исследования):

- дом-работа: 0.130
- дом-прочее: 0.029
- работа-дом: 0.004
- прочее-дом: 0.005
- прочее-работа: 0.004



Trips Distribution



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

«Гравитационная» модель:
$$w_{ij} = \frac{O_i D_j}{f(C_{ij})}, \sum_{j=1}^N w_{ij} = O_i, \sum_{i=1}^N w_{ij} = D_j$$

$$w_{ij} = a_i b_j O_i D_j f(C_{ij}), \text{ где } a_i = \left[\sum_{j=1}^N b_j D_j f(C_{ij}) \right]^{-1}, b_j = \left[\sum_{i=1}^N a_i O_i f(C_{ij}) \right]^{-1} [*]$$

$$f(C_{ij}) = \exp(-\beta C_{ij})$$

Коэффициент гравитационной функции выбирается в процессе калибровки модели $\beta = 0.08$.



[*] Шацкий Ю.А. 1971, Arrowsmith G.A. 1973.

Mode Choice

Выбор транспорта:

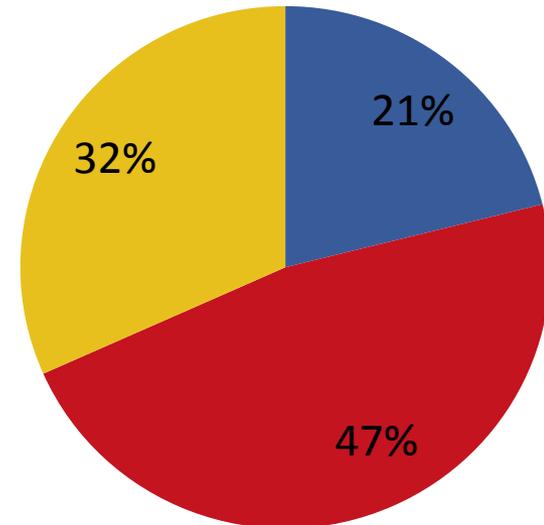
Модель дискретного выбора – пользователи действуют рационально (т.е. выбирают минимальный с точки зрения затрат способ передвижения) в условиях наличия неполной информации [*].

$$p_{ij}^{\gamma} = \frac{e^{-\lambda c_{ij}^{\gamma}}}{\sum_{\gamma} e^{-\lambda c_{ij}^{\gamma}}}$$

Коэффициент Logit-модели выбирается в процессе калибровки $\lambda = 0.08$.

Утренний час пик

■ Пешком ■ ОТ ■ авто



[*] Domencich and McFadden 1975; Williams 1977

Traffic Assignment. Highway Assignment



Правительство
Москвы



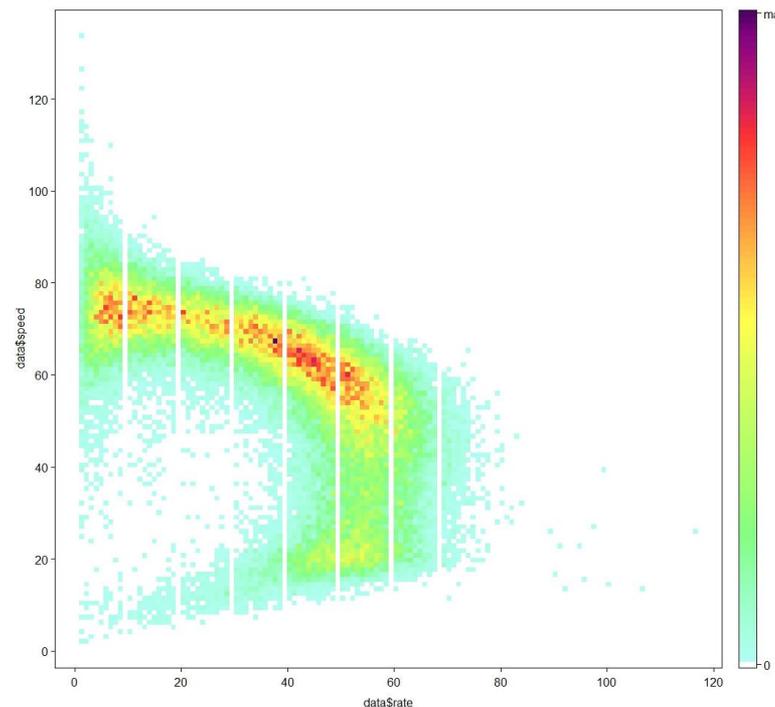
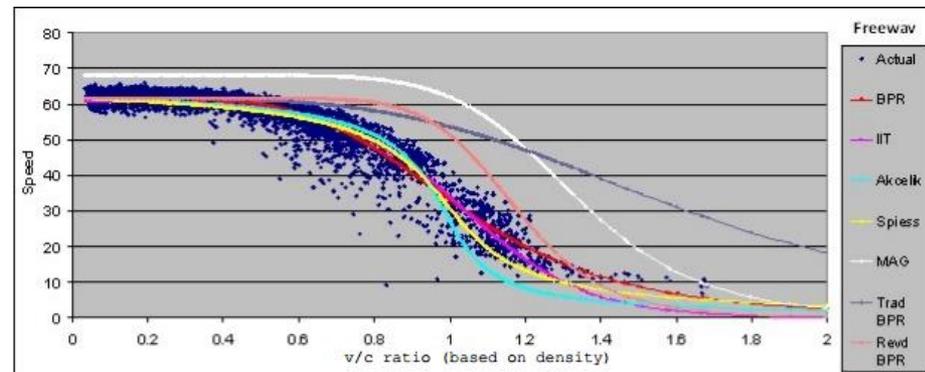
ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

1. Пользователи сети независимо друг от друга выбирают маршруты следования, соответствующие их минимальным затратам (первый принцип Вардропа [*]).
2. Затраты на прохождение пути складываются из затрат на проезд по ребрам графа, составляющим этот путь.
3. Затраты на проезд по ребру зависят только от потока по этому ребру. Функции затрат на проезд по ребру графа в зависимости от потока [**]:

$$TIME_1 = T0 * \left(1 + \alpha \left(\frac{V-1}{C}\right)\right)^\beta$$

[*] Wardrop J. 1952.

[**] Bureau of Public Roads (1964)

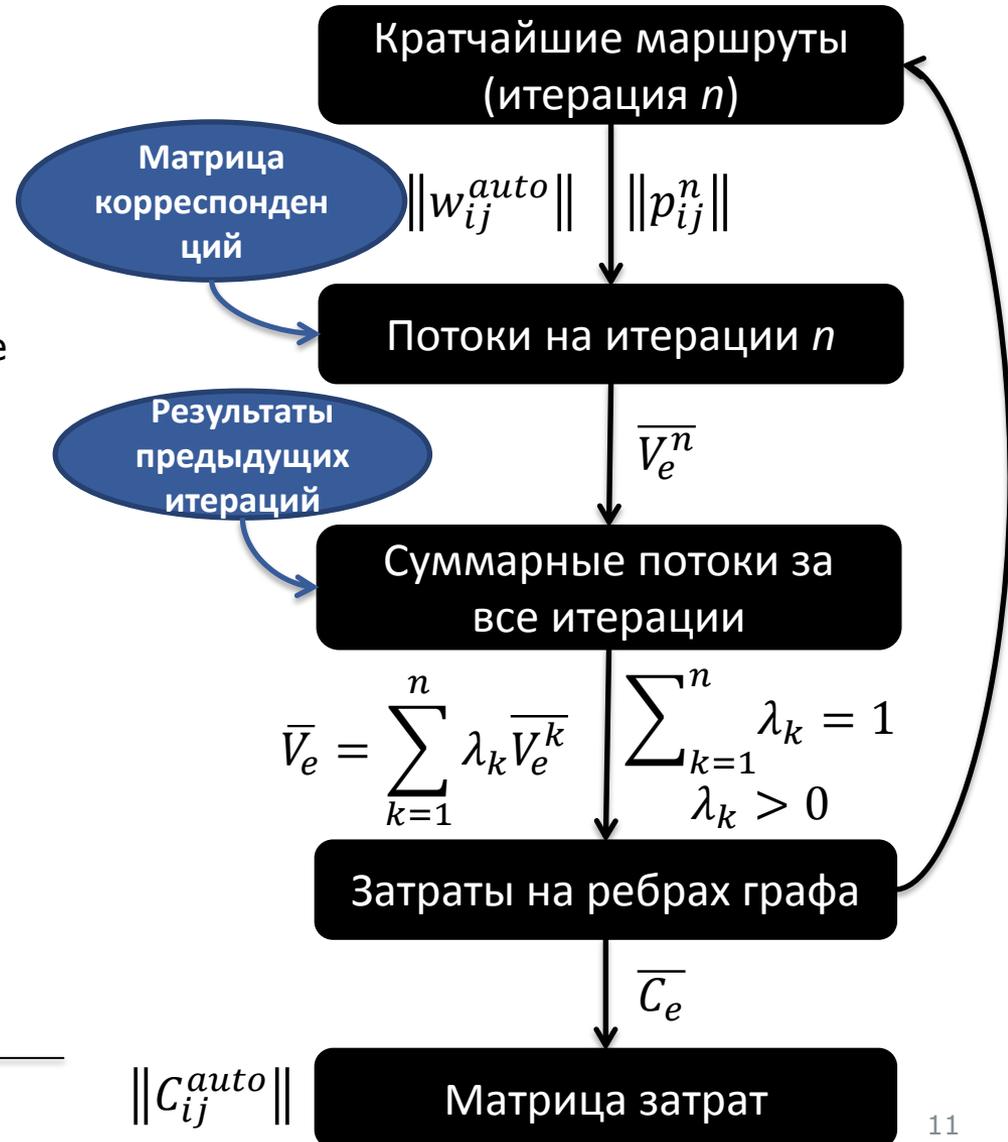


Traffic Assignment. Highway Assignment



Правительство
Москвы
ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

1. Задача поиска транспортного равновесия сводится к оптимизационной задаче [*].
2. Итеративный алгоритм поиска равновесия. Сходимость – successive average $\lambda_k = \frac{1}{n}$.
3. Критерий остановки – фиксированное число итераций (определено в процессе калибровки).



[*] Beckmann M., McGuire C.B., Winsten C.B. 1955.

Traffic Assignment. Public Transport Assignment



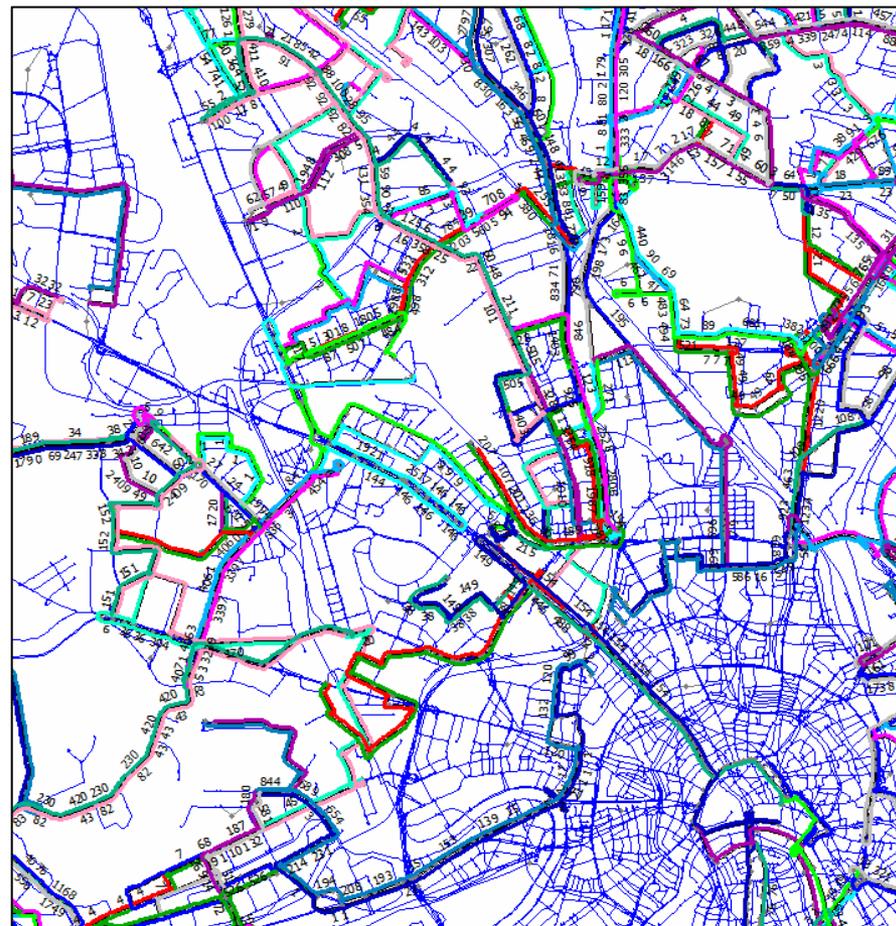
Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Алгоритм распределения
корреспонденций:

- Рассчитывается множество доступных маршрутов.
- Отказ от маршрутов с большим количеством пересадок.
- Потоки делятся пропорционально, согласно определенному правилу выбора.



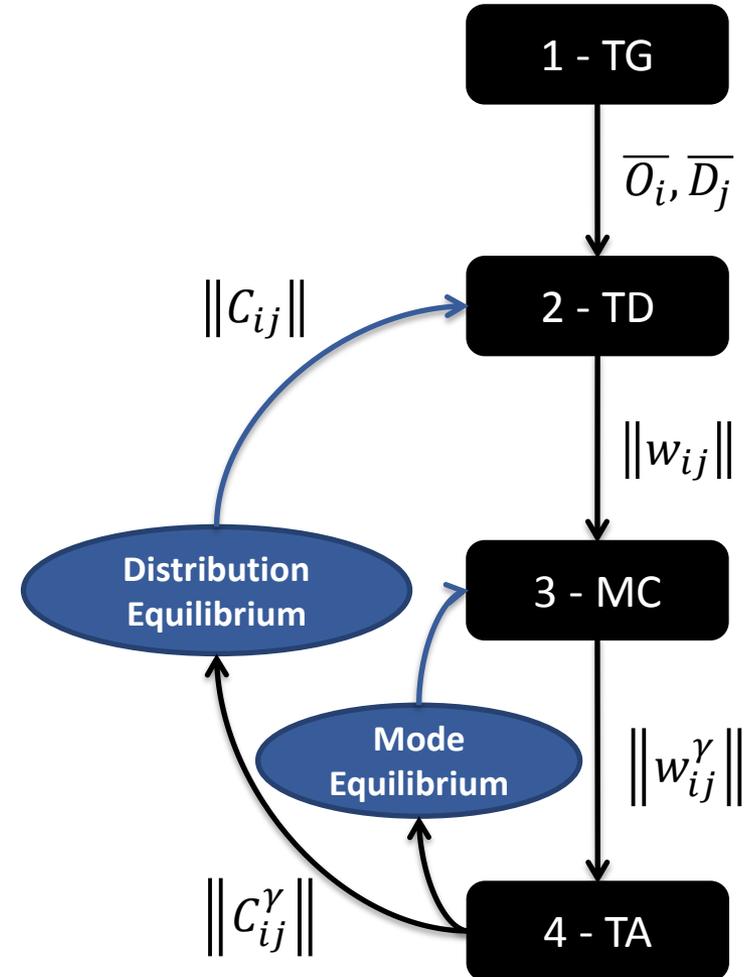
Процесс поиска равновесного состояния



Правительство
Москвы

ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

1. Поиск равновесия происходит поэтапно – сначала ME потом DE.
2. Используется сглаживание (в обоих случаях).
3. Критерий остановки – фиксированное число итераций (определено в процессе калибровки).



Результаты: общесетевые показатели



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Показатель		Соц. опрос	Модель
Количество передвижений на каждом виде транспорта, млн. человек	Пешие передвижения	0.68 ± 0.07	0.55
	Общественный транспорт	1.52 ± 0.09	1.69
	Личные автомобили	1.02 ± 0.07	1.04
Объемы миграции населения, млн. человек	Из Москвы в область	0.12 ± 0.02	0.13
	Из области в Москву	0.28 ± 0.03	0.29
Среднее время в пути на различных видах транспорта, мин	Пешие передвижения	17.7 ± 1.0	19.4
	Общественный транспорт	57.5 ± 1.4	52.4
	Личные автомобили	40.0 ± 2.0	38.7
Среднее время в пути по регионам прибытия-отправления, мин	Из Москвы в Москву	42 ± 5	44
	Из Москвы в область	75 ± 15	54
	Из области в Москву	90 ± 2	73
	Из области в область	30 ± 2	28
Среднее расстояние поездки (по прямой), км	Общественный транспорт	12.7 ± 1.2	12.8
	Личные автомобили	8.8 ± 1.4	10.0
Количество пассажиров на различных видах общественного транспорта, млн. человек	Московский метрополитен	0.96 ± 0.07	1.06
	Пригородные электропоезда	0.23 ± 0.02	0.48
	НГПТ	1.12 ± 0.15	0.85

Транспортные потоки

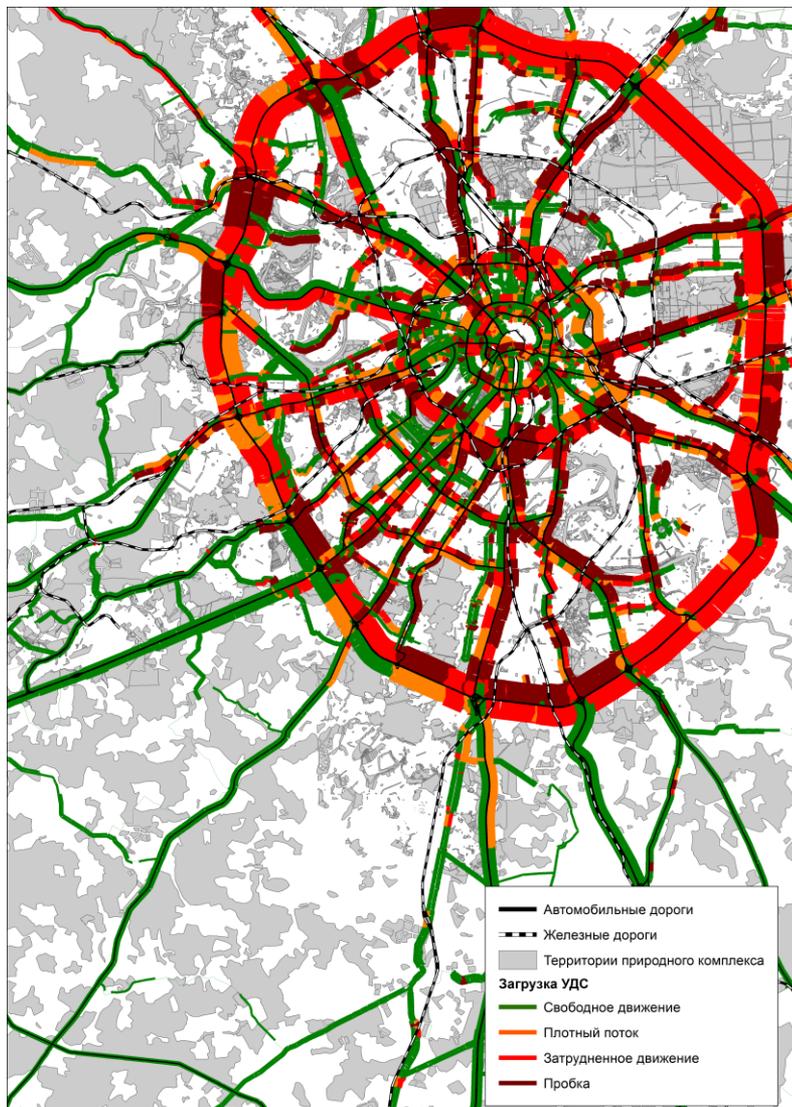


Правительство
Москвы

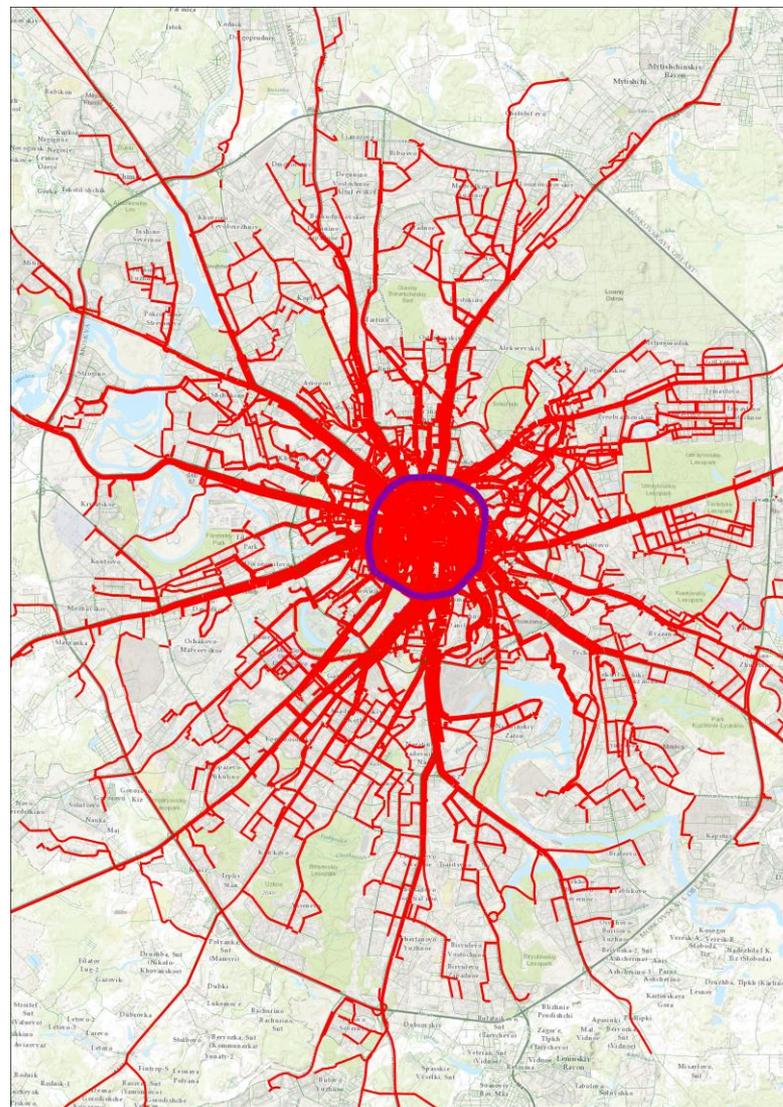


ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Транспортные потоки на УДС



Потоки въезжающих в Садовое кольцо



Пассажирские потоки

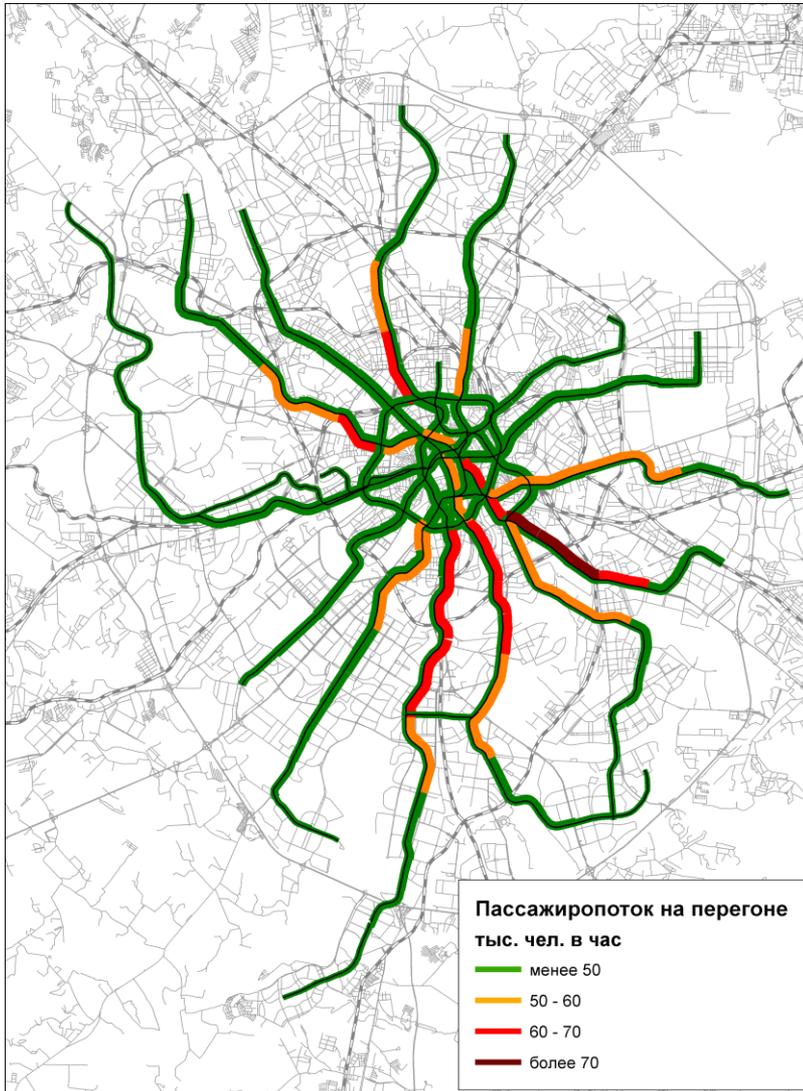


Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Пассажиропотоки метрополитена



Результаты моделирования транспортных и пассажирских потоков сравниваются с:

- натурные обследования;
- данные автоматизированных систем:
- турникеты в пассажирском транспорте (пригородные электропоезда, метрополитен, частично автобусы-троллейбусы-трамваи);
- камеры видеонаблюдения;
- датчики движения автомобилей;
- GPS и ГЛОНАСС треки общественного транспорта, такси.

Характеристики территории

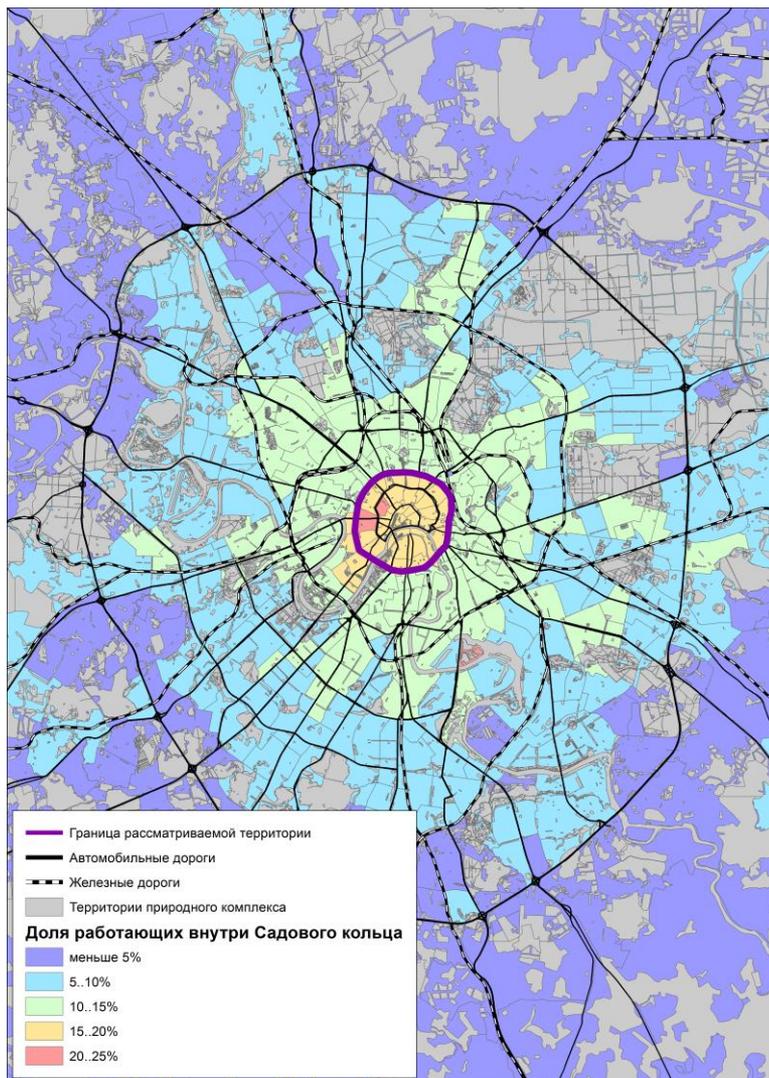


Правительство
Москвы

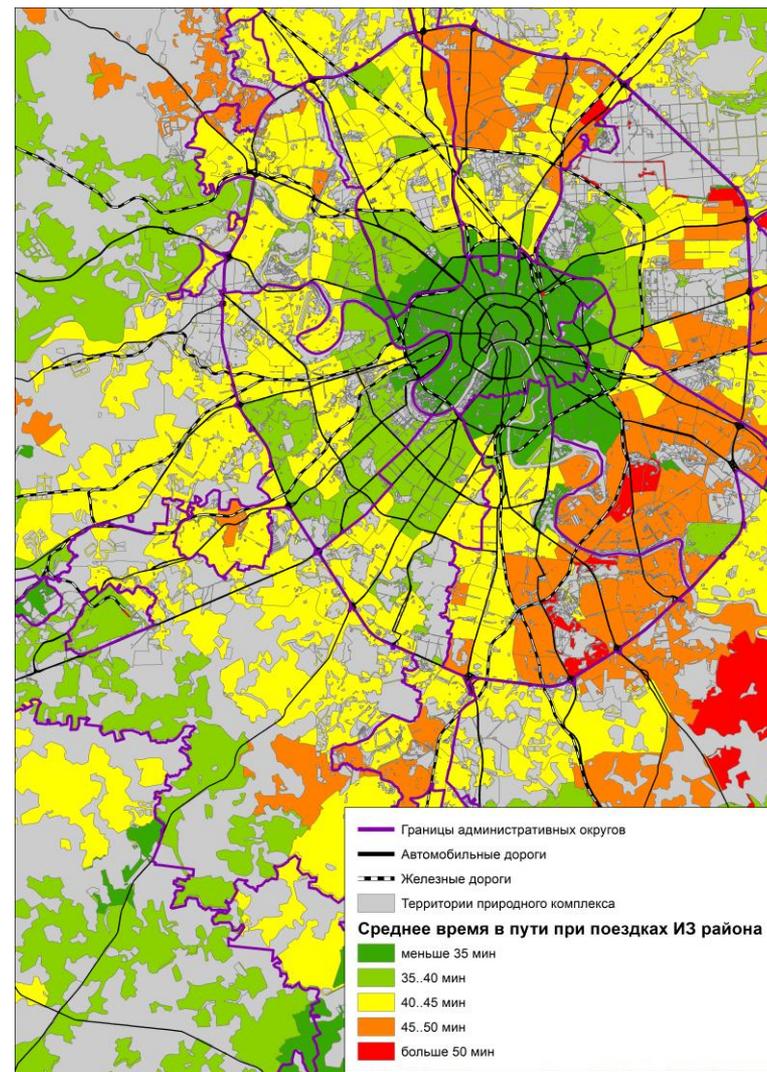


ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Доля исходящих из района поездок внутри Садового кольца



Среднее время исходящих поездок



Анализ графа УДС

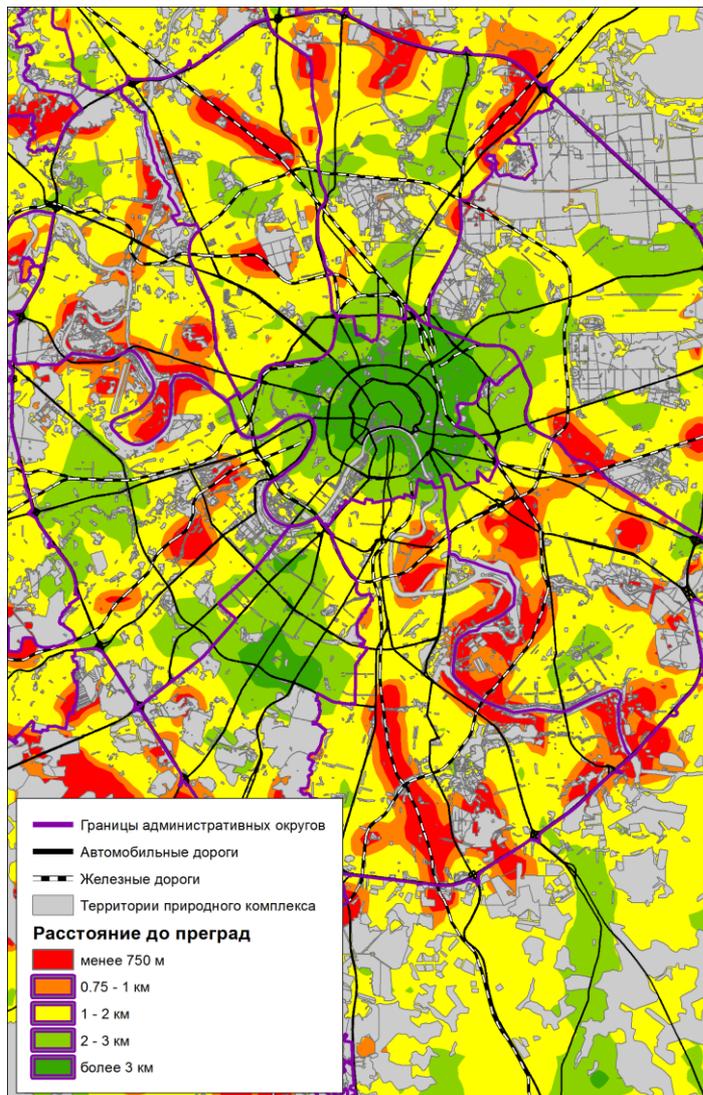


Правительство
Москвы

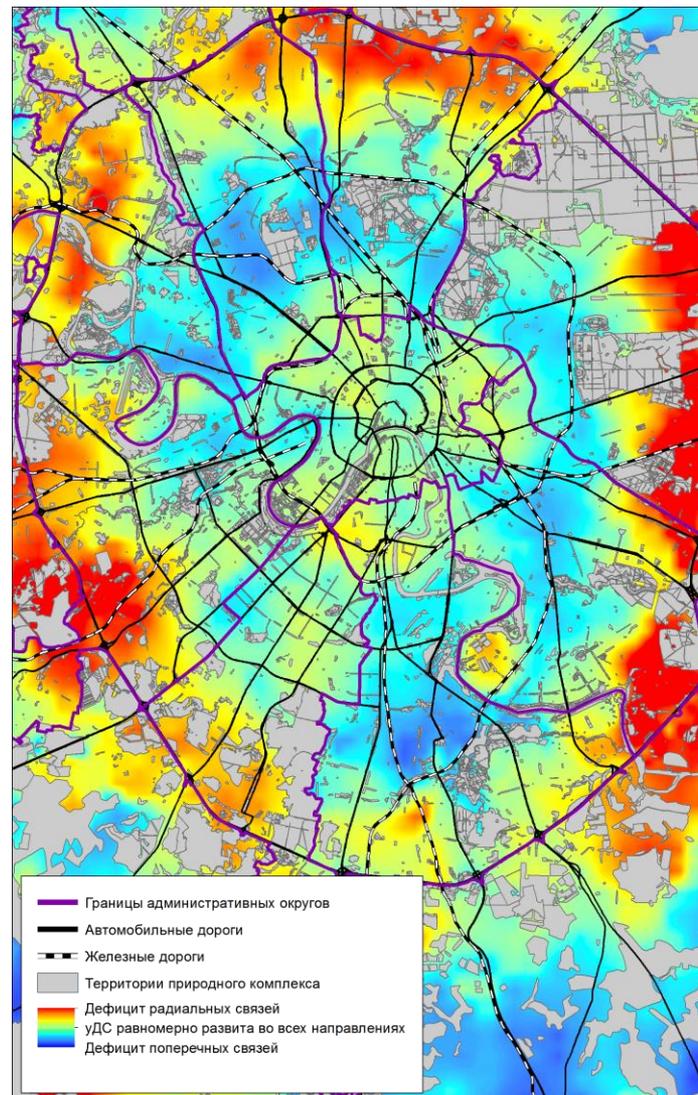


ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Расстояние до преград



Неравномерности развития УДС



Анализ графа УДС

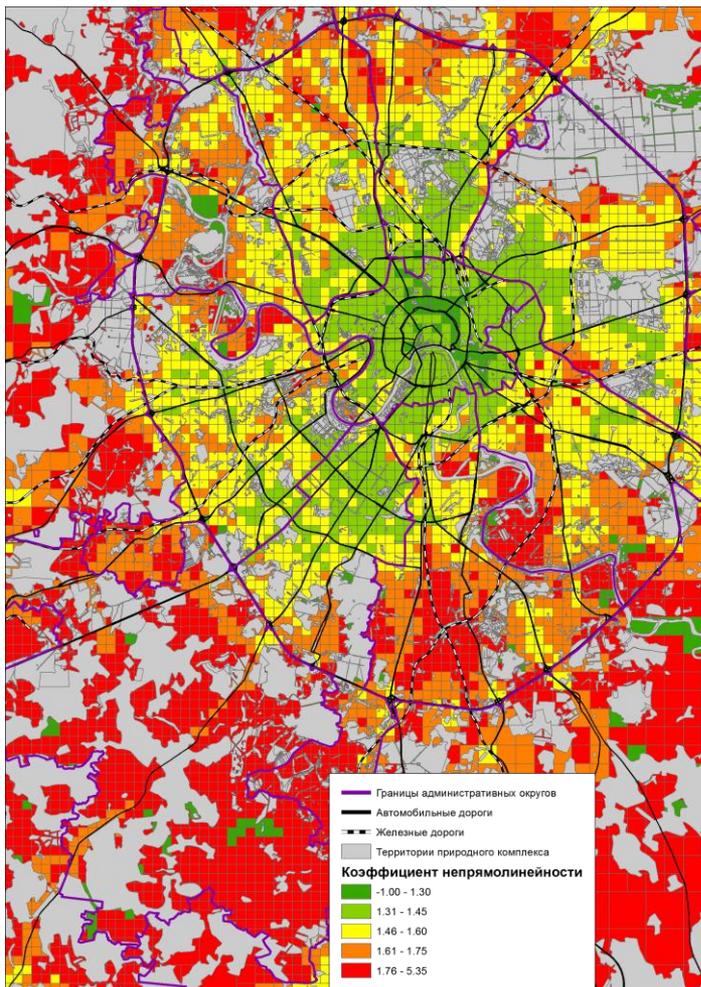


Правительство
Москвы

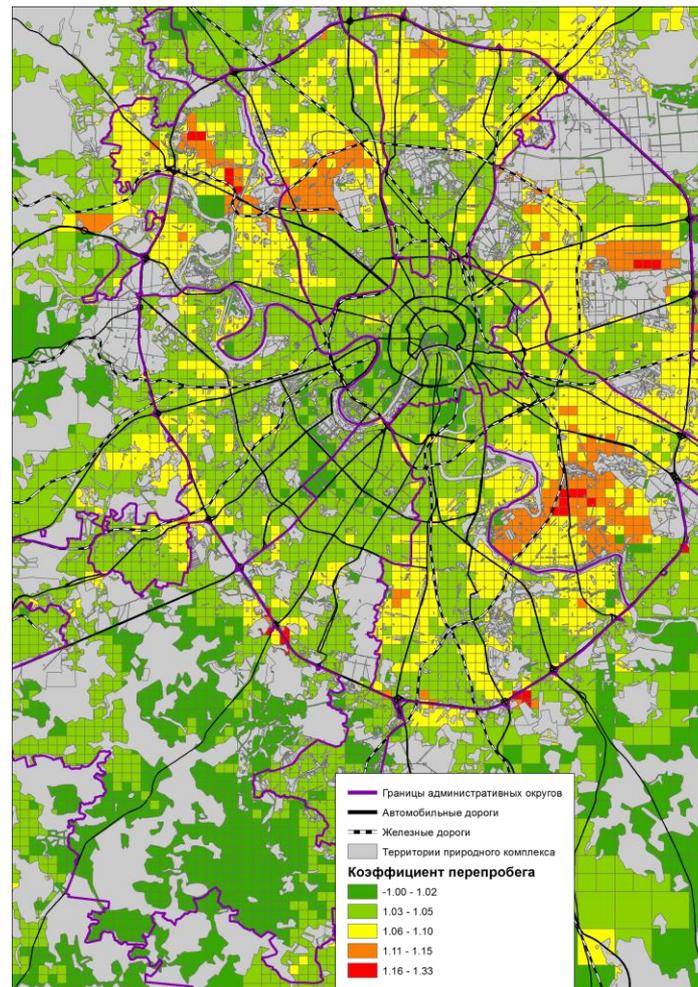


ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Коэффициент прямолинейности



Коэффициент перепробега



Преимущества и недостатки описанного подхода



Правительство
Москвы



ИНСТИТУТ
ГЕНПЛАНА
МОСКВЫ

Преимущества:

1. Небольшой набор исходных данных.
2. Распространенность подхода – наличие программного обеспечения.
3. Скорость работы (на рабочей станции - несколько часов).

Недостатки:

1. Статическое описание динамических процессов.
2. Равновесное состояние системы.
3. Интерпретируемость результатов.

Альтернативы:

1. Замена отдельных стадий модели.
2. Использование принципиально иных подходов к моделированию. Например, агентное моделирование.