

Исследование влияния транспортных потоков на развитие эпидемии на основе компьютерной агентной модели

Клочков К. А.*^{1,2}, Козлов И. Е.¹, Ильина Е. Н.¹, Манолов А. И.¹

¹ФБУН НИИ СБМ Роспотребнадзора

²МФТИ

*konstantin.a.klochkov@gmail.com

Введение

Авиаперелёты сыграли ключевую роль в распространении COVID-19 на ранних стадиях пандемии.

Внутригосударственные транспортные потоки усилили распространение вируса из эпицентра в другие регионы.

Общественный транспорт способствовал локальному и региональному распространению вируса.

Ранние ограничения на транспортные потоки оказались эффективны для замедления распространения вируса.

1. Du Z. et al. Risk for transportation of coronavirus disease from Wuhan to other cities in China // Emerging infectious diseases. – 2020. – Т. 26. – №. 5. – С. 1049.
2. Xu X. K. et al. Assessing the spread risk of COVID-19 associated with multi-mode transportation networks in China // Fundamental Research. – 2023. – Т. 3. – №. 2. – С. 305-310.
3. Tian H. et al. An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China // Science. – 2020. – Т. 368. – №. 6491. – С. 638-642.

ЦЕЛЬ

Исследовать влияние транспортных потоков на ход протекания эпидемии в модельных системах.

ПРОБЛЕМЫ

Определить оптимальный режим введения ограничений на транспортные потоки.

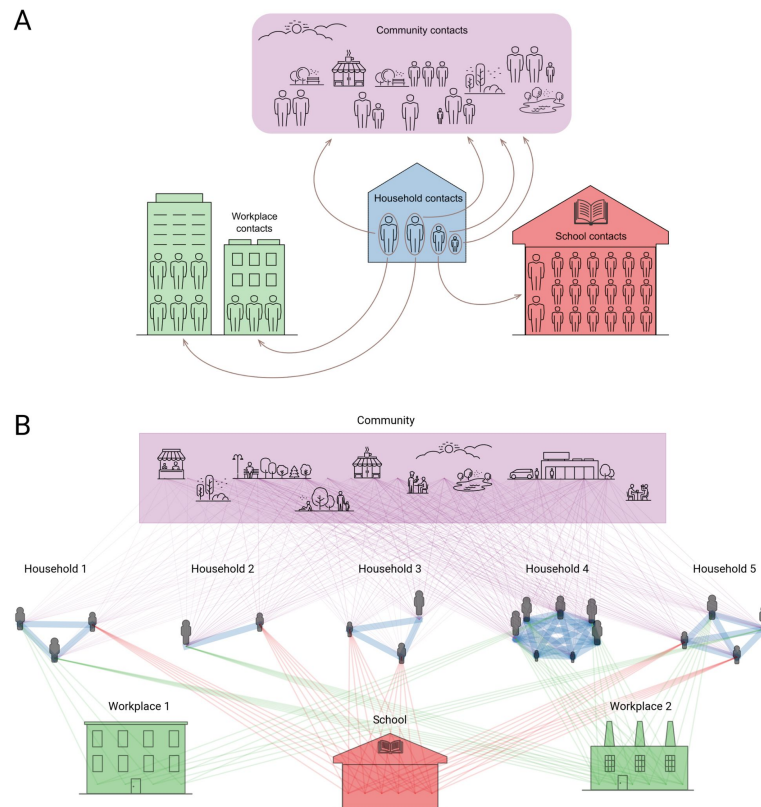
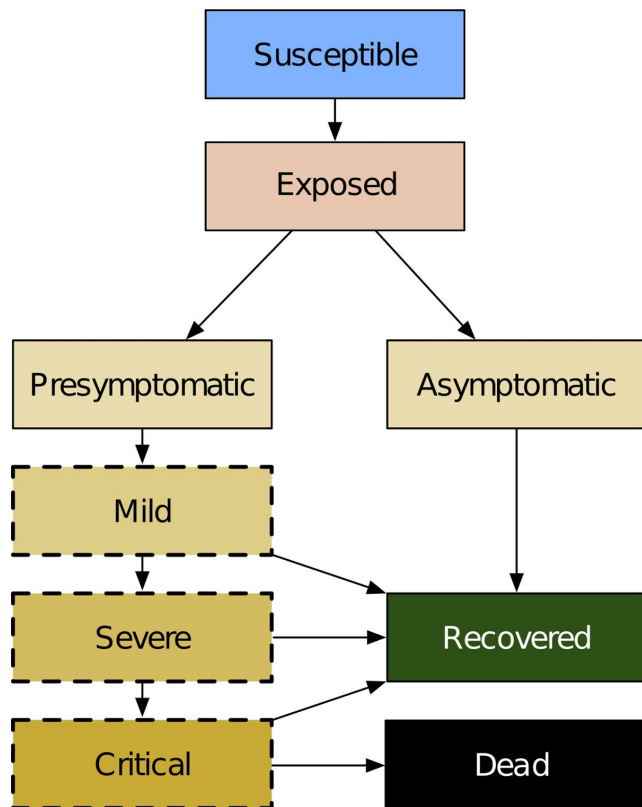
Оценить возможность из данных по заболеваемости определить город начала эпидемии.

ЗАДАЧИ

Определить влияние различных ограничений транспортных потоков на основные метрики эпидемии.

Оценить возможность детектирования города начала эпидемии.

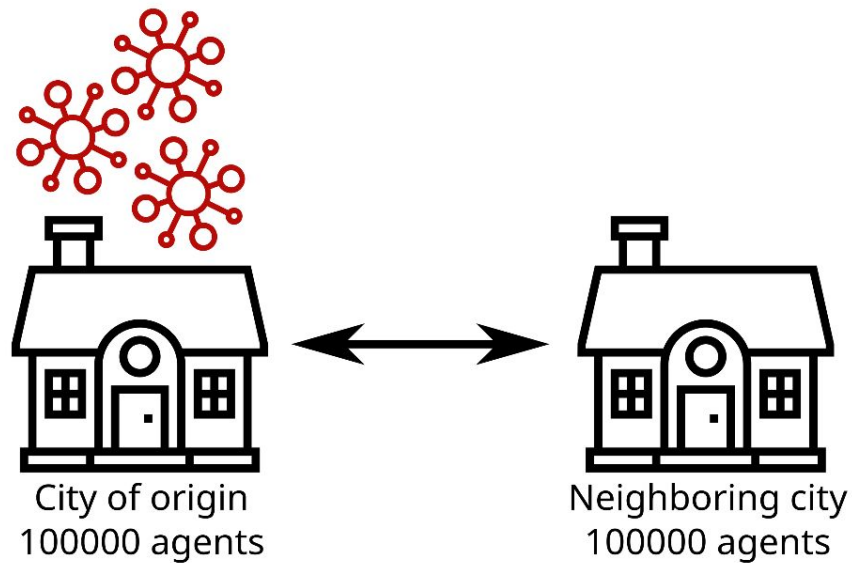
Covasim → transCovasim



Источник: Kerr C. C. et al. Covasim: an agent-based model of COVID-19 dynamics and interventions // PLOS Computational Biology. – 2021. – Т. 17. – №. 7. – С. e1009149.

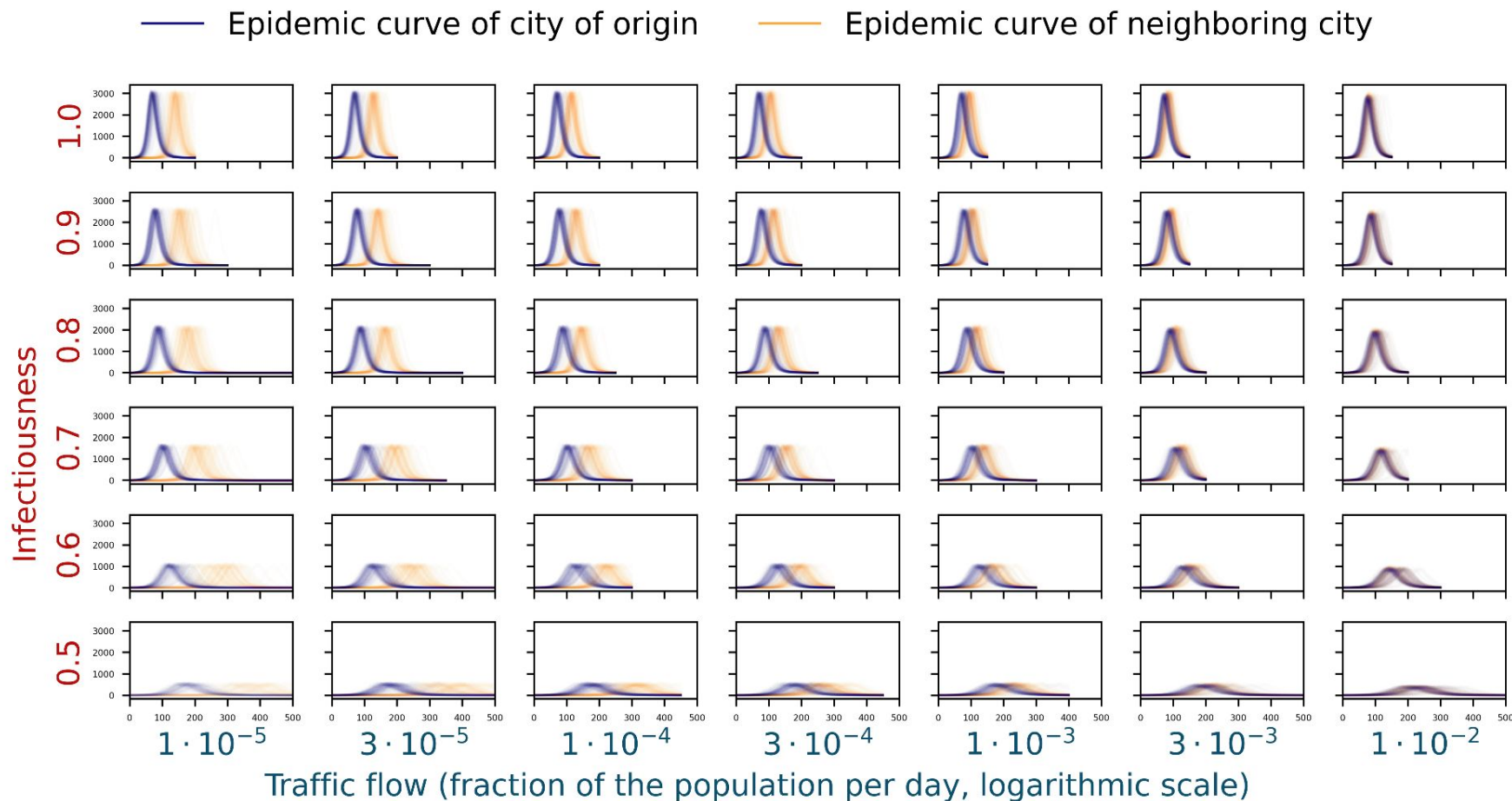
Система двух городов с одинаковым числом агентов

A

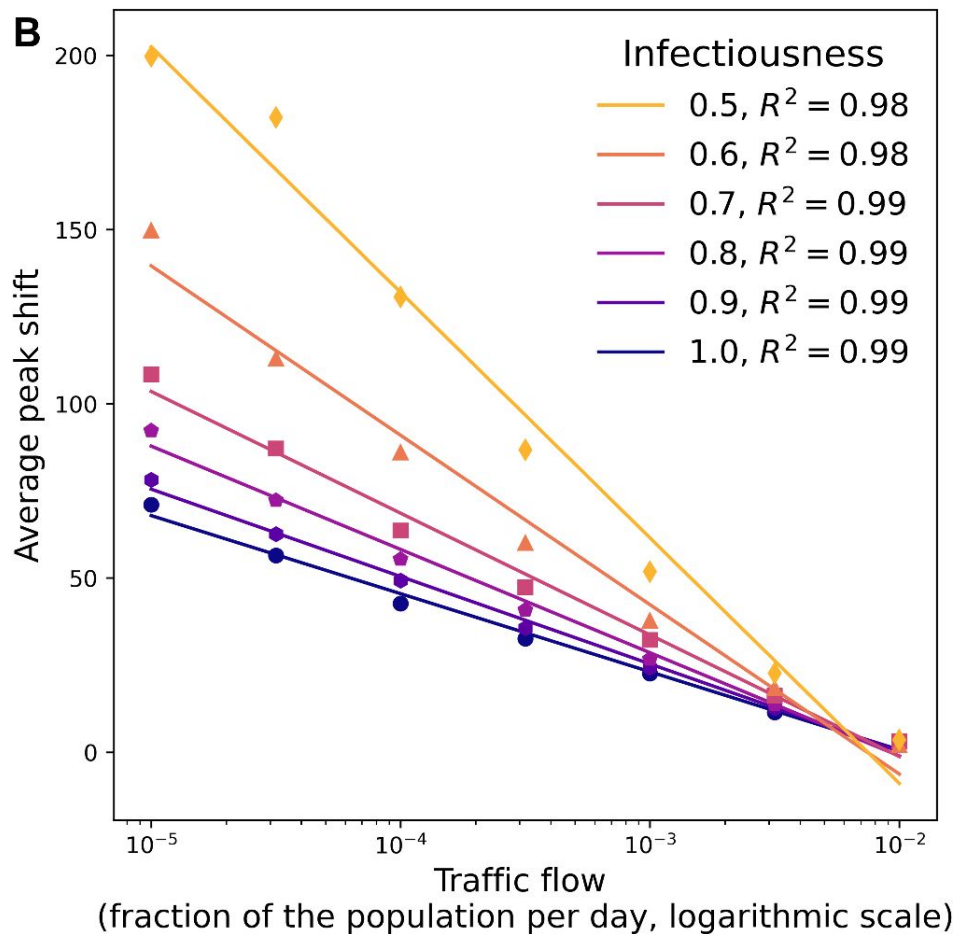


Система двух городов с одинаковым числом агентов

C



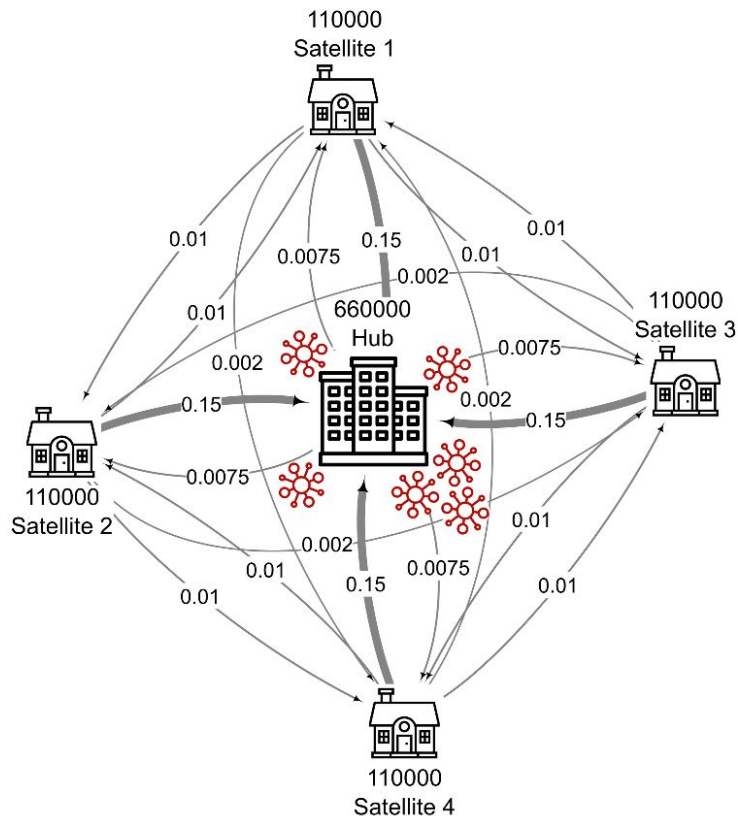
Система двух городов с одинаковым числом агентов



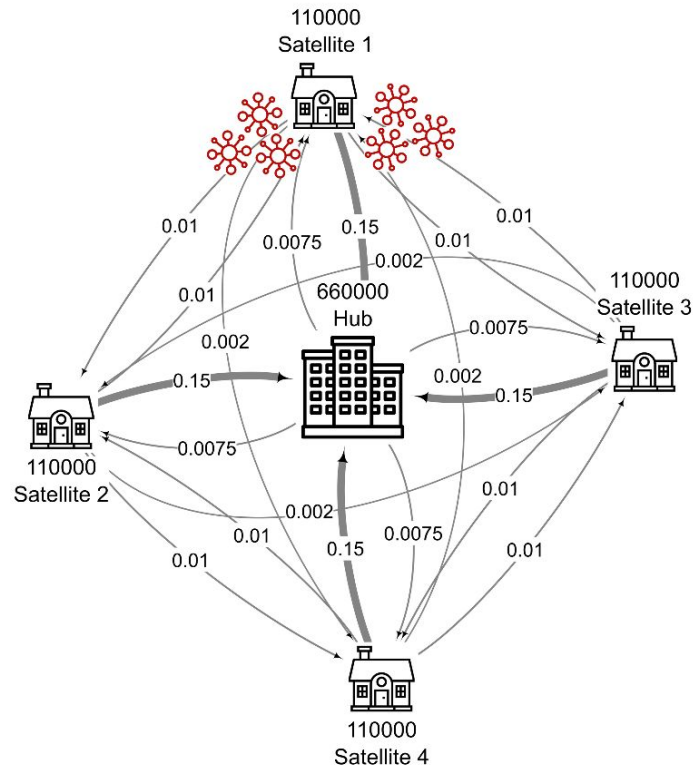
Система транспортного хаба и спутников

A

The epidemic begins in the hub



The epidemic begins in the satellite



Система транспортного хаба и спутников

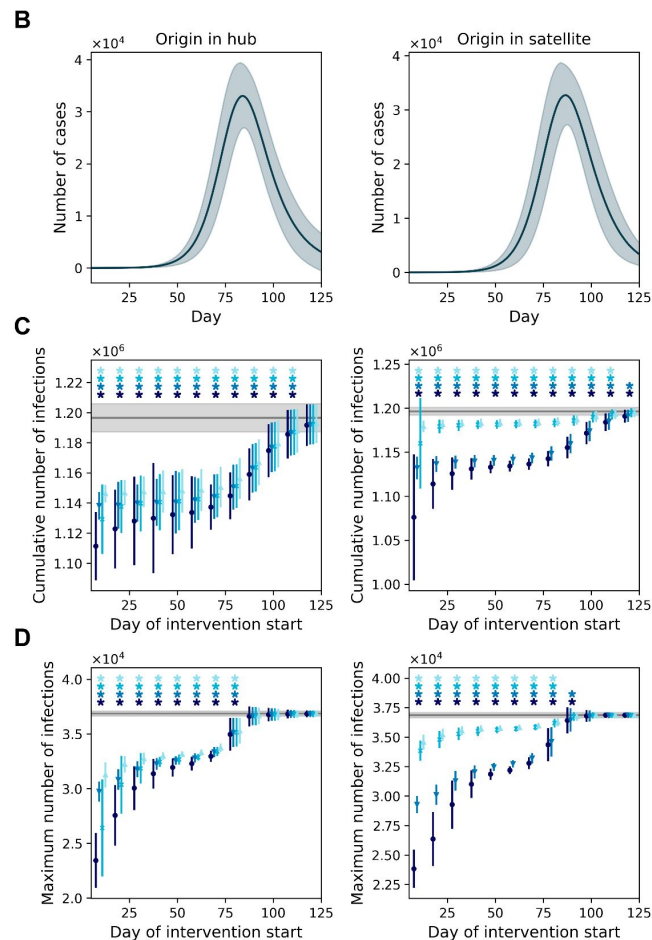
- Epidemiological curve
- ★ $p < 0.05$ (with multiple testing correction)
- No interventions
- All traffic flows are reduced by 100 times
- ▼ All traffic flows are reduced by 10 times
- × Origin-related traffic flows are reduced by 100 times
- ▲ Origin-related traffic flows are reduced by 10 times

Эффект введения мер на 10 день

	Origin in hub				Origin in satellite			
	Restriction on all flows		Restriction on hub-related flows		Restriction on all flows		Restriction on satellite-related flows	
	100 times	10 times	100 times	10 times	100 times	10 times	100 times	10 times
Cumulative infections reduction	7.1%	4.9%	5.6%	4.2%	10.1%	5.4%	3.0%	1.4%
Maximum infections reduction	36.4%	19.3%	28.4%	15.2%	35.4%	20.6%	8.2%	6.2%

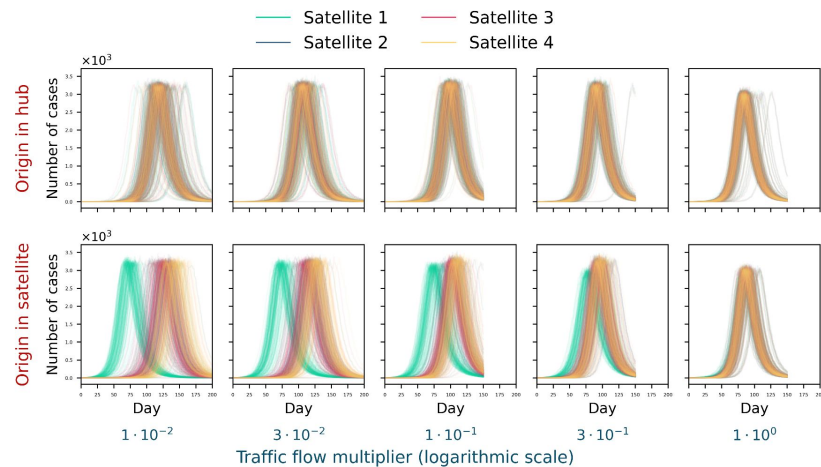
Эффект введения мер на 70 день

	Origin in hub				Origin in satellite			
	Restriction on all flows		Restriction on hub-related flows		Restriction on all flows		Restriction on satellite-related flows	
	100 times	10 times	100 times	10 times	100 times	10 times	100 times	10 times
Cumulative infections reduction	5.0%	4.4%	4.3%	3.8%	5.0%	4.4%	1.2%	1.1%
Maximum infections reduction	10.6%	9.5%	9.4%	8.5%	11.0%	9.9%	2.7%	2.4%

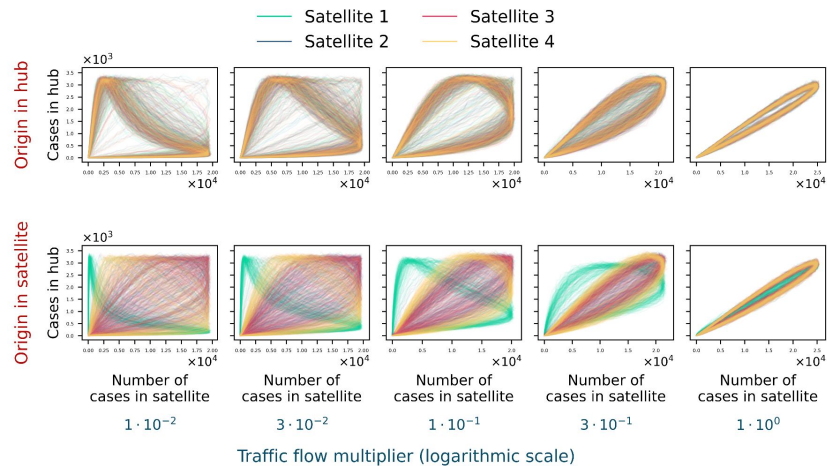


Детекция города начала в системе хаб-спутеллиты

A

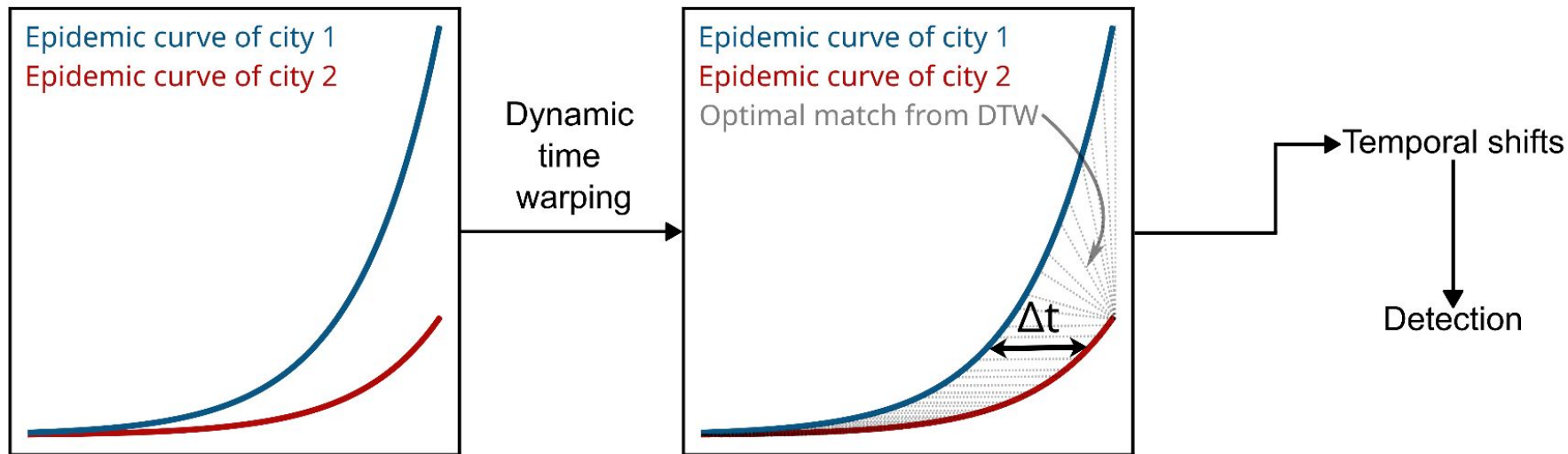


B



Детекция города начала в системе хаб-сателлиты

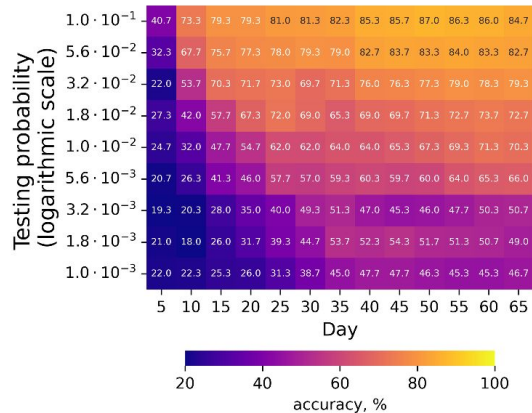
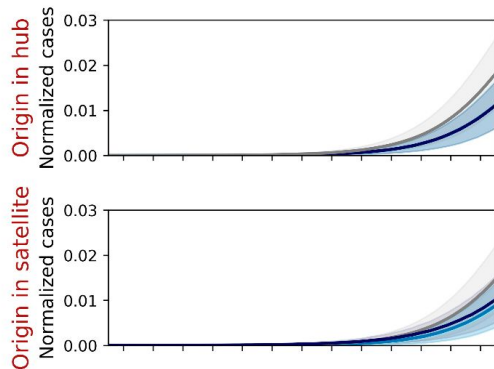
A



Детекция города начала в системе хаб-спутеллиты

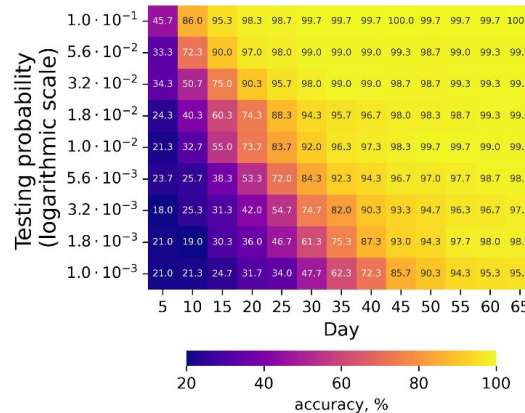
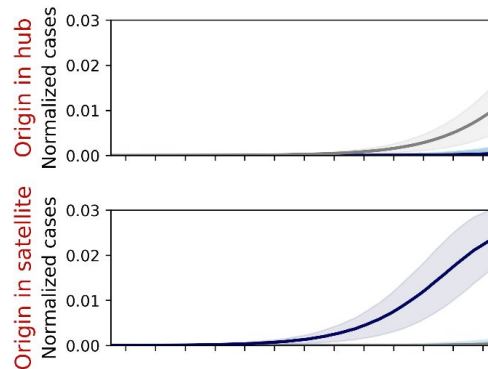
B

Hub
Satellite 1
Satellite 2
Satellite 3
Satellite 4



C

Hub
Satellite 1
Satellite 2
Satellite 3
Satellite 4



Результаты

Сдвиг пика эпидемиологической кривой соседнего города относительно города начала линейно зависит от логарифма транспортного потока между городами, модуль коэффициента наклона убывает с увеличением трансмиссивности инфекции.

Ограничения транспортных потоков системы хаб-сателлиты в 10 и в 100 раз дают близкие результаты при введении вблизи пика эпидемиологической кривой, разница проявляется на начальных этапах эпидемии.

Вне зависимости от города начала эпидемии необходимо ограничивать транспортный хаб.

Алгоритм детекции по DTW позволяет достичь 85% точности детекции города начала эпидемии к 40 дню при ежедневном тестировании 10% популяции при потоках, соответствующих Москве и Московской области, при меньших потоках пиковая точность близка к 100%.

Спасибо за внимание!

Репозиторий GitHub



Препринт на medRxiv

