



ITMO UNIVERSITY

Saint Petersburg, Russia

Популяционное моделирование многолетней динамики гриппа в городах РФ с учётом уровней коллективного иммунитета

Леоненко Василий Николаевич, к.ф.-м.н.

Исследование поддержано проектом РНФ №20-71-00142

XII конференция по математическим моделям
и численным методам в биоматематике. 2-3 ноября 2020 г.

Простая модель динамики гриппа

- ✓ Эпидсезоны отличаются долей восприимчивых α и интенсивностью эффективных контактов λ
- ✓ Значения параметров связаны соотношением $\alpha\lambda = k = \text{const}$ [1].

Число заболевших за день

Доля заразных из болеющих τ дней

$$y(0, t+1) = \frac{\lambda}{\rho} x(t) \sum_{\tau=0}^T y(\tau, t) g(\tau),$$
$$x(t+1) = x(t) - y(0, t+1),$$
$$y(\tau, t+1) = y(\tau-1, t),$$

Численность населения города

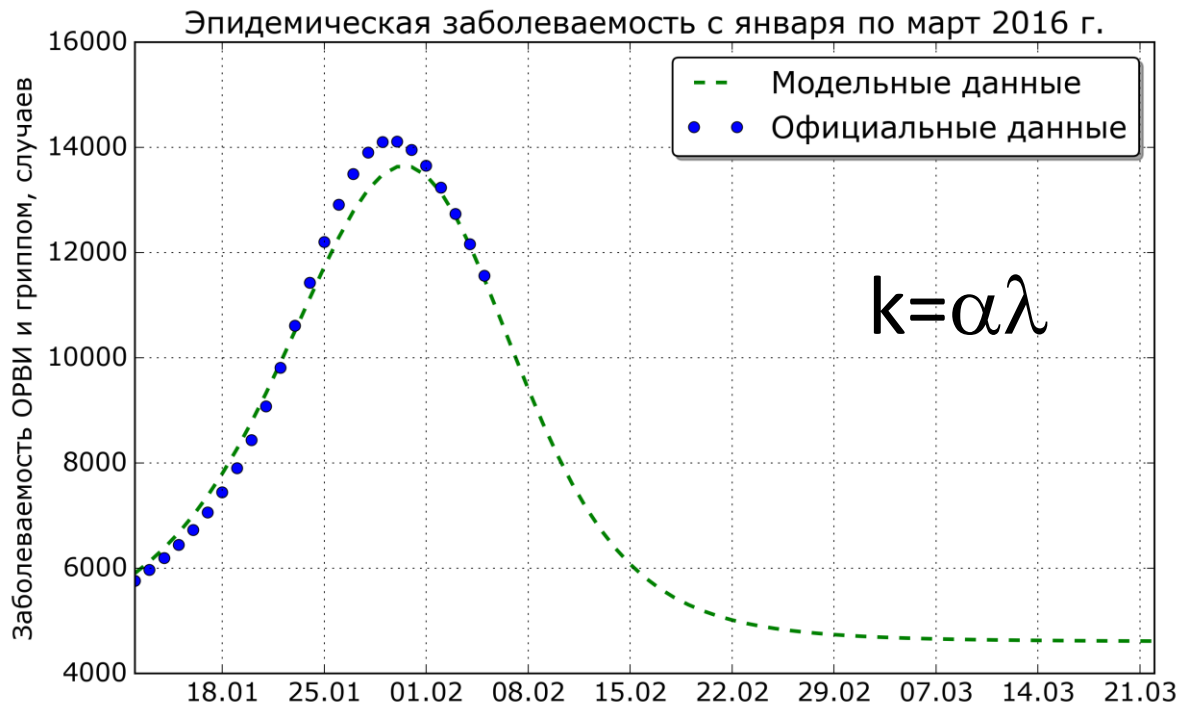
$$x(0) = \alpha \rho,$$

Макс. продолжительность болезни

$$y(\tau, 0) = 0, \tau = 1, 2, \dots, T$$

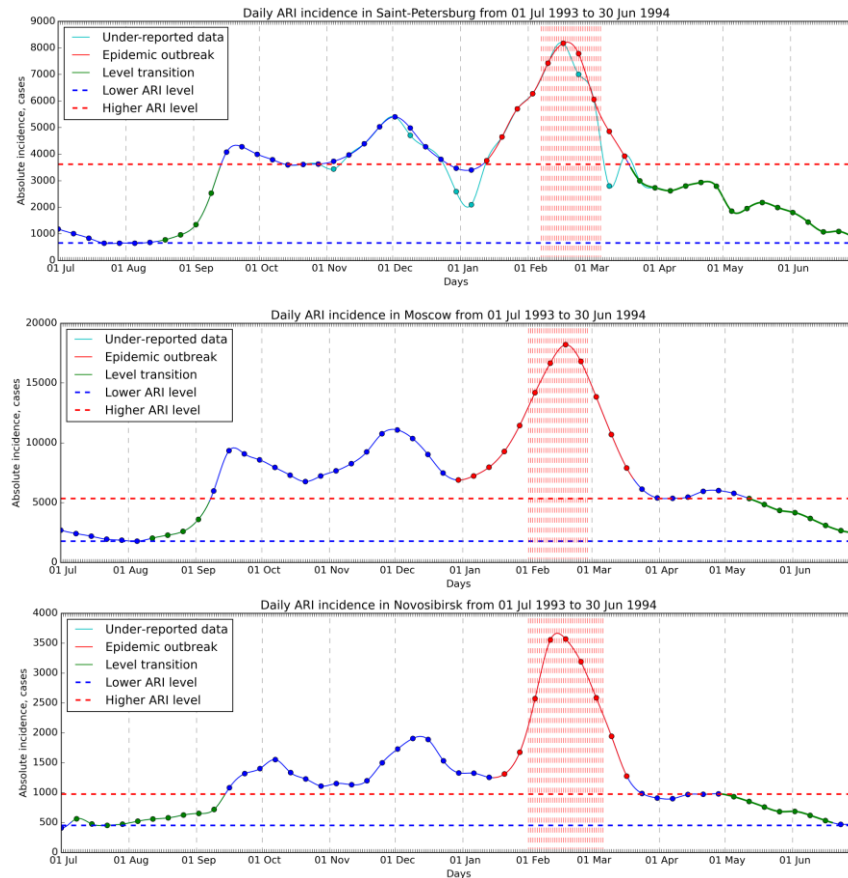
Прогнозирование гриппа в СССР

- ✓ Параметры находятся калибровкой по текущей заболеваемости в одном городе и переносятся на все остальные города
- ✓ Данные предыдущих эпидсезонов в явном виде не учитываются

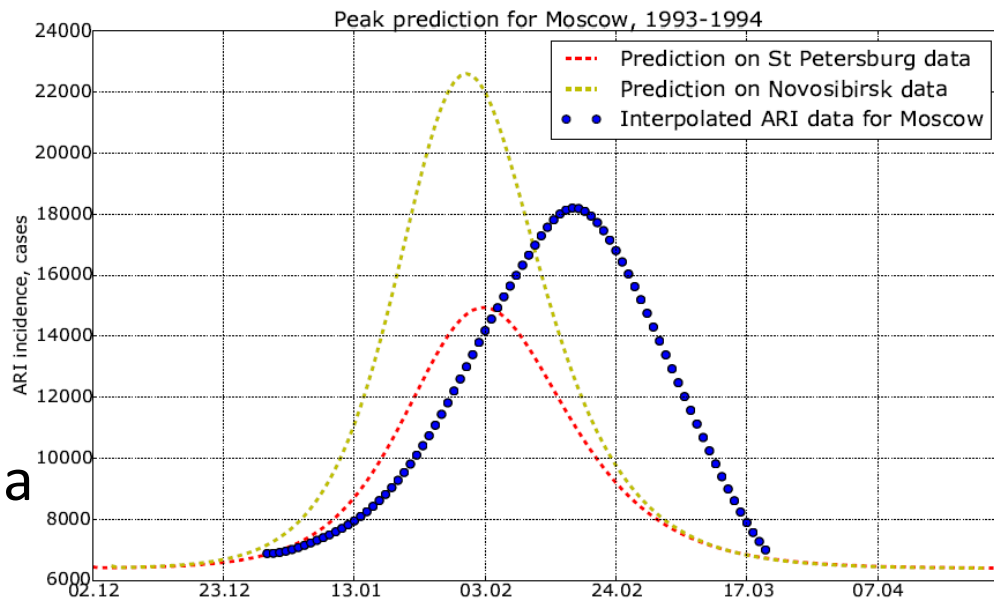


Сравнительная динамика заболеваемости

✓ Эпидемические волны сходной формы в разных городах РФ практически перестали наблюдаться в течение одного эпидсезона



- ✓ Эпидемические волны сходной формы в разных городах РФ практически перестали наблюдаться в течение одного эпидсезона



Источник: Leonenko V. N., Novoselova Y. K., Ong K. M.
Procedia Computer Science, 2016.

- ✓ Доли восприимчивых α теперь отличаются в разных городах и не могут быть взяты едиными для всей страны
- ✓ Одна из потенциальных причин различий – в разной динамике формирования популяционного иммунитета

- **Цели исследования:**

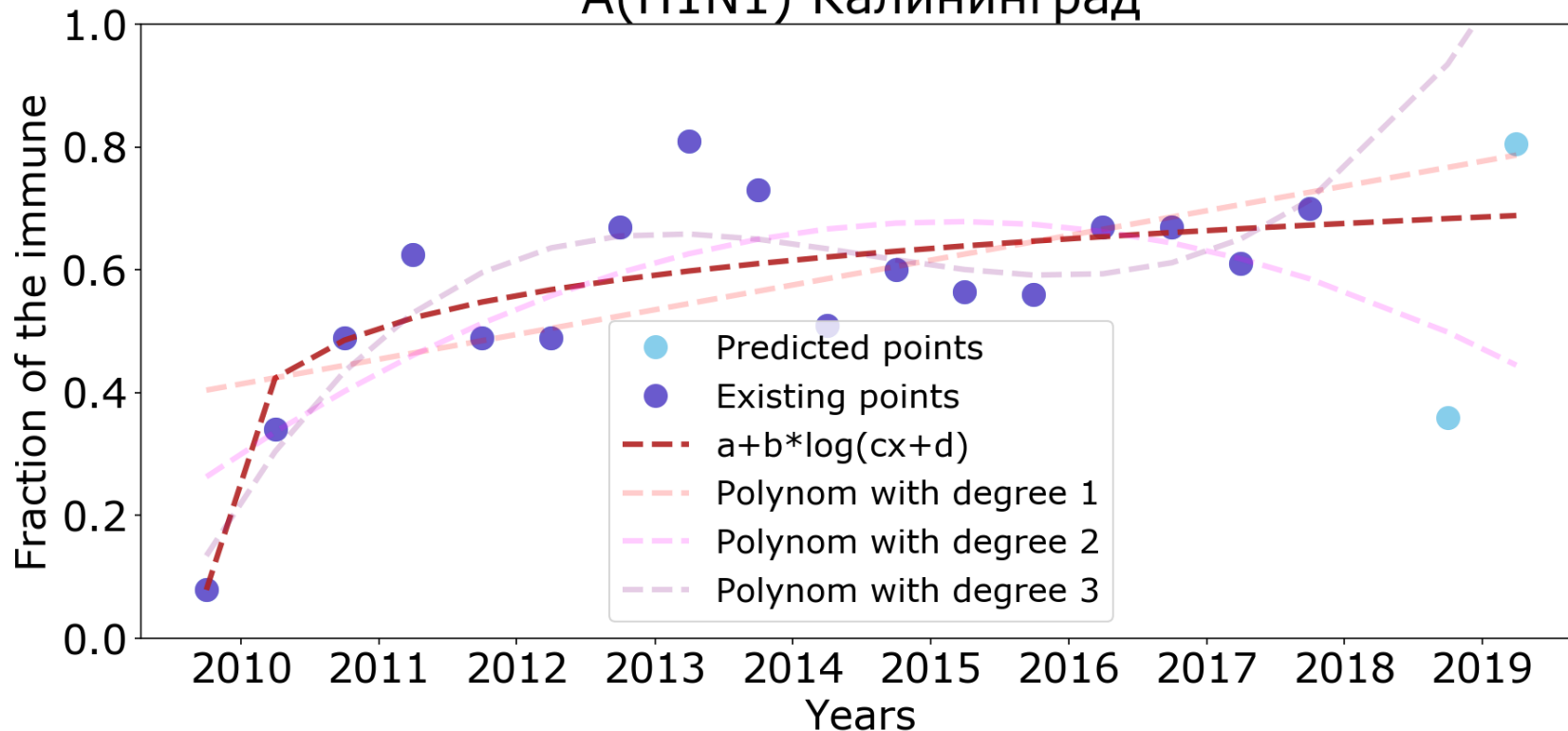
- объяснить, каким образом происходит формирование популяционного иммунитета к гриппу в городах РФ во время фиксированного эпидемического сезона (разработать модели, согласующиеся с данными серологических исследований)
- построить статистические и механистические модели многолетней динамики гриппа с учётом уровней популяционного иммунитета (понять, как согласовать биологические исследования и модельные оценки)

Популяционный иммунитет к гриппу: модельные гипотезы

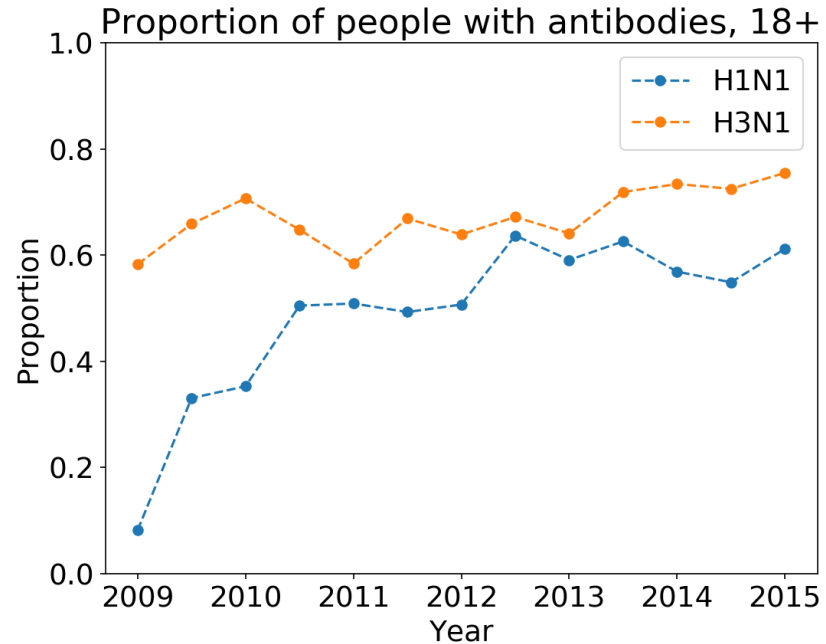
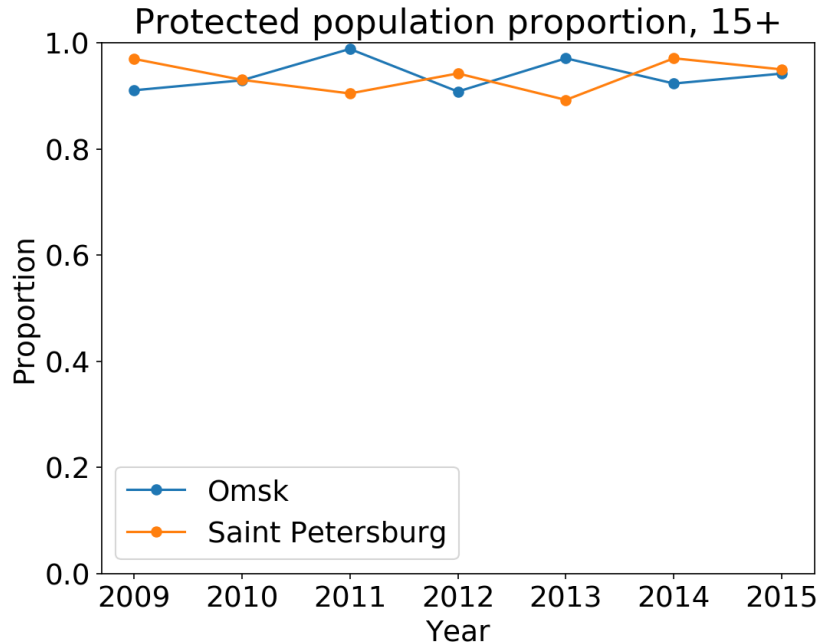
- ✓ Отсутствует или очень низкий к новым штаммам
- ✓ В долгосрочном периоде: растёт по мере циркуляции штамма в популяции
- ✓ В масштабах эпидсезона: растёт при эпидемической вспышке и постепенно снижается при её отсутствии

Прогнозная модель динамики иммунитета

A(H1N1) Калининград

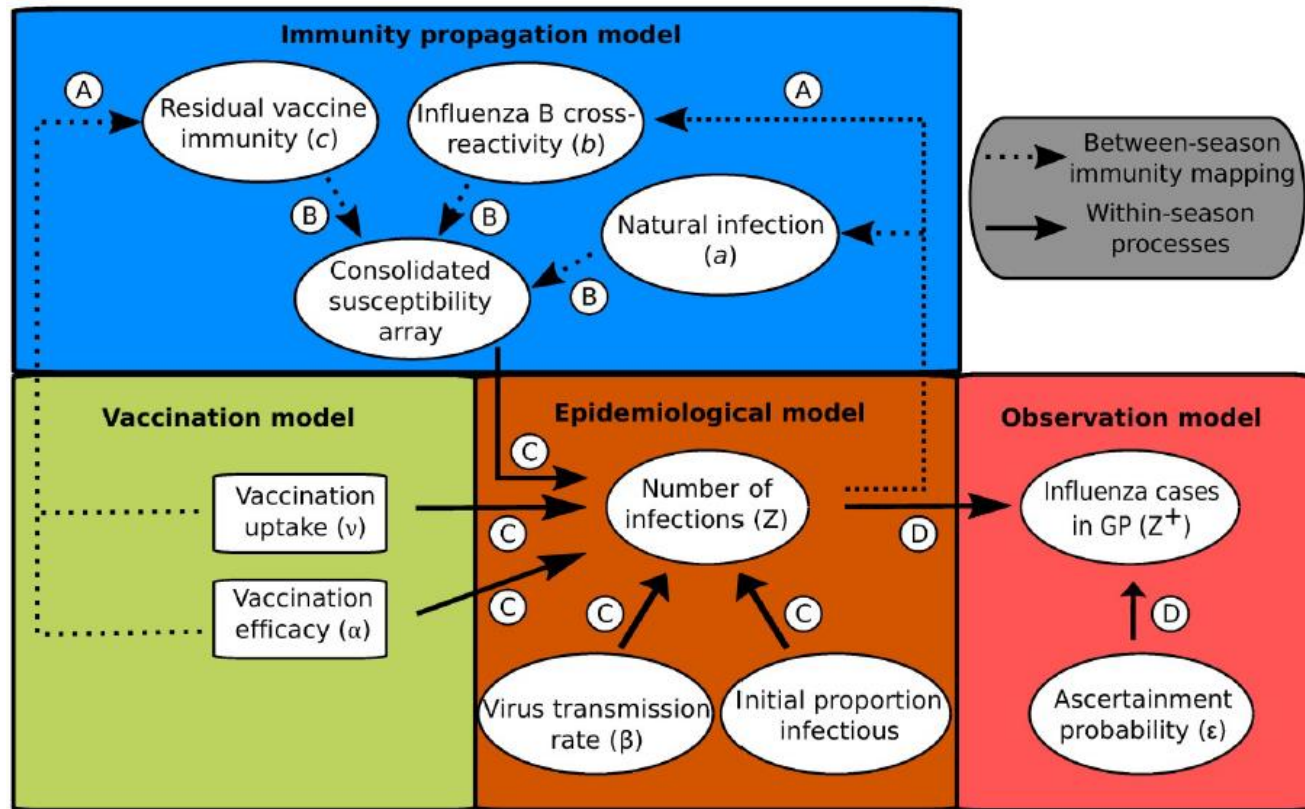


Оценка уровней иммунитета



- ✓ Модельная оценка иммунитета значительно отличается от результатов серологических исследований
- ✓ Для прогнозирования динамики гриппа теперь требуется привязать результаты исследований к параметрам популяционных моделей

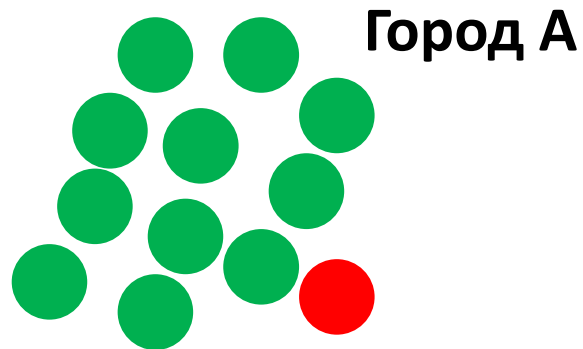
Модель многолетней динамики гриппа



Источник: Hill et al., PLoS Comput Biol, 2019.

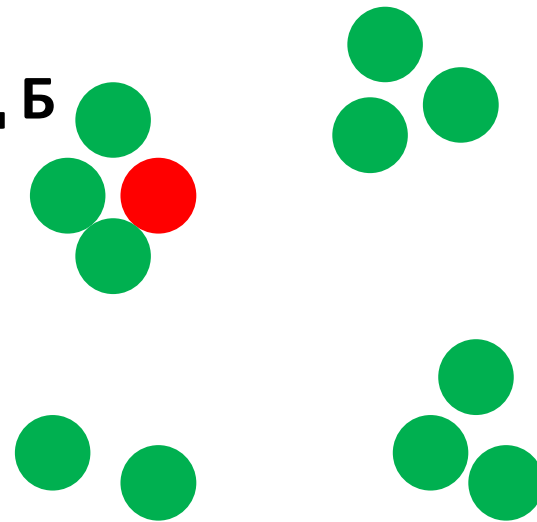
Формирование популяционного иммунитета

Год 0



Один кластер в популяции

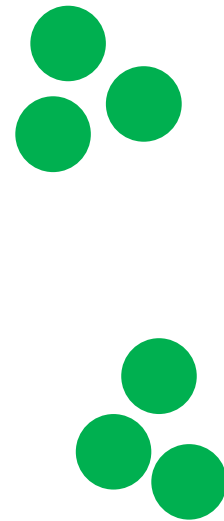
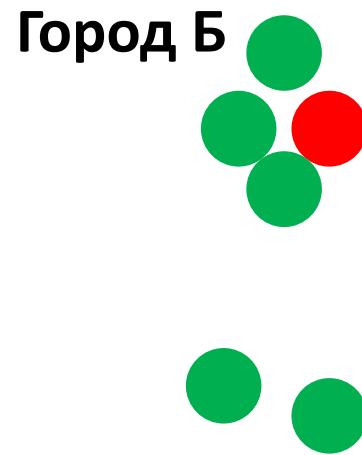
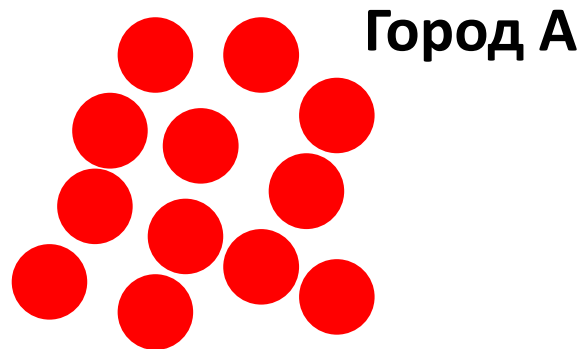
Город Б



Несколько кластеров
в популяции

Формирование популяционного иммунитета

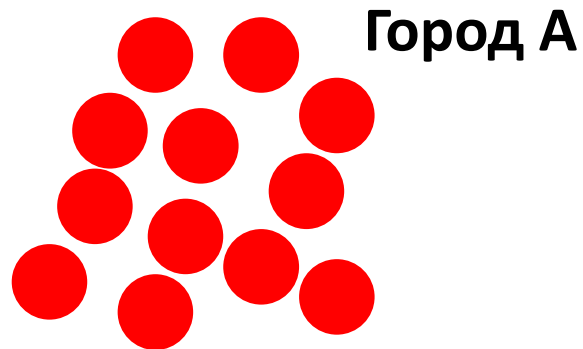
Год 0



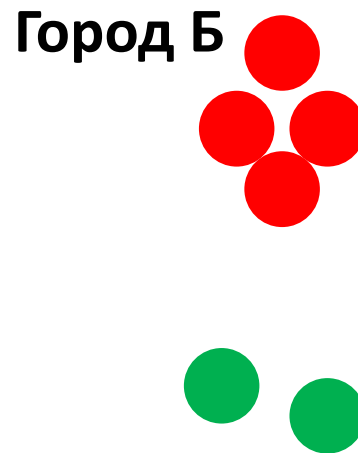
Высокая заболеваемость

Формирование популяционного иммунитета

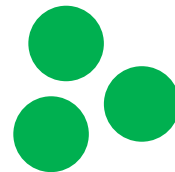
Год 0



Высокая заболеваемость

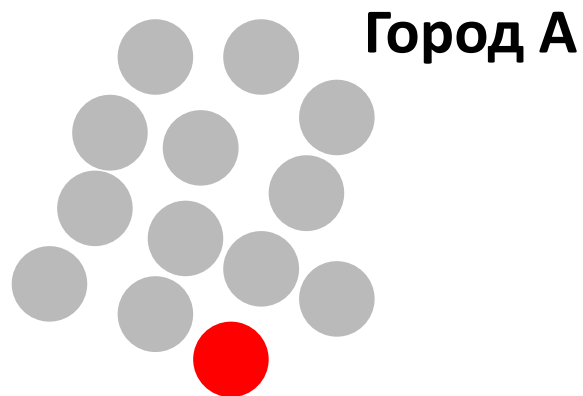


Средняя заболеваемость

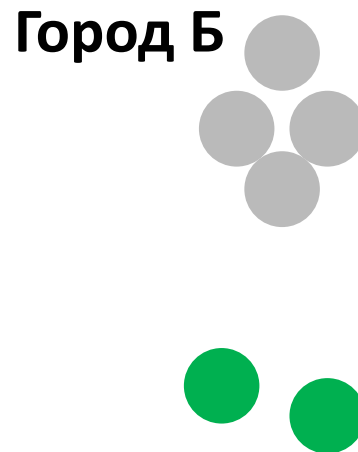


Формирование популяционного иммунитета

Год 1



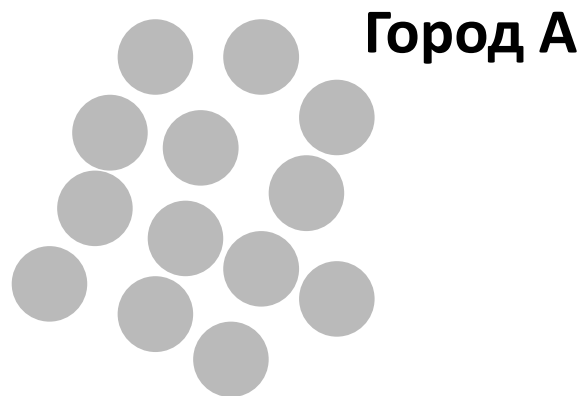
Высокий уровень иммунитета



Средний уровень иммунитета

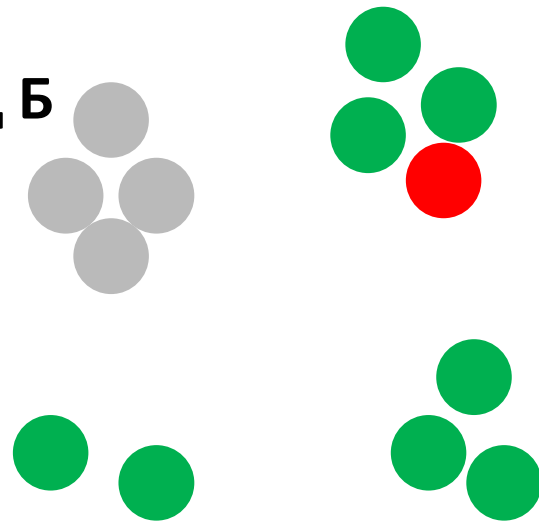
Формирование популяционного иммунитета

Год 1



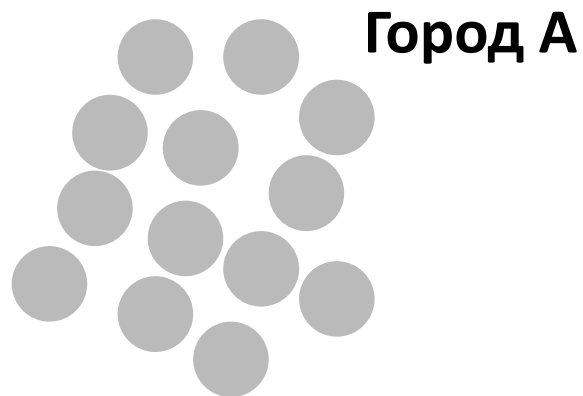
Низкая заболеваемость

Город Б



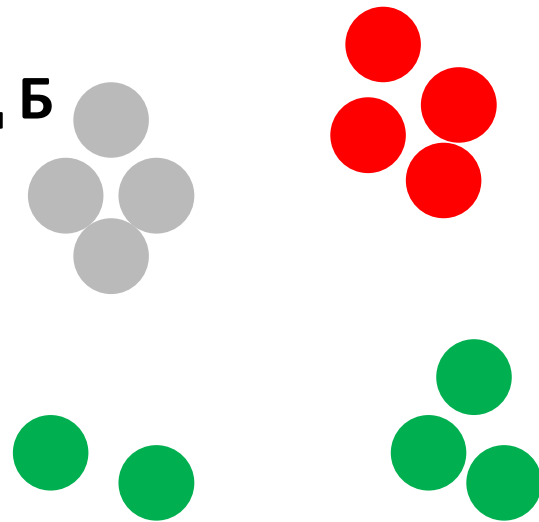
Формирование популяционного иммунитета

Год 1



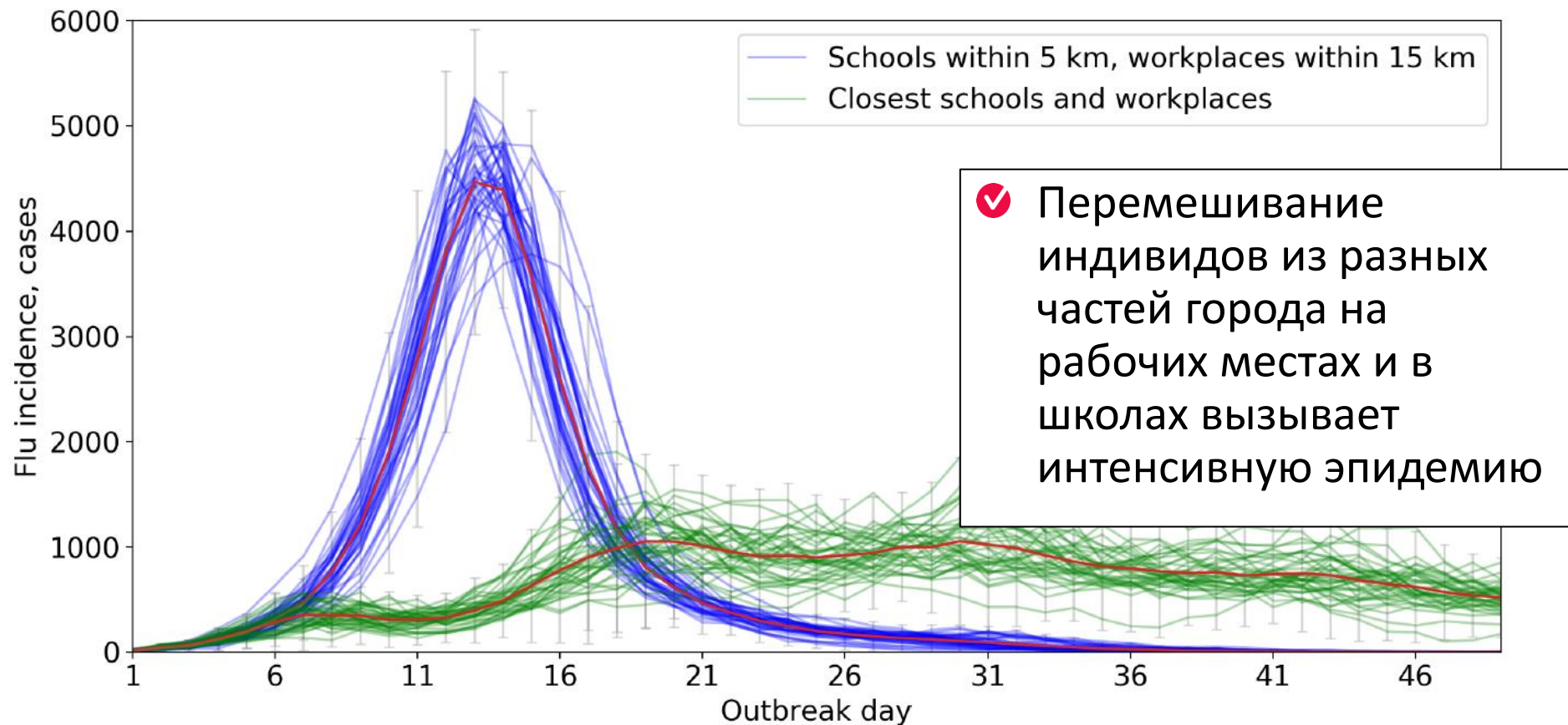
Низкая заболеваемость

Город Б



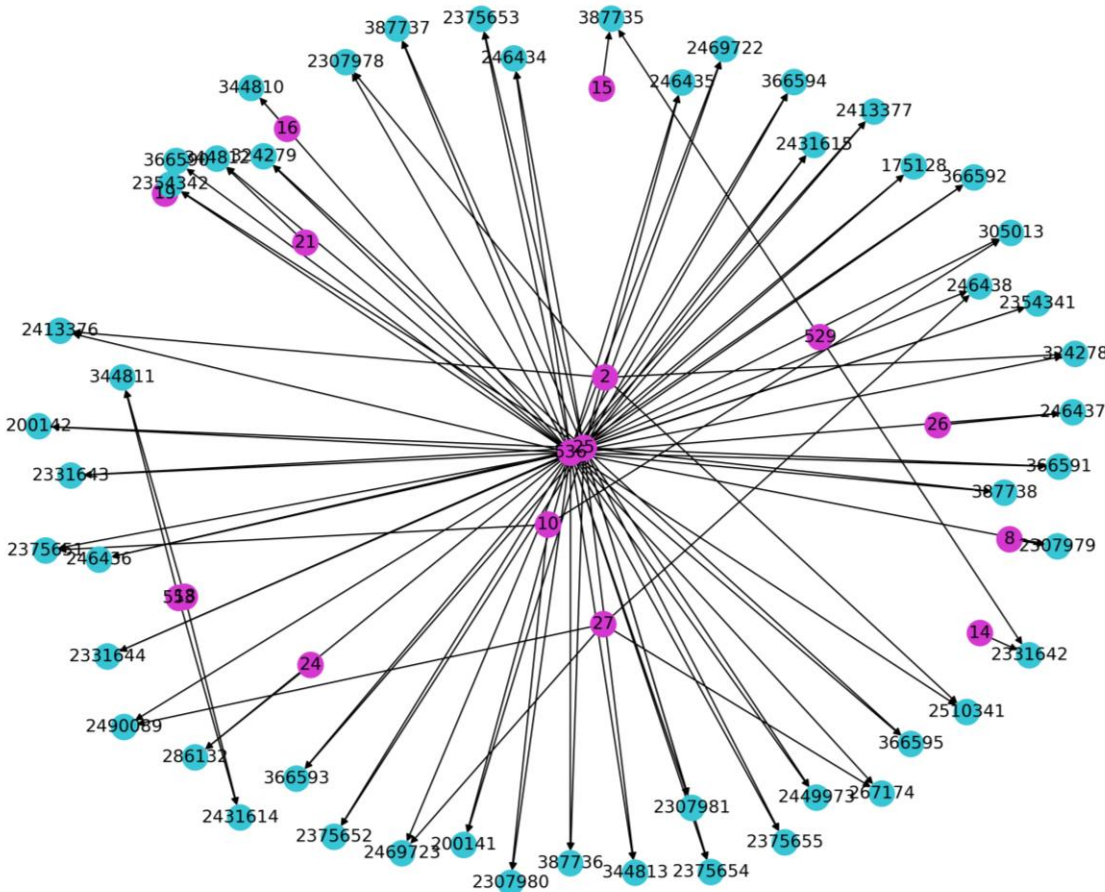
Средняя заболеваемость

Влияние выбора школ и мест работы



Топология сетей контактов

- ✓ Голубыми точками отмечены индивиды, сиреневыми – места контактов
- ✓ Выделение сходства в топологии сетей контактов (распределение степеней вершин, связность, кластеризация) в разных городах РФ позволить оценить её влияние на эпидпроцесс



- ✓ Создать популяционную мультиштаммовую модель динамики гриппа
- ✓ Связать модельные оценки иммунитета с данными серологических исследований и уровнями вакцинации
- ✓ Смоделировать несколько последовательных эпидемий и оценить их влияние друг на друга (за счёт формирования иммунитета)

Спасибо за внимание!

E-mail: vnleonenko@yandex.ru

ITMO *re than a*
UNIVERSITY