



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ЭПИДЕМИИ COVID-19 В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

29.05.2023

Забабахинские научные чтения, Снежинск, 2023

Дерябин Александр Михайлович

В.В. Власов, О.В. Зацепин, А.Л. Карманов, С.Н. Лебедев,
Г.Н. Рыкованов, А.В. Соколов, Н.А. Теплых, К.Е. Хатунцев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И.Забабахина»

Развитие модели от мегаполиса Москвы до масштаба РФ

Город

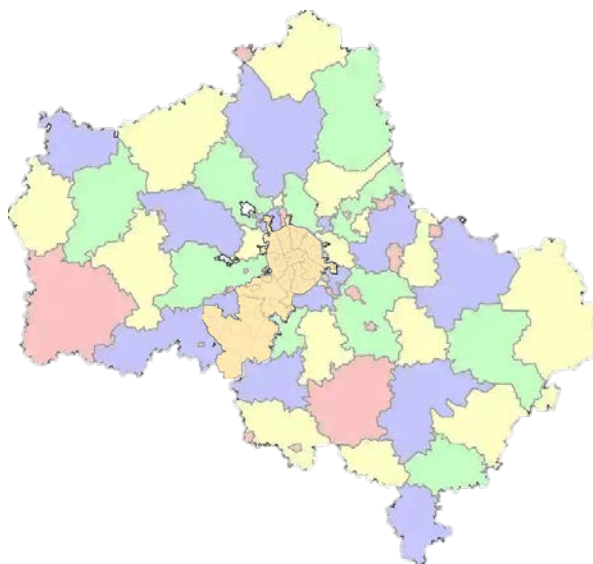
Регион

Страна

Москва



Москва +
города московской области



Города России с численностью
населения:

- От 1 млн. чел.
- От 500 т. чел.
- От 100 т. чел.
- От 50 т. чел.

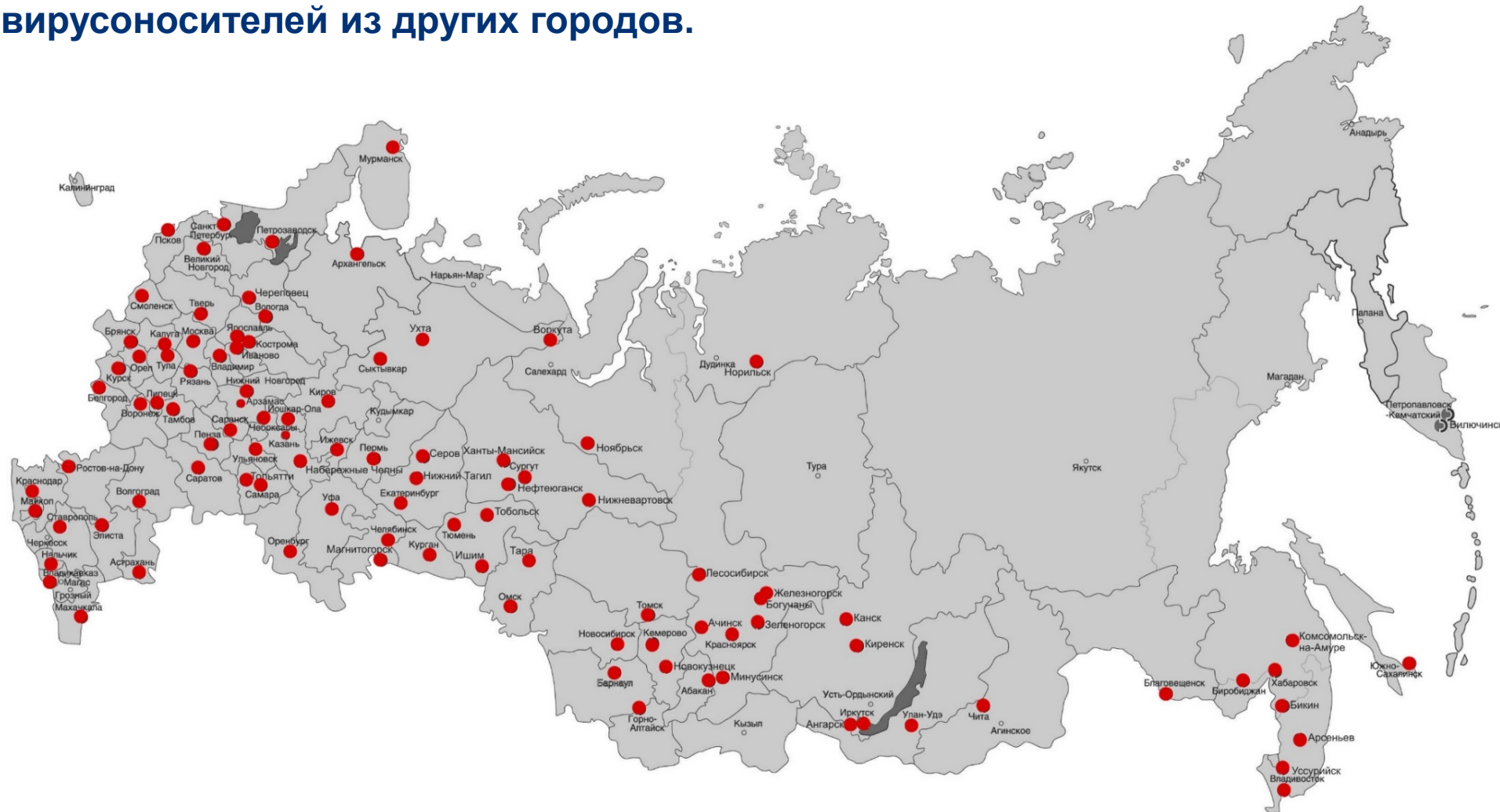


Сеть городов с локальными эпидемиями



РФАЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Для каждого города строится локальная модель эпидемии с учетом притока вирусоносителей из других городов.



Параметры городов



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



возрастные и
профессиональные
группы населения



сценарии для жителей
города

зоны контакта (ячейки)



статистические данные о
заболеваемости

параметры городской
среды (транспорт,
магазины)

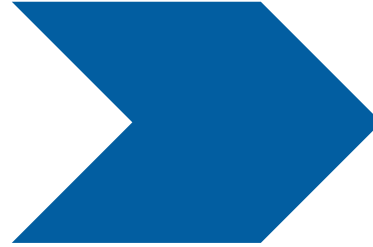


Входные данные для модели сети городов



- **Параметры вируса**

- Длительность фаз заболевания
- Контагиозность штамма



Медицинские параметры одинаковы для всех городов.

- **Параметры городов**

- **Параметры городской среды**

- Структура ячеек
- Площадь ячеек

- **Параметры популяции**

- Разбиение на группы по социальному статусу
- Схема посещения ячеек для каждого соц. статуса

- **Активность населения**

- Общая активность
- Активность по типу ячеек

- **Количество заболевших за сутки**



Параметры каждого города

- **Пассажиропоток за сутки**



Матрица $N \times N$ значений (N городов)

Активность населения в городах



Вероятность выполнения суточного сценария жителя, строится по статистическим данным



Транспортные потоки жителей между городами



- Топология сети – “каждый с каждым”
- Учитываются ЖД, авиатранспорт и автобусы
- Не учитывается личный транспорт



Транспортные потоки для всей территории России ►

▼ Количество рейсов между крупнейшими хабами России

	Москва	Санкт-Петербург	Новосибирск	Екатеринбург	Казань	Нижний Новгород	Челябинск
Москва		5229	1599	2026	1638	1075	1030
Санкт-Петербург	5209		497	393	423	477	303
Новосибирск	1483	499		229	103	30	116
Екатеринбург	2068	432	232		133	79	4
Казань	1553	416	101	132		16	12
Нижний Новгород	1027	463	30	83	20		2
Челябинск	949	303	116	2	13	0	

Транспортная модель



Временной ряд пассажиропотока между населёнными пунктами i и j вычисляется следующим образом:

интенсивность потока
(предельные оценки)

относительное изменение
активности пассажиропотока

$$F_{ij}(t) = k \frac{\overbrace{Q_i D_j}}{c_{ij}} \cdot \frac{A_i(t) + \overbrace{A_j(t)}}{2}, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M,$$

где Q - полное число отправлений

D - полное число прибытий

N - количество зон отправления,

M - количество зон прибытия,

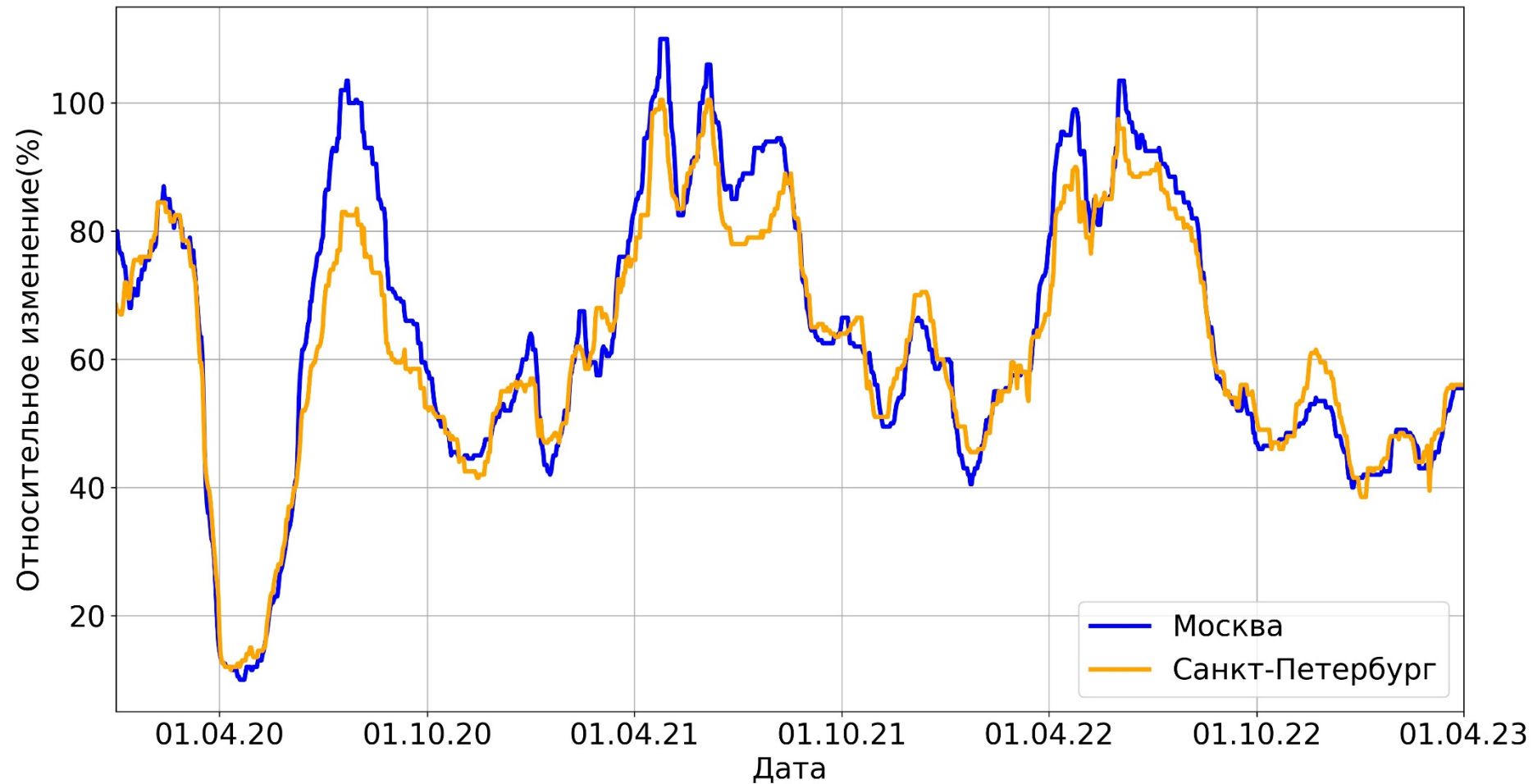
k - нормирующая константа,

c_{ij} - геодезическое расстояние между населёнными пунктами.

Активность пассажиропотока



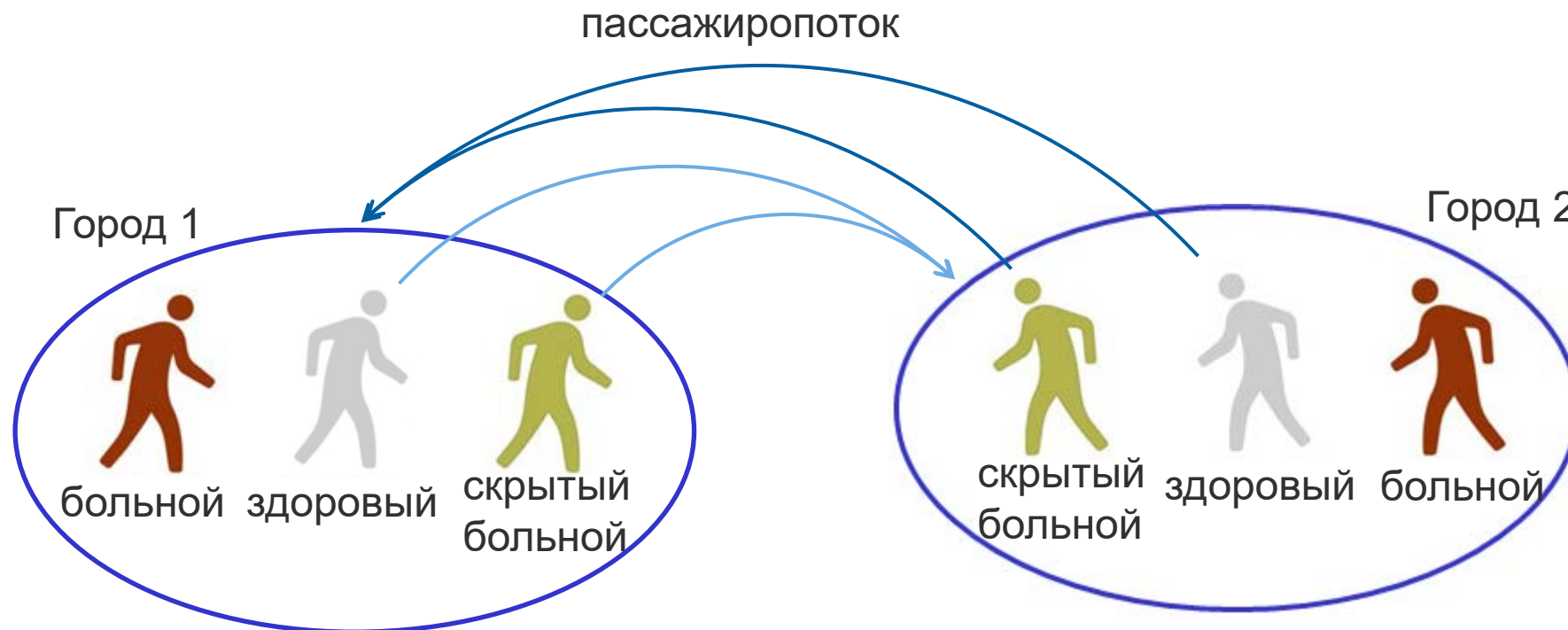
Пример временного ряда потребительской активности банка Tinkoff в категории «Расходы на покупку железнодорожных билетов»



Выбор агентов для перемещения



- Каждый житель любого населенного пункта, если он находится в состоянии «здоровый» или «скрытый больной», может быть перемещен в другой населенный пункт.
- Каждый день выборка жителей для перемещения составляется случайно



Структура программного комплекса



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



Сбор данных



- Активность населения:
 - «Mobility Trends»
 - «Google Mobility»
 - Tinkoff
- Статистика по заболеваемости (данные с сайтов):
 - Роспотребнадзора
 - Стопкоронавирус
 - университета имени Дж. Хопкинса
- Пассажиропоток:
 - ЖД - «Расходы на покупку железнодорожных билетов» (Tinkoff)
 - Авиа - «Яндекс.Расписания»
- Далее данные обрабатываются, и передаются в модель для расчета

Калибровка модели для сети городов



- По фактическим данным калибруется параметр модели « T_0 »
- У каждого города калибровочные значения индивидуальны
- Перемещение агентов между городами влияет на расчет сети городов

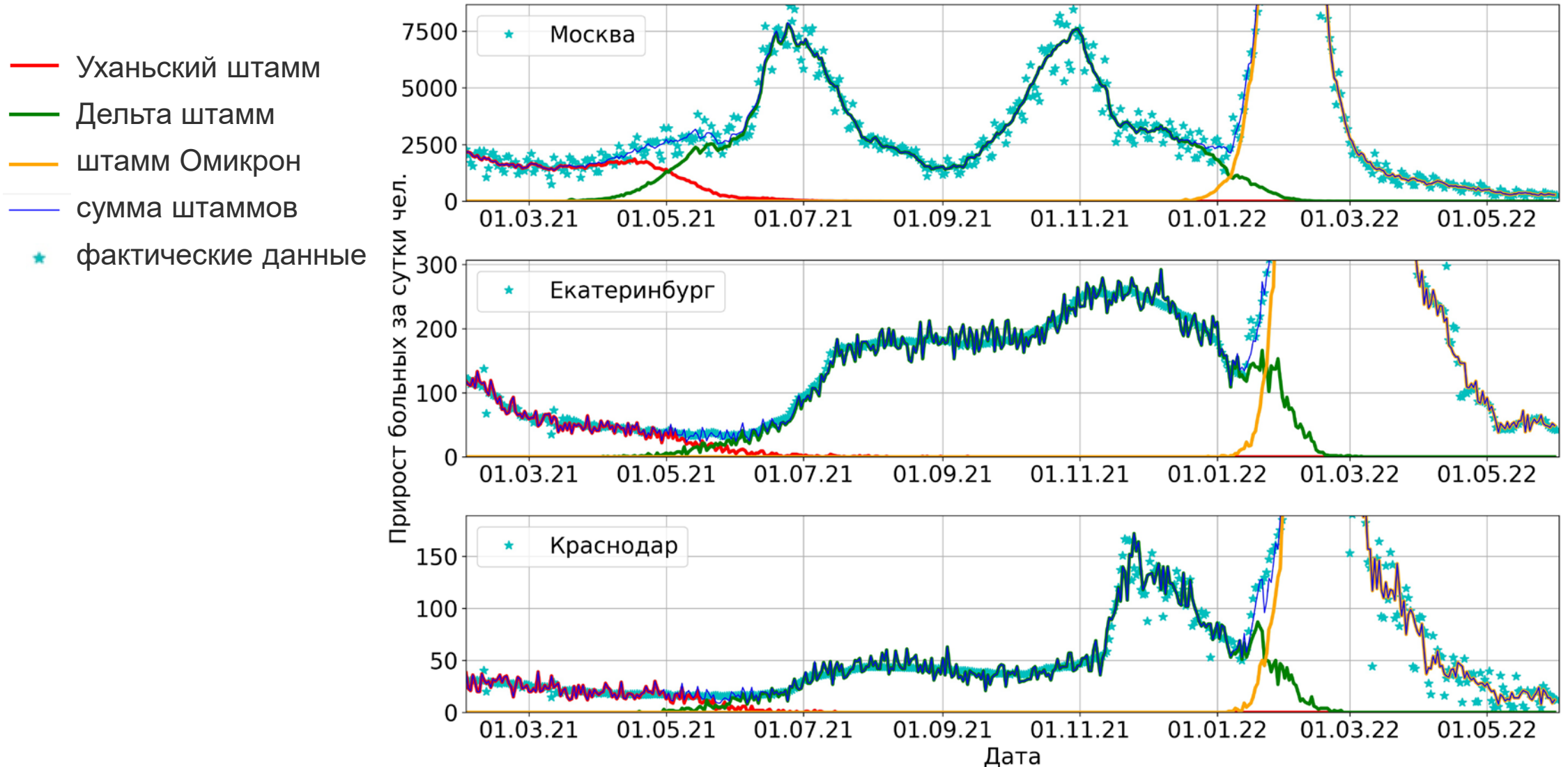


Распространение нового штамма в стране

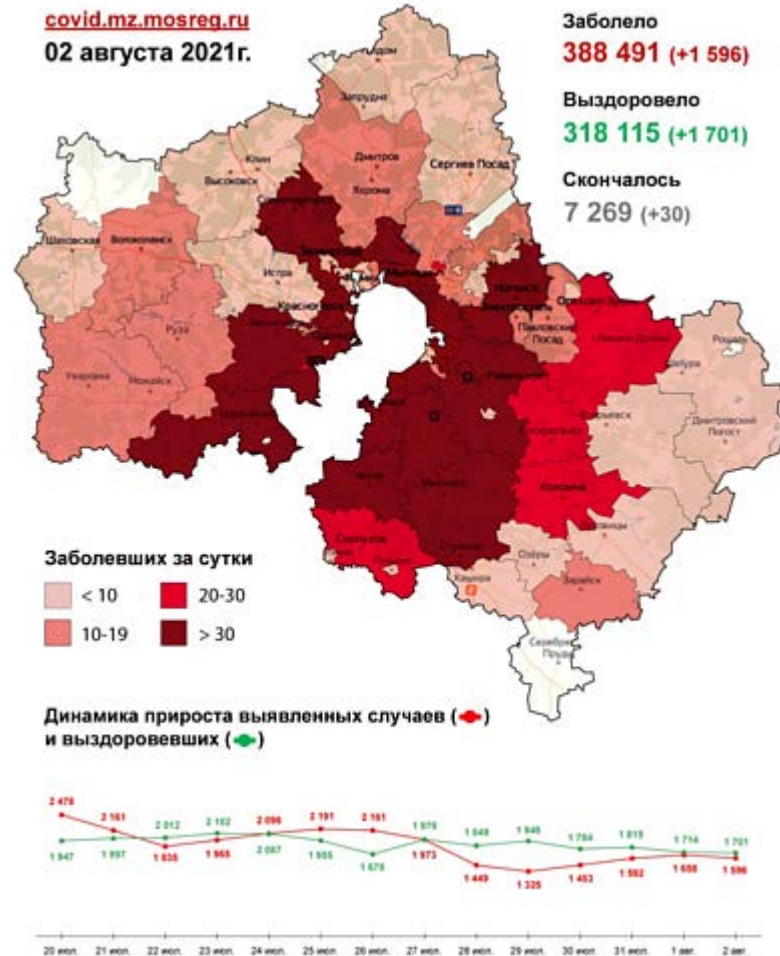


РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

Передача заболевших новым штаммом через пассажиропоток



Москва и города-спутники



Город / Округ	Население
Балашиха	507307
Подольск	308130
Химки	259550
Мытищи	235504
Королев	225858
Люберцы	205295
Красногорск	175554
Богородский	165000
Электросталь	156026
Коломна	140129
Домодедово	137160
Одинцово	135506
Серпухов	126273
Щелково	126109
Раменское	121908
Орехово-Зуево	118309
Долгопрудный	116038
Реутов	108054
Пушкино	107580
Жуковский	107560
Сергиев Посад	100335
Сумма	3683185

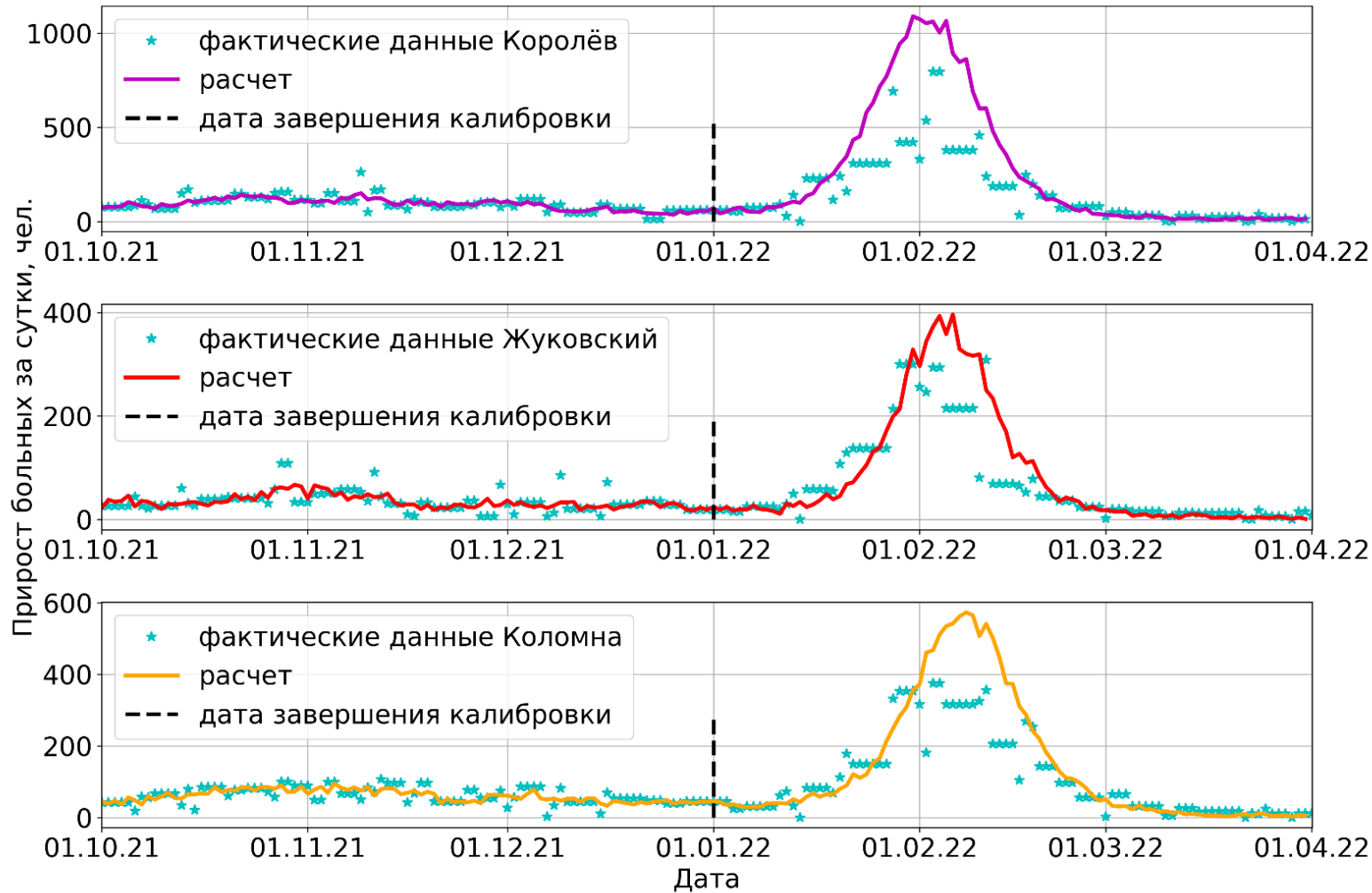
Данные с сайта covid.mz.mosreg.ru

Расчет проводился для 21 города с населением от 100 000 чел., суммарно 3 683 185 чел. Поток жителей по данным Института Генплана Москвы.

Результаты расчета Москвы и городов-спутников



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ



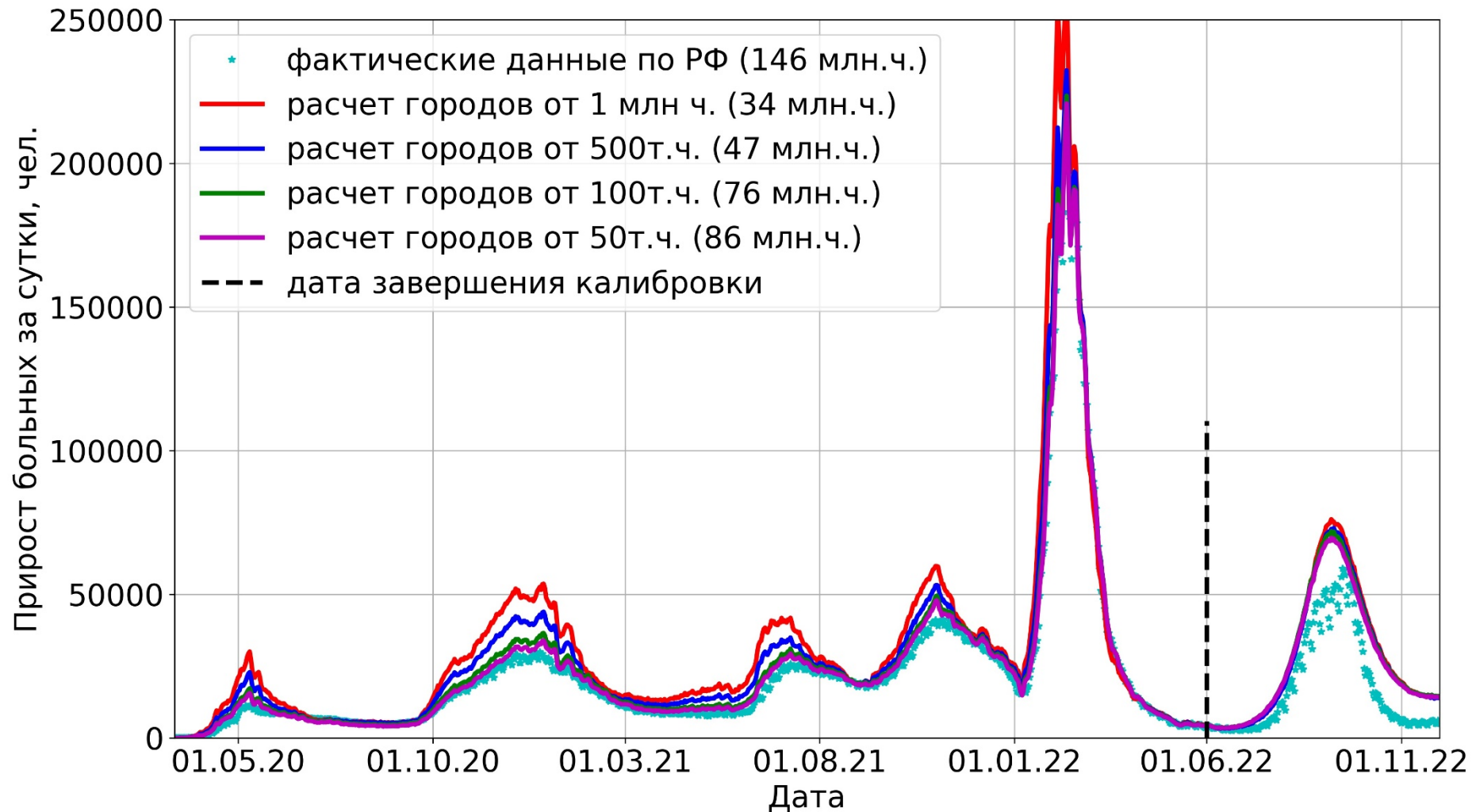
Население Москвы	12.7 млн.
Агломерация	16.4 млн.
Ежедневная трудовая миграция	1.3 млн.

Город / Округ	Население	Ежедневная маятниковая миграция
Балашиха	507307	179000
Подольск	308130	108800
Химки	259550	91600
Мытищи	235504	83200
Королев	225858	78000
Люберцы	205295	72500
Красногорск	175554	62000
Богородский	165000	58300
Электросталь	156026	55000
Коломна	140129	49500
Домодедово	137160	48500
Одинцово	135506	48000
Серпухов	126273	44600
...
Пушкино	107580	37900
Жуковский	107560	38000
Сергиев Посад	100335	35000
Сумма	3683185	1298200

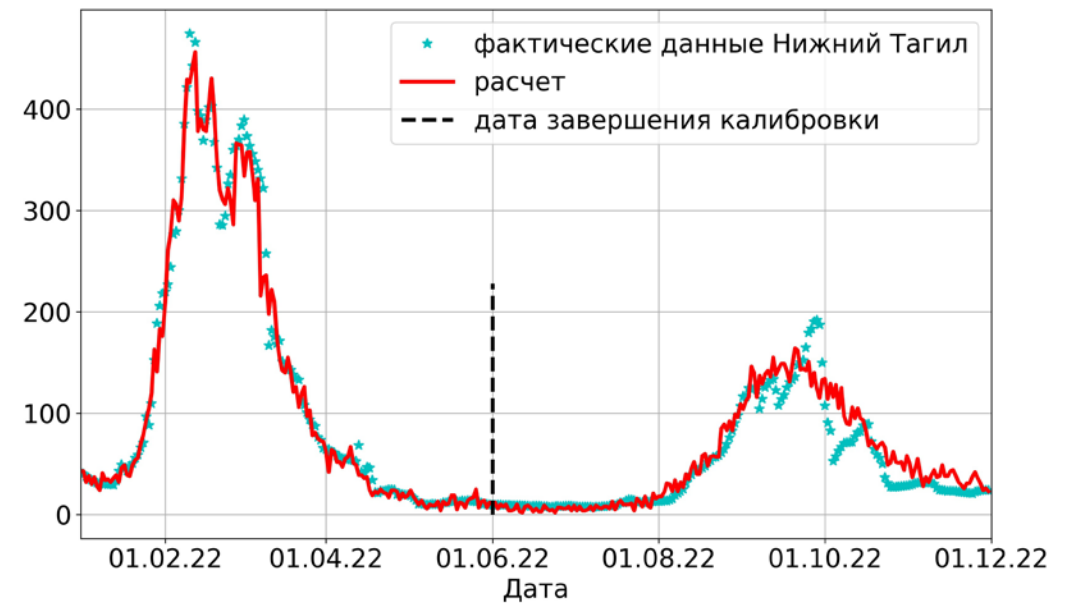
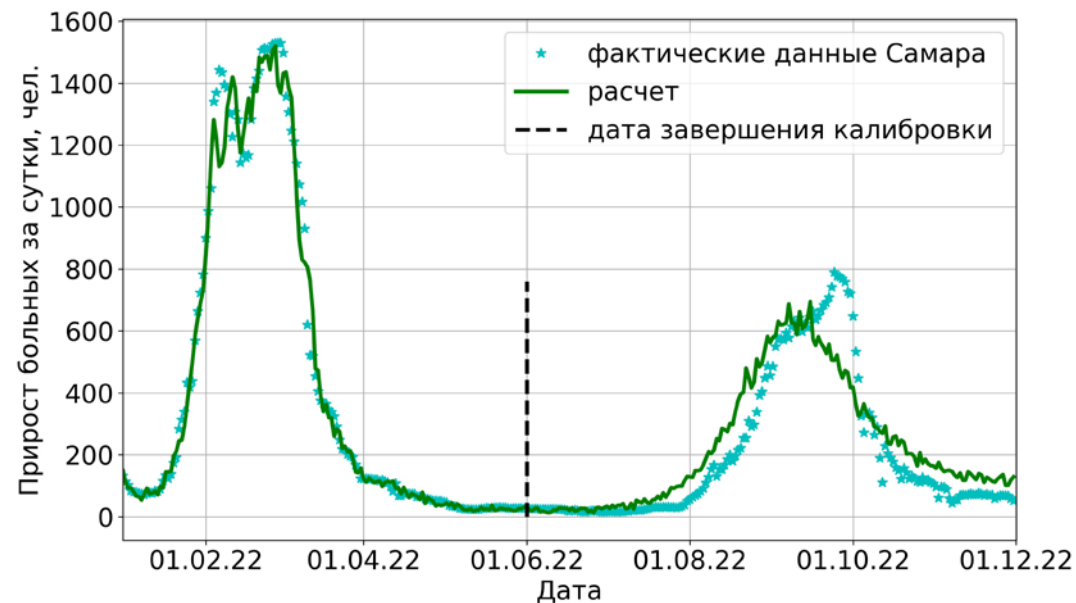
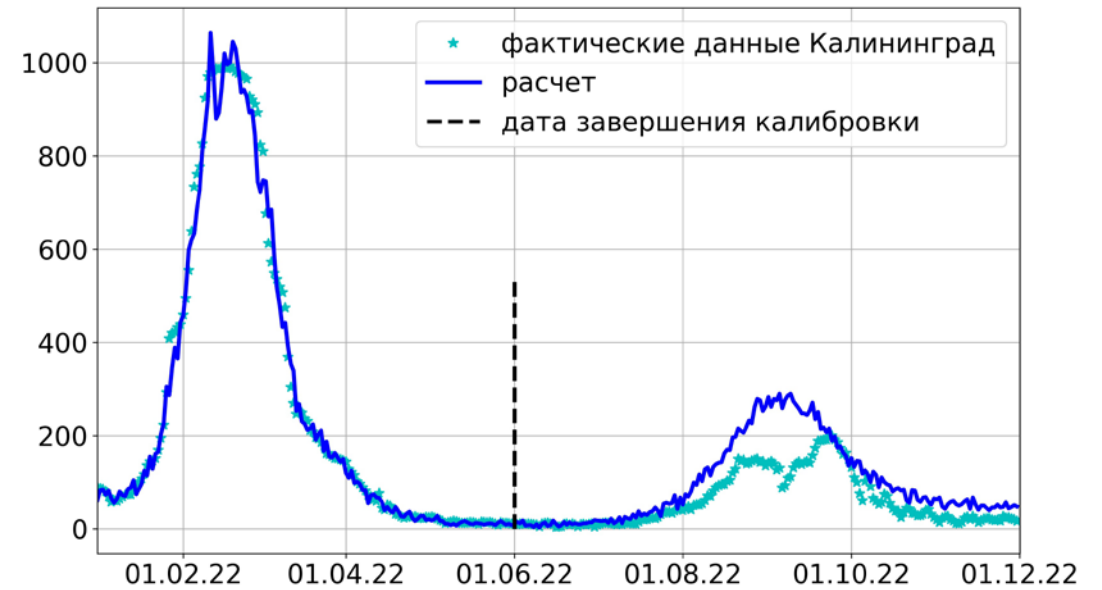
Моделирование страны



Расчетные результаты приближаются к фактическим данным по мере уточнения структуры страны



Результаты моделирования страны



Заключение



1. Разработанная модель развития эпидемий вирусных инфекций позволяет моделировать развитие эпидемии в РФ с учетом:
 - реализации ограничительных мероприятий;
 - вакцинации населения и появления новых штаммов;
 - «обмена» жителями между регионами и городами РФ.
2. Программный код позволяет гибко модифицировать модель – уточнять описание социума и структуры страны, а также настраивать модель для расчетов различных вирусных инфекций
3. Программа разработана с применением открытых технологий и может быть установлена на вычислительных серверах под управлением ОС Linux, Windows

**Спасибо
за внимание!**

Дерябин Александр Михайлович

29.05.2023

Характеристики расчетов

Москва

- 12.7 млн. агентов
- ОЗУ: ~ 5 ГБ
- Время калибровочного расчета
на интервале 12.03.20 – 01.01.22: ~1 день на ПК
- Время прогнозного расчета
на интервале 01.01.22 – 01.06.22: ~1 час на ПК

Россия

- 146 млн. агентов (~1000 городов)
- ОЗУ: ~ 100 ГБ
- Время калибровочного расчета
на интервале 12.03.20 – 01.01.22: ~10 дней на ПК
- Время прогнозного расчета
на интервале 01.01.22 – 01.06.22: ~10 часов на ПК

Визуализация данных программного комплекса



- В основе лежит идея гибкой настройки визуального представления выводимых данных — интерактивных панелей визуализации.

