

*11th International Conference "Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education" (GRID'25),
7-11 July 2025, Dubna.*

10.07.2025

Технология сбалансированной идентификации:
изучение асимптотических свойств динамики модели эпидемий с затухающим иммунитетом (на данных заболеваемости Covid-19)

Соколов Александр Витальевич, Волошинов Владимир Владимирович

Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН, Москва
План.

Соколов Александр Витальевич

1978 – МФТИ (ФУПМ –база ИПМ РАН)

1983 – к.ф.-м.н., спец 05.13.02,

«Динамика сообществ биологических
популяций с возрастной структурой»

1978-2013 – ИСА РАН

2013- н./в. – ИППИ РАН,

Центр распределенных вычислений,
лаб. Алгоритмы сетевых вычислений

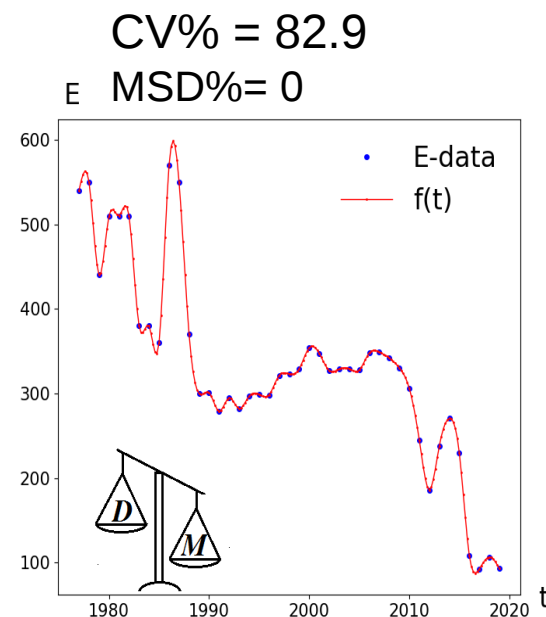
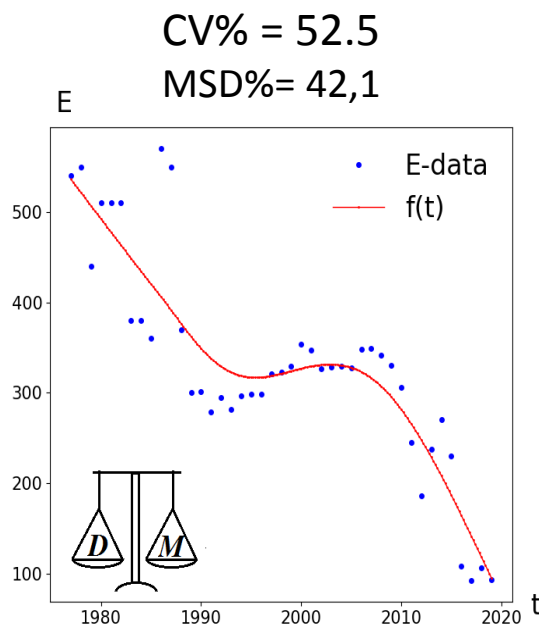
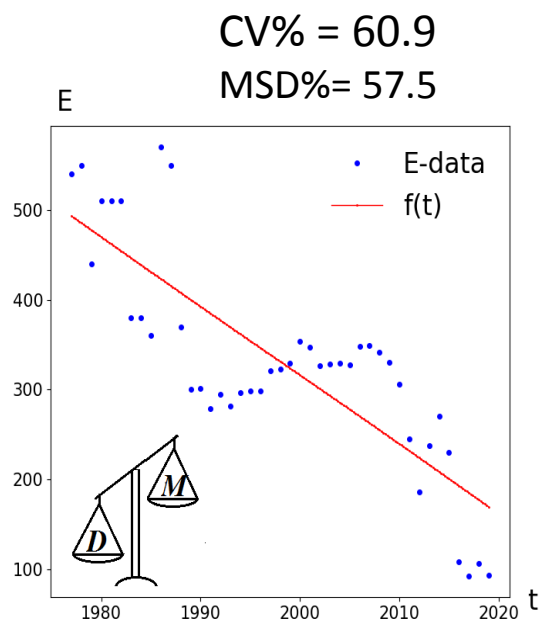
- Модель
- Прогнозы
- Редуцированная модель
- Картинки
- Поиск неустойчивого
предельного цикла

alexander.v.sokolov@gmail.com

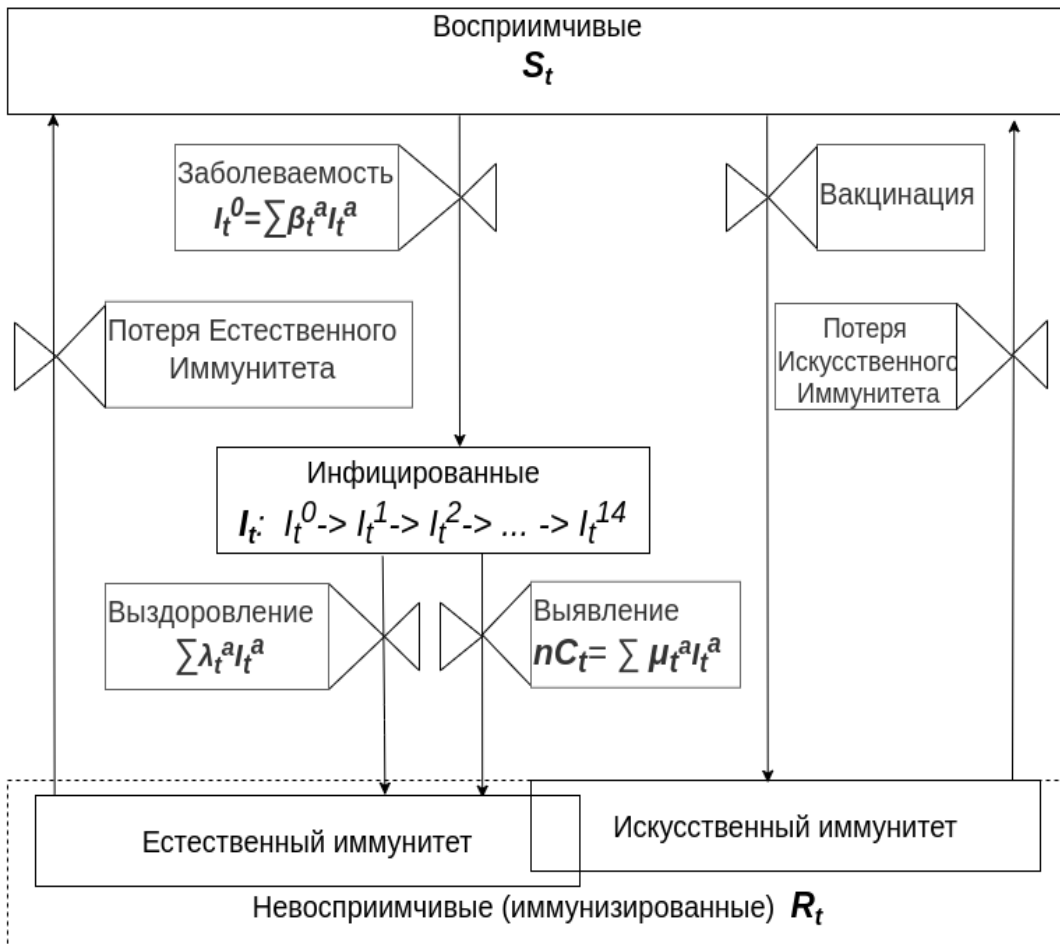
Метод сбалансированной идентификации

Этапы моделирования:

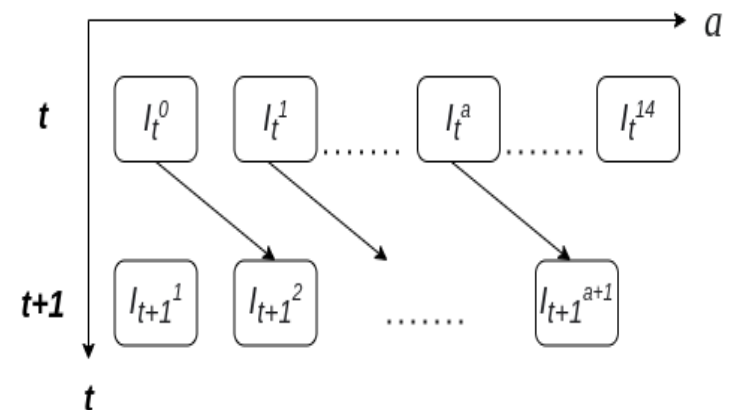
- формулировка целей исследования;
- построение общей (концептуальной) модели;
- анализ экспериментальных данных, планирование экспериментов;
- выбор (аналитической) математической модели и ее исследование;
- выбор численной модели, аппроксимирующей математическую;
- идентификация (построение) модели на экспериментальных данных;
- верификация построенной модели, обработка результатов экспериментов;
- анализ построенной модели, оценка области использования и погрешностей;
- использование построенной модели.



$SI_{15}RS-nC-nT-Anti-Im-Vuc-deVac$ - Модель динамики невыявленных зараженных (HB3**), распределенных по длительности заражения (**Д3**) с учетом естественного и искусственного иммунитета**

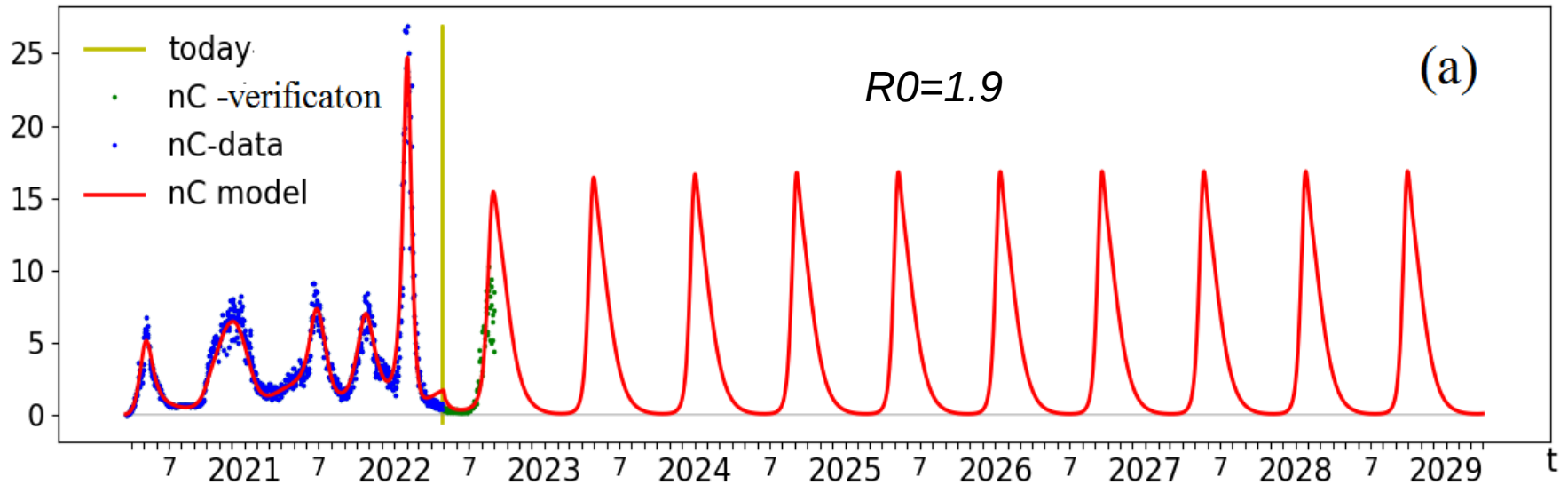


- Рассматриваются только HB3 – I_t^a . Выявленные инфицированные не заражают здоровых.
- Временной шаг модели – 1 день.
- Невыявленные зараженные в момент времени (t) могут отличаться друг от друга только одним параметром Д3 (a).

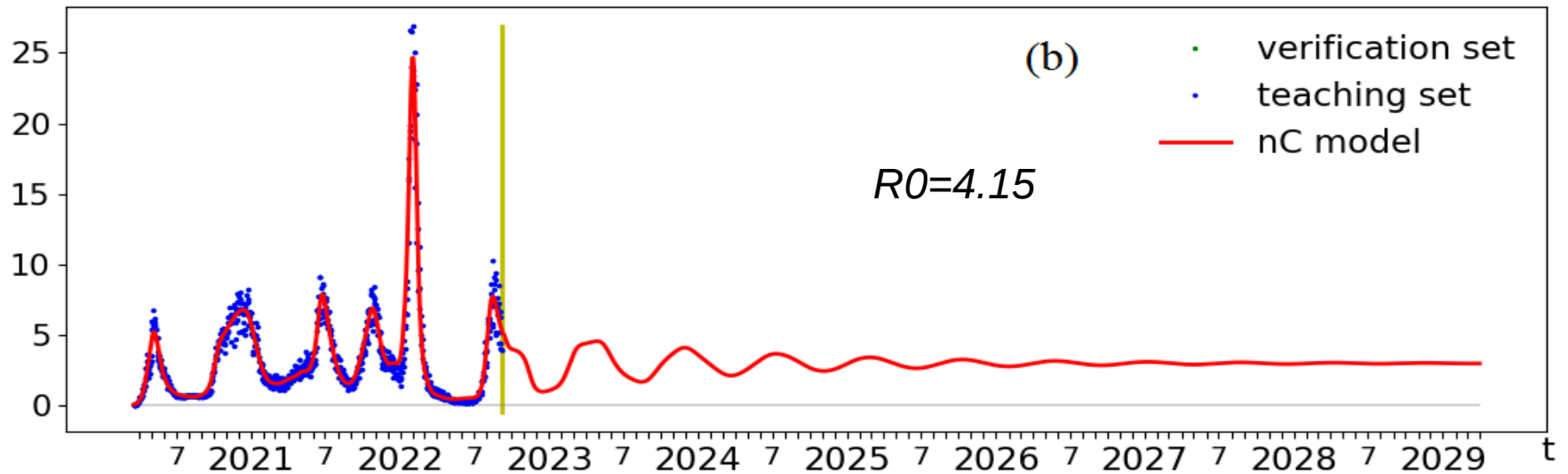


Два прогноза

nC-новые случаи(тыс.чел.)



nC - новые случаи (тыс.чел.)

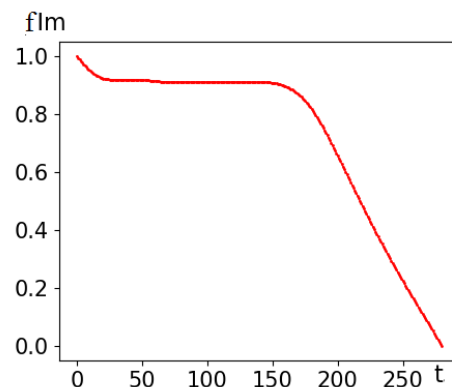
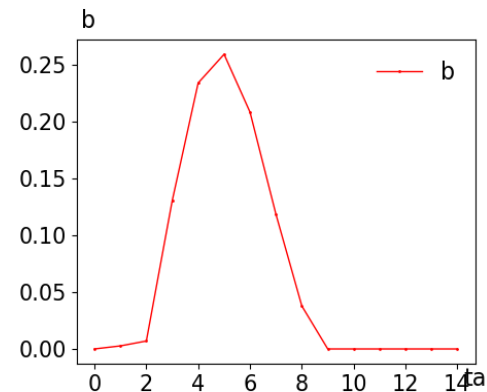


Редуцированная модель

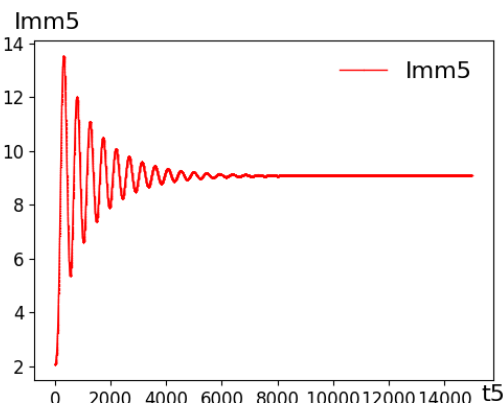
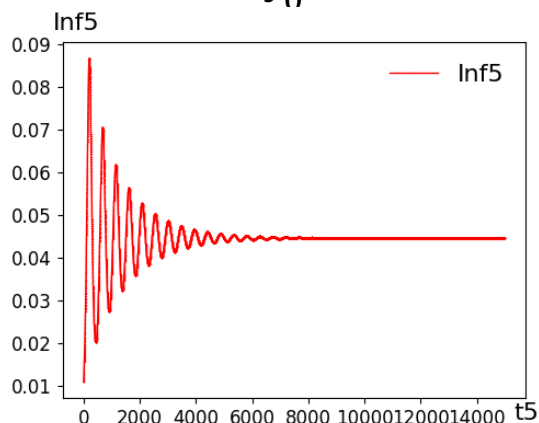
$$Inf(t) = R0 \int_0^A b(a) \cdot Inf(t-a) da \cdot \left(1 - \frac{Imm(t)}{N}\right)$$

$$Imm(t) = \int_0^I fIm(a) \cdot Inf(t-a) da$$

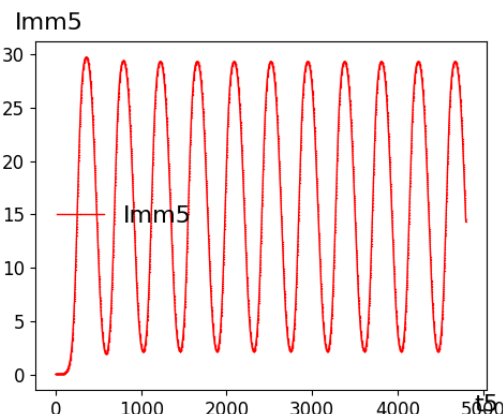
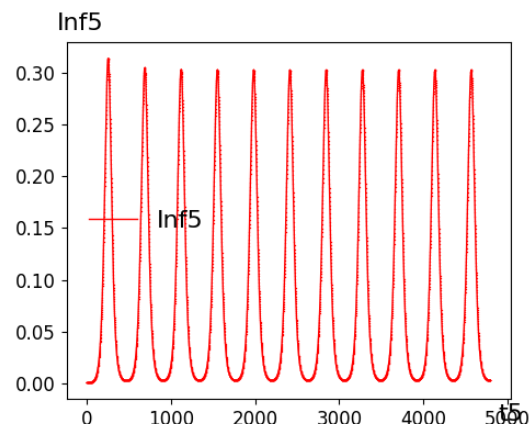
$$\int_0^A b(a) da = 1$$



$R0=1.1$



$R0=1.2$



Редуцированная модель

$$Inf(t) = R_0 \int_0^A b(a) \cdot Inf(t-a) da \cdot \left(1 - \frac{Imm(t)}{N}\right)$$

$$Imm(t) = \int_0^I fIm(a) \cdot Inf(t-a) da$$

$$\int_0^A b(a) da = 1$$

Точка равновесия:

$$ImmEq = \left(1 - \frac{1}{R_0}\right);$$

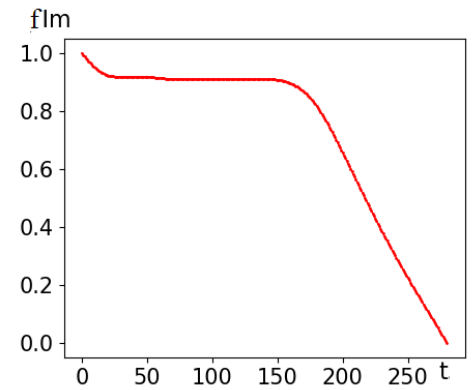
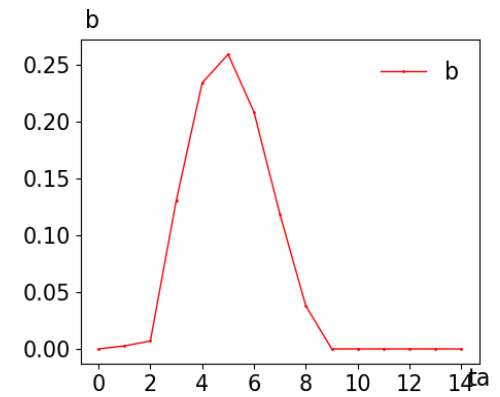
$$InfEq = N \left(1 - \frac{1}{R_0}\right) / \int_0^I fIm(a) da$$

Линеаризация: $Inf(t) = InfEq + \Delta(t)$

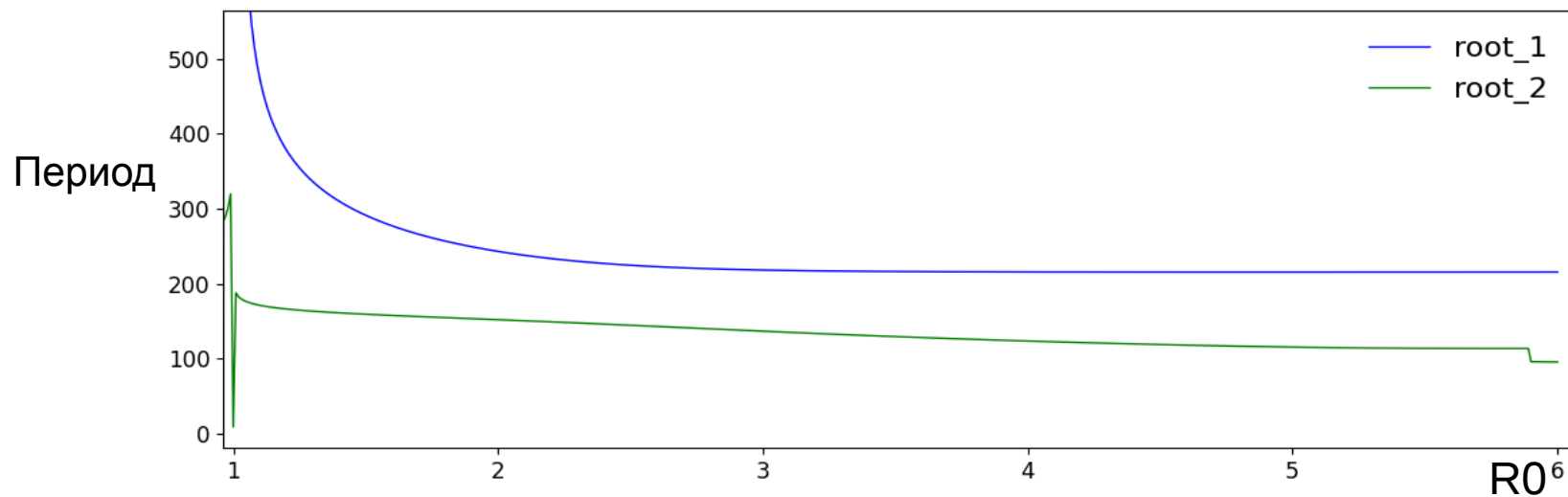
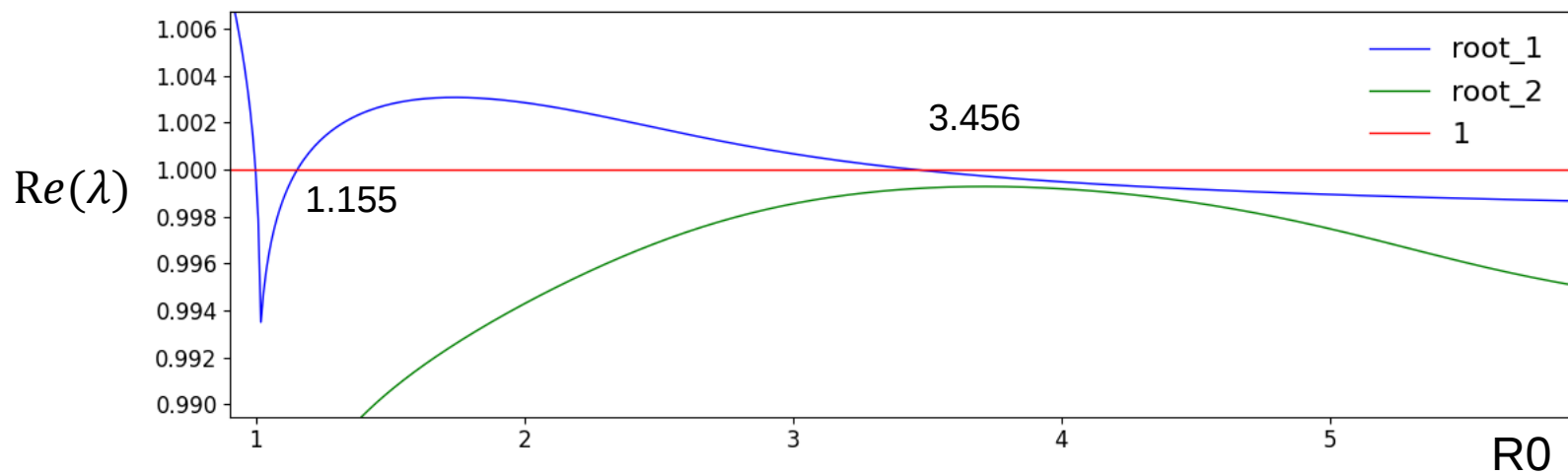
$$\Delta(t) = \int_0^I \Phi(t', R_0) \Delta(t-t') dt', \quad \text{где} \quad \Phi(t', R_0) = b(t') - (R_0 - 1) \frac{fImm(t')}{\int_0^I fImm(t'') dt''}$$

Ищем в виде $\Delta(t) = Qe^{rt} \rightarrow 1 = \int_0^I \Phi(t', R_0) e^{-rt'} dt' = \int_0^I \Phi(t', R_0) \lambda^{-t'} dt'.$

Задача на собственные значения: $1 = \sum_{i=0}^I \Phi(i, R_0) \lambda^{-i},$

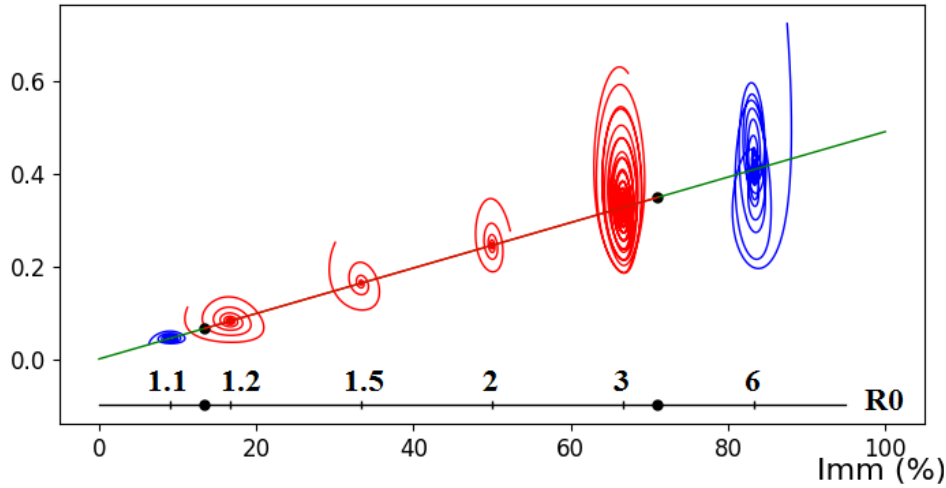


Два старших собственных числа

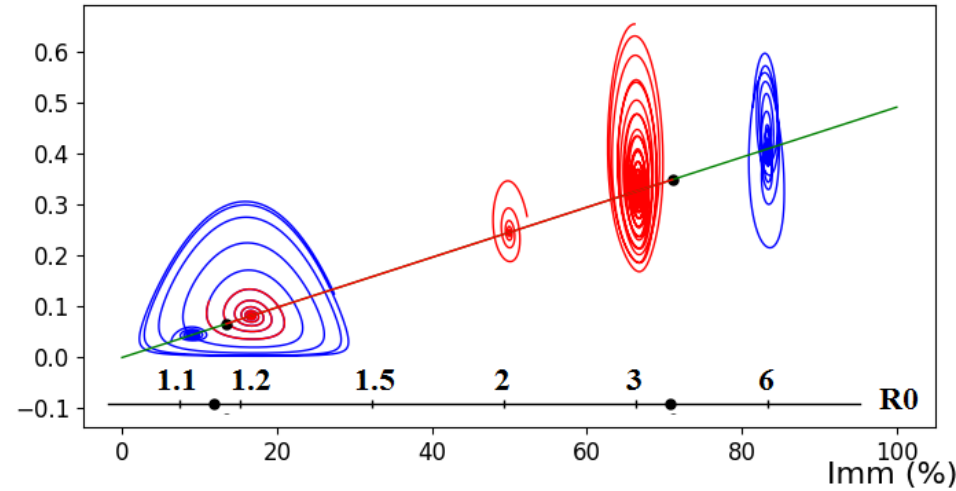


Фазовый портрет

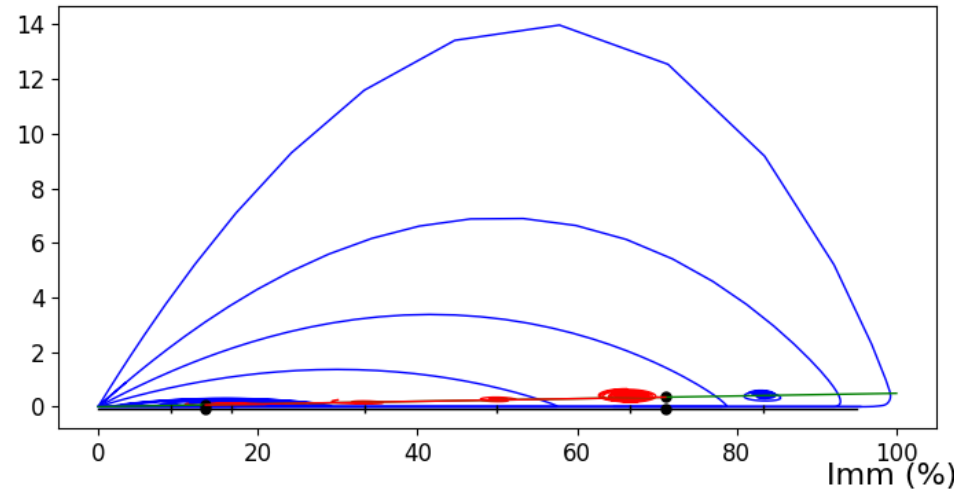
Inf (%)



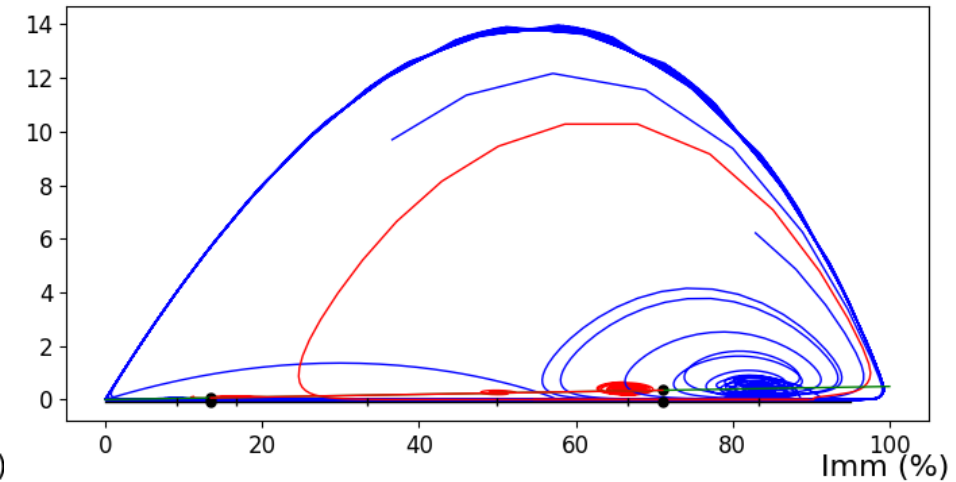
Inf (%)



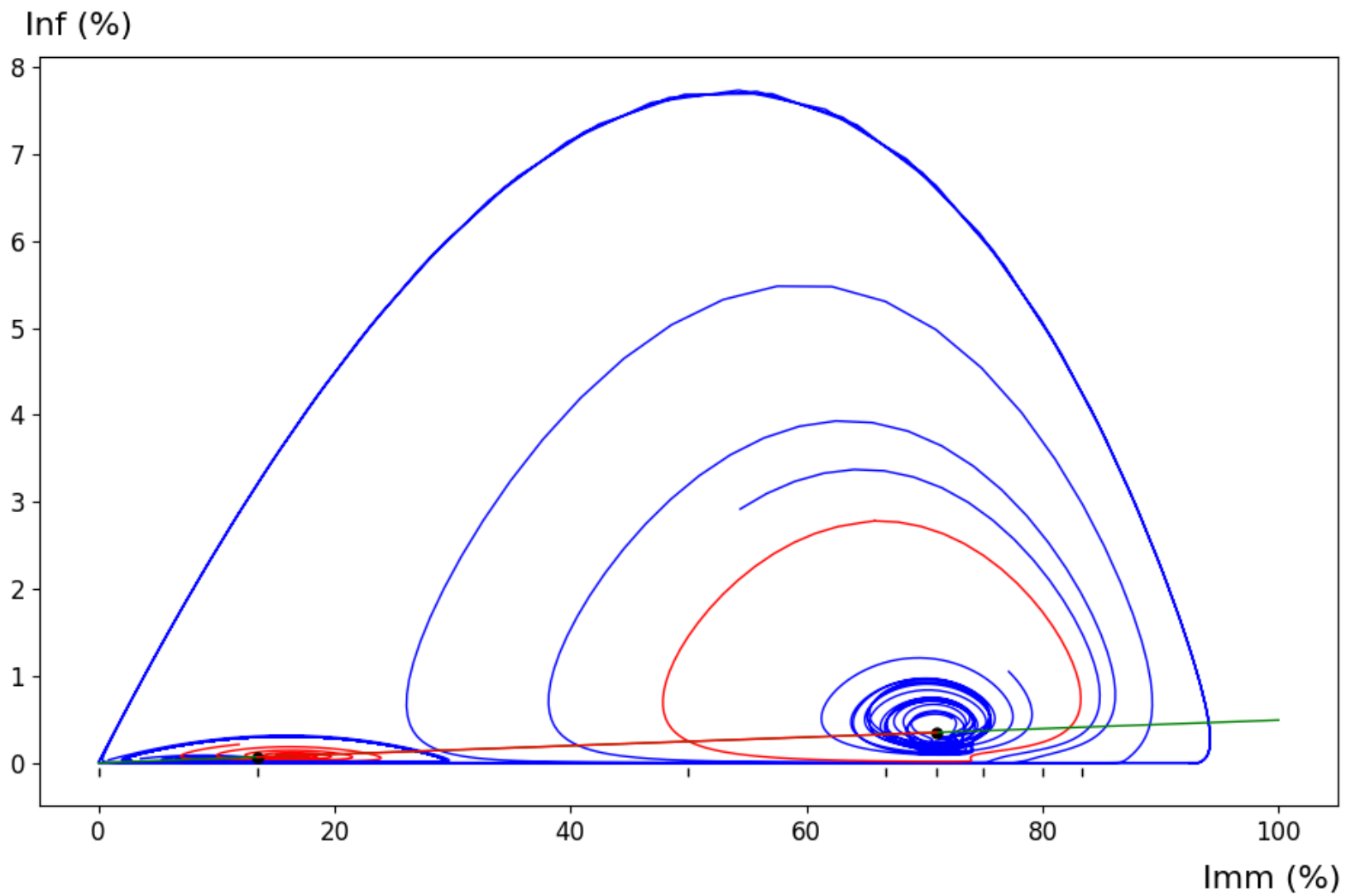
Inf (%)



Inf (%)



Фазовый портрет



Поиск предельного цикла. Численное решение. Файл Circle.mng

CVNumOfIter 0

R0 = 6.
N = 100.

SET: bSet = [0, 14, 1]
ImSet = [0, 280, 1]
PARAM: b (bSet) << b(ta).sol
fIm(ImSet) << N_ImmunF(t365)1.sol

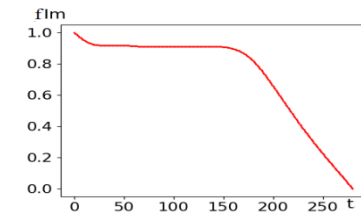
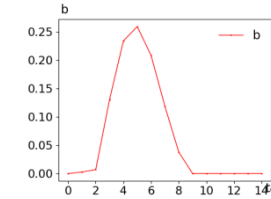
SET: t = [0, 320, 1]
VAR: ω > 0
Inf (t) = Fourier (99, ω, cl, t); Int_smbFxx_2=False
VAR: eps (t)
ep > 0

$$\#EQ: \quad Inf(t) + eps(t) = R0 \cdot \int_{a \in bSet} b(a) \cdot Inf(t-a) \cdot da \cdot \left(1 - \int_{a \in ImSet} fIm(a) \cdot Inf(t-a) \cdot da / N\right)$$

$$EQ: \quad Inf(t) + eps(t) = py.log \left(R0 * \int (a \in bSet, b(a) * py.exp(Inf(t-a))) \backslash \right. \\ \left. * \left(1 - \int (a \in ImSet, fIm(a) * py.exp(Inf(t-a))) / N \right) \right)$$

$$EQ: \quad eps(t) < ep \\ eps(t) > -ep \\ Inf(119) > Inf(118) \\ Inf(119) > Inf(120)$$

OBJ: fep()
Draw |
EoF



$$Inf(t) = R0 \int_0^A b(a) \cdot Inf(t-a) da * \\ \left(1 - \int_0^I fIm(a) \cdot Inf(t-a) da / N \right)$$

Спасибо за внимание

Приглашаю к сотрудничеству

Alexander Sokolov: alexander.v.sokolov@gmail.com

+7-916-297-31-62

Программная реализация технологии сбалансированной идентификации: <https://github.com/distcomp/SvF>

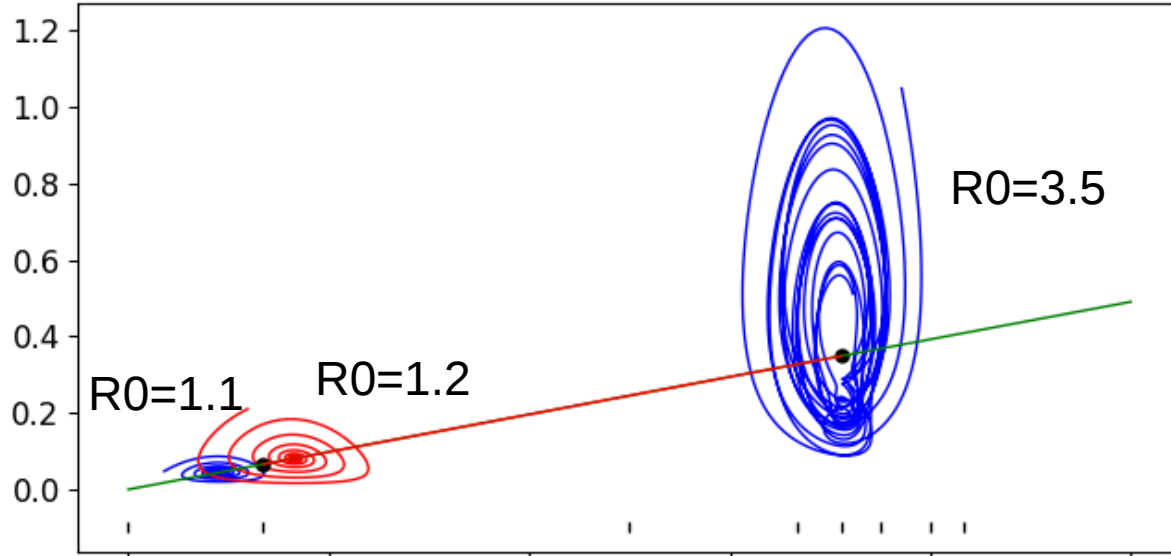
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-11-00349, <https://rscf.ru/project/25-11-00349/>

Список публикаций:

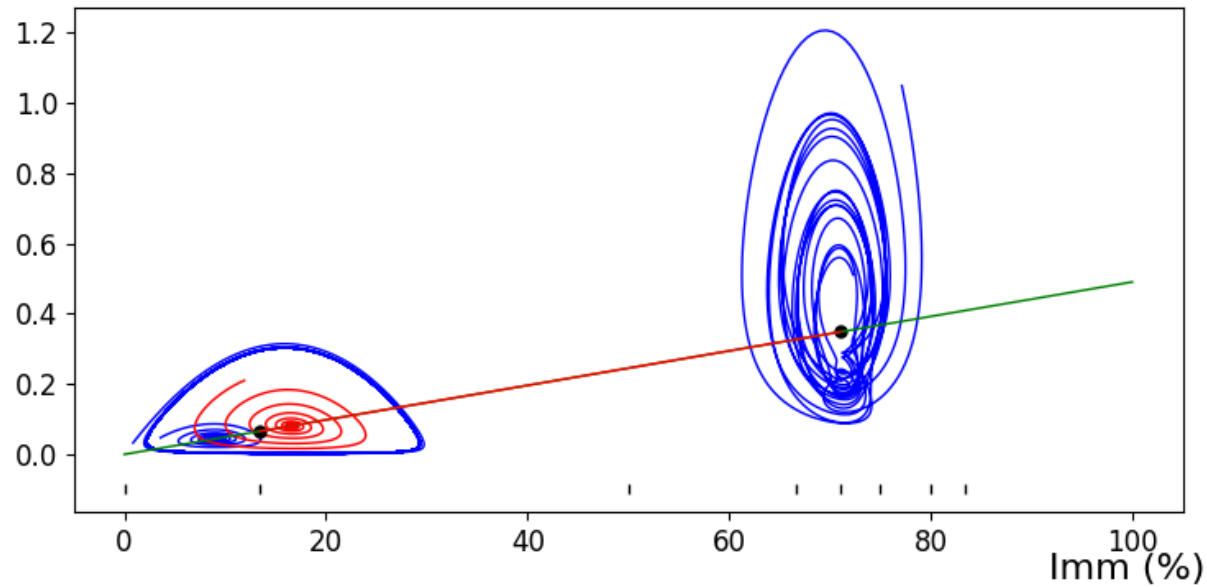
- Alexander Sokolov, Lyubov Sokolova. Monitoring and forecasting the COVID-19 epidemic in Moscow: model selection by balanced identification technology - version: September 2021. medRxiv 2021.10.07.21264713; doi:<https://doi.org/10.1101/2021.10.07.21264713>
- Sokolov A.V., L.A.Sokolova L.A. BALANCED IDENTIFICATION OF THE COVID-19 DYNAMIC MODEL: GENERAL BIOLOGICAL AND COUNTRY SPECIFIC SOCIAL FEATURES <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31644.92809>
- Соколов А.В., Волошинов В.В. (2018) Выбор математической модели: баланс между сложностью и близостью к измерениям. International Journal of Open Information Technologies. 6(9), 33–41. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/612>
- Sokolov, A.; Voloshinov, V. COVID-19: From Limit Cycle to Stable Focus. Mathematics 2023, 11(14), 3226; <https://doi.org/10.3390/math11143226>

Фазовый портрет

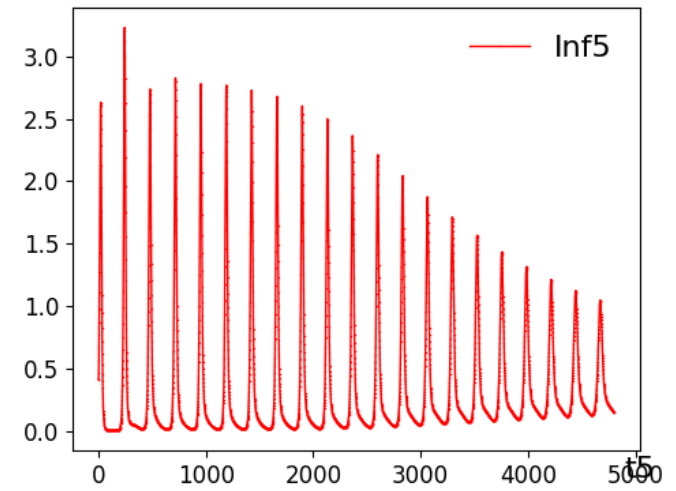
Inf (%)



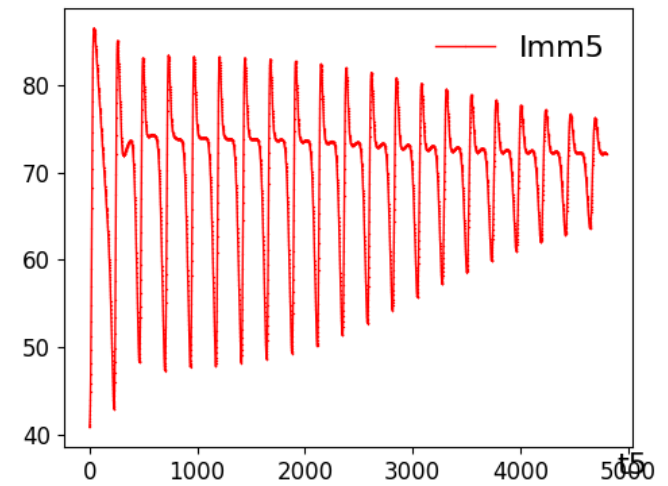
Inf (%)



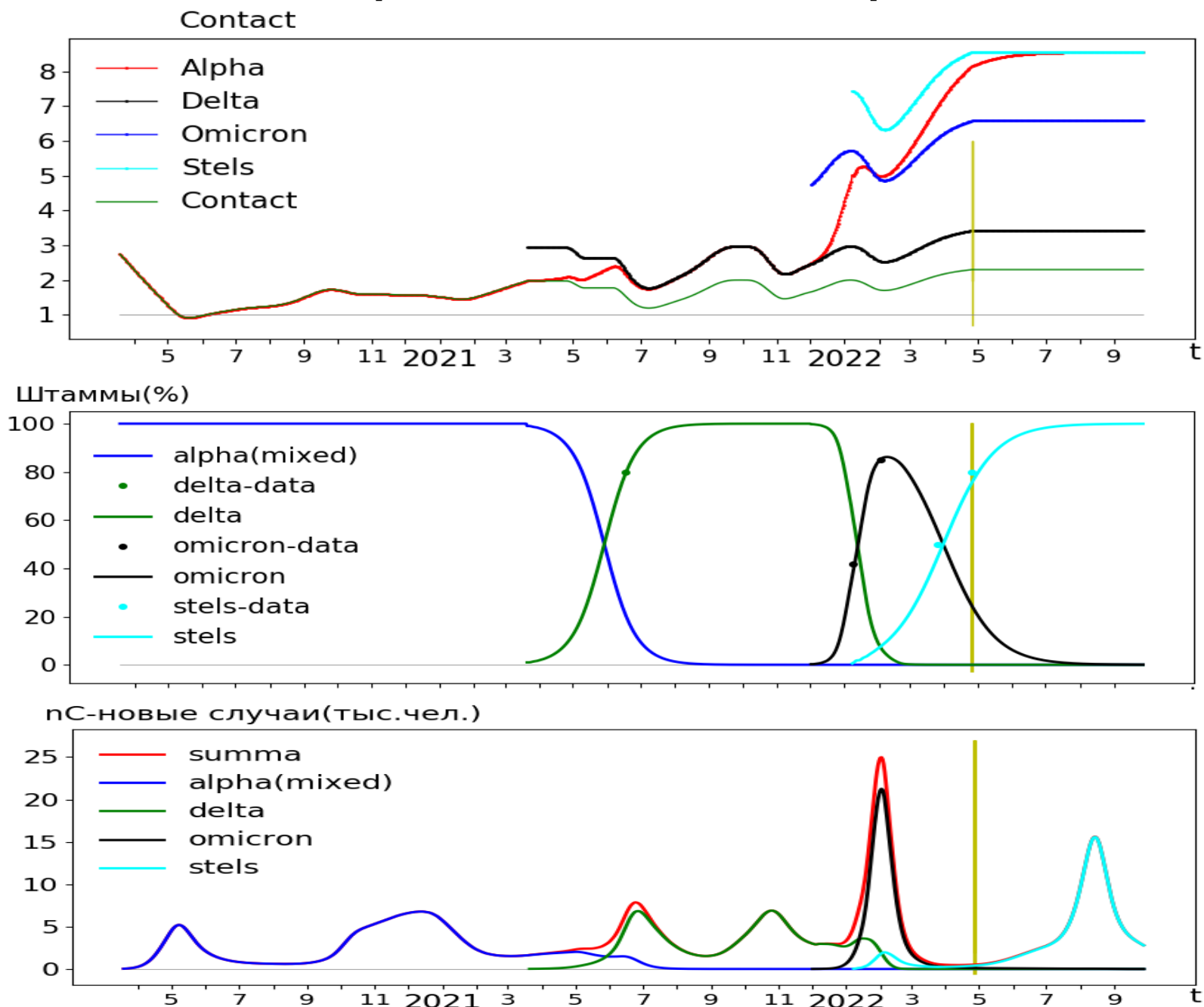
Inf5



Imm5



4 штамма Москва: Прогноз от 27.04.2022 прививки 3 тыс./день

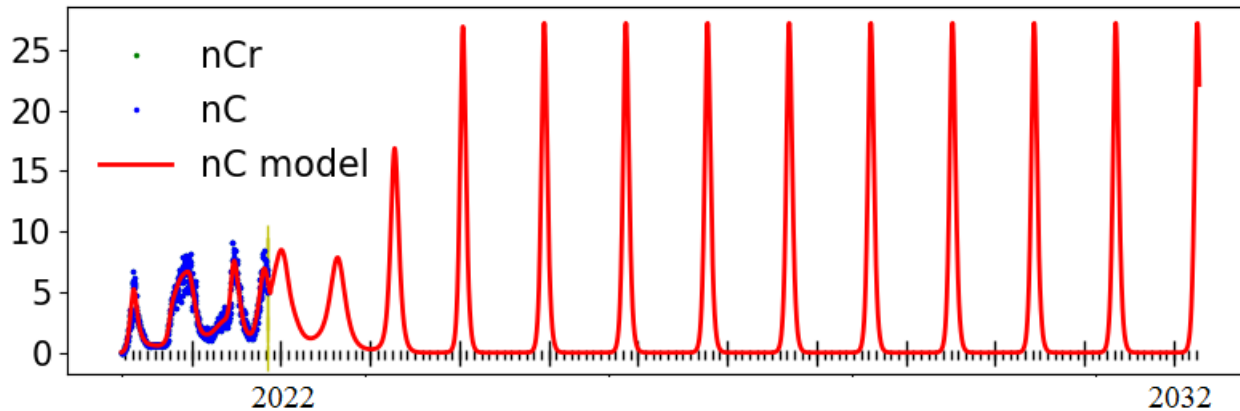


$SI_{15}R-nC-nT-Anti-Im-Vuc-deVac$ – Москва

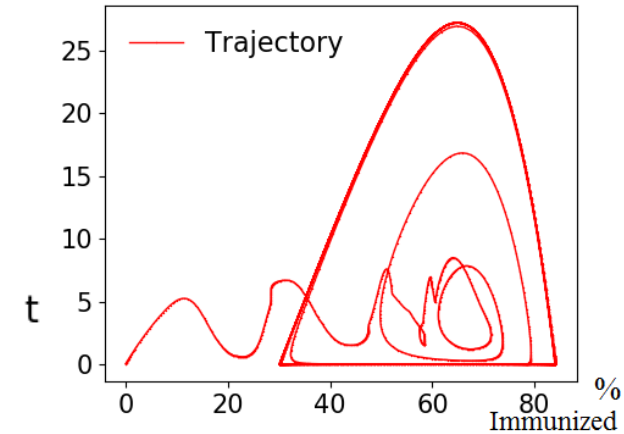
КОВИД, ЭТО НАВСЕГДА ?!

nC-новые случаи(тыс.чел.)

20т/день

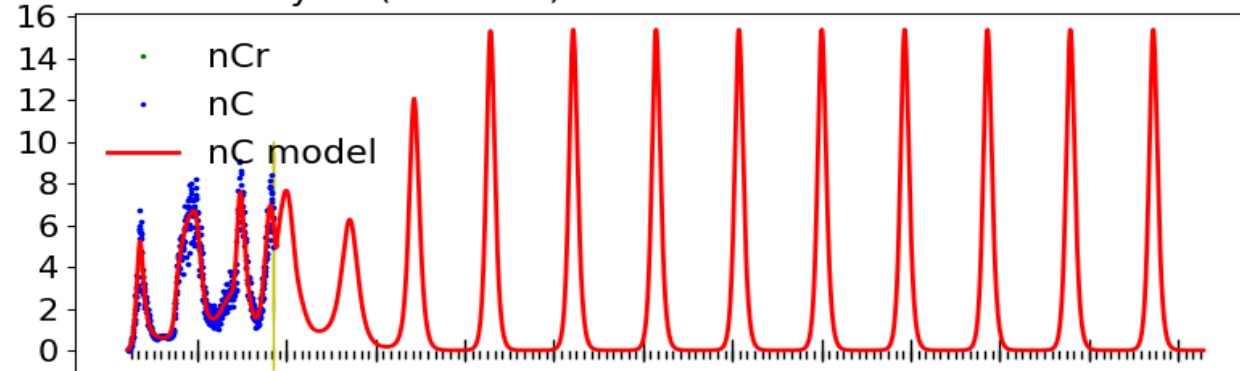


nC

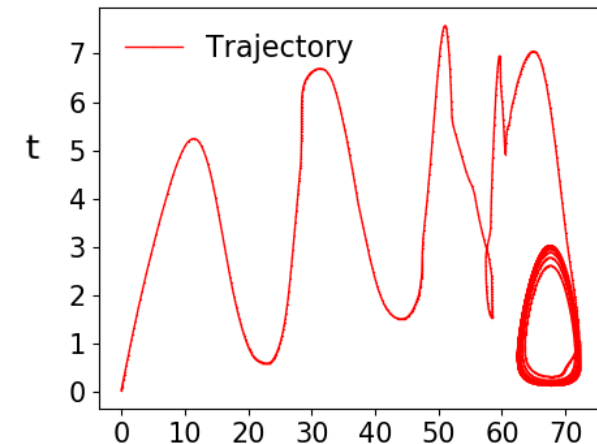


nC-новые случаи(тыс.чел.)

30т/день

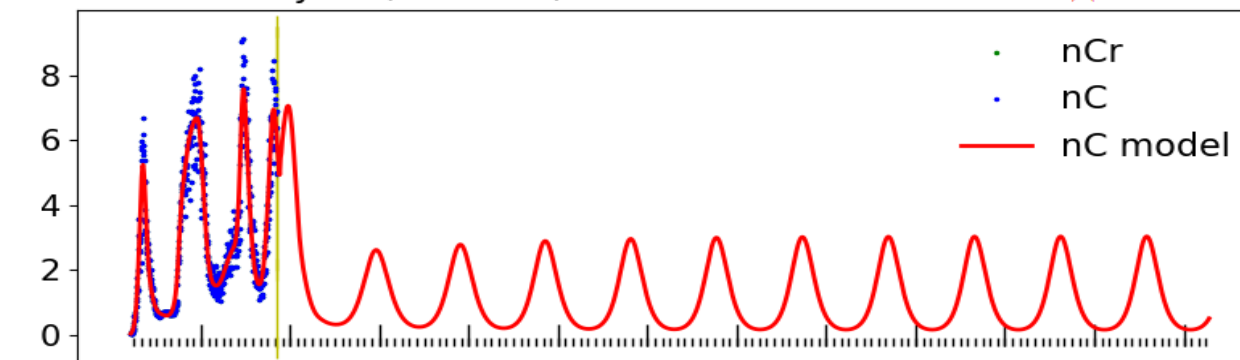


t



nC-новые случаи(тыс.чел.)

40т/день



t

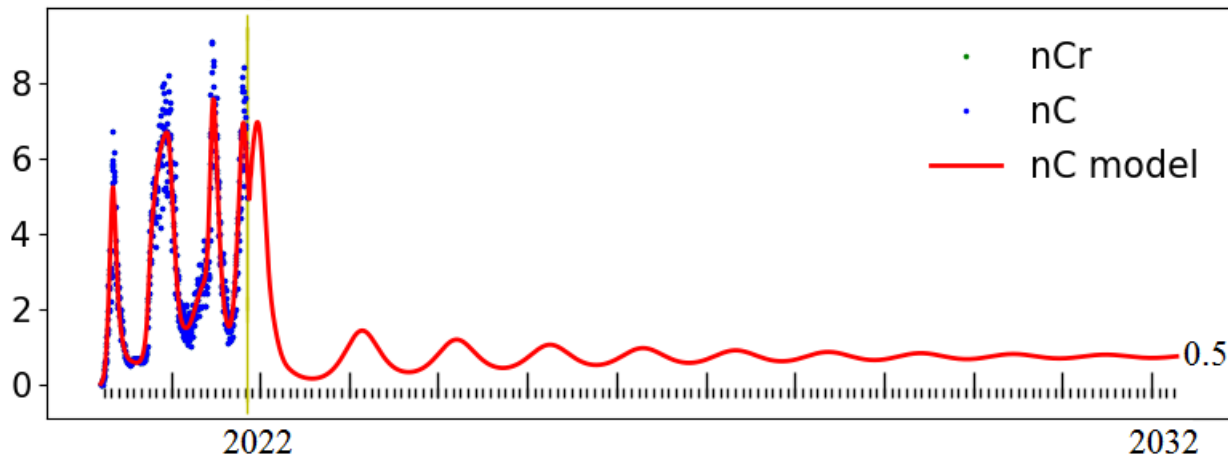
#14

$SI_{15}R-nC-nT-Anti-Im-Vuc-deVac$ – Москва

КОВИД, ЭТО НАВСЕГДА ?!

nC-новые случаи(тыс.чел.)

42 т/день



nC-новые случаи(тыс.чел.)

46 т/день

