



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет «Информатика и вычислительная техника»

Кафедра «Программное обеспечение вычислительной техники и
автоматизированных систем»

Тема: «Программная реализация математического
моделирования развития эпидемиологической ситуации»

Подготовил:
студентка группы ВМО41
Волкова Эмилия Юрьевна

Руководитель ВКР:
к.т.н., доцент
Медведева Татьяна Александровна

Ростов-на-Дону
2025

Актуальность выбранной темы

В 2020 году мир потрясла пандемия COVID-19, из-за которой многим странам пришлось ввести социальные ограничения, с целью замедления распространения заболевания среди населения. В 2025 году Россия столкнулась с ухудшением ситуации по заболеваемости корью, последняя крупная вспышка которой произошла в 1994 году.

В такие моменты государству необходимо принимать стратегически верные решения, с чем могут помочь математические модели. Некоторые из них рассматривают не только течение эпидемиологической ситуации, но и влияние мер противодействия на распространение инфекции.

* из информационного бюллетеня № 42 Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека ФБУН «Московский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора, Национальный научно-методический центр по надзору за корью и краснухой

Рис. 1. Прививочный анамнез заболевших корью за 2024 г.*
(в абс. цифрах)

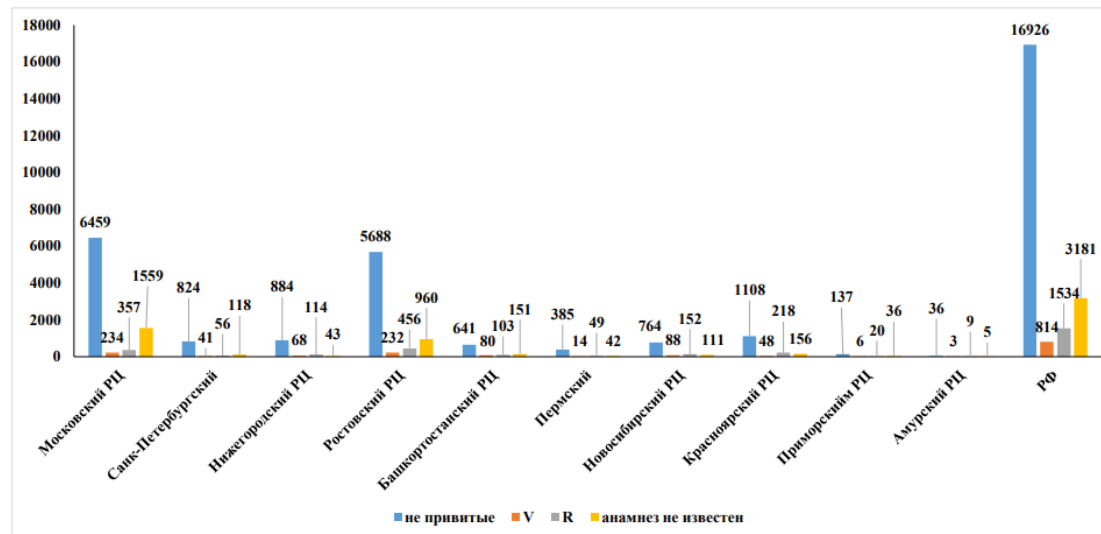
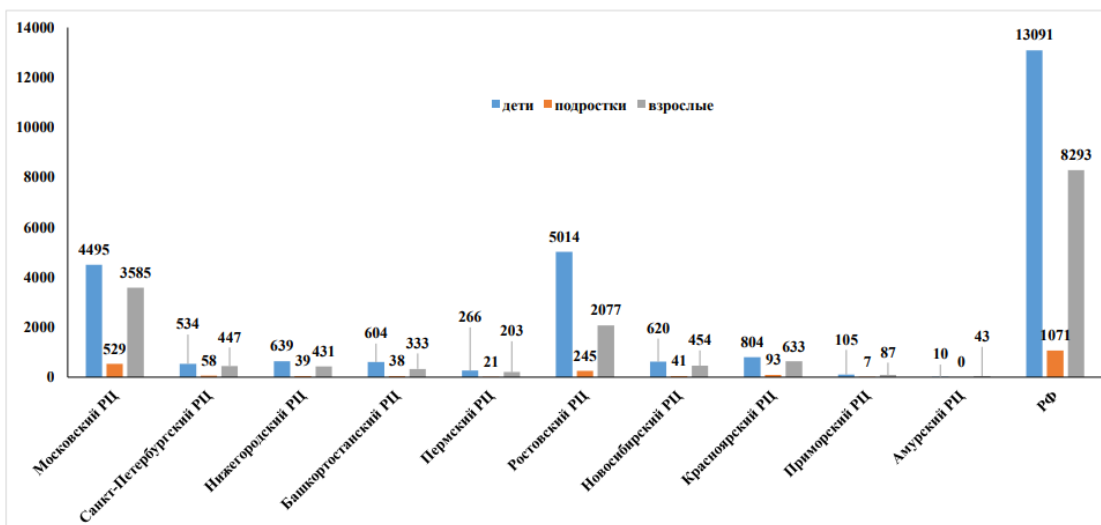


Рис. 2. Заболеваемость корью детей и взрослых за 2024 г.*
(в абс. цифрах)



Цель и задачи работы

Цель работы – разработка программного средства для моделирования развития эпидемиологических ситуаций и анализ математических моделей с целью выявления их эффективности и применимости в различных условиях на основе численных экспериментов.

Задачи

- Провести анализ предметной области и изучить выбранные математические модели.
- Разработать программное средство для моделирования эпидемиологических ситуаций.
- Реализовать вывод результатов, включающий численные решения и графические материалы.
- Протестировать программное средство на реальных данных.
- Провести анализ результатов с последующей оценкой применимости моделей для различных инфекционных заболеваний.

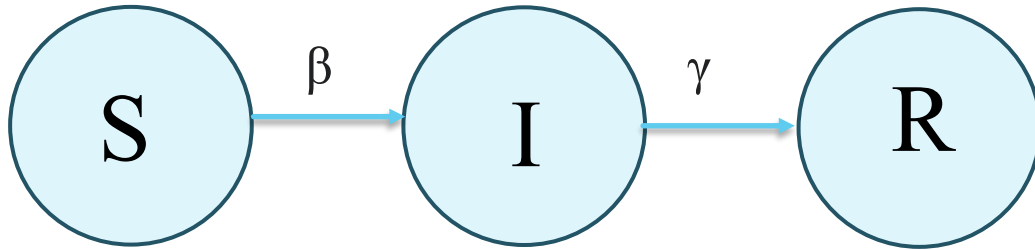
Требования к функциональным характеристикам

- Выбор представленных моделей (от 1 до 4): SIR, SI, SIQR, SEIR, MSEIR, SIRS, Multi-stage (М-модель).
- Ввод соответствующих начальных значений и параметров выбранной модели.
- Ввод реальных данных из файла формата csv.
- Вызов окна теоретической справки по реализованным моделям.
- Ввод даты начала и окончания моделирования.
- Выбор численного метода для решения СДУ.
- Расчет выбранных моделей с помощью численного метода.
- Вывод полученных результатов в графическом виде на экран.
- Экспорт результатов в табличном и графическом виде в файл формата.xlsx.

Существующие аналоги

Критерий	Наименование аналога					
	Covasim	AnyLogic	GLEAMviz	Модели ЦЭМИ РАН	FRED	EpidemicModels
Графический интерфейс	-	+	+	-	+	+
Простота освоения	-	-	+	-	-	+
Поддержка классических моделей	±	±	-	+	+	+
Работа с реальными данными	+	+	+	+	+	+
Визуализация результатов	±	+	+	-	+	+
Бесплатность	+	±	+	-	+	+
Агентное моделирование	+	+	+	+	+	-
Поддержка русского языка	-	-	-	+	-	+
Экспорт результатов	±	+	+	-	+	+

Модель SIR (Susceptible-Infectious-Recovered)



$S(t)$ (Susceptible) – восприимчивые

$I(t)$ (Infectious) – инфицированные

$R(t)$ (Recovered) – выздоровевшие

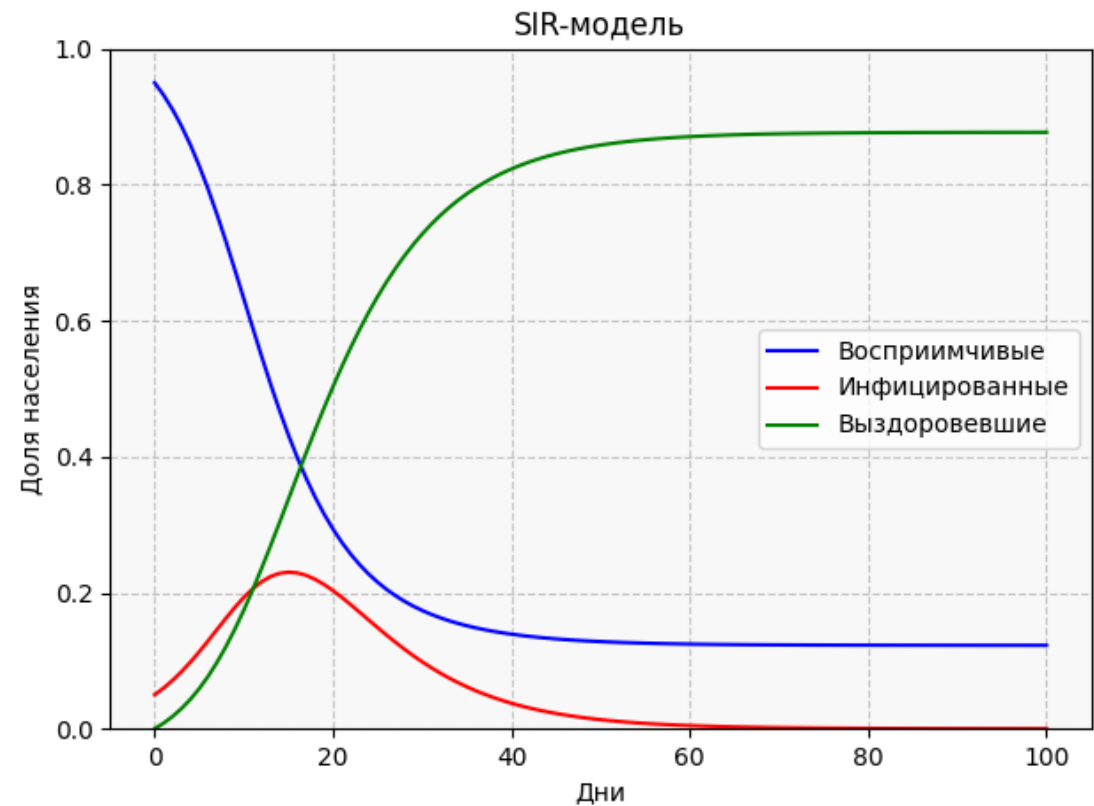
$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma \cdot I(t) \end{cases}$$

где

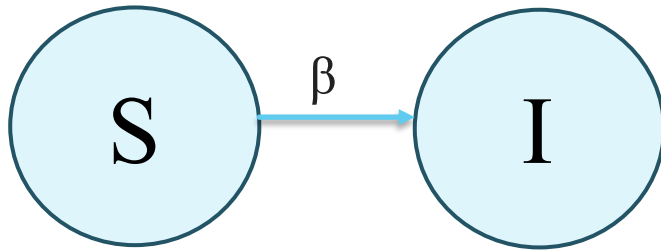
β – скорость передачи инфекции;

γ – скорость выздоровления;

$S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0$ – начальные условия.



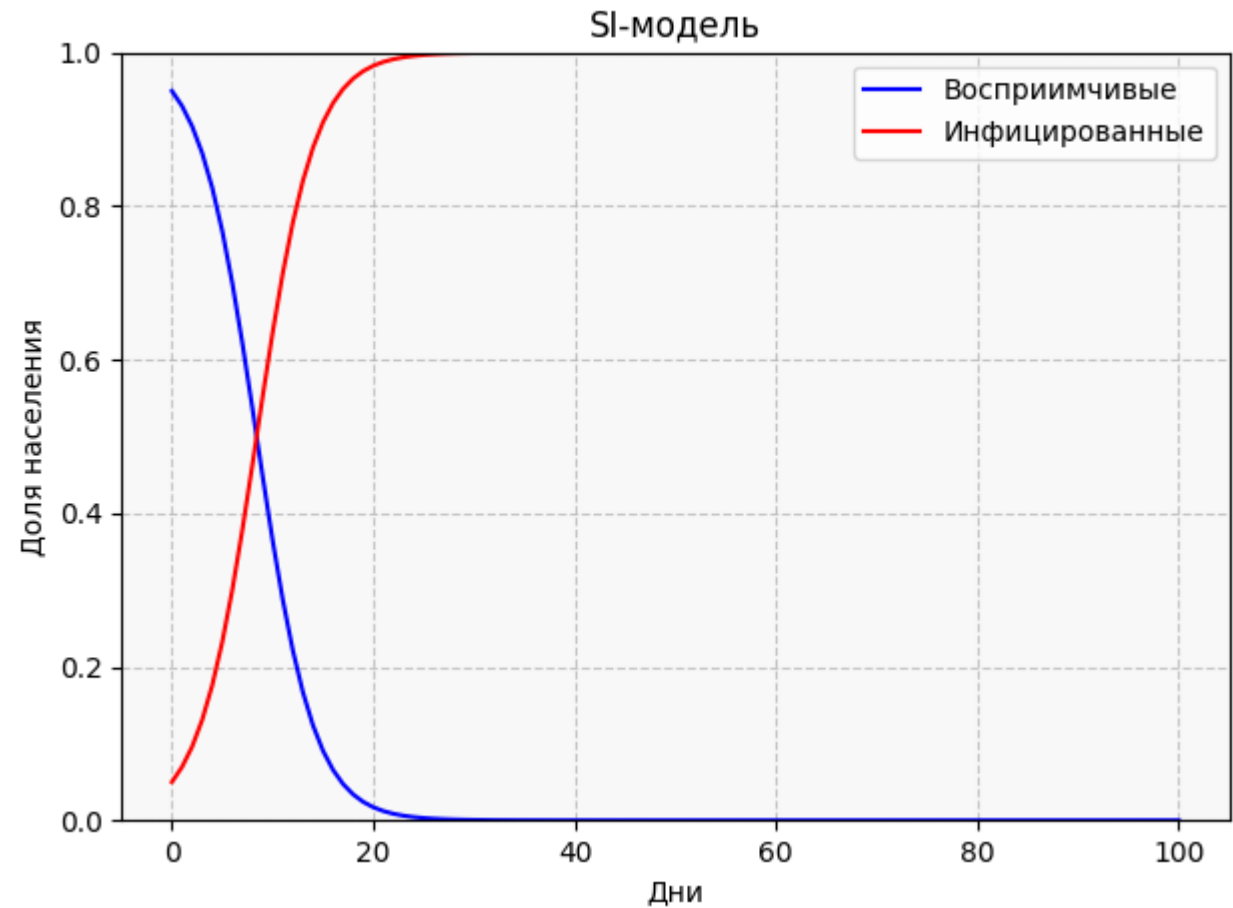
Модель SI (Susceptible-Infectious)



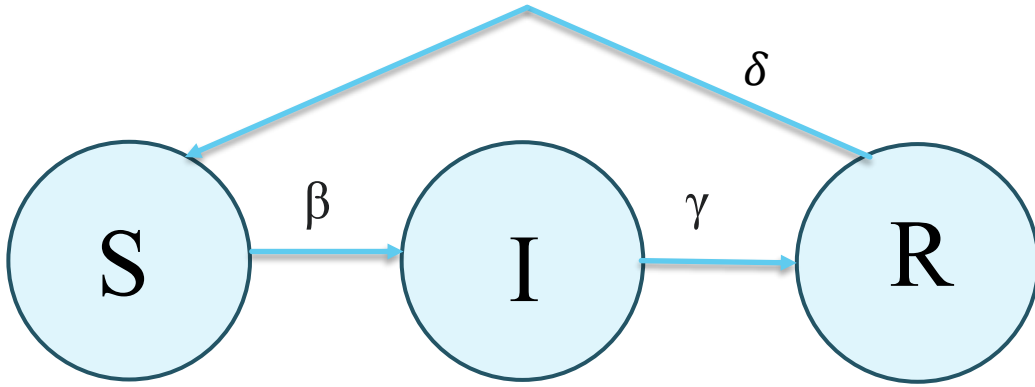
S (Susceptible) – восприимчивые
I (Infectious) – инфицированные

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) \end{cases}$$

где
 β – скорость передачи инфекции;
 $S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0$ –
начальные условия.



Модель SIRS (Susceptible-Infectious-Recovered-Susceptible)



$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta * S * I + \delta * R \\ \frac{dI}{dt} = \beta * S * I - \gamma * I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma * I - \delta * R \end{cases}$$

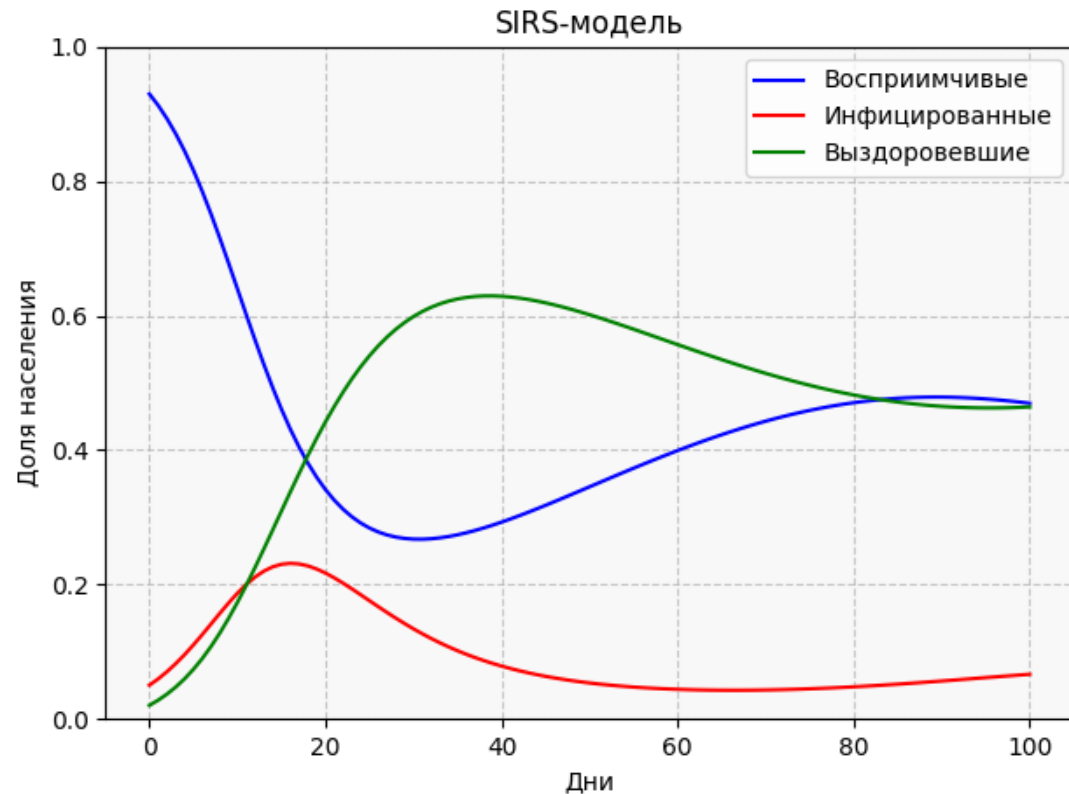
где

β – скорость передачи инфекции;

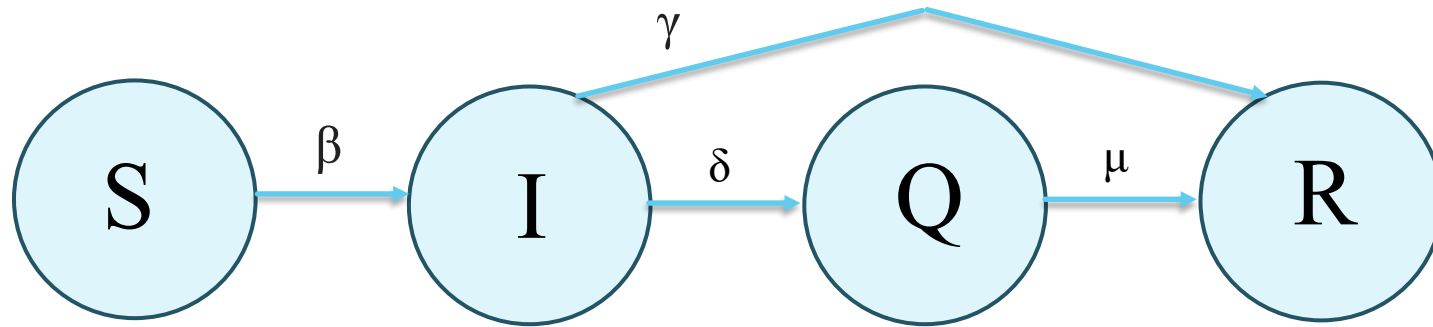
γ – скорость выздоровления;

δ – скорость потери иммунитета;

$S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0$ – начальные условия.



SIQR-модель (Susceptible-Infectious-Quarantined-Recovered)



S (Susceptible) – восприимчивые

I (Infectious) – инфицированные

Q (Quarantined) – зараженные, находящиеся на карантине

R (Recovered) – выздоровевшие

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I - \delta I \\ \frac{dQ}{dt} = \delta I - \mu Q \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I + \mu Q \end{cases}$$

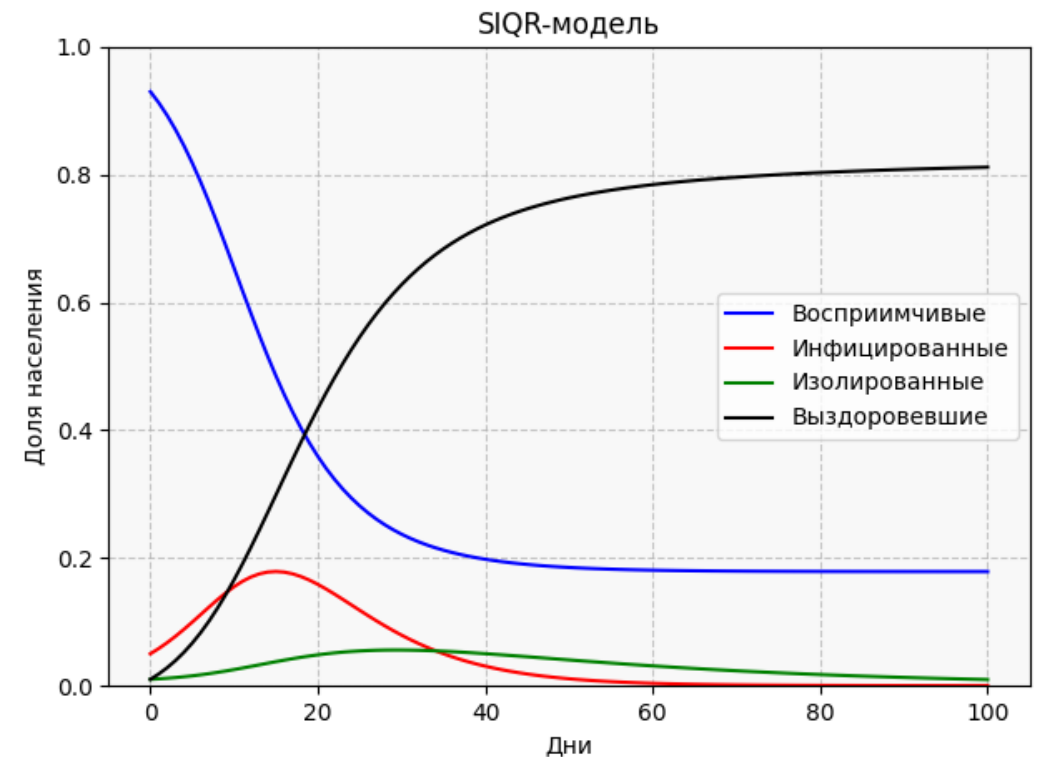
где

β – скорость заражения;

γ – скорость выздоровления;

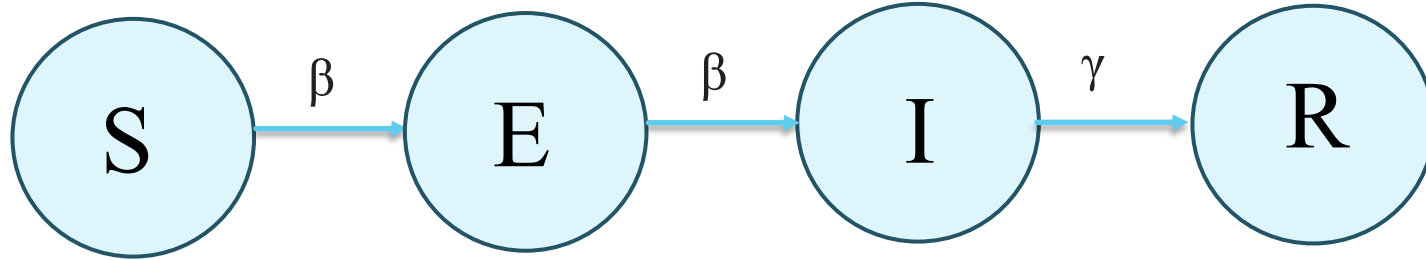
δ – скорость помещения в карантин;

μ – скорость выздоровления людей, находящихся на карантине.



Модель SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered)

10



$S(t)$ (Susceptible) – восприимчивые

$E(t)$ (Exposed) – инфицированные, находящиеся в латентной фазе

$I(t)$ (Infectious) – инфицированные

$R(t)$ (Recovered) – выздоровевшие

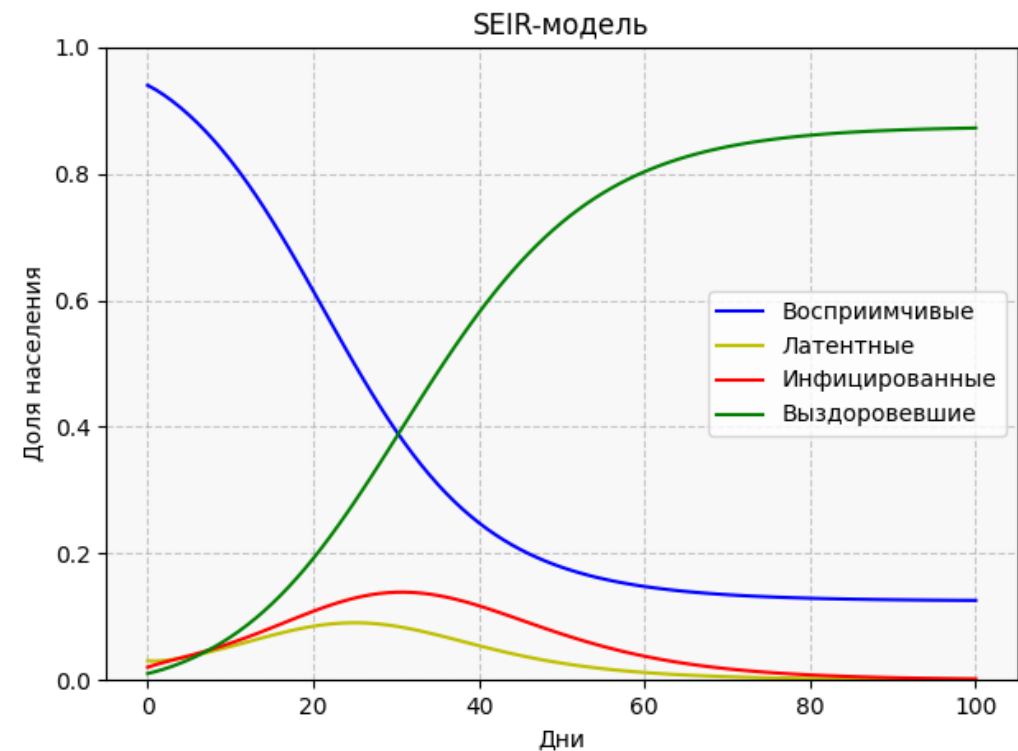
$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta * S(t) * I(t) \\ \frac{dE(t)}{dt} = \beta * S(t) * I(t) - \sigma * E(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \sigma * E(t) - \gamma * I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma * I(t) \end{cases}$$

где

β – скорость передачи инфекции;

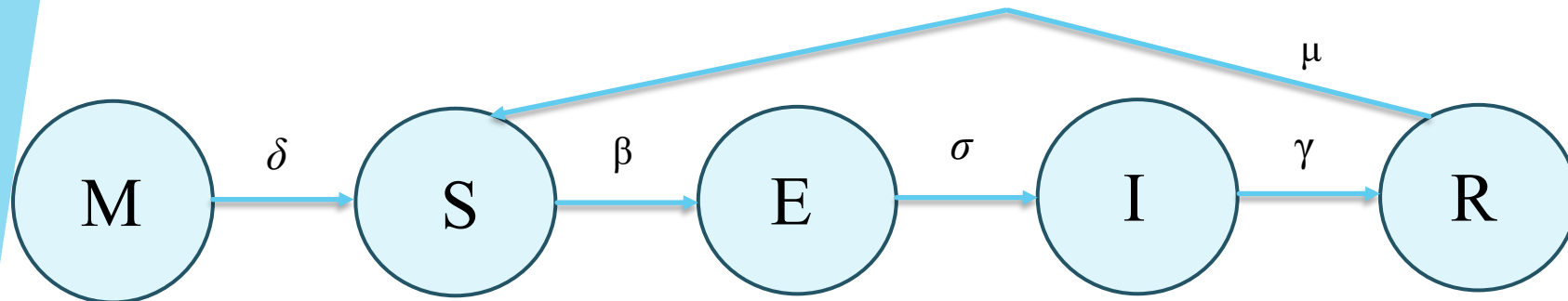
γ – скорость выздоровления;

σ – обратная величина инкубационного периода.



Модель MSEIR (Maternally Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered)

11



M (Maternally) — временно иммунные новорожденные

S (Susceptible) — восприимчивые

E (Exposed) — инфицированные (не заразные)

I (Infectious) — инфицированные (заразные)

R (Recovered) — выздоровевшие (имеющие иммунитет)

$$\begin{cases} \frac{dM}{dt} = \mu N - \delta M - \mu M \\ \frac{dS}{dt} = \delta M - \beta SI - \mu S \\ \frac{dE}{dt} = \beta SI - \sigma E - \mu E \\ \frac{dI}{dt} = \sigma E - \gamma I - \mu I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R \end{cases}$$

где

β — скорость заражения (инфекционность);

σ — скорость перехода из инкубационного периода в инфекционный;

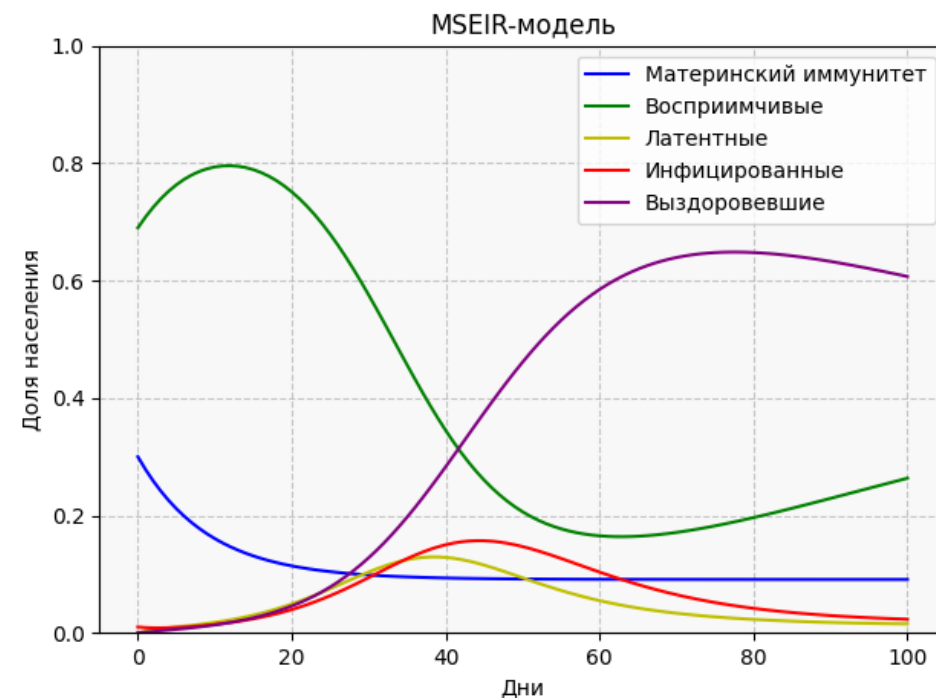
γ — скорость выздоровления (иммунитет);

μ — естественная смертность/рождаемость;

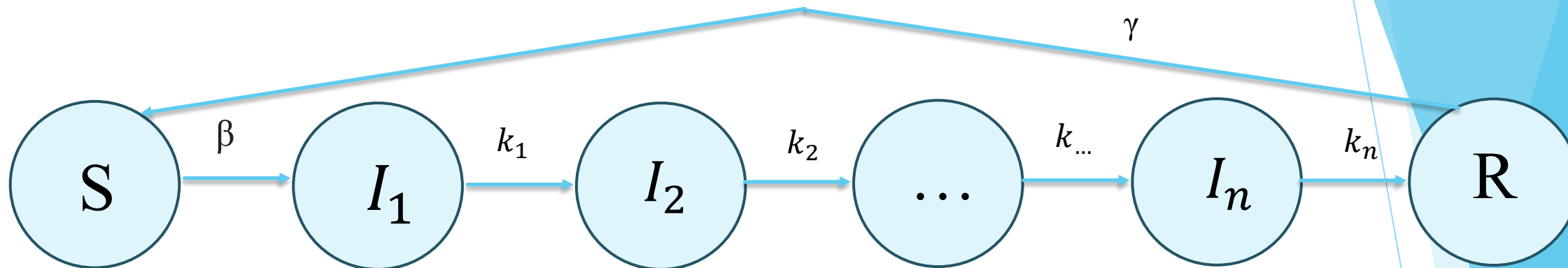
δ — скорость потери материнского иммунитета;

N — общее количество людей в популяции:

$$N = M + S + E + I + R.$$



М-модель (Multi-stage)



S (Susceptible) – восприимчивые

I_1, I_2, \dots, I_n (Infectious) – инфицированные

R (Recovered) – выздоровевшие

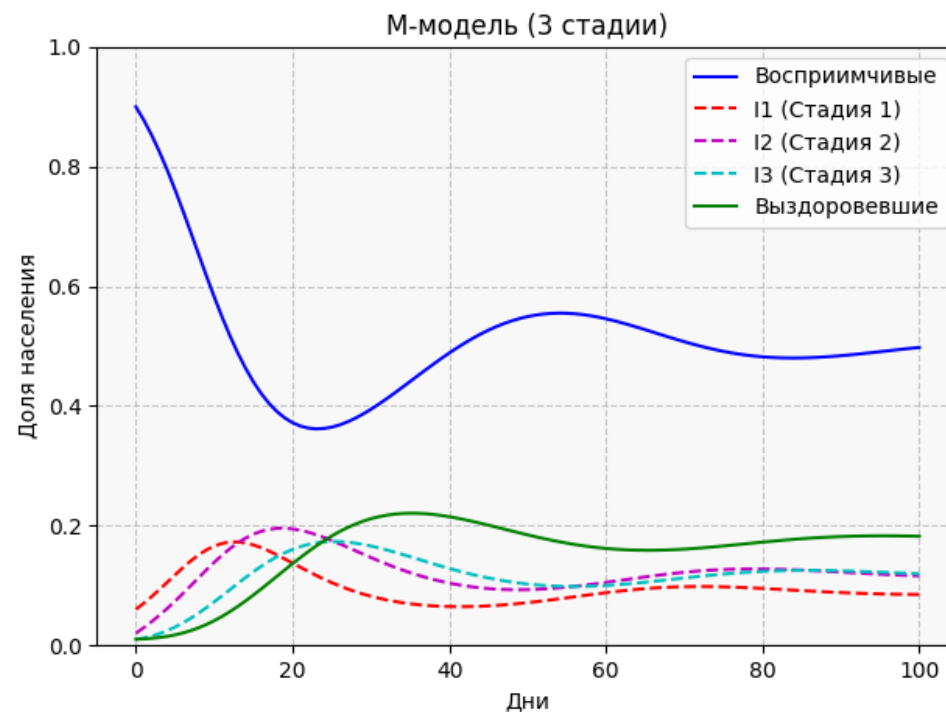
$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta S I_1 \\ \frac{dI_1}{dt} = \beta S I_1 - k_1 I_1 \\ \frac{dI_2}{dt} = k_1 I_1 - k_2 I_2 \\ \dots \\ \frac{dI_n}{dt} = k_{n-1} I_{n-1} - k_n I_n \\ \frac{dR}{dt} = k_n I_n - \gamma R \end{cases}$$

где

β – скорость заражения;

k_i – скорость перехода между стадиями инфекции;

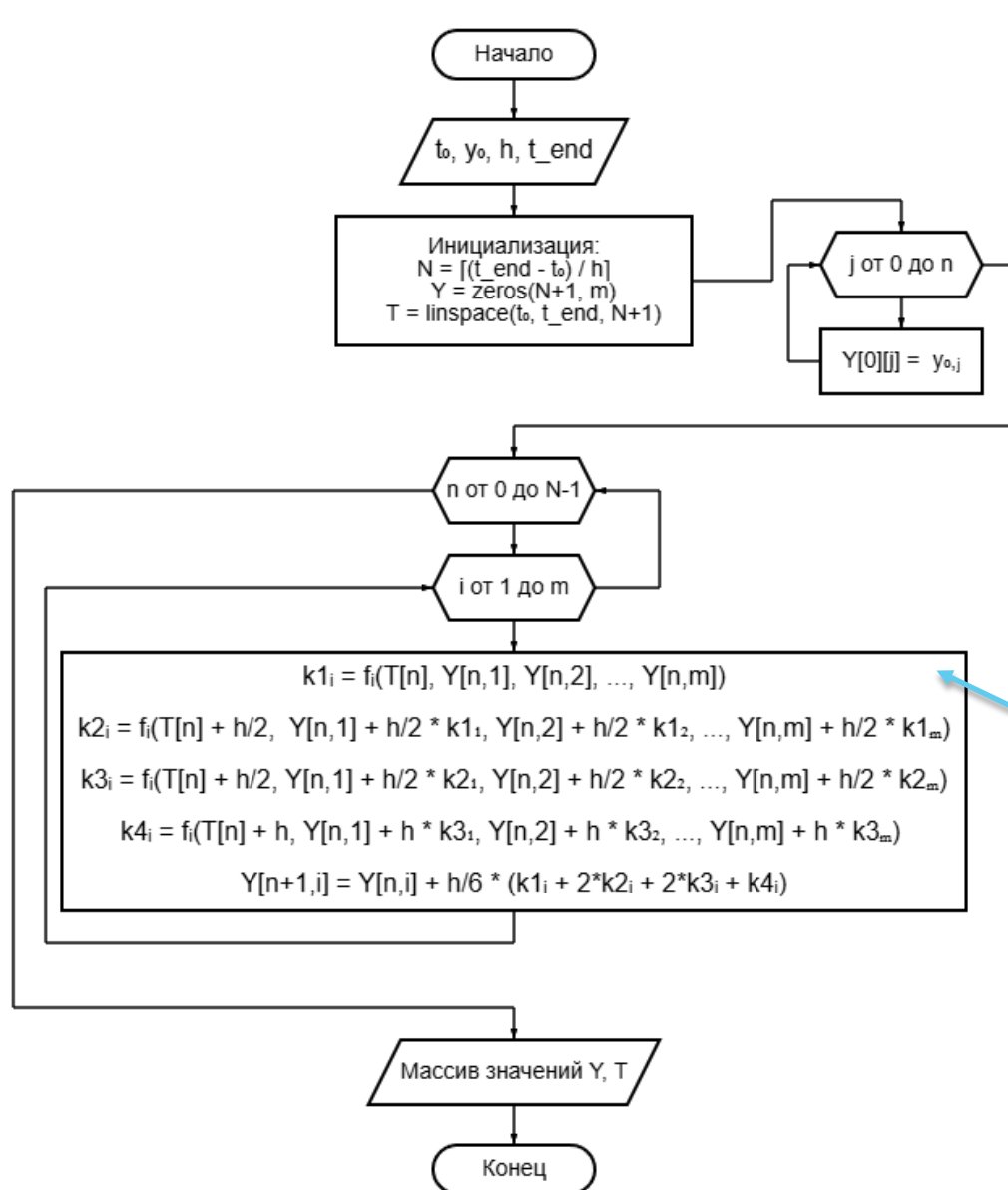
γ – скорость потери иммунитета.

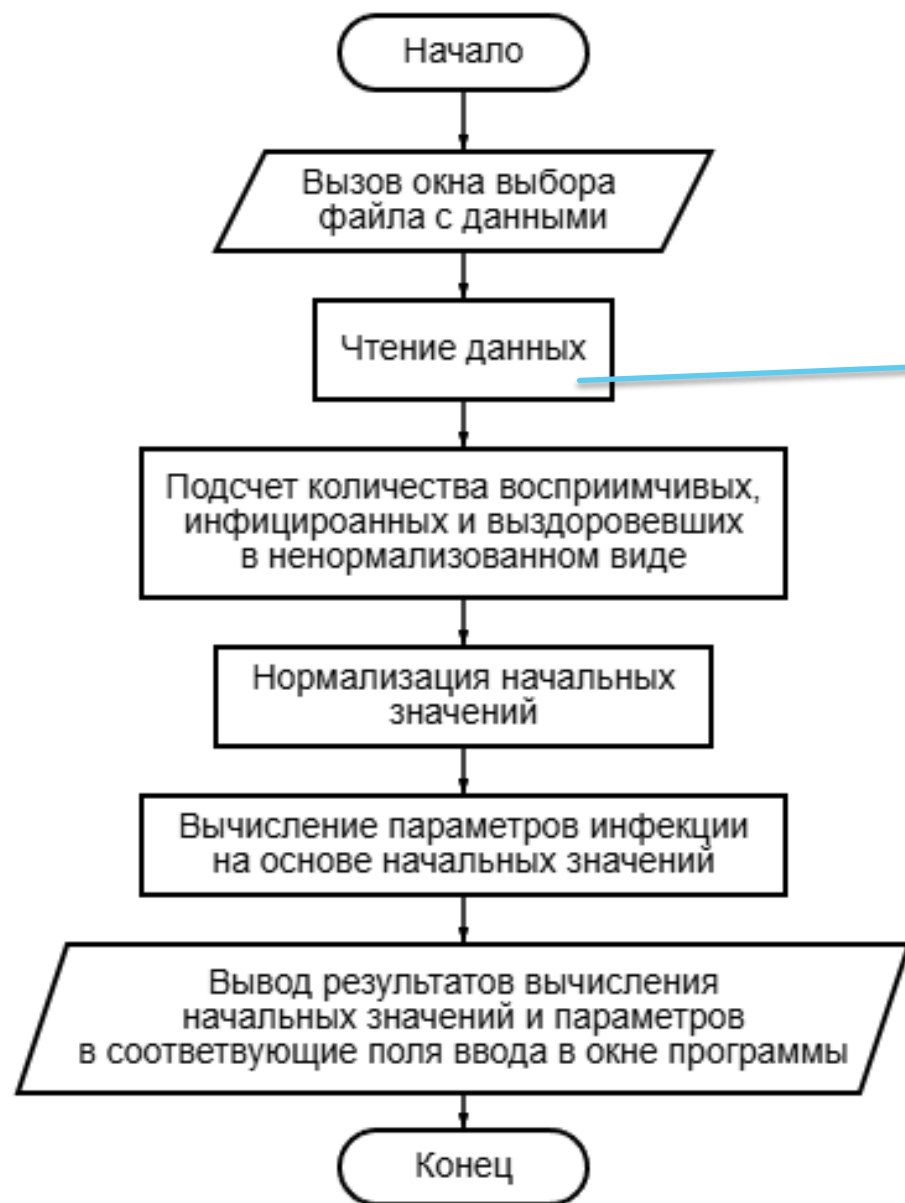


Оценка математических моделей для различных эпидемиологических ситуаций

Название модели	Наиболее подходящие инфекции для моделирования
SIR	Грипп, ветряная оспа, корь, эпидемический паротит
SI	ВИЧ, гепатит В/С и другие хронические вирусные инфекции
SIRS	Риновирусы, ротавирусные инфекции, стрептококк группы А
SIQR	COVID-19, туберкулез, Эбола, другие инфекции с жесткими карантинными мерами
SEIR	COVID-19, туберкулез, корь, ветряная оспа
MSEIR	Краснуха, корь, ветряная оспа, инфекции с пассивным материнским иммунитетом
M-модель	Туберкулез, ВИЧ-инфекция, малярия, гепатит В/С, коронавирусные и герпетические инфекции

Схема алгоритма работы программного средства

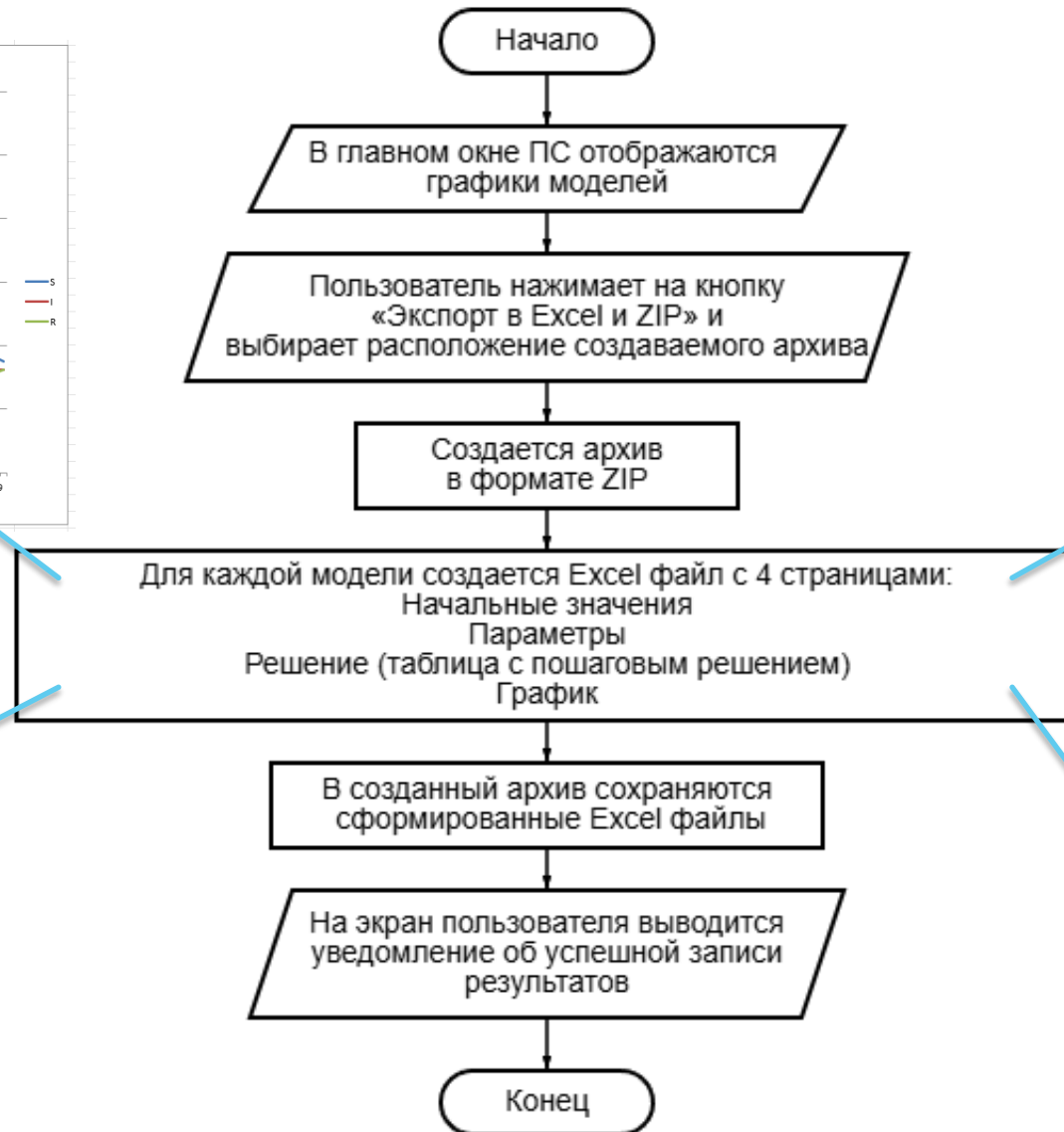
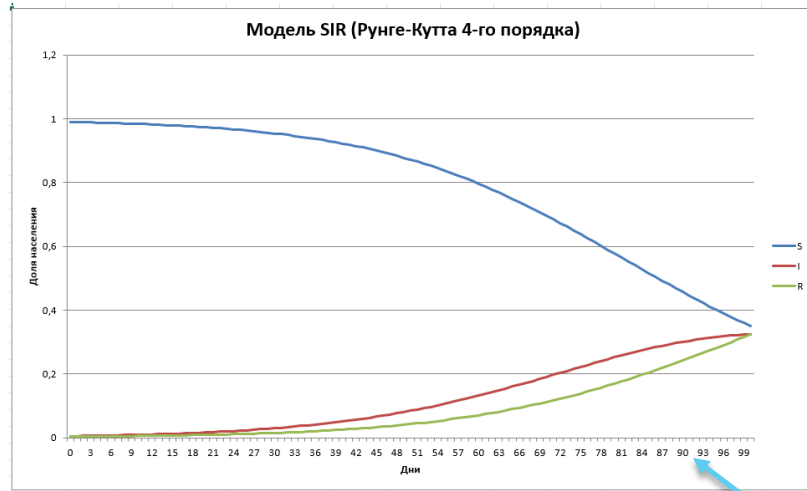




	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Province/State,Country/Region,Lat,Long>Date,Confirmed,Deaths,Recovered,Active,WHO Region									
2	,Afghanistan,	33.93911,	67.709953,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Eastern Mediterranean		
3	,Albania,	41.1533,	20.1683,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Europe		
4	,Algeria,	28.0339,	1.6596,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Africa		
5	,Andorra,	42.5063,	1.5218,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Europe		
6	,Angola,-	11.2027,	17.8739,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Africa		
7	,Antigua and Barbuda,	17.0608,	-61.7964,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Americas		
8	,Argentina,-	38.4161,	-63.6167,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Americas		
9	,Armenia,	40.0691,	45.0382,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Europe		
10	Australian Capital Territory,Australia,-35.4735,149.0124,2020-01-22,0,0,0,Western Pacific									
11	New South Wales,Australia,-	33.8688,	151.2093,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Western Pacific		
12	Northern Territory,Australia,-	12.4634,	130.8456,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Western Pacific		
13	Queensland,Australia,-	27.4698,	153.0251,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Western Pacific		
14	South Australia,Australia,-	34.9285,	138.6007,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Western Pacific		
15	Tasmania,Australia,-	42.8821,	147.3272,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Western Pacific		
16	Victoria,Australia,-	37.8136,	144.9631,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Western Pacific		
17	Western Australia,Australia,-31.9505,115.8605,2020-01-22,0,0,0,Western Pacific									
18	,Austria,	47.5162,	14.5501,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Europe		
19	,Azerbaijan,	40.1431,	47.5769,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Europe		
20	,Bahamas,	25.025885,-	78.035889,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Americas		
21	,Bahrain,	26.0275,	50.55,	2020-01-22,	0,	0,	0,	Eastern Mediterranean		
22	,Bangladesh,	23.685,	90.3563,	2020-01-22,	0,	0,	0,	South-East Asia		

Схема алгоритма экспорта результатов моделирования

16



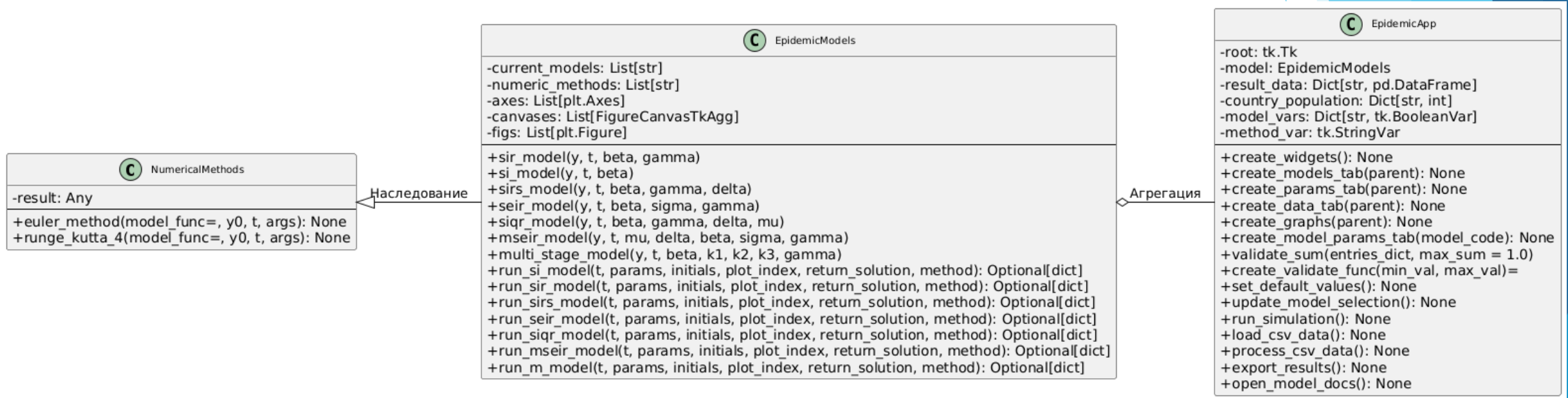
	A	B
1	Параметр	Значение
2	S_0 (восприимчивые)	0.9902
3	I_0 (инфицированные)	0.0056
4	R_0 (выздоровевшие)	0.0042
5	E_0 (латентные)	
6	Q_0 (изолированные)	
7	M_0 (материнский иммунитет)	

	A	B	C	D
1	Метод решения:	Рунге-Кутта 4-го порядка		
2	Выбранная модель:	SIR		
3				
4	Дни	S	I	R
5	0	0,9902	0,0056	0,0042
6	1	0,98972	0,005931	0,004349
7	2	0,989212	0,00628	0,004507
8	3	0,988675	0,006651	0,004675
9	4	0,988106	0,007042	0,004852
10	5	0,987504	0,007457	0,00504
11	6	0,986866	0,007895	0,005239
12	7	0,986192	0,008359	0,005449
13	8	0,985479	0,008849	0,005672
14	9	0,984725	0,009368	0,005908
15	10	0,983927	0,009916	0,006157

	A	B
1	Параметр	Значение
2	β (скорость заражения)	0.0841
3	γ (скорость выздоровления)	0.0259
4	δ (потеря иммунитета)	
5	σ (переход в инфекционные)	
6	μ (выход из изоляции)	



UML-диаграмма классов программного средства



Главное окно

19

Эпидемические модели

Модели Параметры Данные

Выберите модели (макс. 4)

☐ Модель SI (восприимчивые-инфицированные)

☐ Модель SIR (восприимчивые-инфицированные-выздоровевшие)

☐ Модель SIRS (с временным иммунитетом)

☐ Модель SEIR (с латентным периодом)

☐ Модель SIQR (с изоляцией)

☐ Модель MSEIR (с материнским иммунитетом)

☐ M-модель (3 стадии инфекции)

Метод решения

☒ Рунге-Кутты 4-го порядка

☐ Метод Эйлера

Запустить моделирование

Справка по моделям

Справка по моделям

SI SIR SIRS SEIR SIQR MSEIR M

Описание модели:
SIR — базовая эпидемиологическая модель.

Система дифференциальных уравнений:
$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$
$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

Параметры:
 β — скорость передачи инфекции
 γ — скорость выздоровления

Рекомендуемые значения:
 $\beta \approx 0.3$
 $\gamma \approx 0.1$
 $S_0 \approx 0.99$
 $I_0 \approx 0.01$
 $R_0 \approx 0.0$

Применение:
Подходит для: гриппа, COVID-19, кори и т.п.

Эпидемические модели

Модели Параметры Данные

Выберите модели (макс. 4)

☒ Модель SI (восприимчивые-инфицированные)

☒ Модель SIR (восприимчивые-инфицированные-выздоровевшие)

☒ Модель SIRS (с временным иммунитетом)

☒ Модель SEIR (с латентным периодом)

☐ Модель SIQR (с изоляцией)

☐ Модель MSEIR (с материнским иммунитетом)

☐ M-модель (3 стадии инфекции)

Метод решения

☒ Рунге-Кутты 4-го порядка

☐ Метод Эйлера

Запустить моделирование

Справка по моделям

SI-модель

Доля населения

Дни

Восприимчивые
Инфицированные

SIR-модель

Доля населения

Дни

Восприимчивые
Инфицированные
Выздоровевшие

SIRS-модель

Доля населения

Дни

Восприимчивые
Инфицированные
Выздоровевшие

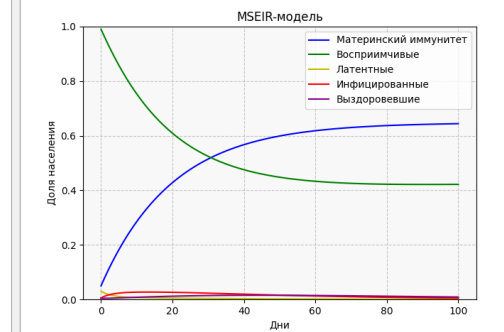
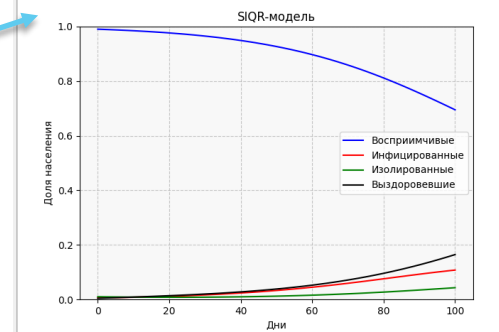
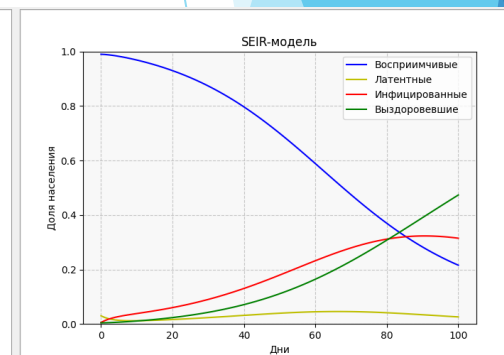
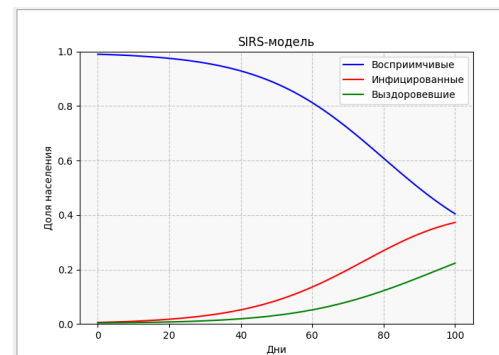
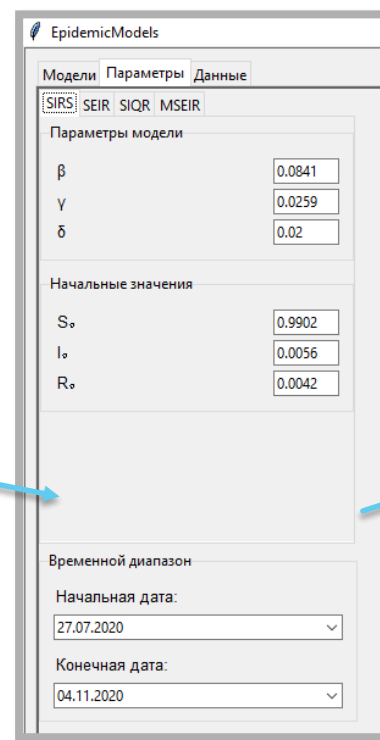
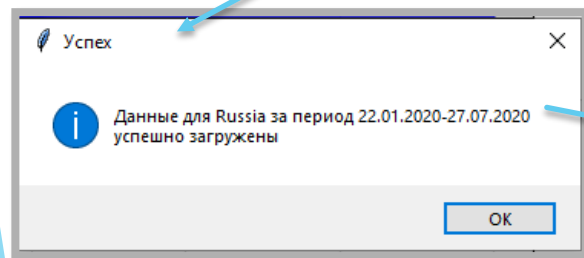
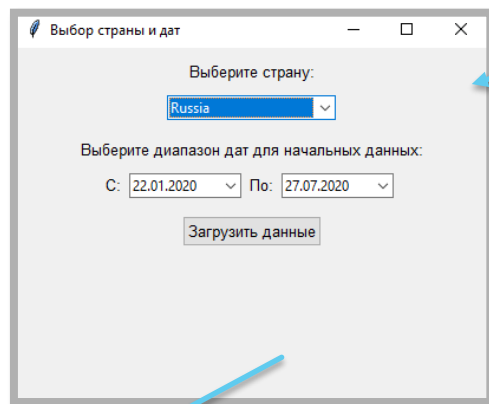
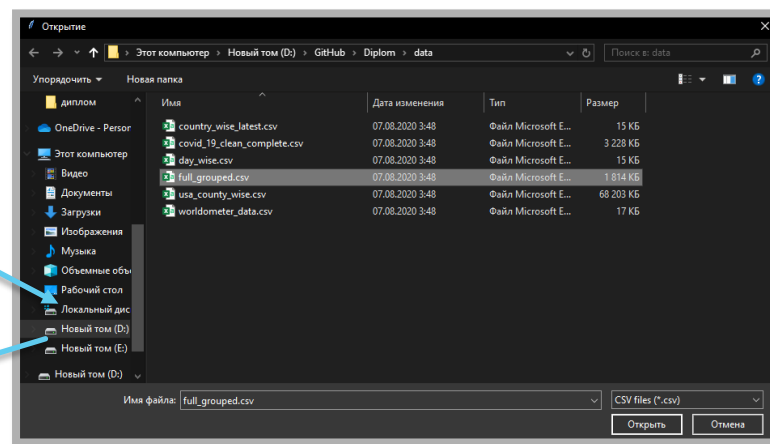
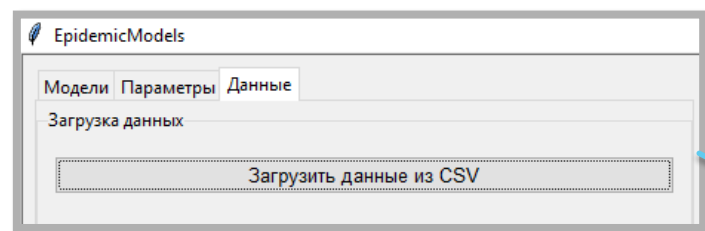
SEIR-модель

Доля населения

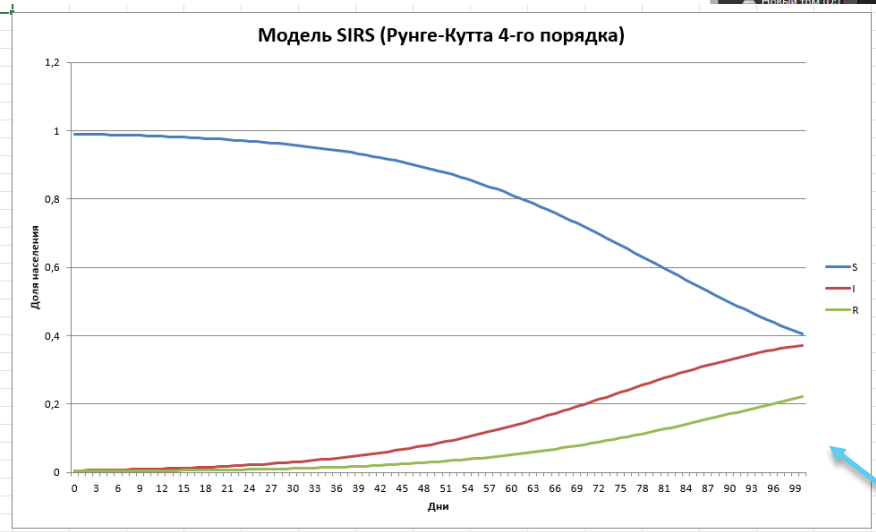
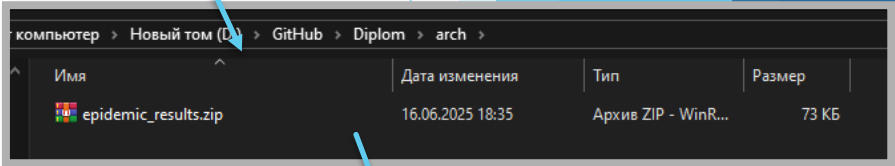
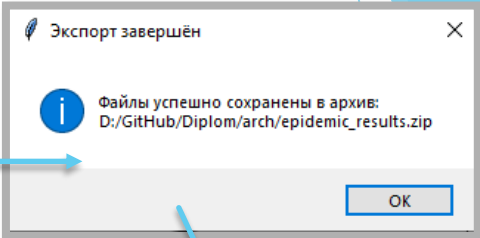
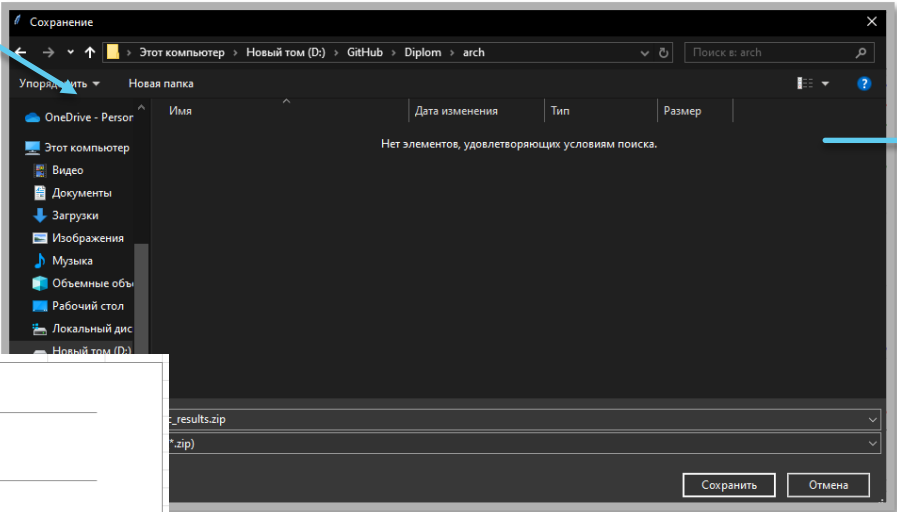
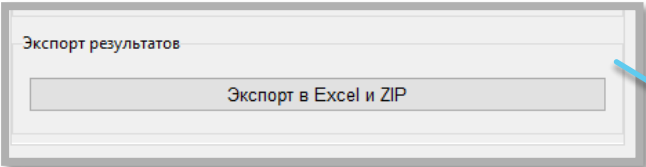
Дни

Восприимчивые
Латентные
Инфицированные
Выздоровевшие

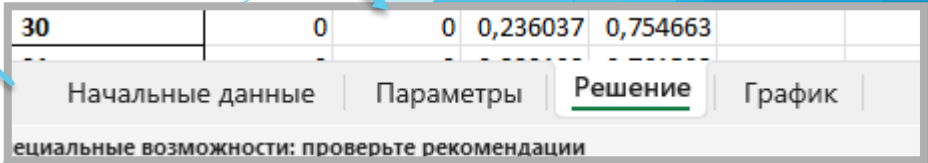
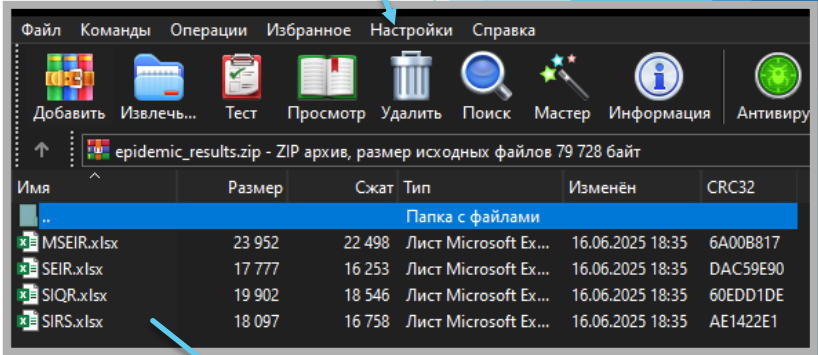
Загрузка данных из файла csv



Выгрузка результатов моделирования в Excel файл



	A	B	C	D
1	Метод решения:	Рунге-Кутты 4-го порядка		
2	Выбранная модель:	SIRS		
3				
4	Дни	S	I	R
5	0	0,9902	0,0056	0,0042
6	1	0,989805	0,005931	0,004265
7	2	0,989383	0,006281	0,004337
8	3	0,988933	0,006651	0,004417
9	4	0,988453	0,007043	0,004505
10	5	0,987941	0,007457	0,004601
11	6	0,987397	0,007896	0,004707
12	7	0,986818	0,00836	0,004822
13	8	0,986201	0,008851	0,004947
14	9	0,985547	0,00937	0,005083
15	10	0,984851	0,00992	0,00523



Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы создано программное средство, отвечающее всем заявленным функциональным требованиям.

Разработанное программное средство может быть использовано как для научных исследований в медицинской сфере, так и в качестве вспомогательного средства для принятия решений в сфере управления при возникновении реальной эпидемической угрозы. Оно может также применяться в учебных целях в предметах, связанных с математическим моделированием и вычислительной математикой.

В качестве дальнейшего направления развития проекта функциональные возможности программного средства можно расширить, благодаря внедрению других моделей и численных методов.

Разработанное программное средство и результаты исследования представлены на конференции «Актуальные проблемы науки и техники – 2025».

Спасибо за внимание!

