

ФГБОУ ВО «Российская академия народного характера и государственной службы
при Президенте Российской Федерации»
Поволжский институт управления имени П.А. Столыпина

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

Войтус Антон Михайлович, 1 курс;
Мохан Никита Дмитриевич, 1 курс;
Менькова Анастасия Михайловна, 1 курс;
Научный руководитель: Сытник Наталия Сергеевна.



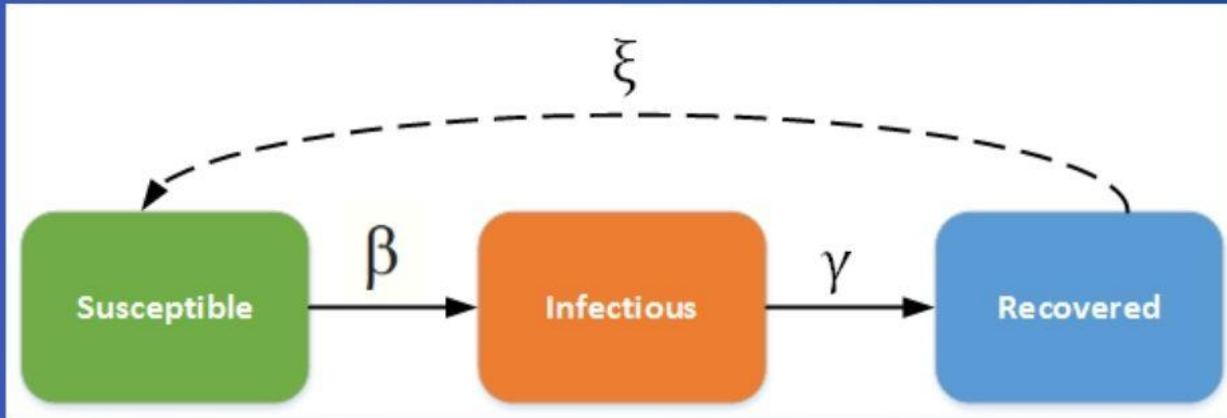
Даниил Бернулли



УИЛЬЯМ ФАРР

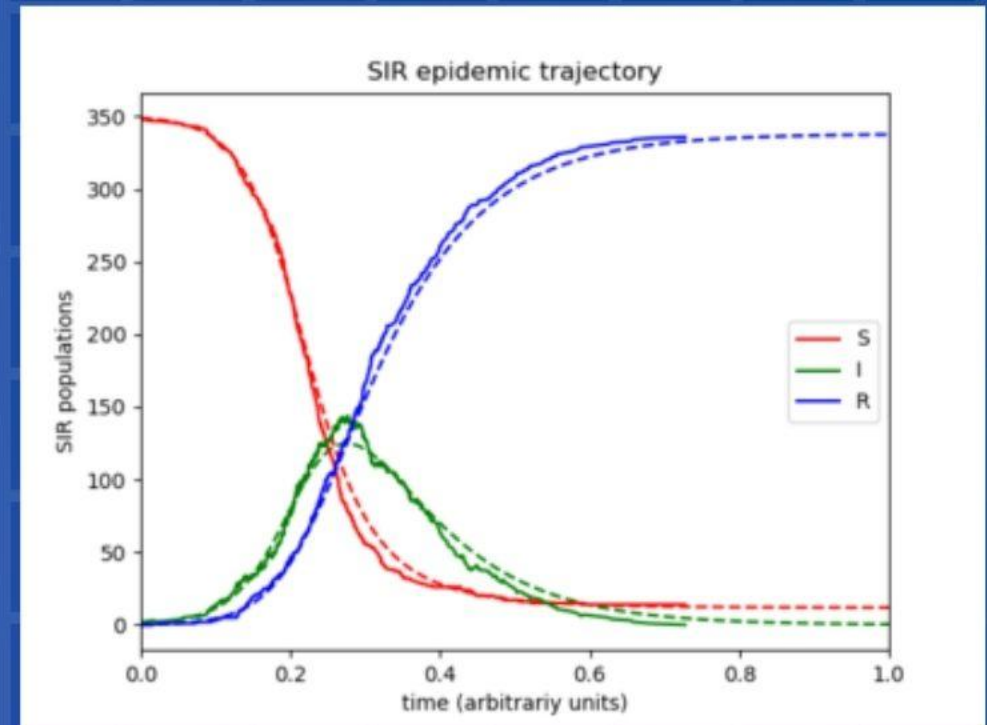


Модель SIR



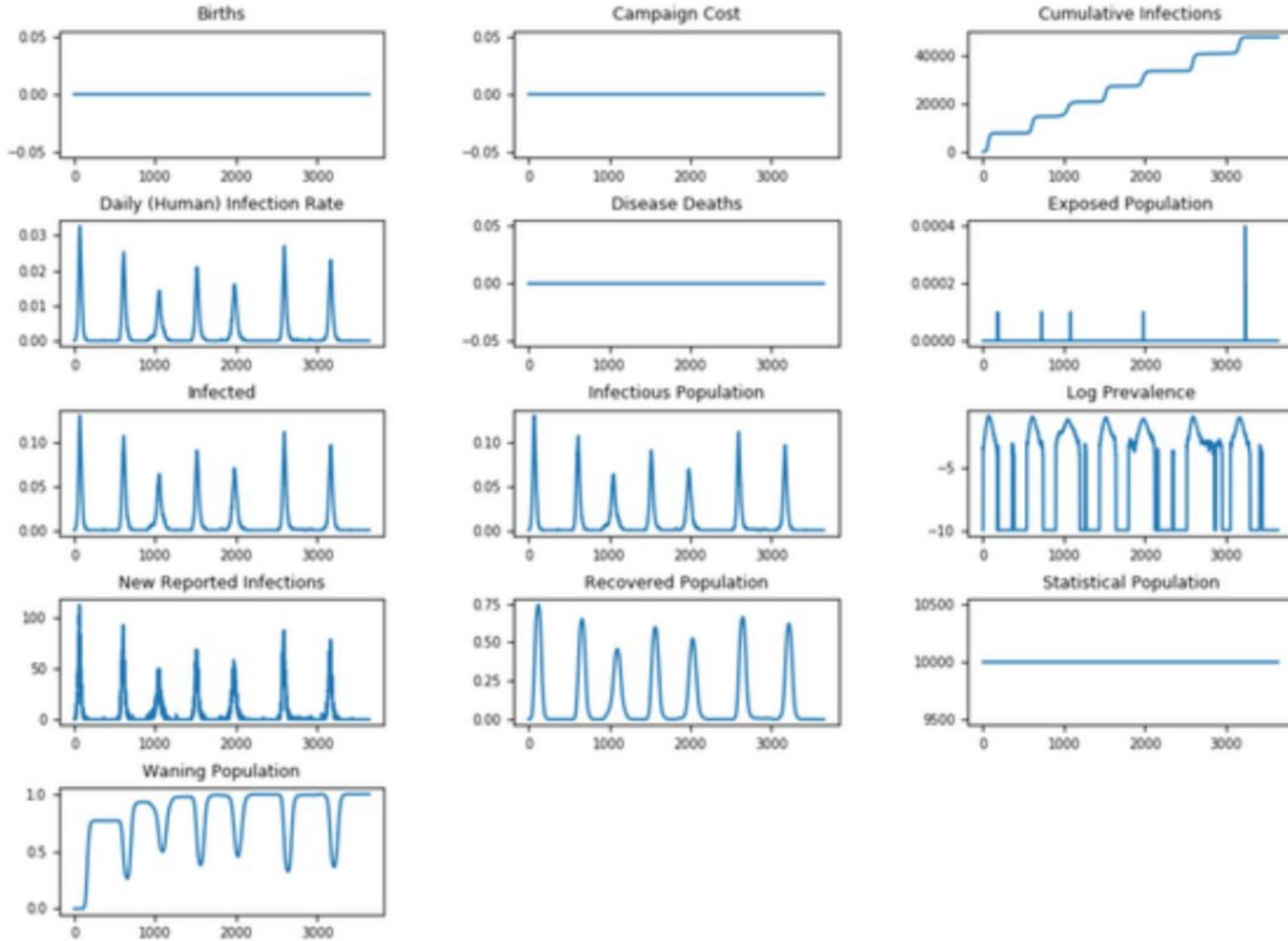
SUSCEPTIBLE
INFECTED
RECOVERED

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta IS}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta IS}{N} - \gamma I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I.\end{aligned}$$



Модель SIRS

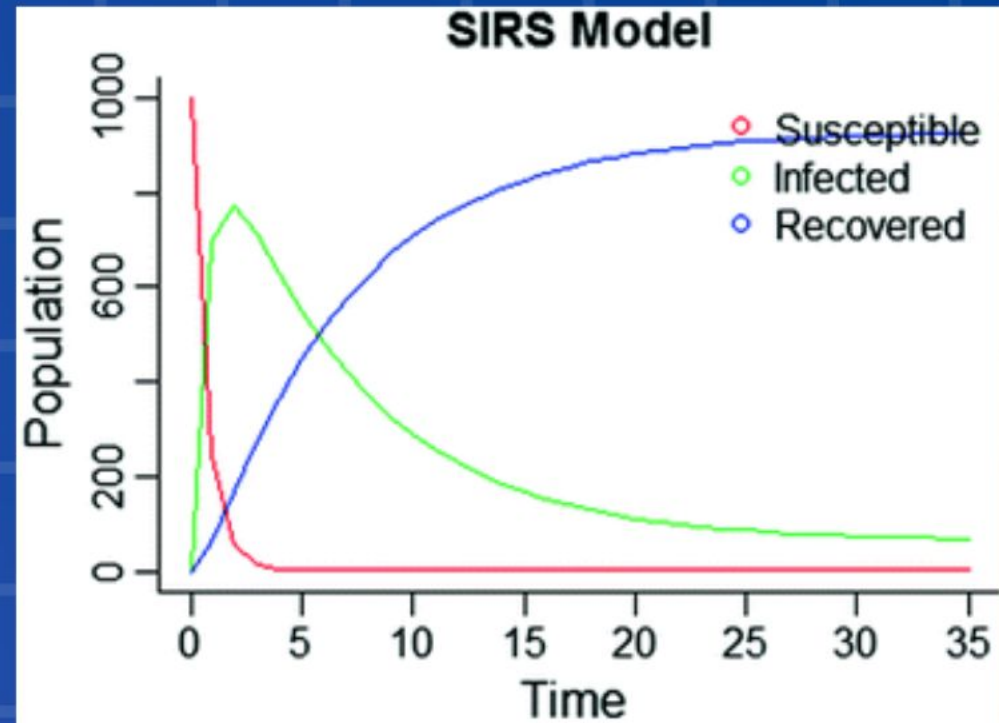
SIRS



$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI + \mu(N - S) + fR,$$

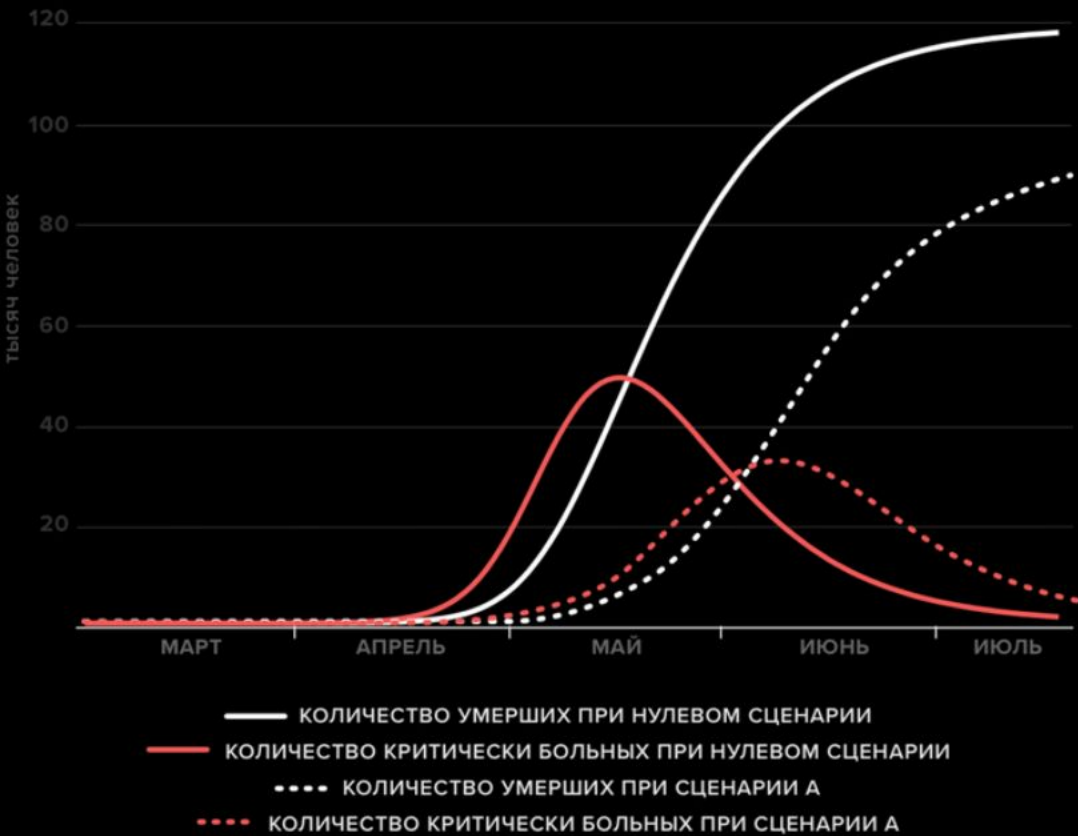
$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I - \mu I,$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R - fR,$$



meduza

Рост числа умерших и потребность в аппаратах ИВЛ в Москве в соответствии с нулевым сценарием (нет сдерживания эпидемии) и сценарием А (слабое сдерживание)



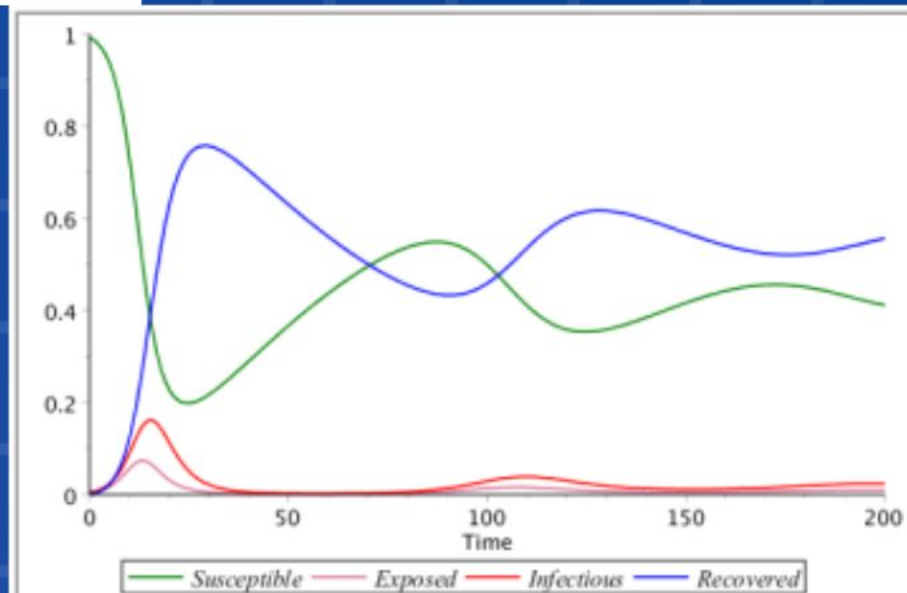
Модель SEIR

$$\frac{dS}{dt} = \mu N - \mu S - \beta \frac{I}{N} S$$

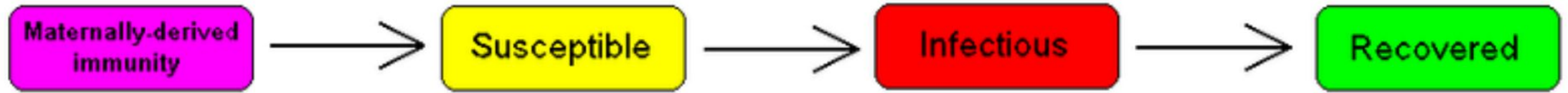
$$\frac{dE}{dt} = \beta \frac{I}{N} S - (\mu + a) E$$

$$\frac{dI}{dt} = a E - (\gamma + \mu) I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R.$$



Также существует модель MSEIR



$$\frac{dM}{dT} = \Lambda - \delta M - \mu M$$

$$\frac{dS}{dT} = \delta M - \frac{\beta SI}{N} - \mu S$$

$$\frac{dI}{dT} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I - \mu I$$

$$\frac{dR}{dT} = \gamma I - \mu R$$

Применение В ЖИЗНИ





Исследование системы SIR аналитическим методом





$$\begin{cases} S' = -\frac{\beta}{N} IS, \\ I' = \frac{\beta}{N} IS - \gamma I, \\ R' = \gamma I \end{cases}$$

- $S(t)$ – общее количество восприимчивых (*susceptible*),
- $I(t)$ – общее количество инфицированных (*infectious*),
- $R(t)$ – общее количество выздоровевших (*recovered or removed*),
- N – общая численность популяции

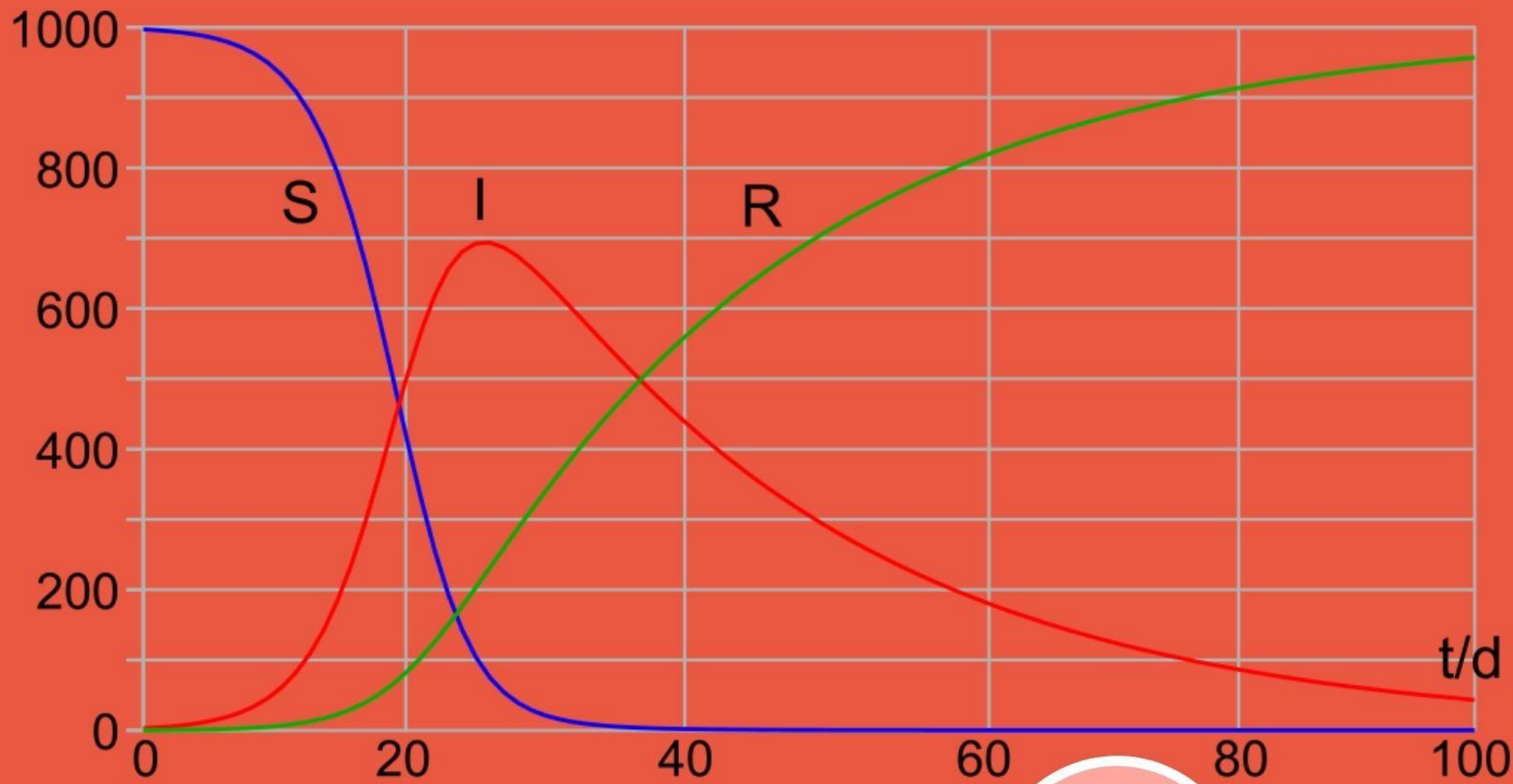
$$S(0) = S_0$$

$$I(0) = I_0$$

$$R(0) = 0$$

- β – интенсивность заражения,
- γ – интенсивность выздоравливания





Исследование SIR с помощью языка программирования Python



Province/State	Country/Region	Lat	Long	1/22/20	1/23/20	1/24/20	1/25/20	1/26/20	1/27/20	...	3/28/21	3/29/21	3/30/21	3/31/21	4/1/21	4/2/21	4/3/21	4/4/21	4/5/21	4/6/21	
0	NaN	Afghanistan	33.939110	67.709953	0	0	0	0	0	0	...	56294	56322	56384	56454	56517	56572	56595	56676	56717	56779
1	NaN	Albania	41.153300	20.168300	0	0	0	0	0	0	...	124134	124419	124723	125157	125506	125842	126183	126531	126795	126936
2	NaN	Algeria	28.033900	1.659600	0	0	0	0	0	0	...	116836	116946	117061	117192	117304	117429	117524	117622	117739	117879
3	NaN	Andorra	42.506300	1.521800	0	0	0	0	0	0	...	11850	11888	11944	12010	12053	12115	12174	12231	12286	12328
4	NaN	Angola	-11.202700	17.873900	0	0	0	0	0	0	...	22063	22132	22182	22311	22399	22467	22579	22631	22717	22885
...
269	NaN	Vietnam	14.058324	108.277199	0	2	2	2	2	2	...	2591	2594	2594	2603	2617	2620	2626	2631	2637	2648
270	NaN	West Bank and Gaza	31.952200	35.233200	0	0	0	0	0	0	...	236462	238248	240065	242353	244645	246893	248482	251288	253922	256461
271	NaN	Yemen	15.552727	48.516388	0	0	0	0	0	0	...	4033	4115	4247	4357	4531	4620	4697	4798	4881	4975
272	NaN	Zambia	-13.133897	27.849332	0	0	0	0	0	0	...	87872	88012	88199	88418	88549	88730	88800	88930	89009	89071
273	NaN	Zimbabwe	-19.015438	29.154857	0	0	0	0	0	0	...	36822	36839	36839	36882	36896	36903	36911	36923	36934	36966



Province/State	Country/Region	Lat	Long	1/22/20	1/23/20	1/24/20	1/25/20	1/26/20	1/27/20	...	3/28/21	3/29/21	3/30/21	3/31/21	4/1/21	4/2/21	4/3/21	4/4/21	4/5/21	4/6/21	
213	NaN	Russia	61.52401	105.318756	0	0	0	0	0	0	...	4469327	4477916	4486078	4494234	4503291	4511973	4520879	4529576	4538101	4546307

1 rows × 445 columns



```

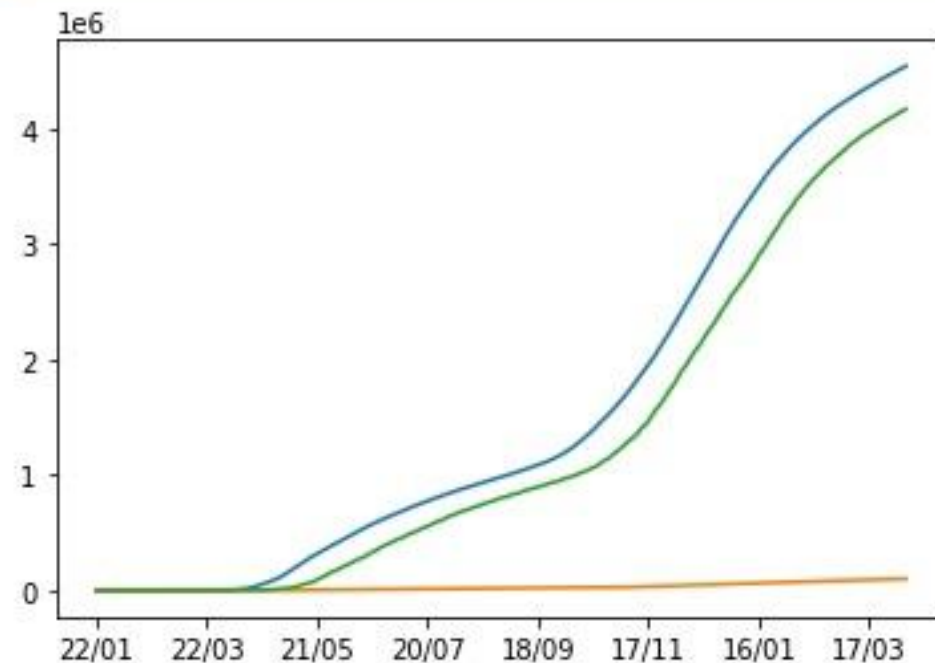
array([[ '22/01', '23/01', '24/01', '25/01', '26/01', '27/01', '28/01',
        '29/01', '30/01', '31/01', '01/02', '02/02', '03/02', '04/02',
        '05/02', '06/02', '07/02', '08/02', '09/02', '10/02', '11/02',
        '12/02', '13/02', '14/02', '15/02', '16/02', '17/02', '18/02',
        '19/02', '20/02', '21/02', '22/02', '23/02', '24/02', '25/02',
        '26/02', '27/02', '28/02', '29/02', '01/03', '02/03', '03/03',
        '04/03', '05/03', '06/03', '07/03', '08/03', '09/03', '10/03',
        '11/03', '12/03', '13/03', '14/03', '15/03', '16/03', '17/03',
        '18/03', '19/03', '20/03', '21/03', '22/03', '23/03', '24/03',
        '25/03', '26/03', '27/03', '28/03', '29/03', '30/03', '31/03',
        '01/04', '02/04', '03/04', '04/04', '05/04', '06/04', '07/04',
        '08/04', '09/04', '10/04', '11/04', '12/04', '13/04', '14/04',
        '15/04', '16/04', '17/04', '18/04', '19/04', '20/04', '21/04',
        '22/04', '23/04', '24/04', '25/04', '26/04', '27/04', '28/04',
        '29/04', '30/04', '01/05', '02/05', '03/05', '04/05', '05/05',
        '06/05', '07/05', '08/05', '09/05', '10/05', '11/05', '12/05',
        '13/05', '14/05', '15/05', '16/05', '17/05', '18/05', '19/05',
        '20/05', '21/05', '22/05', '23/05', '24/05', '25/05', '26/05',
        '27/05', '28/05', '29/05', '30/05', '31/05', '01/06', '02/06',
        '03/06', '04/06', '05/06', '06/06', '07/06', '08/06', '09/06',
        '10/06', '11/06', '12/06', '13/06', '14/06', '15/06', '16/06',
        '17/06', '18/06', '19/06', '20/06', '21/06', '22/06', '23/06',
        '24/06', '25/06', '26/06', '27/06', '28/06', '29/06', '30/06',
        '01/07', '02/07', '03/07', '04/07', '05/07', '06/07', '07/07',
        '08/07', '09/07', '10/07', '11/07', '12/07', '13/07', '14/07',
        '15/07', '16/07', '17/07', '18/07', '19/07', '20/07', '21/07',
        '22/07', '23/07', '24/07', '25/07', '26/07', '27/07', '28/07',
        '29/07', '30/07', '31/07', '01/08', '02/08', '03/08', '04/08',
        '05/08', '06/08', '07/08', '08/08', '09/08', '10/08', '11/08',
        '12/08', '13/08', '14/08', '15/08', '16/08', '17/08', '18/08',
        '19/08', '20/08', '21/08', '22/08', '23/08', '24/08', '25/08',
        '26/08', '27/08', '28/08', '29/08', '30/08', '31/08', '01/09',
        '02/09', '03/09', '04/09', '05/09', '06/09', '07/09', '08/09',
        '09/09', '10/09', '11/09', '12/09', '13/09', '14/09', '15/09',
        '16/09', '17/09', '18/09', '19/09', '20/09', '21/09', '22/09',
        '23/09', '24/09', '25/09', '26/09', '27/09', '28/09', '29/09',
        '30/09', '01/10', '02/10', '03/10', '04/10', '05/10', '06/10',
        '07/10', '08/10', '09/10', '10/10', '11/10', '12/10', '13/10',
        '14/10', '15/10', '16/10', '17/10', '18/10', '19/10', '20/10',
        '21/10', '22/10', '23/10', '24/10', '25/10', '26/10', '27/10',
        '28/10', '29/10', '30/10', '31/10', '01/11', '02/11', '03/11',
        '04/11', '05/11', '06/11', '07/11', '08/11', '09/11', '10/11',
        '11/11', '12/11', '13/11', '14/11', '15/11', '16/11', '17/11',
        '18/11', '19/11', '20/11', '21/11', '22/11', '23/11', '24/11',
        '25/11', '26/11', '27/11', '28/11', '29/11', '30/11', '01/12',
        '02/12', '03/12', '04/12', '05/12', '06/12', '07/12', '08/12',
        '09/12', '10/12', '11/12', '12/12', '13/12', '14/12', '15/12',
        '16/12', '17/12', '18/12', '19/12', '20/12', '21/12', '22/12',
        '23/12', '24/12', '25/12', '26/12', '27/12', '28/12', '29/12',
        '30/12', '31/12', '01/01', '02/01', '03/01', '04/01', '05/01',
        '06/01', '07/01', '08/01', '09/01', '10/01', '11/01', '12/01',
        '13/01', '14/01', '15/01', '16/01', '17/01', '18/01', '19/01',
        '20/01', '21/01', '22/01', '23/01', '24/01', '25/01', '26/01',
        '27/01', '28/01', '29/01', '30/01', '31/01', '01/02', '02/02',
        '03/02', '04/02', '05/02', '06/02', '07/02', '08/02', '09/02',
        '10/02', '11/02', '12/02', '13/02', '14/02', '15/02', '16/02',
        '17/02', '18/02', '19/02', '20/02', '21/02', '22/02', '23/02',
        '24/02', '25/02', '26/02', '27/02', '28/02', '29/02', '01/03',
        '02/03', '03/03', '04/03', '05/03', '06/03', '07/03', '08/03', '09/03',
        '10/03', '11/03', '12/03', '13/03', '14/03', '15/03', '16/03',
        '17/03', '18/03', '19/03', '20/03', '21/03', '22/03', '23/03',
        '24/03', '25/03', '26/03', '27/03', '28/03', '29/03', '30/03',
        '31/03', '01/04', '02/04', '03/04', '04/04', '05/04', '06/04' ]],
dtype='<U5')

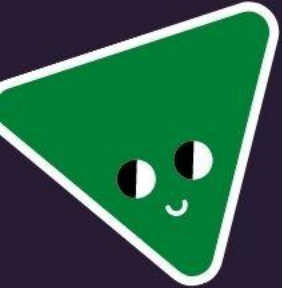
```

```

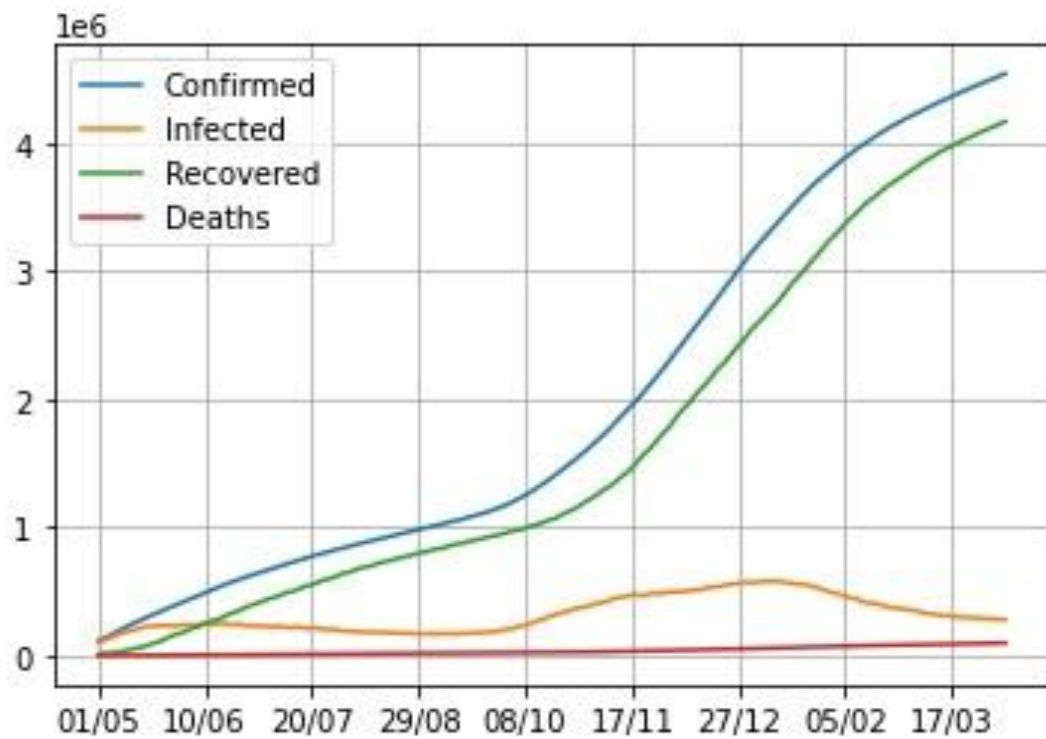
T = len(Russia_confirmed)
t = np.arange(T)
plt.plot(Russia_confirmed,)
plt.plot(Russia_deaths,)
plt.plot(Russia_recovered,)|
plt.xticks(t[::60],dates[::60])
pass

```





```
T = len(C)
t = np.arange(T)
plt.plot(C, label='Confirmed')
plt.plot(I, label='Infected')
plt.plot(R, label='Recovered')|
plt.plot(D, label='Deaths')
plt.legend()
plt.grid()
plt.xticks(t[::40],dates[::40])
pass
```



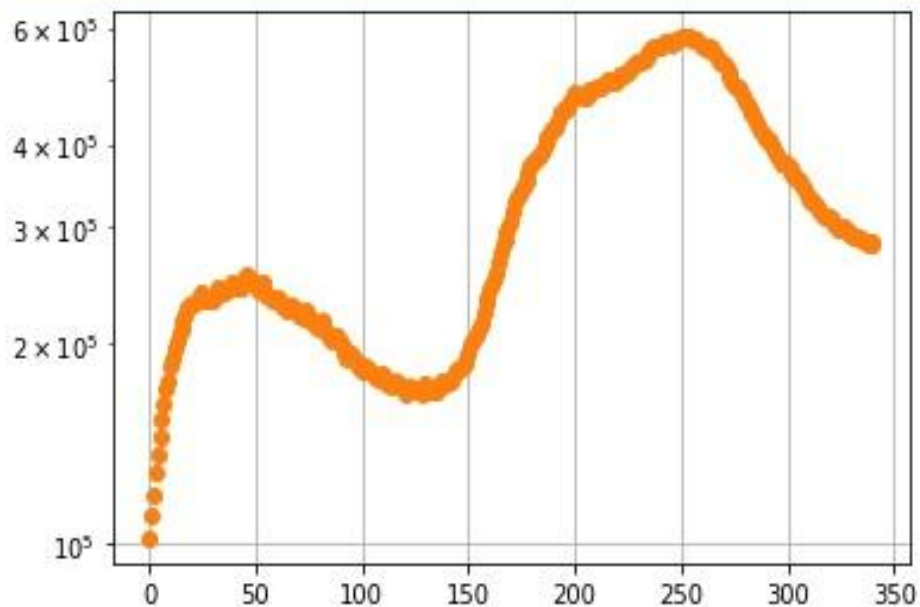


```
def exponential_growth(t, I0, alpha):  
    return I0*np.exp(alpha*t)
```

```
res, _ = optimize.curve_fit(exponential_growth, t, I)  
I0, alpha = res  
I0, alpha
```

```
(-4.196950660891156e-14, 1.000000000781605)
```

```
tt = np.array([0, T - 1])  
II = I0*np.exp(alpha*tt)  
plt.semilogy(tt, II)  
plt.semilogy(t, I, 'o')  
plt.grid()  
pass
```



```
In [24]: np.exp(alpha) - 1
```

```
Out[24]: 0.22631035702992786
```

```
In [25]: gamma = 1/8
```

```
In [27]: R0 = 1 + alpha/gamma  
R0
```

```
Out[27]: 2.6320796120451524
```

```
In [ ]: | I
```





