

# Мухамадиев Владимир

## Задание 7

### Загрузка и предварительная обработка

```
In[1]:= g1 = Import[NotebookDirectory[] <> "//graph1.graphml"];
          импорт директория файла блокнота

In[2]:= g2 = Import[NotebookDirectory[] <> "//graph2.graphml"];
          импорт директория файла блокнота

In[3]:= airports = SemanticImport[NotebookDirectory[] <> "//airports.dat"];
          семантический и... директория файла блокнота

In[4]:= routes = SemanticImport[NotebookDirectory[] <> "//routes.dat"];
          семантический и... директория файла блокнота

In[5]:= covdata = SemanticImport[NotebookDirectory[] <> "//covid_19_data.csv"];
          семантический и... директория файла блокнота

In[6]:= tsc =
          SemanticImport[NotebookDirectory[] <> "//time_series_covid19_confirmed_global.csv"];
          семантический и... директория файла блокнота

In[7]:= tsr =
          SemanticImport[NotebookDirectory[] <> "//time_series_covid19_recovered_global.csv"];
          семантический и... директория файла блокнота

In[8]:= tsd = SemanticImport[NotebookDirectory[] <> "//time_series_covid19_deaths_global.csv"];
          семантический и... директория файла блокнота

In[9]:= gdata = Import[NotebookDirectory[] <> "//g.m"];
          импорт директория файла блокнота

In[10]:= gedata = Import[NotebookDirectory[] <> "//ge.m"];
          импорт директория файла блокнота

In[11]:= erdata = Import[NotebookDirectory[] <> "//er.m"];
          импорт директория файла блокнота

In[12]:= badata = Import[NotebookDirectory[] <> "//ba.m"];
          импорт директория файла блокнота

In[13]:= sirdata = Import[NotebookDirectory[] <> "//sir.m"];
          импорт директория файла блокнота
```

## Модели

```
In[14]:= NearestNeighborList[graph_] :=
Module[{el = EdgeList[graph], vl = VertexList[graph], data = {}},
программный…список рёбер справка…список вершин графа
  data = Sort[{Flatten[{el[[All, 1]], el[[All, 2]]}], Flatten[{el[[All, 2]], el[[All, 1]]}]}];
сорт…уплотнить…всё всё уплотнить…всё
  data = Table[Cases[data, {vl[[i]], _}] [[All, 2]], {i, 1, Length[vl]}];
табл…случаи по образцу всё длина
  data]
```

### SI

```
In[15]:= SI[graph_, i0_, β_, t_] :=
Module[{vc = VertexCount[graph], data = {VertexList[graph], NearestNeighborList[graph]},
программный…число вершин справка…список вершин графа
  ConstantArray["Susceptible", VertexCount[graph]]},т,
постоянный массив число вершин
  out = ConstantArray[{}, t + 1], iv = {}, out[[1]] = {vc - i0, i0};
постоянный массив
  iv = RandomSample[Range[vc], i0];
случайная вы…диапазон
  Do[data[[iv[[i]], 3]] = "Infected", {i, 1, i0}];
оператор цикла
  Do[iv = Cases[data, {_ , _, "Infected"}];
опера…случаи по образцу
    Do[Do[If[RandomChoice[{β, 1 - β} → {True, False}] == True,
……случайный выбор ист…ложь истина
      data[[FirstPosition[data, {iv[[j], 2, k], _, _}], Missing["NotFound"], 1][[1]], 3] =
позиция первого по образцу пропуск
      "Infected"], {k, 1, Length[iv[[j, 2]]}}], {j, 1, Length[iv]}];
длина длина
    out[[i]] = {Length[Cases[data, {_ , _, "Susceptible"}]], длина случаи по образцу
      Length[Cases[data, {_ , _, "Infected"}]]}, {i, 2, t + 1}];
длина случаи по образцу
  out = {{Range[0, t], out[[All, 1]]},диапазон всё, {Range[0, t], out[[All, 2]]}};диапазон всё
  out]
```

## SIS

```
In[16]:= SIS[graph_, i0_, β_, μ_, t_] :=
Module[{vc = VertexCount[graph], data = {VertexList[graph],
программныйчисло вершинсписок вершин графа
NearestNeighborList[graph], ConstantArray["Susceptible", VertexCount[graph]]}^T,
постоянный массивчисло вершин
out = ConstantArray[{}, t + 1], iv = {}, out[[1]] = {vc - i0, i0};
постоянный массив
iv = RandomSample[Range[vc], i0];
случайная вы...диапазон
Do[data[[iv[[i]], 3]] = "Infected", {i, 1, i0}];
оператор цикла
Do[iv = Cases[data, {_, _, "Infected"}];
опера...случаи по образцу
Do[Do[If[RandomChoice[{β, 1 - β} → {True, False}] == True,
......случайный выборист...ложьистина
data[[FirstPosition[data, {iv[[j, 2, k]], _, _}], Missing["NotFound"], 1][[1]], 3] =
позиция первого по образцупропуск
"Infected"], {k, 1, Length[iv[[j, 2]]]}], {j, 1, Length[iv]}];
длинадлина
Do[If[RandomChoice[{μ, 1 - μ} → {True, False}] == True, data[[FirstPosition[
......случайный выборист...ложьистинапозиция первого по образцу
data[[All, 1], iv[[j, 1]]][[1]], 3] = "Susceptible"], {j, 1, Length[iv]}];
всёдлина
out[[i]] = {Length[Cases[data, {_, _, "Susceptible"}]], 
длинаслучаи по образцу
Length[Cases[data, {_, _, "Infected"}]]}, {i, 2, t + 1}];
длинаслучаи по образцу
out = {{Range[0, t], out[[All, 1]]}^T, {Range[0, t], out[[All, 2]]}^T};
диапазонвсёдиапазонвсё
out]
```

## SIR

```
In[17]:= SIR[graph_, i0_, β_, μ_, t_] :=
Module[{vc = VertexCount[graph], data = {VertexList[graph],
программныйчисло вершин }список вершин графа,
NearestNeighborList[graph], ConstantArray["Susceptible", VertexCount[graph]]}^T,
постоянный массивчисло вершин,
out = ConstantArray[{}, t + 1], iv = {}, pos = 0}, out[[1]] = {vc - i0, i0, 0};

iv = RandomSample[Range[vc], i0];
случайная вы...диапазон

Do[data[[iv[[i]], 3] = "Infected", {i, 1, i0}];
оператор цикла

Do[iv = Cases[data, {_, _, "Infected"}];
опера...случаи по образцу

Do[Do[If[RandomChoice[{β, 1 - β} → {True, False}] == True,
......случайный выборист...ложьистина

pos = FirstPosition[data, {iv[[j, 2, k]], _, _}, Missing["NotFound"], 1][[1]];
позиция первого по образцупропуск

If[data[[pos, 3] == "Susceptible", data[[pos, 3]] = "Infected"],
условный оператор

{k, 1, Length[iv[[j, 2]]}}], {j, 1, Length[iv]}];
длинадлина

Do[If[RandomChoice[{μ, 1 - μ} → {True, False}] == True, data[[All, 1]],
......случайный выборист...ложьистина

FirstPosition[data[[All, 1]], iv[[j, 1]]][[1]], 3] = "Recovered", {j, 1, Length[iv]}];
позиция первого по об...всёдлина

out[[i]] = {Length[Cases[data, {_, _, "Susceptible"}]], Length[Cases[data,
длинаслучаи по образцу ], {_, _, "Infected"}]], Length[Cases[data, {_, _, "Recovered"}]]}, {i, 2, t + 1}];

out = {{Range[0, t], out[[All, 1]]}^T, {Range[0, t], out[[All, 2]]}^T,
диапазонвсёдиапазонвсё

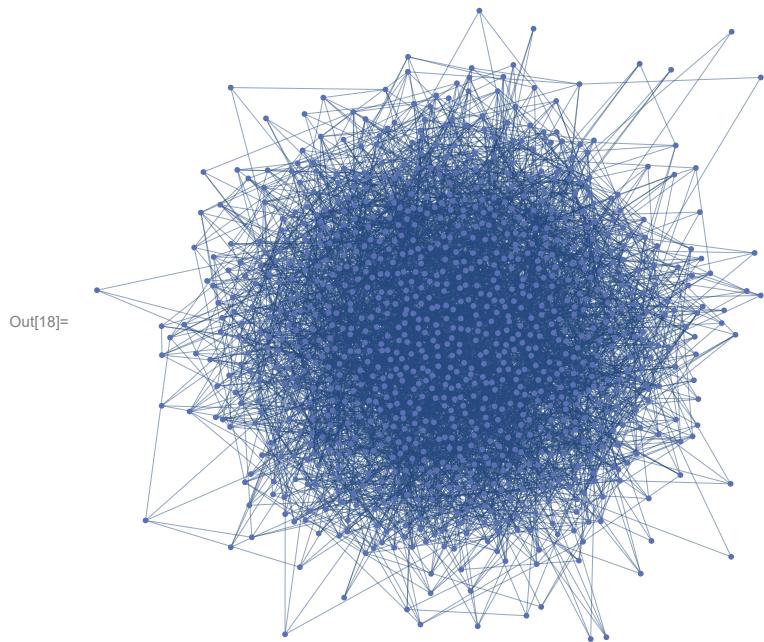
{Range[0, t], out[[All, 3]]}^T};
диапазонвсё

out]
```

# 1. Влияние топологии на характерное время распространение эпидемии в SI модели

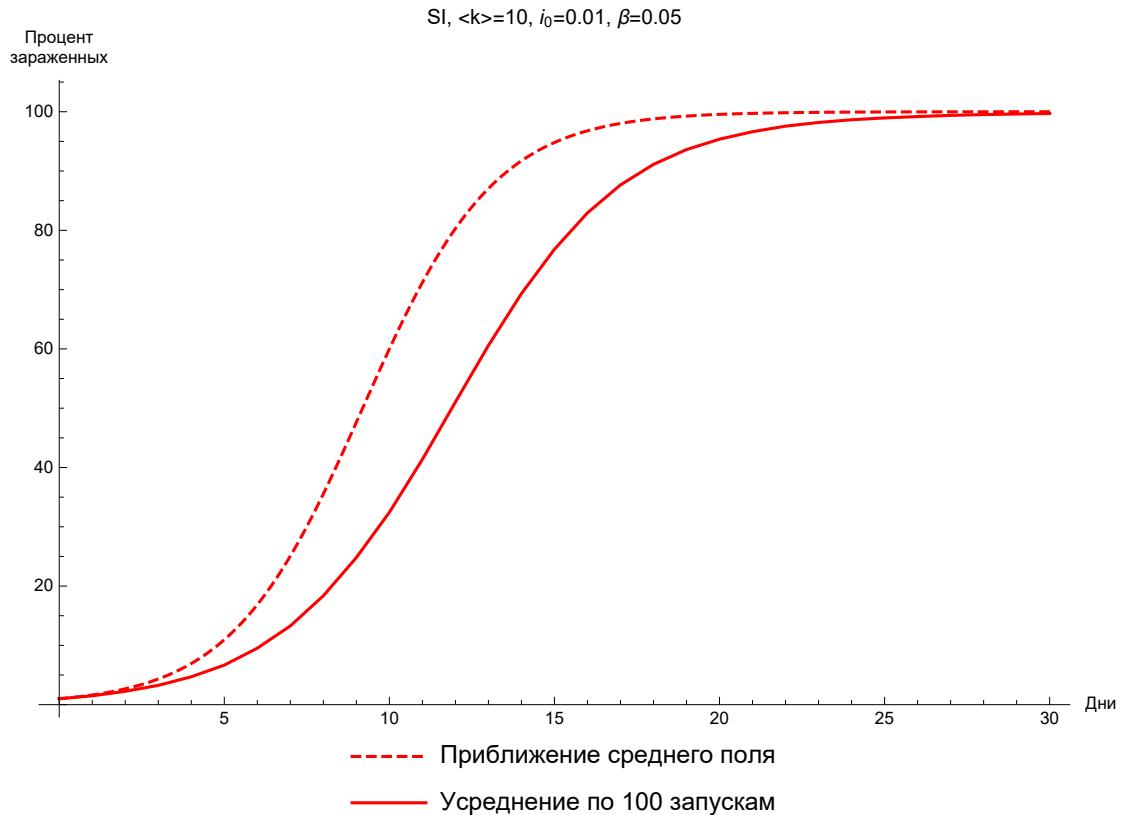
## Модель Эрдеша-Ренъи

```
In[18]:= erg = gdata[[1]] (*erg=RandomGraph[{1000,5000}]*)
          |случайный граф
```



```
In[19]:= erge = gedata[[1]]; (*erge=
{Range[0,30],Divide[Mean[Table[SI[erg,10,0.05,30][[2,All,2]],{l,1,100}]],10]^T};*)
          |диапазон |разде... |сре... |таблица значений |всё
```

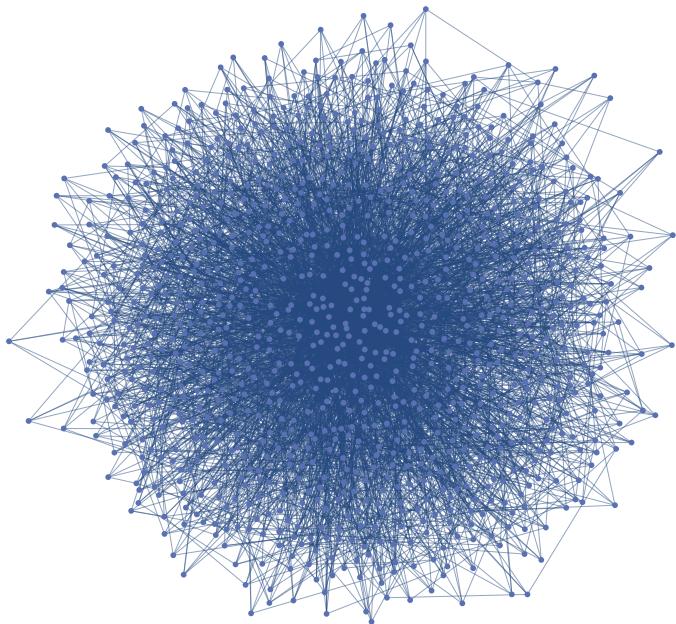
```
In[20]:= ListLinePlot[{Table[{t, 100  $\frac{0.01 e^{0.5 t}}{0.99 + 0.01 e^{0.5 t}}$ }, {t, 0, 30, 0.1}], ergo},
  PlotStyle -> {Directive[Red, Dashed], Red}, PlotLegends ->
  Placed[{"Приближение среднего поля", "Усреднение по 100 запускам"}, Below],
  AxesLabel -> {"Дни", "Процент\nзараженных"}, PlotLabel -> "SI,  $\langle k \rangle = 10, i_0 = 0.01, \beta = 0.05$ ", ImageSize -> Large]
Out[20]=
```



## Модель Барабаши-Альберта

```
In[21]:= bag = gdata[[2]] (*bag=RandomGraph[BarabasiAlbertGraphDistribution[1000,5]]*)
```

| случайный г... | графово распределение Барабаши-Альберт



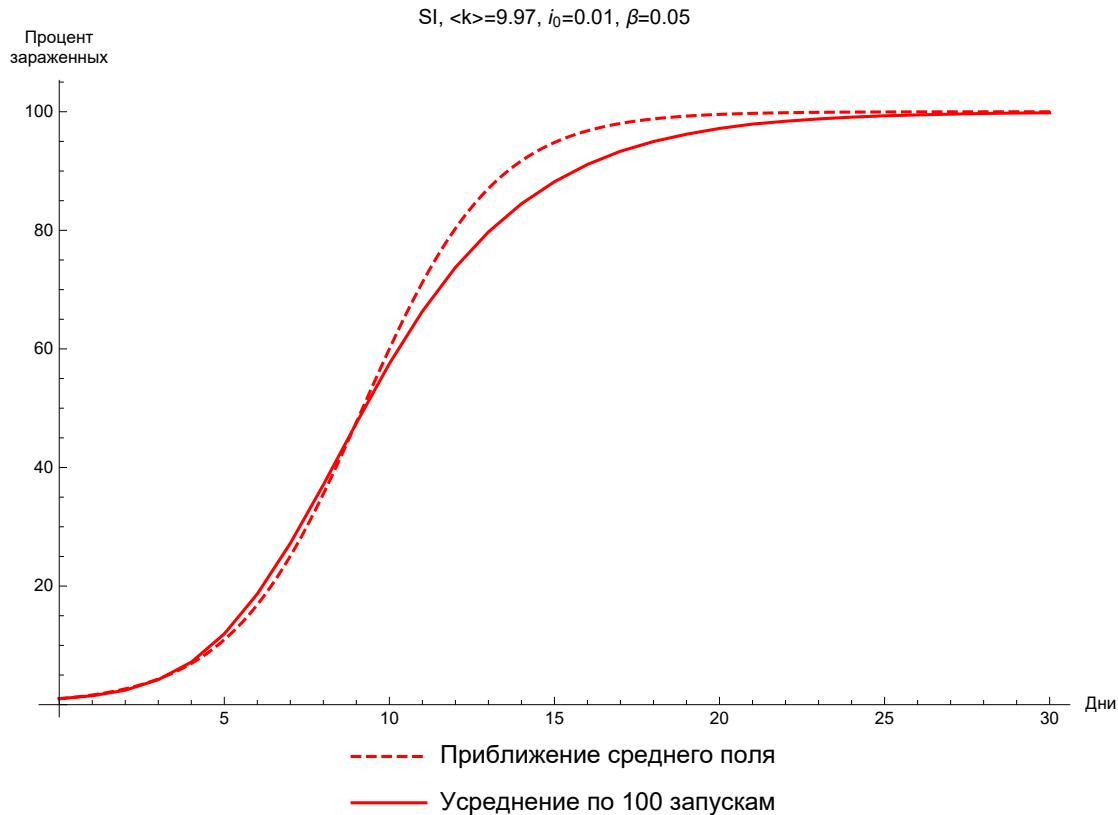
Out[21]=

```
In[22]:= bage = gedata[[2]]; (*bage=
```

{Range[0,30], Divide[Mean[Table[SI[bag,10,0.05,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;\*)

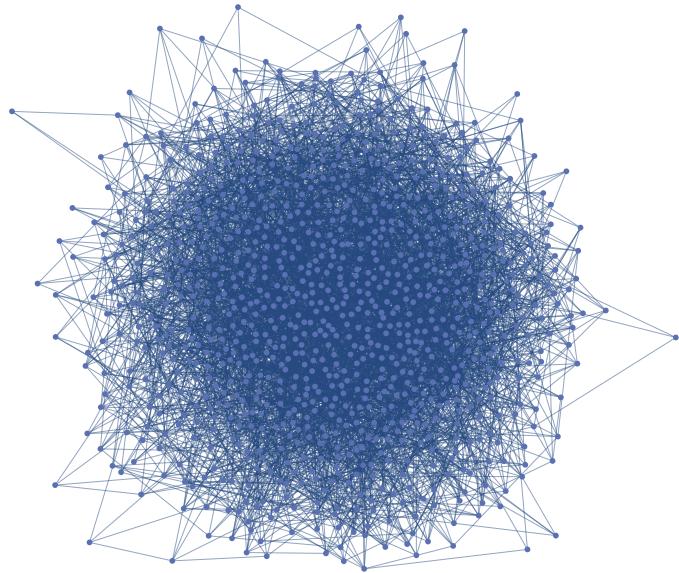
| диапазон | разде... | сре... | таблица значений | всё

```
In[23]:= ListLinePlot[{Table[{t, 100  $\frac{0.01 e^{0.5 t}}{0.99 + 0.01 e^{0.5 t}}$ }, {t, 0, 30, 0.1}], bage},
  PlotStyle -> {Directive[Red, Dashed], Red}, PlotLegends ->
  Placed[{"Приближение среднего поля", "Усреднение по 100 запускам"}, Below],
  AxesLabel -> {"Дни", "Процент\nзараженных"}, PlotLabel -> "SI,  $\langle k \rangle = 9.97, i_0 = 0.01, \beta = 0.05$ ", ImageSize -> Large]
Out[23]=
```

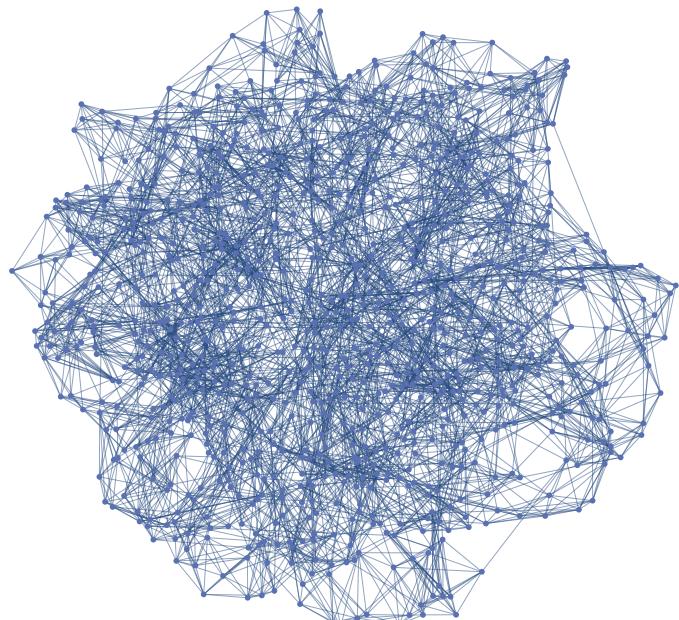


## Модель Уаттса-Строгатца

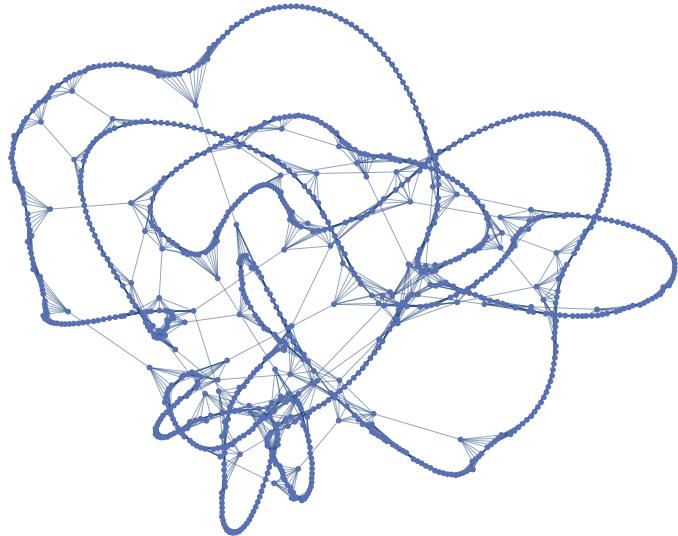
In[24]:= **wsg1 = gdata[[3]] (\*wsg1=RandomGraph[WattsStrogatzGraphDistribution[1000,1,5]]\*)**  
|случайный г...|графово распределение Уаттса–Строгатца



In[25]:= **wsg0p1 = gdata[[4]] (\*wsg0p1=RandomGraph[WattsStrogatzGraphDistribution[1000,0.1,5]]\*)**  
|случайный г...|графово распределение Уаттса–Строгатца



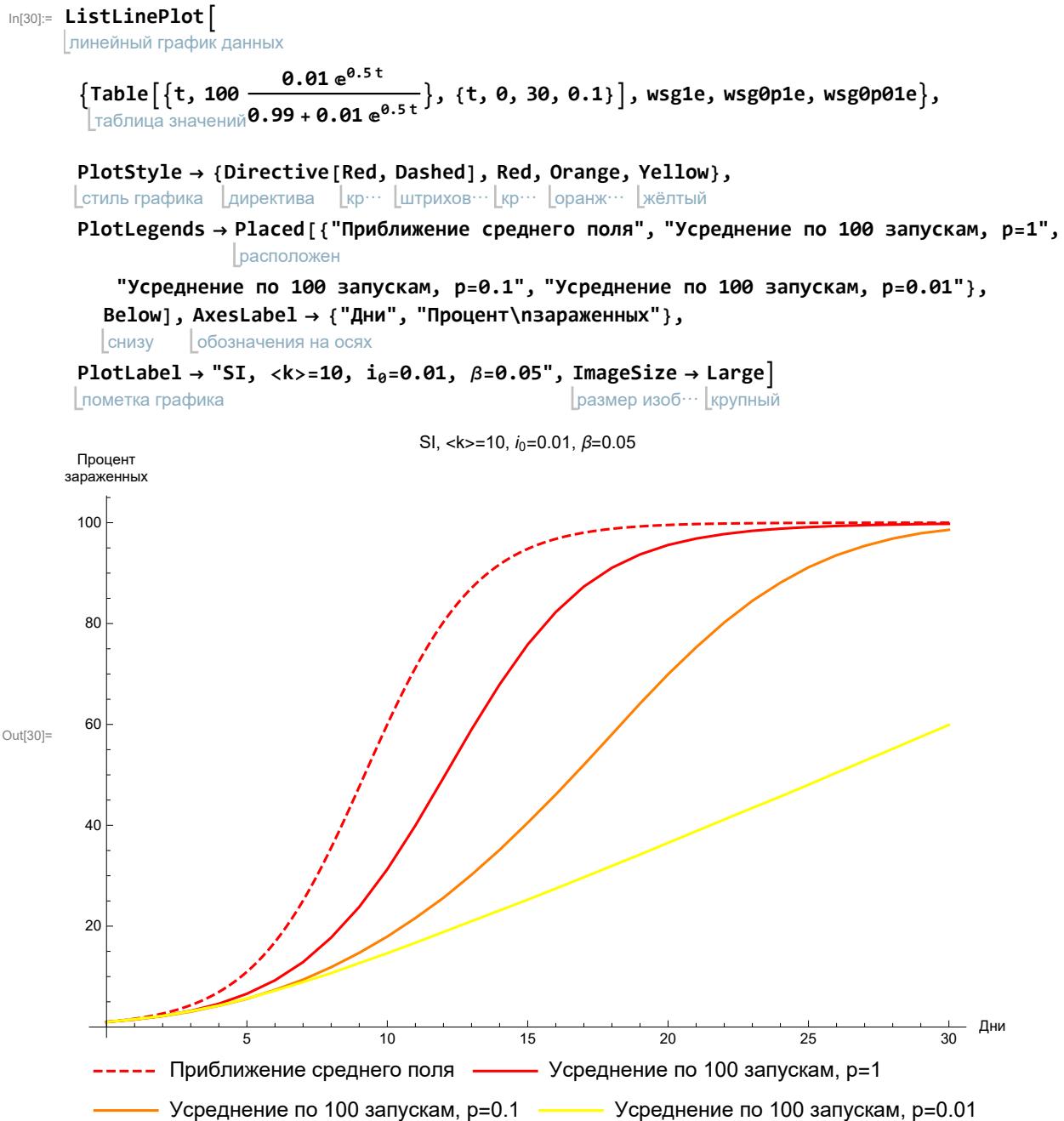
```
In[26]:= wsg0p01 = gdata[[5]]
(*wsg0p01=RandomGraph[WattsStrogatzGraphDistribution[1000,0.01,5]]*)
 $\downarrow$  случайный г...  $\downarrow$  графово распределение Уаттса–Строгатца
```



```
In[27]:= wsg1e = gedata[[3]]; (*wsg1e=
{Range[0,30],Divide[Mean[Table[SI[wsg1,10,0.05,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;*)
 $\downarrow$  диапазон  $\downarrow$  разде...  $\downarrow$  сре...  $\downarrow$  таблица значений  $\downarrow$  всё
```

```
In[28]:= wsg0p1e = gedata[[4]]; (*wsg0p1e=
{Range[0,30],Divide[Mean[Table[SI[wsg0p1,10,0.05,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;*)
 $\downarrow$  диапазон  $\downarrow$  разде...  $\downarrow$  сре...  $\downarrow$  таблица значений  $\downarrow$  всё
```

```
In[29]:= wsg0p01e = gedata[[5]]; (*wsg0p01e=
{Range[0,30],Divide[Mean[Table[SI[wsg0p01,10,0.05,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;*)
 $\downarrow$  диапазон  $\downarrow$  разде...  $\downarrow$  сре...  $\downarrow$  таблица значений  $\downarrow$  всё
```

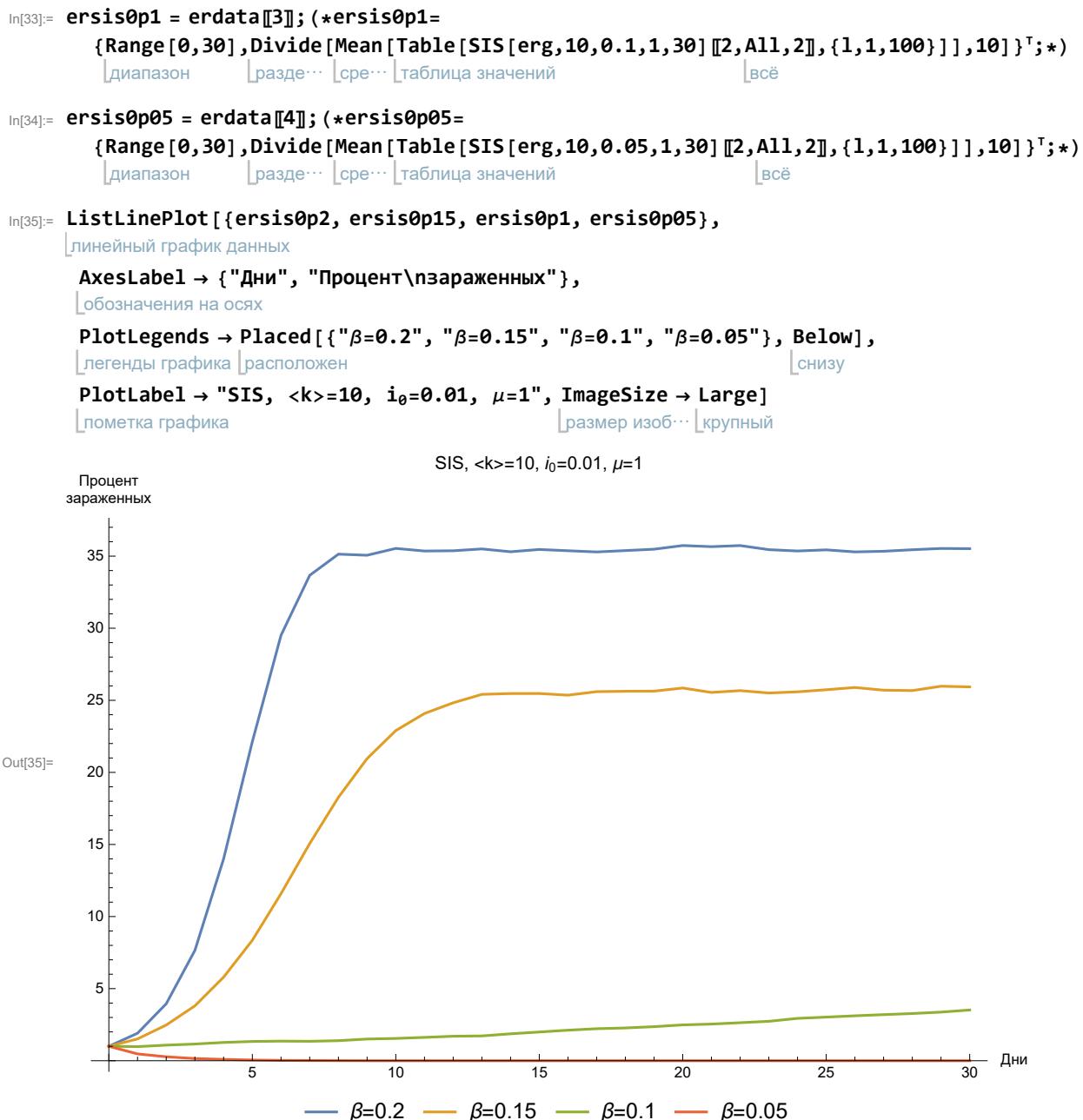


## 2. Порог зажигания в модели SIS

### Модель Эрдеша-Рены

In[31]:= `ersis0p2 = erdata[[1]]; (*ersis0p2=`  
 `Range[0, 30], Divide[Mean[Table[SIS[erg, 10, 0.2, 1, 30][[2, All, 2]], {1, 1, 100}]], 10]]^T; *)`  
`диапазон` `разделить` `таблица значений` `всё`

In[32]:= `ersis0p15 = erdata[[2]]; (*ersis0p15=`  
 `Range[0, 30], Divide[Mean[Table[SIS[erg, 10, 0.15, 1, 30][[2, All, 2]], {1, 1, 100}]], 10]]^T; *)`  
`диапазон` `разделить` `таблица значений` `всё`



## Модель Барабаши-Альберта

```
In[36]:= basis0p2 = badata[[1]]; (*basis0p2=
 {Range[0,30],Divide[Mean[Table[SIS[bag,10,0.2,1,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;*)
    |диапазон|разде...|сре...|таблица значений|всё

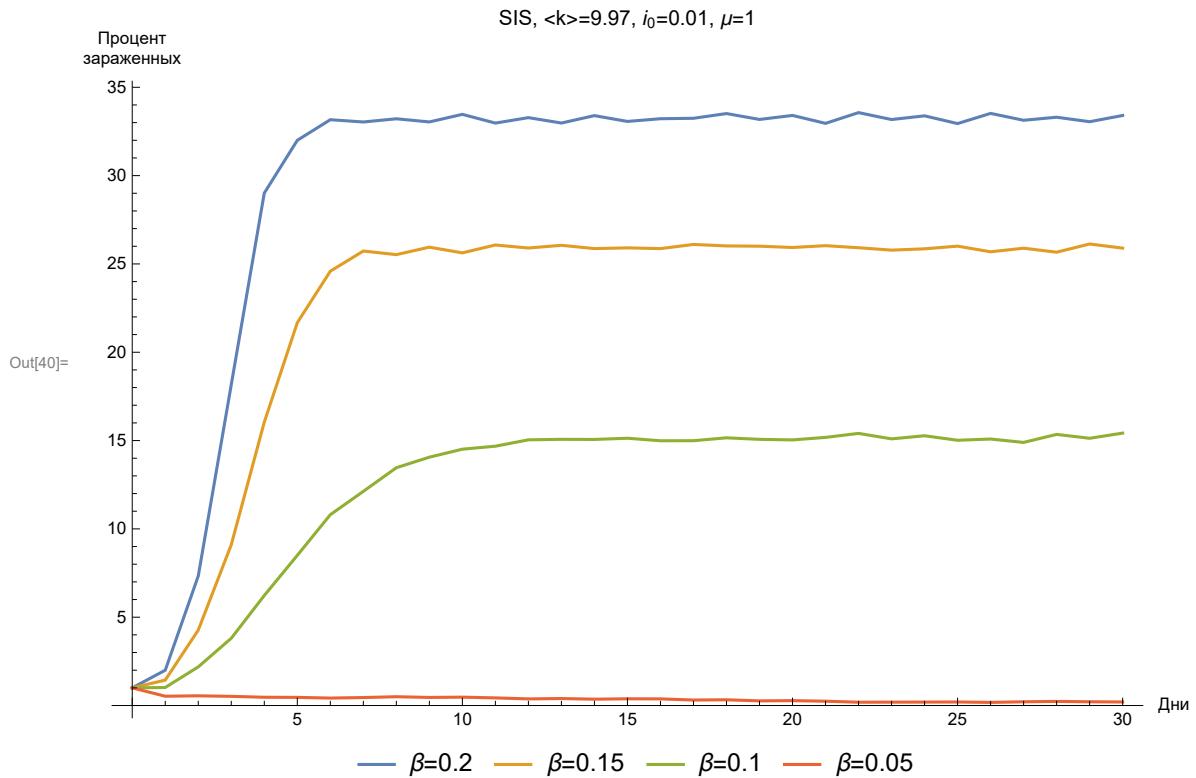
In[37]:= basis0p15 = badata[[2]]; (*basis0p15=
 {Range[0,30],Divide[Mean[Table[SIS[bag,10,0.15,1,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;*)
    |диапазон|разде...|сре...|таблица значений|всё

In[38]:= basis0p1 = badata[[3]]; (*basis0p1=
 {Range[0,30],Divide[Mean[Table[SIS[bag,10,0.1,1,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]}^T;*)
    |диапазон|разде...|сре...|таблица значений|всё
```

```
In[39]:= basis0p05 = badata[[4]]; (*basis0p05= Range[0,30],Divide[Mean[Table[SIS[bag,10,0.05,1,30][[2,All,2]],{1,1,100}]],10]^T;*)

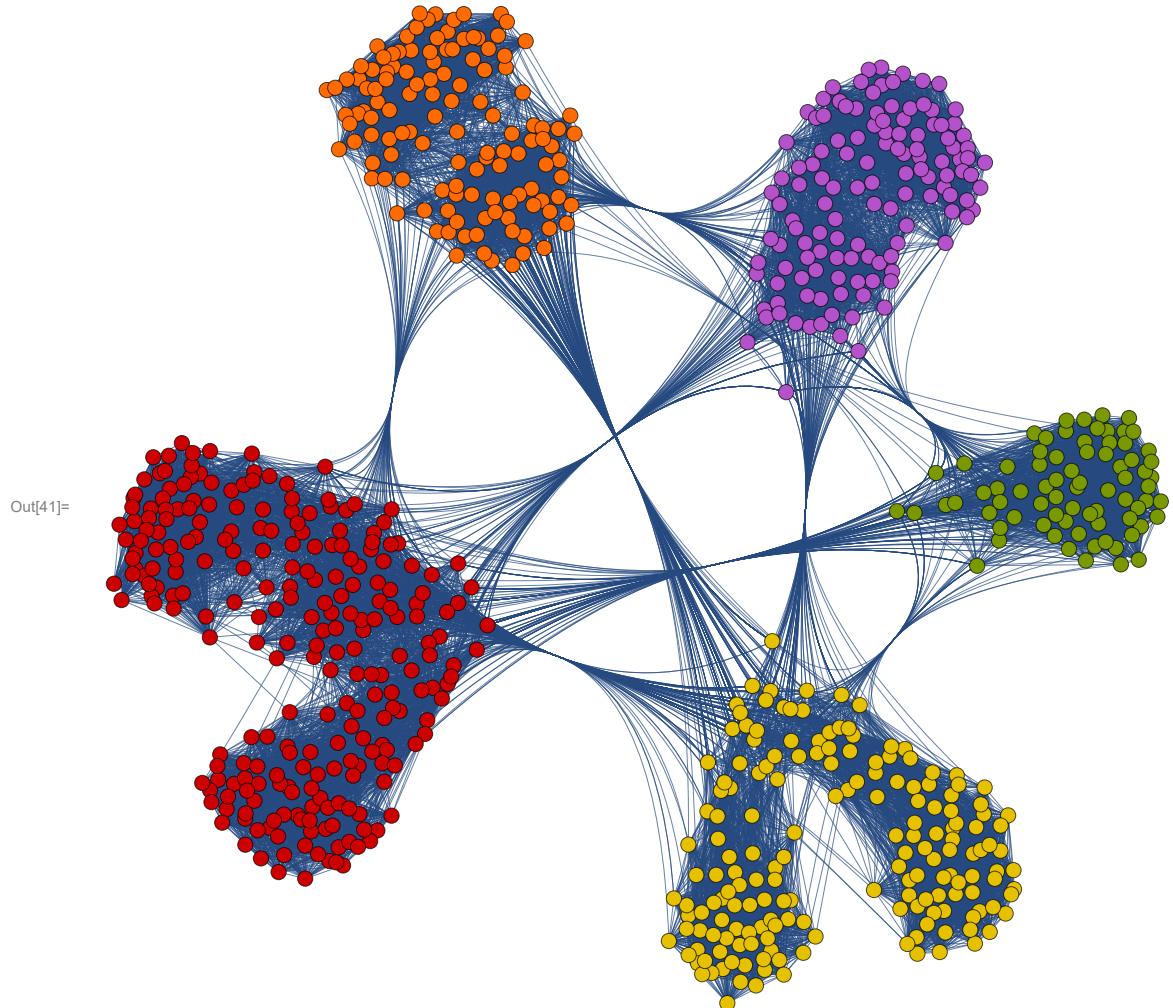
диапазон разделяет сре... таблица значений всё
```

```
In[40]:= ListLinePlot[{basis0p2, basis0p15, basis0p1, basis0p05},  
    | линейный график данных  
    AxesLabel -> {"Дни", "Процент\\иззараженных"},  
    | обозначения на осях  
    PlotLegends -> Placed[{"\u03b2=0.2", "\u03b2=0.15", "\u03b2=0.1", "\u03b2=0.05"}, Below],  
    | легенды графика | расположение | снизу  
    PlotLabel -> "SIS, <k>=9.97, i\u2080=0.01, \u03bc=1", ImageSize -> Large]  
    | пометка графика | размер изоб... | крупный
```



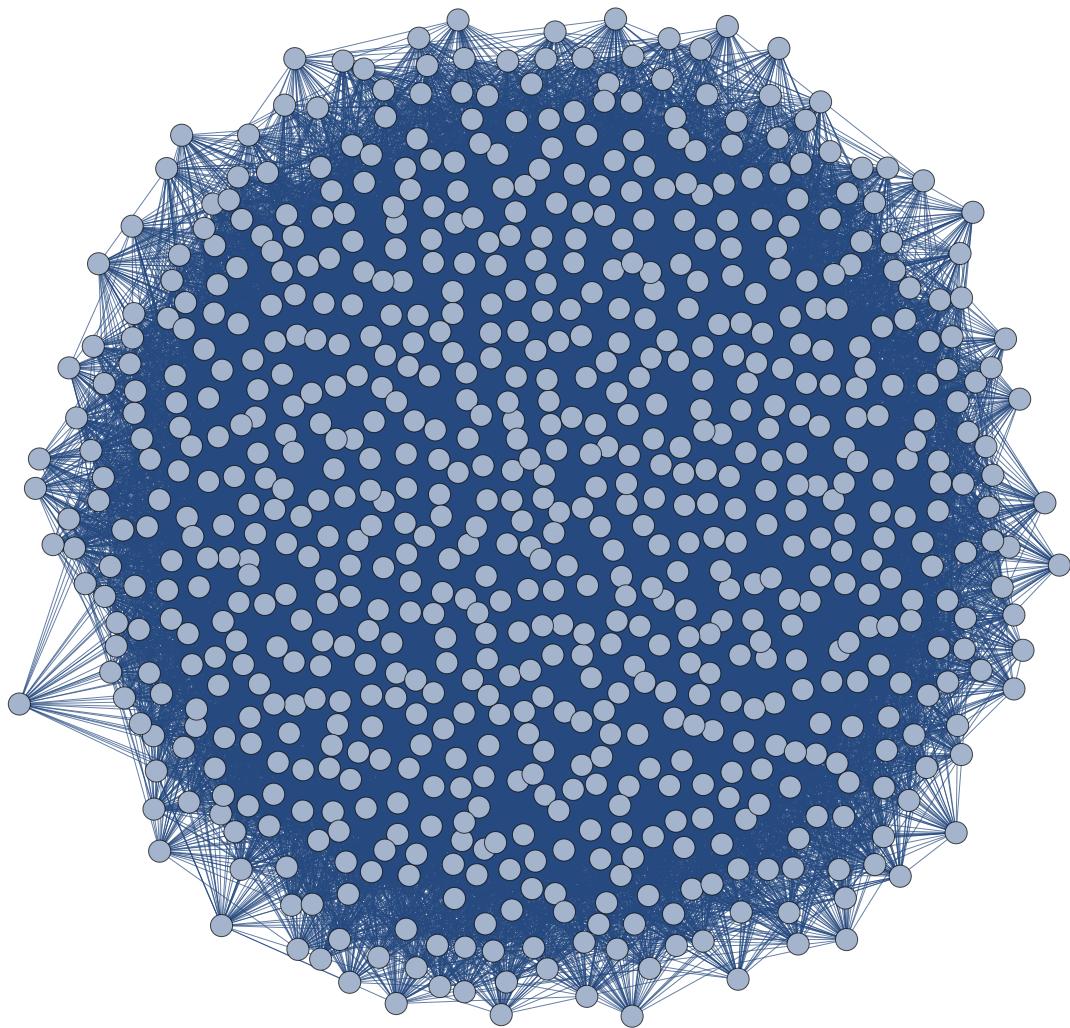
### 3. Влияние топологии в модели SIR

In[41]:= **CommunityGraphPlot[g1, CommunityBoundaryStyle → None, ImageSize → Large]**  
диаграмма сообществ в гр… | стиль границ сообщества | ни о… | размер изоб… | крупный



In[42]:= **GraphPlot**[g2, **ImageSize** → Large]  
 визуализация г... размер изоб... крупный

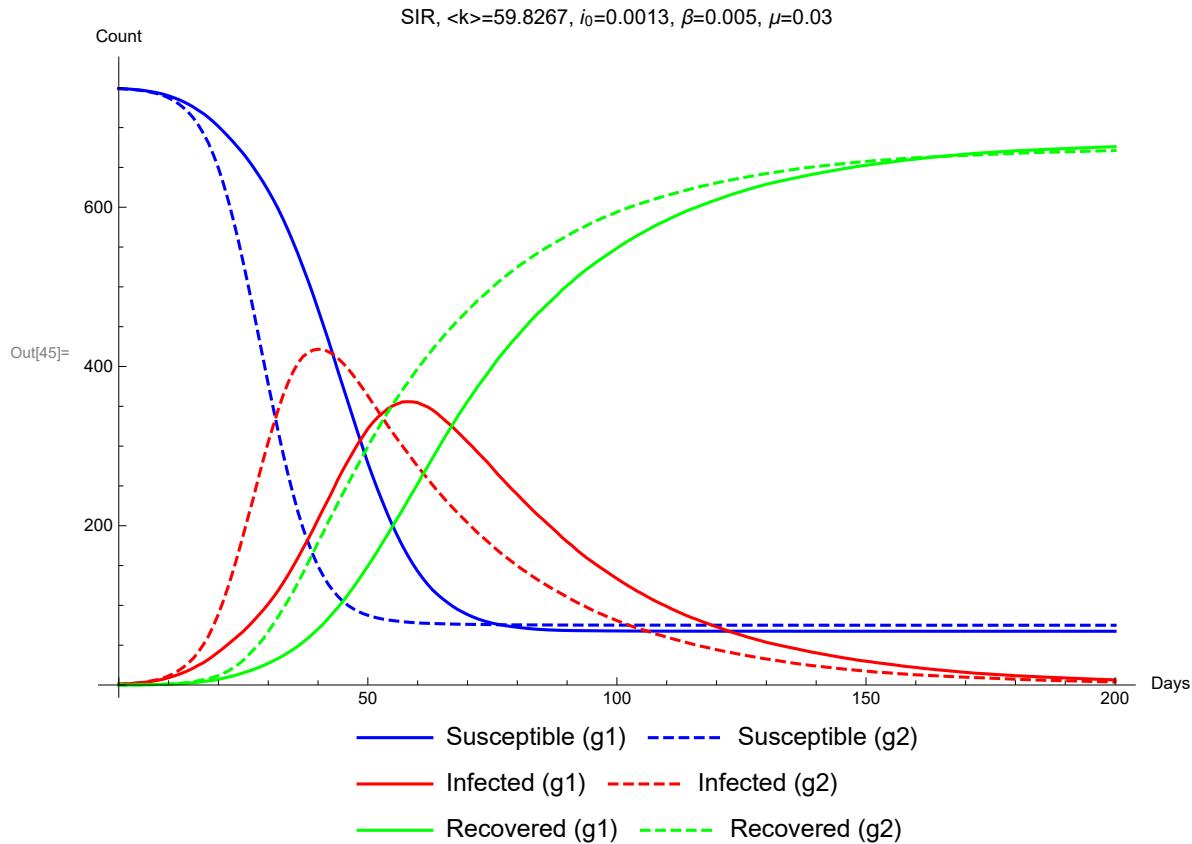
Out[42]=



In[43]:= **sirg1i1 = sirdata[[1]];**  
 (\***sirg1i1=Table[SIR[g1,1,0.005,0.03,200],{l,1,100}];**  
   |таблица значений  
**sirg1i1={Range[0,200],Mean[sirg1i1[[All,1,All,2]]]}^T,**  
   |диапазон |среднее значе... |всё |всё  
**{Range[0,200],Mean[sirg1i1[[All,2,All,2]]]}^T,**  
   |диапазон |среднее значе... |всё |всё  
**{Range[0,200],Mean[sirg1i1[[All,3,All,2]]]}^T};\*)  
   |диапазон |среднее значе... |всё |всё**

In[44]:= **sirg2i1 = sirdata[[2]];**  
 (\***sirg2i1=Table[SIR[g2,1,0.005,0.03,200],{l,1,100}];**  
   |таблица значений  
**sirg2i1={Range[0,200],Mean[sirg2i1[[All,1,All,2]]]}^T,**  
   |диапазон |среднее значе... |всё |всё  
**{Range[0,200],Mean[sirg2i1[[All,2,All,2]]]}^T,**  
   |диапазон |среднее значе... |всё |всё  
**{Range[0,200],Mean[sirg2i1[[All,3,All,2]]]}^T};\*)  
   |диапазон |среднее значе... |всё |всё**

```
In[45]:= ListLinePlot[{sirg1i1[[1]], sirg2i1[[1]], sirg1i1[[2]], sirg2i1[[2]], sirg1i1[[3]], sirg2i1[[3]]},  
| линейный график данных  
PlotStyle -> {Blue, Directive[Blue, Dashed], Red,  
| стиль графика | синий | директива | синий | штрихов... | красный  
Directive[Red, Dashed], Green, Directive[Green, Dashed]}, PlotLegends ->  
| директива | кр... | штрихов... | зелё... | директива | зелё... | штрихово... | легенды графика  
Placed[{"Susceptible (g1)", "Susceptible (g2)", "Infected (g1)", "Infected (g2)",  
| расположен  
"Recovered (g1)", "Recovered (g2)"}, Below], AxesLabel -> {"Days", "Count"},  
| снизу | обозначения на осях | встречаемость  
PlotLabel -> "SIR, <k>=59.8267, i<sub>0</sub>=0.0013, β=0.005, μ=0.03", ImageSize -> Large]  
| пометка графика | размер изоб... | крупный
```



Для сети раздробленной на большее число блоков будет более низкий пик по числу зараженных. Это нивелируется увеличением начального числа зараженных.

```
In[46]:= sirg1i50 = sirdata[[3]];  
(*sirg1i50=Table[SIR[g1,50,0.005,0.03,200],{1,1,100}];  
| таблица значений  
sirg1i50={Range[0,200],Mean[sirg1i50[[All,1,All,2]]]}^T,  
| диапазон | среднее значение | всё | всё  
{Range[0,200],Mean[sirg1i50[[All,2,All,2]]]}^T,  
| диапазон | среднее значение | всё | всё  
{Range[0,200],Mean[sirg1i50[[All,3,All,2]]]}^T};*)  
| диапазон | среднее значение | всё | всё
```

```
In[47]:= sirg2i50 = sirdata[[4]];
(*sirg2i50=Table[SIR[g2,50,0.005,0.03,200],{l,1,100}];*
таблица значений
sirg2i50={ {Range[0,200],Mean[sirg2i50[[All,1,All,2]]]}^T,
диапазон среднее значение всё всё
{Range[0,200],Mean[sirg2i50[[All,2,All,2]]]}^T,
диапазон среднее значение всё всё
{Range[0,200],Mean[sirg2i50[[All,3,All,2]]]}^T};*)
диапазон среднее значение всё всё

In[48]:= ListLinePlot[
линейный график данных
{sirg1i50[[1]], sirg2i50[[1]], sirg1i50[[2]], sirg2i50[[2]], sirg1i50[[3]], sirg2i50[[3]]},
PlotStyle → {Blue, Directive[Blue, Dashed], Red, Directive[Red, Dashed],
стиль графика синий директива синий штрихов...  
кр... директива красный штриховой пунктир
Green, Directive[Green, Dashed]}, PlotLegends →
зелёный директива зелёный штрихово...  
легенды графика
Placed[{ "Susceptible (g1)", "Susceptible (g2)", "Infected (g1)", "Infected (g2)",
расположен
"Recovered (g1)", "Recovered (g2)"}, Below], AxesLabel → {"Days", "Count"},
снизу обозначения на осях встречаемость
PlotLabel → "SIR, <k>=59.8267, i_0=0.0667, β=0.005, μ=0.03", ImageSize → Large]
пометка графика размер изображения крупный

Out[48]= SIR, <k>=59.8267, i_0=0.0667, β=0.005, μ=0.03



| Days | Susceptible (g1) | Infected (g1) | Recovered (g1) | Susceptible (g2) | Infected (g2) | Recovered (g2) |
|------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|
| 0    | 750              | 10            | 0              | 10               | 0             | 0              |
| 10   | 650              | 50            | 0              | 50               | 0             | 0              |
| 20   | 550              | 250           | 0              | 250              | 0             | 0              |
| 30   | 450              | 480           | 0              | 480              | 0             | 0              |
| 40   | 350              | 250           | 0              | 250              | 0             | 0              |
| 50   | 250              | 150           | 0              | 150              | 0             | 0              |
| 60   | 180              | 80            | 0              | 80               | 0             | 0              |
| 70   | 130              | 40            | 0              | 40               | 0             | 0              |
| 80   | 90               | 20            | 0              | 20               | 0             | 0              |
| 90   | 60               | 10            | 0              | 10               | 0             | 0              |
| 100  | 40               | 5             | 0              | 5                | 0             | 0              |
| 110  | 25               | 2             | 0              | 2                | 0             | 0              |
| 120  | 15               | 1             | 0              | 1                | 0             | 0              |
| 130  | 10               | 0.5           | 0              | 0.5              | 0             | 0              |
| 140  | 5                | 0.2           | 0              | 0.2              | 0             | 0              |
| 150  | 3                | 0.1           | 0              | 0.1              | 0             | 0              |
| 160  | 2                | 0.05          | 0              | 0.05             | 0             | 0              |
| 170  | 1.5              | 0.02          | 0              | 0.02             | 0             | 0              |
| 180  | 1                | 0.01          | 0              | 0.01             | 0             | 0              |
| 190  | 0.5              | 0.005         | 0              | 0.005            | 0             | 0              |
| 200  | 0.2              | 0.002         | 0              | 0.002            | 0             | 0              |


```

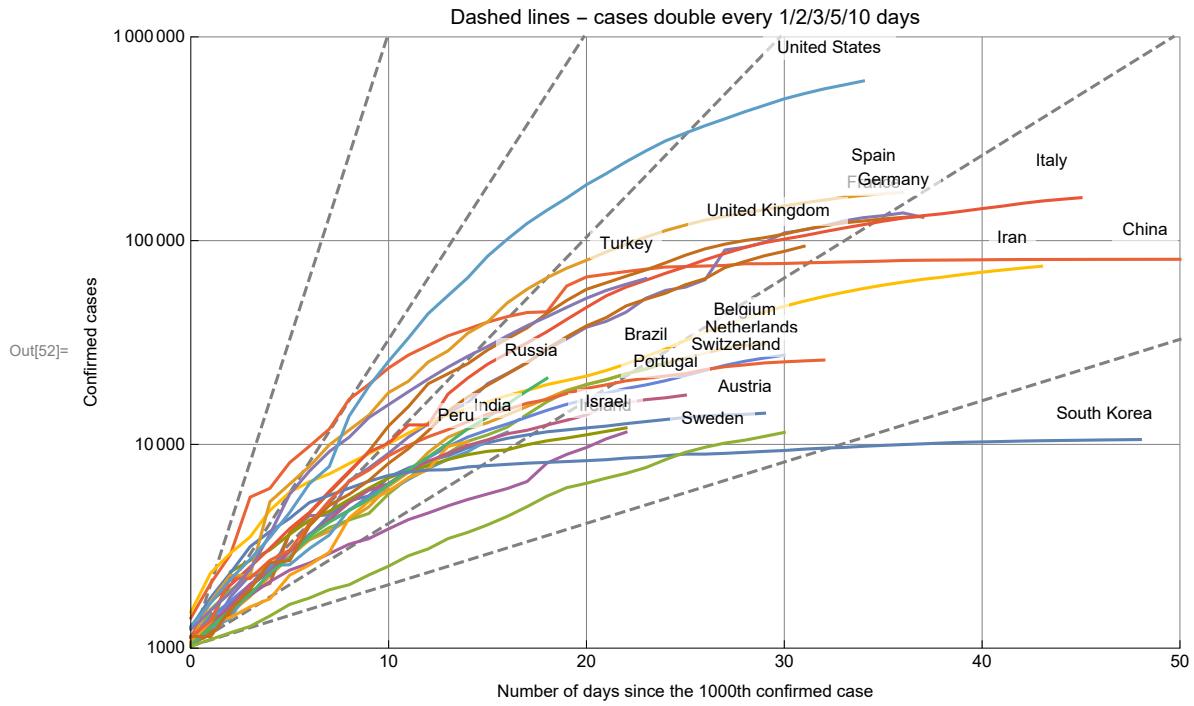
## 4. Моделирование распространения Covid-19

По странам с числом выявленных случаев более 10000

```
In[49]:= c = tsc[Select[#\[1] == "" &][Select[Dimensions[tsc][2]] \geq 10000 &];
c = SortBy[
Append[Replace[Table[{c[i, 2], Select[Normal[Normal[c[i]]][5 ;; -1, 2], # \geq 1000 &]}, {i, 1, Length[c]}], Missing["Unrecognized", "Korea, South"] \rightarrow
{South Korea COUNTRY, 2}, {China COUNTRY, 2}], {Select[Total[Normal[Normal[tsc[Select[#\[2] == China COUNTRY &]]][All, 5 ;; -1]]][All, All, 2]], # \geq 1000 &}][1 ;; 51]], First];
c = Table[{c[[i, 1], {Range[0, Length[c[[i, 2]]] - 1], c[[i, 2]]}^T}, {i, 1, Length[c]}]];

```

```
In[52]:= Show[LogPlot[{2k+10, 22+k+10, 23+k+10, 25+k+10, 210+k+10}, {k, 0, 50}, PlotStyle -> Directive[Gray, Dashed], Axes -> False, Frame -> {{True, False}, {True, False}}, GridLines -> {{10, 20, 30, 40, 50}, {10000, 100000, 1000000}}, FrameTicks -> {{0, 10, 20, 30, 40, 50}, {1000, 10000, 100000, 1000000}}, FrameLabel -> {"Number of days since the 1000th confirmed case", "Confirmed cases"}, GridLinesStyle -> Directive[Gray, Thin], PlotRange -> {{0, 50}, {1000, 1000000}}], ListLogPlot[c[[All, 2]], Joined -> True, PlotLabels -> Placed[c[[All, 1]], Above], PlotRange -> {{0, 50}, {1000, 1000000}}], PlotLabel -> "Dashed lines - cases double every 1/2/3/5/10 days", ImageSize -> Large]
```



## Модель SIRD

```
In[53]:= SIRDi[β_, μ_, σ_, s0_, i0_, r0_, d0_, t_] :=
NestList[{#[[1]] (1 - β #[[2]]), #[[2]] (1 + β #[[1]] - μ - σ), #[[3]] + μ #[[2]], #[[4]] + σ #[[2]]} &, {s0, i0, r0, d0}, t - 1]
```

## По провинции Хубэй

```
In[54]:= hubei = Normal[Normal[covdata[Select[#\[3] == "Hubei" &]][All, 6 ;; 8]]];
          норма… нормальное выр… выбрать всё

In[55]:= hsθ = 
$$\frac{hubei[-1, 1, 2] - hubei[1, 1, 2]}{hubei[-1, 1, 2]},$$


In[56]:= hiθ = 
$$\frac{hubei[1, 1, 2] - hubei[1, 2, 2] - hubei[1, 3, 2]}{hubei[-1, 1, 2]},$$


In[57]:= hrθ = 
$$\frac{hubei[1, 3, 2]}{hubei[-1, 1, 2]},$$

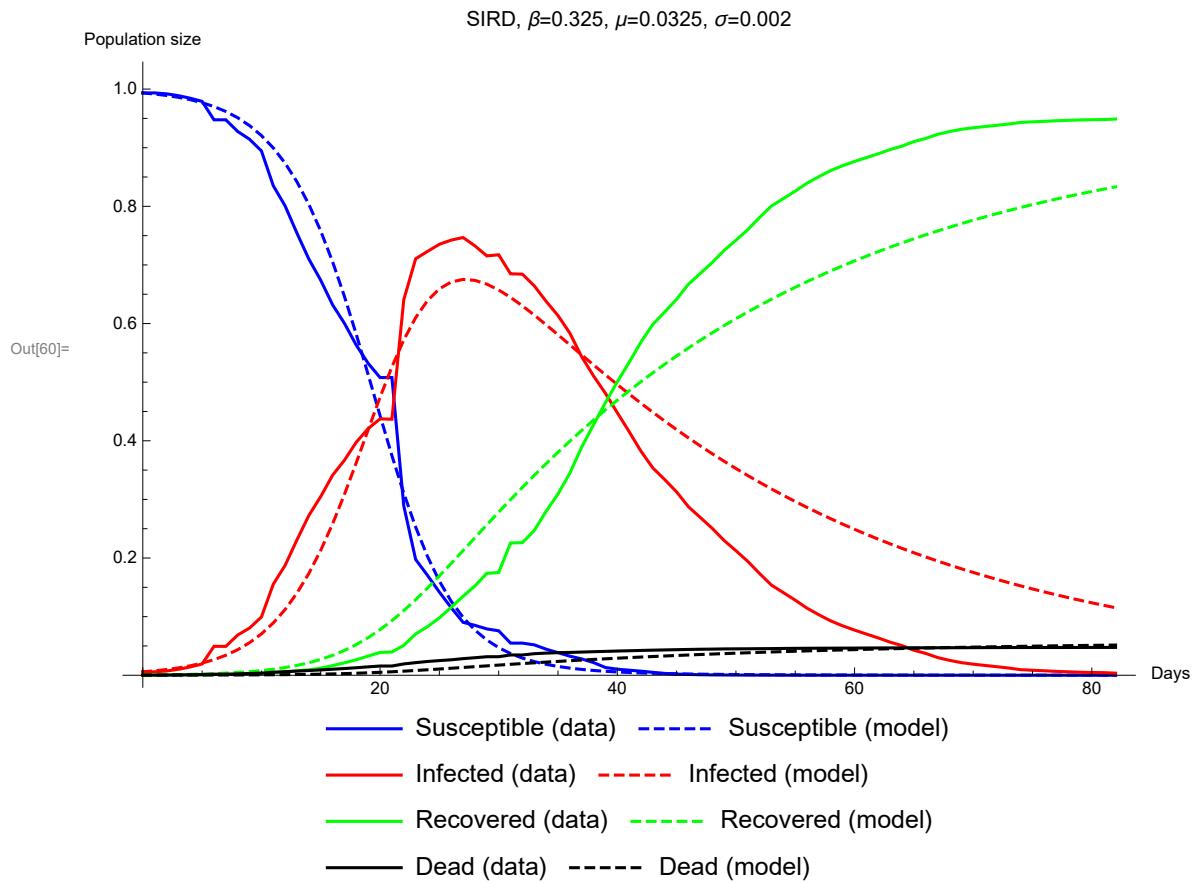

In[58]:= hdθ = 
$$\frac{hubei[1, 2, 2]}{hubei[-1, 1, 2]},$$

```

## Совпадение по пику зараженных

```
In[59]:= hv1 = SIRDi[0.325, 0.0325, 0.002, hsθ, hiθ, hrθ, hdθ, Length[hubei]];
          длина

In[60]:= ListLinePlot[{ {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[-1, 1, 2] - hubei[All, 1, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }τ, линейный график… диапазон длина
                    {Range[0, Length[hubei] - 1], hv1[All, 1]}τ, диапазон длина всё
                    {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[All, 1, 2] - hubei[All, 2, 2] - hubei[All, 3, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }τ, диапазон длина
                    {Range[0, Length[hubei] - 1], hv1[All, 2]}τ, диапазон длина всё
                    {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[All, 3, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }τ, диапазон длина
                    {Range[0, Length[hubei] - 1], hv1[All, 3]}τ, диапазон длина всё
                    {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[All, 2, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }τ, диапазон длина
                    {Range[0, Length[hubei] - 1], hv1[All, 4]}τ, диапазон длина всё
                    PlotStyle → {Blue, Directive[Blue, Dashed], Red, Directive[Red, Dashed], синий директива синий штрихов… кр… директива кр… штриховой пунктир
                    Green, Directive[Green, Dashed], Black, Directive[Black, Dashed]}, директива зелё… штрихов… чёрный директива чёрный штриховой пунктир
                    PlotLegends → Placed[{"Susceptible (data)", "Susceptible (model)", расположен
                    "Infected (data)", "Infected (model)", "Recovered (data)", "Recovered (model)", "Dead (data)", "Dead (model)"}, Below], AxesLabel → {"Days", "Population size"}, снизу обозначения на осях
                    PlotLabel → "SIRD, β=0.325, μ=0.0325, σ=0.002", ImageSize → Large]
          пометка графика размер изоб… крупный
```



## Совпадение по времени окончания

```
In[61]:= hv2 = SIRDi[0.6, 0.06, 0.003, hs0, hi0, hr0, hd0, Length[hubei]];
```

```
In[62]:= ListLinePlot[{{Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[-1, 1, 2] - hubei[All, 1, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }T,  

  | линейный график... | диапазон | длина  

  {Range[0, Length[hubei] - 1], hv2[All, 1]}T,  

  | диапазон | длина | всё  

  {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[All, 1, 2] - hubei[All, 2, 2] - hubei[All, 3, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }T,  

  | диапазон | длина  

  {Range[0, Length[hubei] - 1], hv2[All, 2]}T,  

  | диапазон | длина | всё  

  {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[All, 3, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }T,  

  | диапазон | длина  

  {Range[0, Length[hubei] - 1], hv2[All, 3]}T,  

  | диапазон | длина | всё  

  {Range[0, Length[hubei] - 1],  $\frac{hubei[All, 2, 2]}{hubei[-1, 1, 2]}$ }T,  

  | диапазон | длина  

  {Range[0, Length[hubei] - 1], hv2[All, 4]}T,  

  | диапазон | длина | всё  

  PlotStyle → {Blue, Directive[Blue, Dashed], Red, Directive[Red, Dashed],  

    | синий | директива | синий | штрихов... | кр... | директива | кр... | штриховой пунктир  

    Green, Directive[Green, Dashed], Black, Directive[Black, Dashed]},  

    | директива | зелё... | штрихов... | чёрный | директива | чёрный | штриховой пунктир  

  PlotLegends → Placed[{"Susceptible (data)", "Susceptible (model)",  

    | расположен  

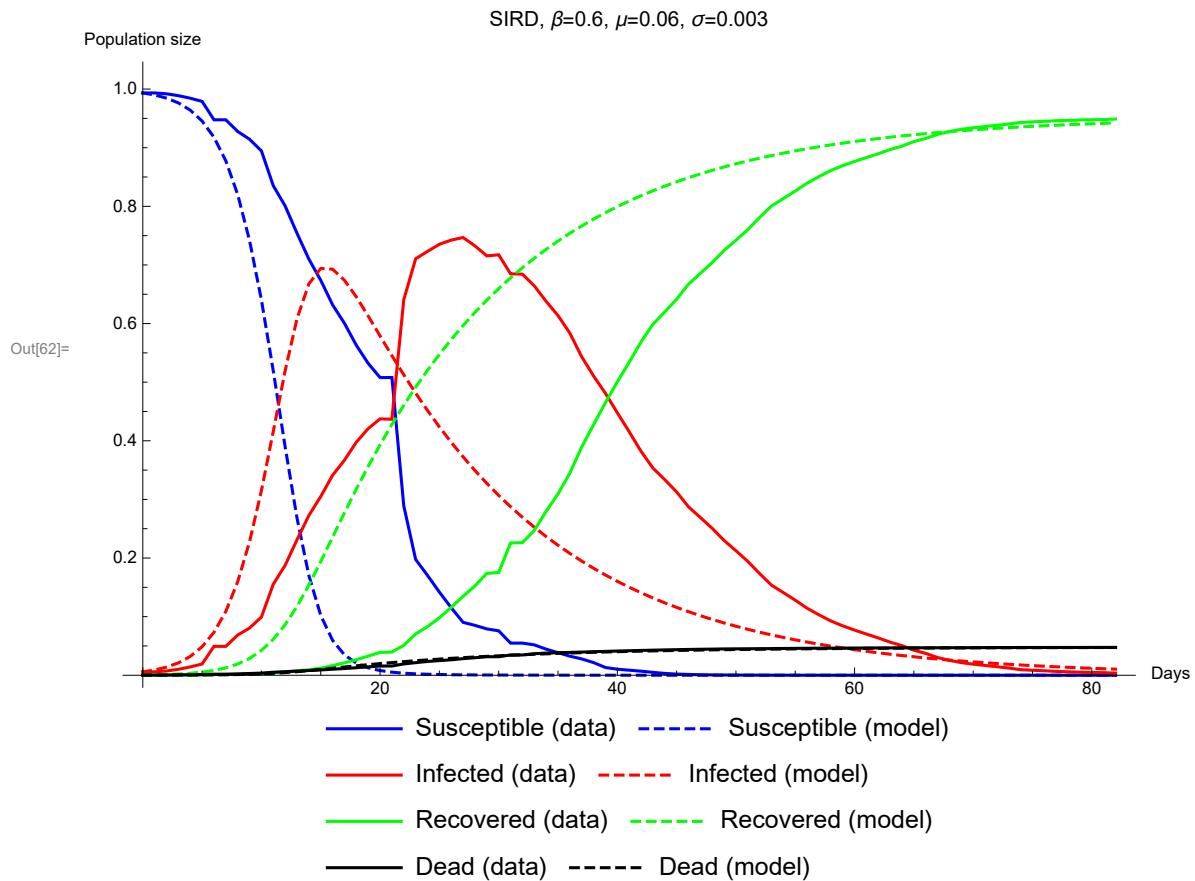
    "Infected (data)", "Infected (model)", "Recovered (data)", "Recovered (model)",  

    "Dead (data)", "Dead (model)"}, Below], AxesLabel → {"Days", "Population size"},  

    | снизу | обозначения на осях  

  PlotLabel → "SIRD,  $\beta=0.6$ ,  $\mu=0.06$ ,  $\sigma=0.003$ ", ImageSize → Large]  

  | пометка графика | размер изоб... | крупный
```



## По России

```
In[63]:= rusdata = {Normal[Normal[tsc[Select[#\[2] == Russia COUNTRY &]]][1, 5 ;; -1, 2],  
  Normal[Normal[tsr[Select[#\[2] == Russia COUNTRY &]]][1, 5 ;; -1, 2],  
  Normal[Normal[tsd[Select[#\[2] == Russia COUNTRY &]]][1, 5 ;; -1, 2]];  
rusdata[[1]] = rusdata[[1]] - rusdata[[2]] - rusdata[[3]];  
rusdata = Select[rusdata^T, #[[1]] > 100 &]^T;
```

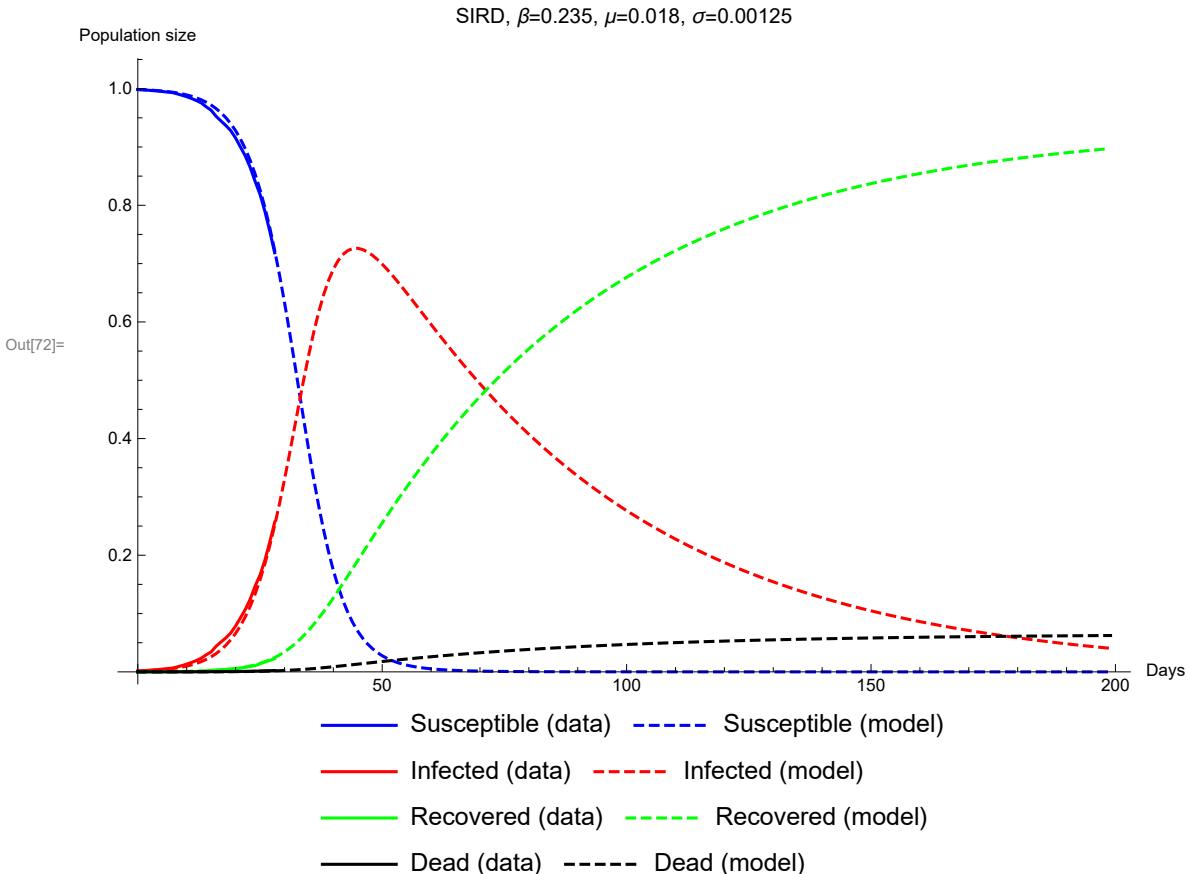
$$S_0 = 75\,000$$

```
In[66]:= rdv1 = N[Prepend[rusdata, 75000 - Total[rusdata]]];  
In[67]:= rds0v1 = rdv1[[1, 1]];  
In[68]:= rdi0v1 = rdv1[[2, 1]];  
In[69]:= rdr0v1 = rdv1[[3, 1]];  
In[70]:= rdd0v1 = rdv1[[4, 1]];
```

```
In[71]:= rmv1 = SIRDi[0.235, 0.018, 0.00125, rds0v1, rdi0v1, rdr0v1, rdd0v1, 200];

In[72]:= ListLinePlot[{Range[0, Length[rdv1[[1]]] - 1], rdv1[[1]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv1] - 1], rmv1[[All, 1]]}^T, {Range[0, Length[rdv1[[1]]] - 1], rdv1[[2]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv1] - 1], rmv1[[All, 2]]}^T, {Range[0, Length[rdv1[[1]]] - 1], rdv1[[3]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv1] - 1], rmv1[[All, 3]]}^T, {Range[0, Length[rdv1[[1]]] - 1], rdv1[[4]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv1] - 1], rmv1[[All, 4]]}^T},
 PlotStyle -> {Blue, Directive[Blue, Dashed], Red, Directive[Red, Dashed],
  Green, Directive[Green, Dashed], Black, Directive[Black, Dashed]},
 PlotLegends -> Placed[{"Susceptible (data)", "Susceptible (model)",
  "Infected (data)", "Infected (model)", "Recovered (data)", "Recovered (model)",
  "Dead (data)", "Dead (model)"}, Below], AxesLabel -> {"Days", "Population size"},
 PlotLabel -> "SIRD,  $\beta=0.235$ ,  $\mu=0.018$ ,  $\sigma=0.00125$ ", ImageSize -> Large]

```



$$S_0 = 150\,000$$

```
In[73]:= rdv2 = N[Prepend[rusdata, 150000 - Total[rusdata]]];  
          Численное приближение 150000  
  
In[74]:= rds0v2 = rdv2[[1, 1]];  
  
In[75]:= rdi0v2 = rdv2[[2, 1]];  
  
In[76]:= rdr0v2 = rdv2[[3, 1]];  
  
In[77]:= rdd0v2 = rdv2[[4, 1]];  
  
In[78]:= rmv2 = SIRDi[0.23, 0.02, 0.0017, rds0v2, rdi0v2, rdr0v2, rdd0v2, 200];
```

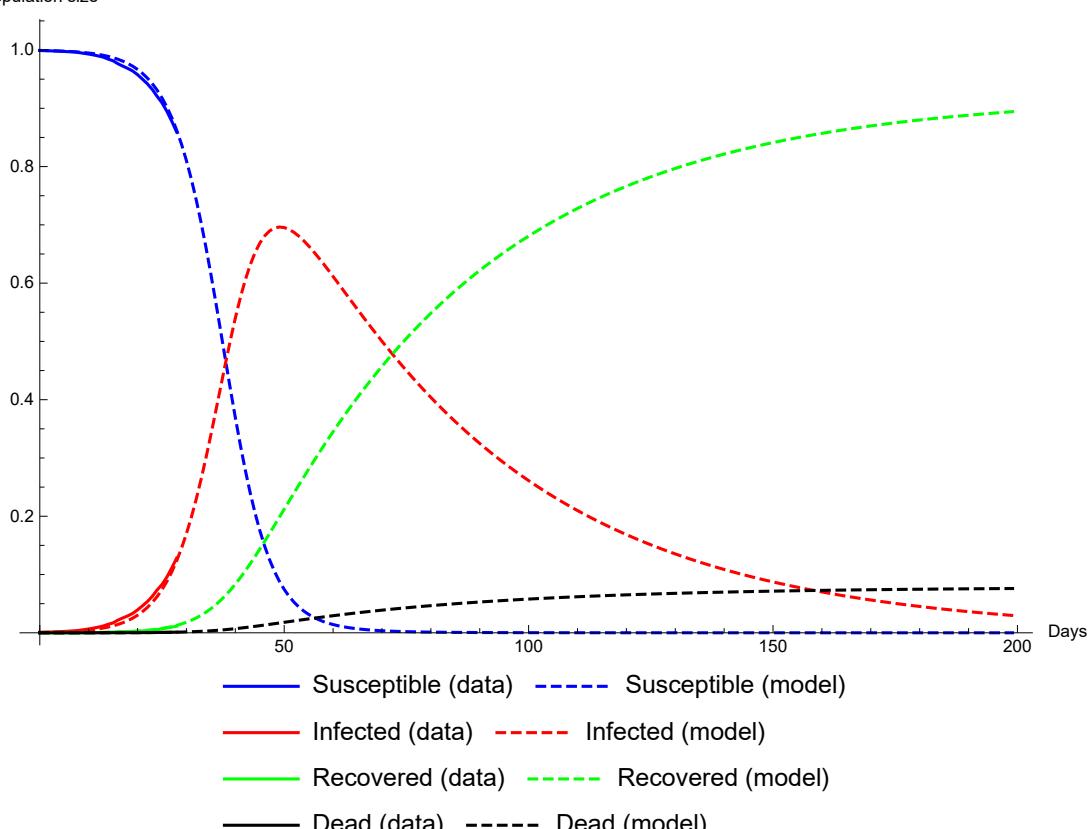
```
In[79]:= ListLinePlot[{{Range[0, Length[rdv2[[1]]] - 1], rdv2[[1]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv2] - 1], rmv2[[All, 1]]}^T, {Range[0, Length[rdv2[[1]]] - 1], rdv2[[2]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv2] - 1], rmv2[[All, 2]]}^T, {Range[0, Length[rdv2[[1]]] - 1], rdv2[[3]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv2] - 1], rmv2[[All, 3]]}^T, {Range[0, Length[rdv2[[1]]] - 1], rdv2[[4]]}^T,
  {Range[0, Length[rmv2] - 1], rmv2[[All, 4]]}^T},
 PlotStyle -> {Blue, Directive[Blue, Dashed], Red, Directive[Red, Dashed],
  Green, Directive[Green, Dashed], Black, Directive[Black, Dashed]},
 PlotLegends -> Placed[{"Susceptible (data)", "Susceptible (model)",
  "Infected (data)", "Infected (model)", "Recovered (data)", "Recovered (model)",
  "Dead (data)", "Dead (model)"}, Below], AxesLabel -> {"Days", "Population size"},
 PlotLabel -> "SIRD,  $\beta=0.23$ ,  $\mu=0.02$ ,  $\sigma=0.0017$ ", ImageSize -> Large]

```

Population size

SIRD,  $\beta=0.23$ ,  $\mu=0.02$ ,  $\sigma=0.0017$ 

Out[79]=



# Моделирование на основе сети аэропортов

Чистка базы данных аэропортов. Остаются только валидные коды IATA

```
In[80]:= airports = airports [Select[#\[If]5] == !="" && StringCases[#, \[LeftDoubleBracket]5\[RightDoubleBracket], DigitCharacter ..] == {} &]];
```

## Координаты аэропорта по коду

```
In[81]:= codecoords = Dispatch[Normal[airports[All, #\[If]5] \[Rule] GeoPosition[{#[[7]], #[[8]]}] &]];
```

## Связи между аэропортами

```
In[82]:= links = Normal[routes[All, {3, 5}]] /. codecoords;  
          \| нормальное вы... \| все  
links = Cases[links, {_GeoPosition, _GeoPosition}];  
          \| случаи по образцу
```

Визуализация связей между аэропортами. Выбраны 15000 случайных связей

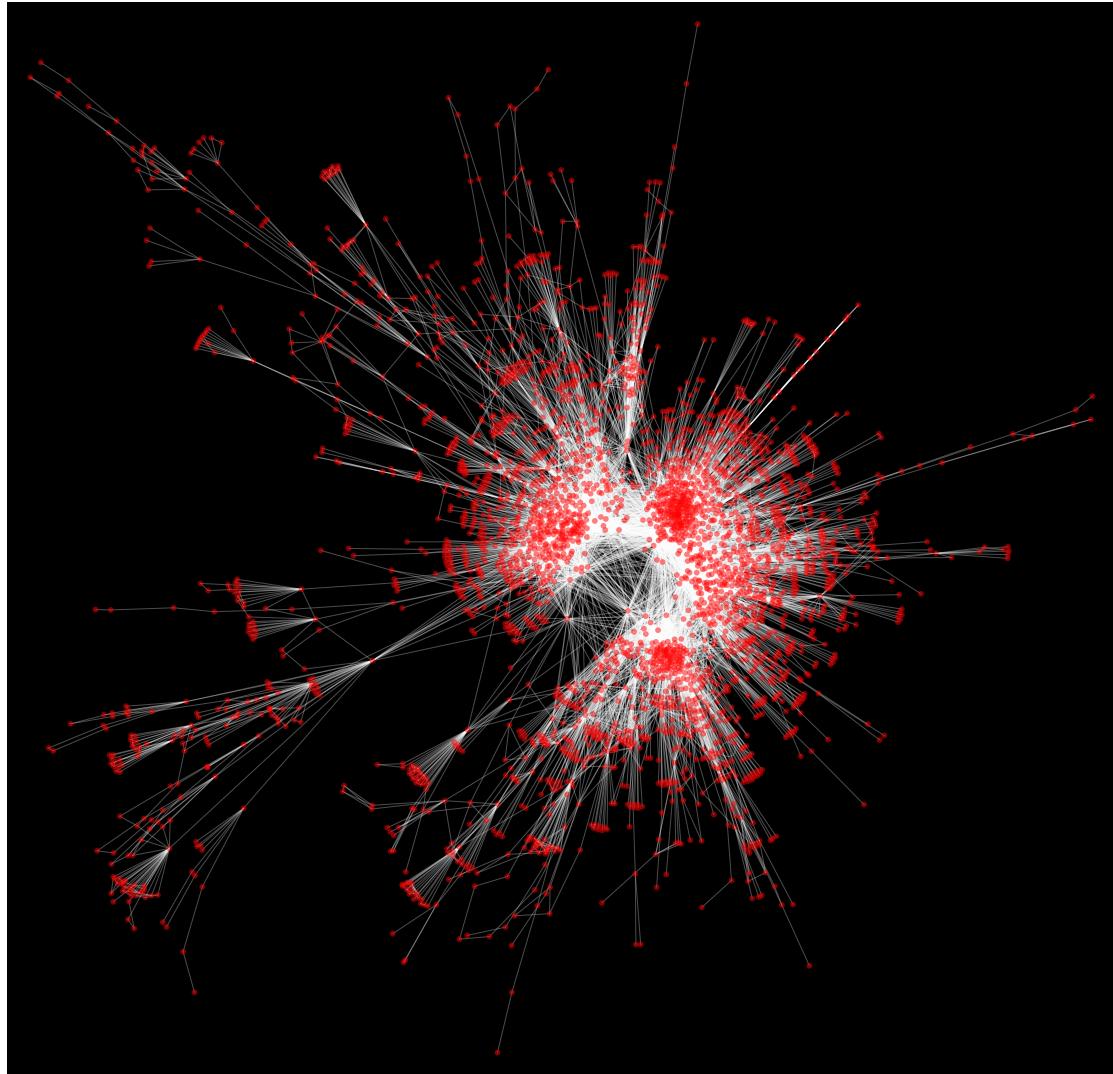
```
In[84]:= GeoGraphics[{{Red, Opacity[0.3], GeoPath[RandomChoice[links, 15000], "Geodesic"]}},  
GeoBackground -> None, Background -> Black, ImageSize -> Large,  
GeoProjection -> "Mercator", GeoRange -> {{-65, 85}, {-180, 180}}]  
Out[84]=
```



Граф на основе связей между аэропортами

```
In[85]:= g = Graph[UndirectedEdge @@@ Union[Sort /@ #] &@Normal[routes[All, {3, 5}]];  
g = Subgraph[g, First[ConnectedComponents[g]],  
VertexShapeFunction -> "Point", VertexStyle -> Directive[Opacity[0.5], Red],  
EdgeShapeFunction -> "Line", EdgeStyle -> Directive[Opacity[0.3], White],  
Background -> Black, PerformanceGoal -> "Speed"];  
Out[85]=
```

In[87]:= **GraphPlot[g, ImageSize → Large]**  
 визуализация ... размер изоб... крупный



Out[87]=

Общее количество потенциальных пассажиров в каждом аэропорту

In[88]:= **pop = ConstantArray[1., VertexCount[g]];**  
 постоянный массив      |число вершин

In[89]:= **meanNN = AdjacencyMatrix[g].pop;**  
 матрица смежности

Список связных аэропортов для каждого аэропорта

In[90]:= **sumind = Flatten[Most[ArrayRules[AdjacencyMatrix[g][#, All]]][All, 1]] & /@**  
 |уплотнить|бо... |правила для... |матрица смежности      |всё      |всё  
**Range[VertexCount[g]];**  
 |диап... |число вершин

Параметры модели

In[91]:=  **$\rho = 0.2$ ; (\*Вероятность заражения\*)**

```
In[92]:= λ = 0.1; (*Вероятность выздоровления*)
```

```
In[93]:= μ = 0.05; (*Коэффициент миграции*)
```

## Инициализация. Старт с Уханя

```
In[94]:= {sus[1, #] = 1., inf[1, #] = rec[1, #] = 0.} & /@ Range[VertexCount[g]];
          диап... | число вершин
sus[1, Position[VertexList[g], "WUH"][[1, 1]]] = 0.95;
          |позиция п... |список вершин графа
inf[1, Position[VertexList[g], "WUH"][[1, 1]]] = 0.05;
          |позиция п... |список вершин графа
rec[1, Position[VertexList[g], "WUH"][[1, 1]]] = 0.;
          |позиция п... |список вершин графа
```

## SIR модель

```
In[98]:= sus[i_, j_] := sus[i, j] = (1 - μ) (sus[i - 1, j] - ρ sus[i - 1, j] × inf[i - 1, j]) +
          μ Total[Table[sus[i - 1, sumind[[j, u]]] pop[sumind[[j, u]]],
          |сумм... |таблица значений
          {u, 1, Length[sumind[[j]]]}]] / meanNN[[j]];
          |длина
inf[i_, j_] := inf[i, j] = (1 - μ) (inf[i - 1, j] + ρ sus[i - 1, j] × inf[i - 1, j] -
          λ inf[i - 1, j]) + μ Total[Table[inf[i - 1, sumind[[j, u]]] pop[sumind[[j, u]]],
          |сумм... |таблица значений
          {u, 1, Length[sumind[[j]]]}]] / meanNN[[j]];
          |длина
rec[i_, j_] := rec[i, j] = (1 - μ) (rec[i - 1, j] + λ inf[i - 1, j]) +
          μ Total[Table[rec[i - 1, sumind[[j, u]]] pop[sumind[[j, u]]],
          |сумм... |таблица значений
          {u, 1, Length[sumind[[j]]]}]] / meanNN[[j]];
          |длина
```

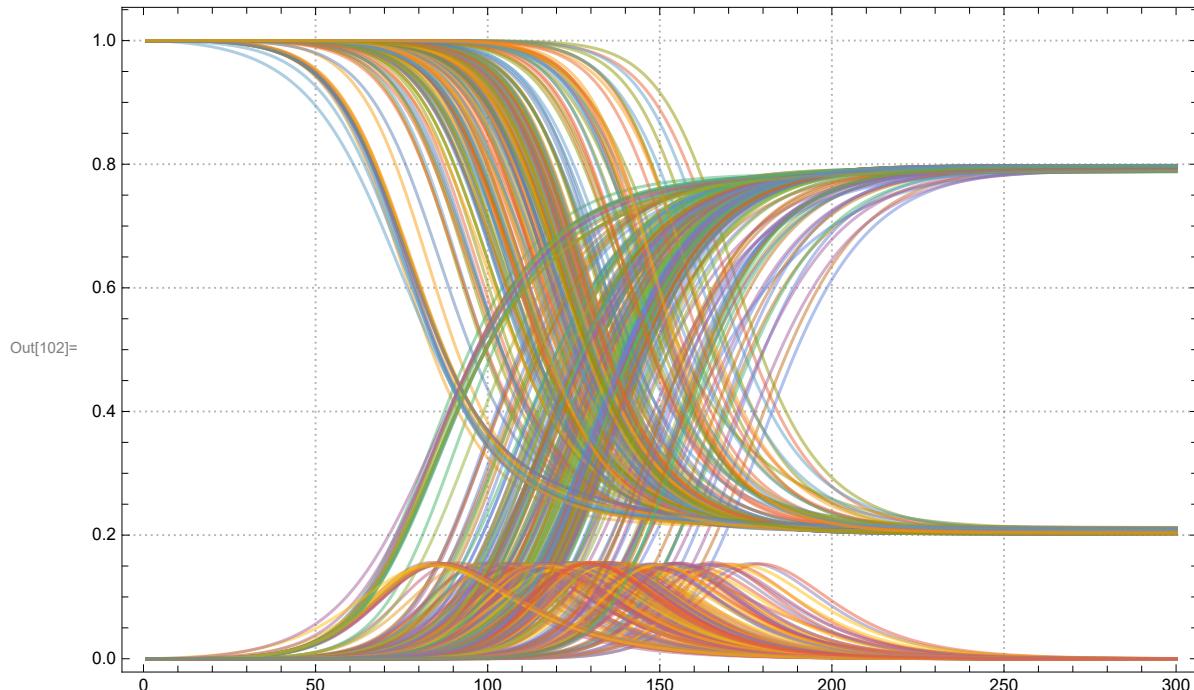
## Моделирование

```
In[101]:= tcourse =
ParallelTable[{sus[i, j], inf[i, j], rec[i, j]}, {i, 1, 300}, {j, 1, VertexCount[g]}];
          |параллельное табулирование |число вершин
```

## SIR кривые для 200 случайных аэропортов

```
In[102]:= ListLinePlot[Flatten[Table[{tcourse[[All, j, 1]], tcourse[[All, j, 2]], tcourse[[All, j, 3]]}, {j, RandomSample[Range[VertexCount[g]], 200]}], 1], PlotTheme -> "Detailed", PlotRange -> All, PlotStyle -> Opacity[0.5], ImageSize -> Large]
```

Линейный график | Уплотнить таблицу значений | Всё | Всё | Всё  
Случайная выборка | Диапазон | Число вершин | Тематический стиль графика  
Отображаемое | Всё | Стиль графика | Прозрачность | Размер изображения | Крупный



## Максимальная доля больных среди всех аэропортов

```
In[103]:= maxsick = Max[tcourse[[All, All, 2]]];
```

Максимум | Всё | Всё

## Координаты аэропортов

```
In[104]:= airportcoords = VertexList[g] /. codecoords;
```

Список вершин графа

## Карта заражения в зависимости от времени

```
In[105]:= TableForm@  

ParallelTable[GeoRegionValuePlot[Thread[airportcoords -> tcourse[[k, All, 2]]/maxsick],  

ColorFunction -> "Rainbow", ImageSize -> Large, PlotStyle -> AbsolutePointSize[3],  

PlotLegends -> None], {k, {50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225}}]
```

Табличная форма  
Параллельное т... | Фоновая картограмма | Нанести | Всё  
Функция оцвечивания | Размер изображения | Крупный | Стиль графика | Абсолютный размер точки  
Легенды графика | Ни одного/отсутствует

Out[105]/TableForm=

