

# Моделирование динамики ментальных расстройств во время пандемии COVID-19: агентно-ориентированный подход

**Санникова Татьяна Евгеньевна, Романюха Алексей  
Алексеевич, Новиков Константин Александрович**

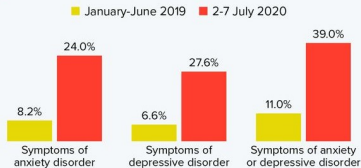
Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука,  
РАН, Москва



# Введение

## Pandemic causes spike in anxiety & depression

% of US adults showing symptoms of anxiety and/or depressive disorder\*



\* Based on self-reported frequency of anxiety and depression symptoms. They are derived from responses to the first two questions of the eight-item Patient Health Questionnaire (PHQ-2) and the seven-item Generalized Anxiety Disorder (GAD-2) scale.

Sources: CDC, NCHS, U.S. Census Bureau

Otu et al. *Int J Ment Health Syst* (2020) 14:38  
<https://doi.org/10.1186/s13033-020-00371-w>

International Journal of  
Mental Health Systems

COMMENTARY

Open Access



## Mental health and psychosocial well-being during the COVID-19 pandemic: the invisible elephant in the room

Akaninyene Otu<sup>1,2</sup>, Carlo Handy Charles<sup>3,4</sup> and Sanni Yaya<sup>1,5\*</sup>

### Abstract


The novel SARS-CoV-2 coronavirus pandemic has emerged as a truly formidable threat to humankind's existence. In the wake of the massively volatile global situation created by COVID-19, it is vital to recognize that the trauma it causes can affect people in different ways, at the individual and collective levels, resulting in mental health challenges for many. Although mental health problems account for about one-third of the world's disability among adults, these issues tend to be under-addressed and overlooked in society and are closely associated with deadly disease outbreaks. In large scale outbreaks, the mental health problems experienced are not limited to infected persons but also extend to involve frontline health workers and community members alike. While it is crucial to limit the spread of infections during an outbreak, previous experience suggests that mental and behavioural health interventions should be fully included in public health response strategies.

**Keywords:** Mental Health, Psychosocial well-being, Covid-19, Pandemic, Outbreak, Health inequalities

# Трудности при моделировании популяционной динамики ментальных расстройств:

- отсутствие данных на популяционном уровне
- данные, собранные при помощи опросников
- популяционная неоднородность по уровню уязвимости при стрессе<sup>1</sup>
- различные типы стресса
  - негативная информация
  - тревога о собственном здоровье и о здоровье близких
  - социальная изоляция
- индивидуальная динамика симптомов (адаптация к постоянному стрессу, развитие невосприимчивости)

---

<sup>1</sup>**Robinson E et al.** A systematic review and meta-analysis of longitudinal cohort studies comparing mental health before versus during the COVID-19 pandemic in 2020. *J Affect Disord* 2022; 296: 567–76. 

**Цель:** Оценить потери здоровья популяции при пандемии COVID-19, связанные с коронавирусной инфекцией и ментальными расстройствами

**Методы:** Агентно-ориентированная модель сопряженной динамики COVID-19 и ментальных расстройств в мегаполисе, построенная на данных о реальной популяции.

Потери здоровья популяции измеряются при помощи меры QALY (the quality-adjusted life years ).

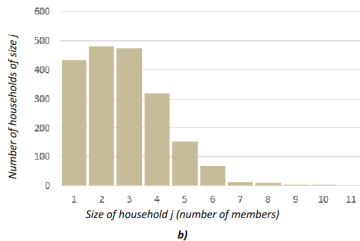
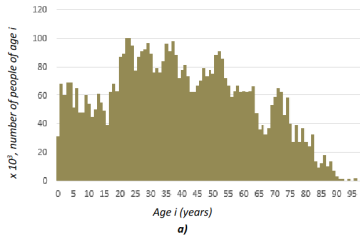
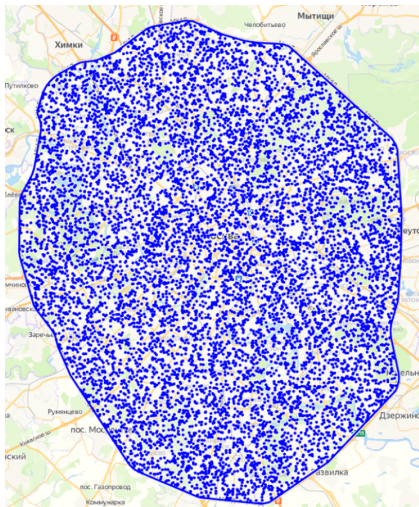
# Агентные модели (Agent based model, ABM)

– это класс компьютерных моделей, в которых «взаимодействия» агентов между собой или со средой моделируются за счет изменения значений атрибутов (свойств) агентов.

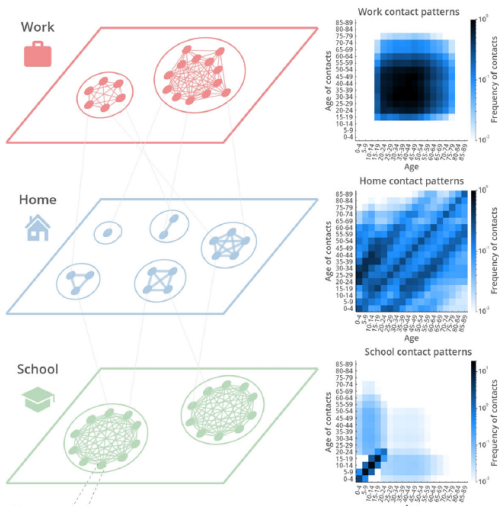
## Атрибуты агентов:

- **постоянные** (пол, возраст, социальный статус, список контактов, уровень уязвимости)
- **меняющиеся**
  - **зависимые:** те, которые меняются в результате взаимодействия с другими агентами (состояние здоровья)
  - **независимые:** те, которые меняются по определенным законам (иммунитет к перенесенному инфекционному заболеванию)

# Создание синтетической популяции г. Москвы (11.92 млн)

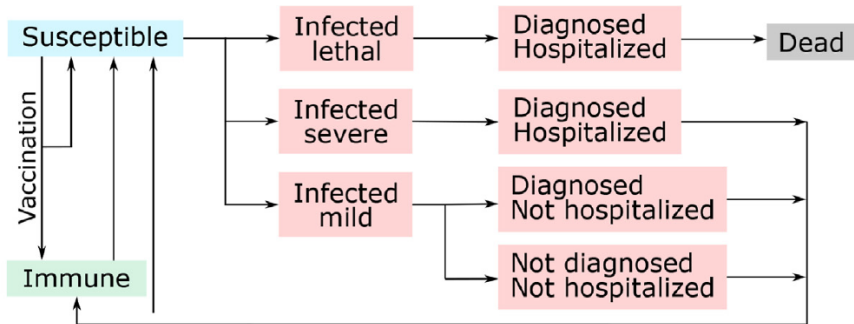


# Создание сетей контактов



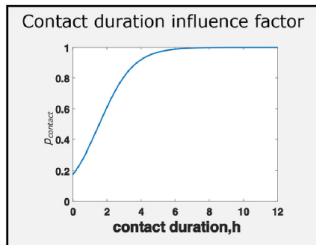
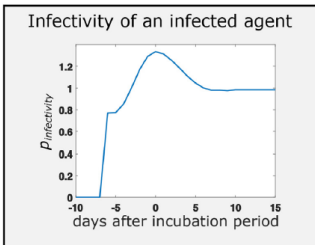
<sup>2</sup>Ajelli M, Litvinova, M. (2017). Estimating contact patterns relevant to the spread of infectious diseases in Russia. *Journal of theoretical biology*, 419, 1-7.

## Блок-схема переходов между состояниями здоровья и болезни агентов

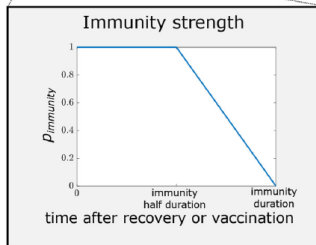
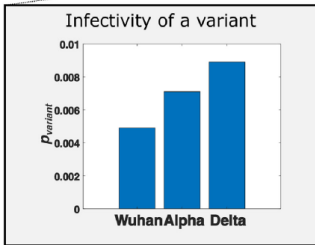




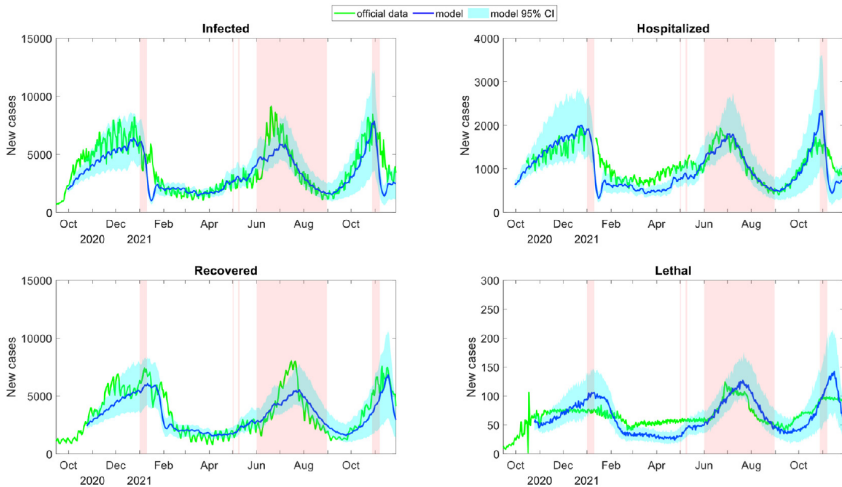
# Вычисление вероятности начала болезни



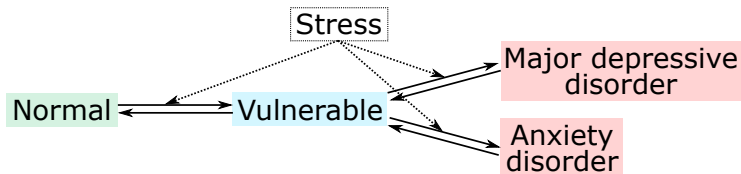
$$P_{inf} = P_{infectivity} \times P_{variant} \times (1 - P_{immunity}) \times P_{contact}$$



# Количество новых случаев COVID-19 в день (Москва, 01.10.2020 – 01.12.2021)



## Блок-схема переходов между состояниями психического здоровья



Вероятность прогрессирования:

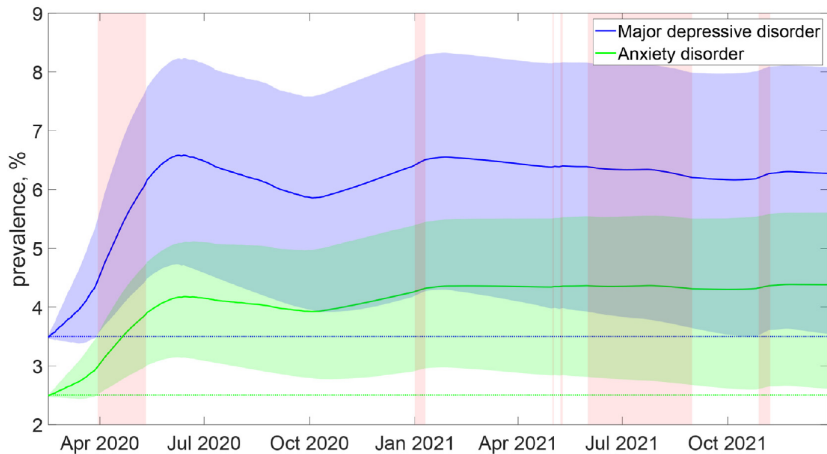
$$p_{mental} = S_i L_i,$$

где  $S_i$  – уровень восприимчивости  $i$ -ого агента к стрессу, а  $L_i$  – психическая нагрузка.

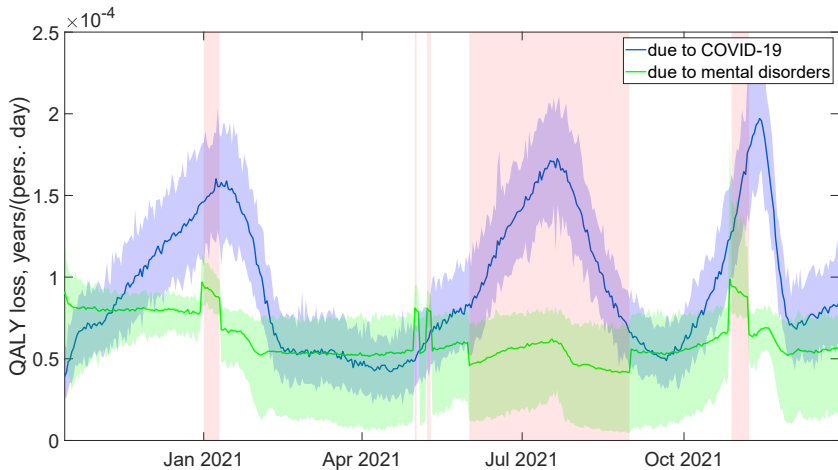
$$L_i = \alpha \frac{M_i - M^*}{\delta_M} + \beta \frac{I_i - I^*}{\delta_I} + L^*,$$

где  $M_i$  – уровень мобильности,  $I_i$  – количество инфицированных родственников  $i$ -ого агента,  $\alpha$ ,  $\beta$  – весовые коэффициенты,  $\delta_M$ ,  $\delta_I$  – нормировочные коэффициенты,  $L^*$  – базовый уровень стресса

## Моделирование распространенности психических расстройств во время пандемии COVID-19 (Москва, 01.03.20–31.12.21)



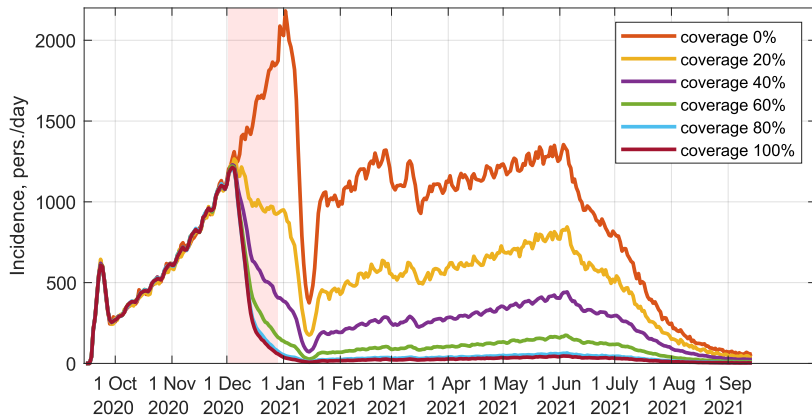
# Потери здоровья (QALY)(Москва, 01.03.20–31.12.21)



## Вычислительный эксперимент

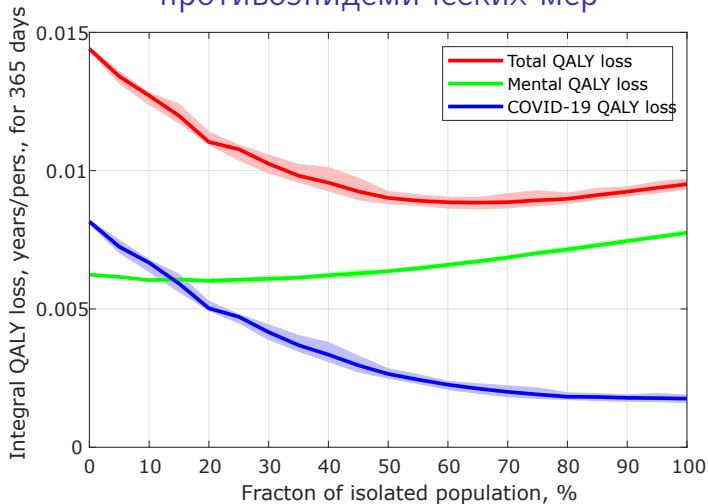
- Дата начала 15 сентября 2020 года
- В начальный момент 10000 инфицированных индивидов равномерно распределены по популяции
- Противоэпидемические меры (локдаун) вводятся через 7 дней после того, как заболеваемость становится больше 1000 новых случаев в день
- Длительность противоэпидемических мер 28 дней
- Доля изолированной популяции: 0%; 20%; 40%; 60%; 80%; 100%.

## Динамика коронавирусной инфекции при различной строгости противоэпидемических мер



Розовая область на графике соответствует периоду локдауна

## Зависимость потерь здоровья от строгости противоэпидемических мер



Средние по популяции потери здоровья на 1 человека за 1 год.



## Заключение

- Разработана и реализована в виде комплекса программ агентная модель сопряженной динамики новой коронавирусной инфекции и ментальных расстройств.
- Потери здоровья популяции, вызванные COVID-19 и ментальными расстройствами, оценены при помощи меры QALY. Показано, что потери здоровья из-за ментальных расстройств могут составлять 39 % от общих потерь здоровья в время пандемии
- Показано, что слишком строгие противоэпидемические меры сопровождаются высокими потерями здоровья из-за ментальных расстройств, при одновременном снижении потерь от коронавирусной инфекции.

Спасибо за внимание!

**Vlad AI, Romanyukha AA, Sannikova TE.** (2023) Circulation of respiratory viruses in the city: towards an agent-based ecosystem model. *Bulletin of Mathematical Biology* 85.10:100.

<https://rdcu.be/dlNUb>

**Romanyukha AA, Novikov KA, Avilov KK, Nestik TA, Sannikova TE.** (2023). The trade-off between COVID-19 and mental diseases burden during a lockdown: mathematical modeling of control measures. *Infectious Disease Modelling*, 8(2), 403-414.

**Vlad AI, Romanyukha AA, Sannikova TE.** (2024). Parameter tuning of agent-based models: metaheuristic algorithms. *Mathematics*, 12(14), 2208.