

Кыргызстандын саламаттык сактоо  
илимий-практикалык журналы  
2021, no 4, б. 14-23

Здравоохранение Кыргызстана  
научно-практический журнал  
2021, № 4, с. 14-23

Health care of Kyrgyzstan  
scientific and practical journal  
2021, no 4, pp 14-23

УДК: 614.46

## Кыргызстандагы COVID-19 вакцинациясынын стратегияларын математикалык моделдөө жана анын саламаттыкты сактоо системасына таасири

А.О. Молдокматова <sup>\*1,6</sup>, А.Ж. Дооронбекова <sup>2</sup>, Ч.К. Жумалиева <sup>2,4</sup>, А.С. Мукамбетов <sup>3</sup>,  
А.К. Кубатова <sup>2,4</sup>, Н.Т. Усенбаев <sup>5</sup>, А.Ж. Осмонов <sup>5</sup>, Ш.М. Ибрагимов <sup>3</sup>, Т.О. Абдылдаев <sup>6</sup>,  
А.З. Кутманова <sup>7</sup>, Luzia Freitas <sup>1</sup>, Lisa J White <sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> Оксфорд университети, Нуффилд медицина мектеби, Оксфорд, Улуу Британия

<sup>2</sup> «Социалдык өнүктүрүү институту» коомдук фонду, Бишкек, Кыргыз Республикасы

<sup>3</sup> Кыргыз Республикасындагы Сорос Фонду, Бишкек, Кыргыз Республикасы

<sup>4</sup> «Алдын алуучу медицина» илимий-өндүрүштүк бирикмеси, Бишкек, Кыргыз Республикасы

<sup>5</sup> Кыргыз Республикасынын Саламаттык сактоо министрлиги, Бишкек, Кыргыз Республикасы

<sup>6</sup> Кыргыз Республикасындагы Медициналык бирикмеси, Бишкек, Кыргыз Республикасы

<sup>7</sup> Эл аралык жогорку медицина мектеби, Бишкек, Кыргызская Республикасы

**Корутунду.** 2020-жылдын декабрында дүйнө жүзү боюнча COVID-19га каршы эмдөө башталды. Вакцина азыркы учурда көпчүлүк өлкөлөрдө жетишсиз болгондуктан, эмдөөнүн эффективдүү стратегияларын аныктоо саламаттыкты сактоо тутумундагы жүктү азайтууга жардам берет. Колдо болгон далилдер оорунун оордугу жана андан болгон өлүмдөр жаш курагына жараша айырмаланарын көрсөтүп турат, ошондуктан эмдөө маанилүү жана артыкчылыктуу стратегия катары каралышы мүмкүн. Макалада жаш куракка негизделген SIRS моделин колдонуу менен эмдөөнүн төрт гипотетикалык стратегиясы жана алардын Кыргызстандагы эпидемияга тийгизген таасири салыштырылган.

Кыска мөөнөттүү келечекте (2022-жылдын мартына чейин) негизги басым коркунучтуу курактагы топторго (50 жаштан жогору) бурулат, бул ооруга чалдыккандардын (20-49 жаш) бир аз кеңейиши менен симптоматикалык учурлардын жана андан өлүмдүн азайышына алып келиши мүмкүн. Башка жагынан алганда, COVID-19 учурларынын жалпы болжолдуу санына тийгизген таасири салыштырмалуу (15-25% азыркы вакцинанын жеткиликтүүлүгүнө жараша) анчалык деле олуттуу болбойт. Жогорудагы жыйынтыктар жана жаңы вакцина маалыматтары эмдөө эпидемияларды көзөмөлдөөдө жана дары-дармексиз кийлигишүүлөр менен колдоого алынса, өлүмдү азайтууда натыйжалуураак экенин көрсөтүп турат. Кыска мөөнөттө тобокелдиктин жогорку топторуна көңүл буруу саламаттык сактоо системасына түшкөн жүктү азайтат.

**Негизги сөздөр:** COVID-19, моделдөө, вакцина, Кыргыз Республикасы

## Математическое моделирование стратегий вакцинации COVID-19 в Кыргызстане и нагрузка на систему здравоохранения

### Адрес для переписки:

Молдокматова Айнура Омургазиевна, 720020,  
Кыргызская Республика, Бишкек, ул. Ахунбаева, 92  
Оксфордский университет, Оксфорд, Великобритания  
Тел.: + 996 552 117 797  
E-mail: ainura.moldokmatova @ndm.ox.ac.uk

### Contacts:

Moldokmatova Ainura Omurgazievna, 720020,  
Kyrgyz Republic, Bishkek, st. Akhunbaeva, 92  
Oxford University, Oxford, UK  
Phone: + 996 552 117 797  
E-mail: ainura.moldokmatova @ndm.ox.ac.uk

### Для цитирования:

Молдокматова А.О., Дооронбекова А.Ж., Жумалиева Ч. К., Мукамбетов А. С., Кубатова А.К., Усенбаев Н. Т., Осмонов А.Ж., Ибрагимов Ш.М., Абдылдаев Т.О., Luzia Freitas, Lisa J White.  
Математическое моделирование стратегий вакцинации COVID-19 в Кыргызстане и нагрузка на систему здравоохранения. Здравоохранение Кыргызстана 2021, № 4, с. 14-23.  
doi.10.51350/zdravkg2021124114

### Citation:

Moldokmatova A.O., Dooronbekova A.Z., Zhumalievna C.K., Mukambetov A.S., Kubatova A.K., Usenbayev N.T., Osmonov A.J., Ibragimov S.M., Abdylidaev T.O., Luzia Freitas, Lisa J White. Mathematical modelling of COVID-19 vaccination strategies in Kyrgyzstan and the burden on the health system. Health care of Kyrgyzstan 2021, No. 4, pp. 14-23. doi.10.51350/zdravkg2021124114

**А.О. Молдокматова** <sup>\*1,6</sup>, **А.Ж. Дооронбекова** <sup>2</sup>, **Ч.К. Жумалиева** <sup>2,4</sup>, **А.С. Мукамбетов** <sup>3</sup>,  
**А.К. Кубатова** <sup>2,4</sup>, **Н.Т. Усенбаев** <sup>5</sup>, **А.Ж. Осмонов** <sup>5</sup>, **Ш.М. Ибрагимов** <sup>3</sup>, **Т.О. Абдылдаев** <sup>6</sup>,  
**А.З. Кутманова** <sup>7</sup>, **Luzia Freitas** <sup>1</sup>, **Lisa J White** <sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> Оксфордский университет, медицинский факультет Нuffилда, Оксфорд, Великобритания

<sup>2</sup> Общественный фонд "Институт социального развития", Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>3</sup> Фонд Сороса, Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>4</sup> Научно-производственное объединение «Профилактическая медицина», Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>5</sup> Министерство здравоохранения, Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>6</sup> Медицинская ассоциация, Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>7</sup> Международная высшая школа медицины, Бишкек, Кыргызская Республика

**Резюме.** В декабре 2020 года во всем мире началась беспрецедентная вакцинация против COVID-19. Поскольку в настоящее время в большинстве стран запасов вакцины недостаточно для вакцинации всего населения, нуждающегося в вакцинации, определение эффективных стратегий вакцинации может помочь снизить нагрузку на систему здравоохранения. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что тяжесть заболевания и смертность различаются в зависимости от возраста, поэтому вакцинацию, зависящую от возраста, можно рассматривать как важную и приоритетную стратегию. С помощью детерминированной модели SIERS, включающей данные по возрасту, в статье сравниваются четыре гипотетические стратегии вакцинации, зависящие от возраста, и их влияние на эпидемию в Кыргызстане.

В краткосрочной перспективе (до марта 2022 года) основное внимание будет уделяться возрастным группам высокого риска (старше 50 лет) с некоторым распространением вакцинации на группы с высокой заболеваемостью (20-49 лет), что может привести к снижению случаев с выраженной симптоматикой и смертности, обусловленной COVID-19. С другой стороны, влияние на общее оценочное число случаев COVID-19 при сравнительно небольшом охвате групп с высокой заболеваемостью (15-25% только на основе текущей доступности вакцины) не будет столь существенным. Приведенные выше результаты и новые данные о вакцинах свидетельствуют о том, что вакцинация более эффективна в борьбе с эпидемией и снижении смертности, если она поддерживается немедикаментозными вмешательствами. В краткосрочной перспективе сосредоточение внимания на группах высокого риска может снизить нагрузку на систему здравоохранения. Однако эффект сдерживания очередного пика может быть достигнут только за счет более широкого охвата групп с высокой заболеваемостью.

**Ключевые слова:** COVID-19, моделирование, вакцина, Кыргызская Республика.

## Mathematical modelling of COVID-19 vaccination strategies in Kyrgyzstan and the burden on the health system

**A.O. Moldokmatova** <sup>1,6\*</sup>, **A.Z. Dooronbekova** <sup>2</sup>, **C.K. Zhumalieva** <sup>2,4</sup>, **A.S. Mukambetov** <sup>3</sup>,  
**A.K. Kubatova** <sup>2,4</sup>, **N.T. Usenbaev** <sup>5</sup>, **A.J. Osmonov** <sup>5</sup>, **S.M. Ibragimov** <sup>3</sup>, **T.O. Abdyldaev** <sup>6</sup>,  
**A.Z. Kutmanova** <sup>7</sup>, **Luzia Freitas** <sup>1</sup>, **Lisa J White** <sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> University of Oxford, Nuffield Department of Medicine, Oxford, UK

<sup>2</sup> Public Fund "Institution of Social Development" in the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>3</sup> Soros Foundation in the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>4</sup> Scientific and production Centre for preventive medicine, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>5</sup> Ministry of Health and Social development of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>6</sup> Medical Association in the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>7</sup> International School of Medicine, Bishkek, Kyrgyz Republic

**Abstract.** In December 2020, an unprecedented vaccination against COVID-19 has started worldwide. As the vaccine supply is currently not sufficient for most countries to vaccinate their entire eligible populations, the defining of effective vaccination strategies may help with reducing the infection spread and related burden on the health system. The existing evidence suggests that disease severity and mortality differ by age, so that age-dependant vaccination can be considered as an important and priority strategy. Through age-dependant SIERS deterministic model, the paper compares four hypothetical age-dependant vaccination strategies and their impact on the epidemic in Kyrgyzstan.

In the short-term horizon (until March 2022), the primary focus on high-risk groups (over 50 years old) with some roll

out of the vaccination among high-incidence groups (20-49 years old) may decrease symptomatic cases and COVID-19 attributable deaths. On the other hand, the impact on the overall estimated number of COVID-19 cases with a comparatively small coverage of high-incidence groups (15-25% only based on the current vaccine availability) will not be that substantial. Combination of the vaccination with non-pharmaceutical interventions, such as mask wearing and social distancing, will further decrease the incidence and mortality. Moreover, it may have an indirect impact on the all-cause mortality. Thus, the deaths due to other reasons in this scenario can be reduced from 27,000 to 16,000 over the simulation period (March 2020 – March 2022). The above results and emerging evidence on vaccines suggest that vaccination is more effective in flattening the epidemic and reducing the mortality if supported by non-pharmaceutical interventions. In a short-term horizon, the focus on high-risk groups may reduce the burden on the health system and thus result in fewer deaths. However, the herd effect in delaying another peak may only be achieved by reaching high-incidence groups more broadly.

**Key words:** COVID-19, vaccination, modelling, Kyrgyz Republic.

## Введение

Появление вакцин против COVID-19 может изменить ход пандемии. Однако маловероятно, что все страны сразу же получают достаточное количество вакцин из-за высокого спроса на мировом уровне, который первоначально превысит производственные мощности.

В 2020 году Глобальный альянс по вакцинам и иммунизации (GAVI) совместно со Всемирной организацией здравоохранения и Коалицией инноваций в области обеспечения готовности к эпидемиям (CEPI) инициировали международную платформу COVAX, призванную обеспечить глобальный справедливый доступ к вакцинам COVID-19 и помочь странам в смягчении негативных последствий для их национальных систем здравоохранения и экономики. (1).

На момент написания статьи, в дополнение к 226 000 дозам AstraZeneca, предоставленным COVAX (2), Кыргызская Республика получила дополнительную поставку около 1,5 миллиона доз Sinopharm из Китая (3) и 80 000 доз вакцин Sputnik-V из Российской Федерации (4). Таким количеством вакцины возможно охватить около 30% взрослого населения или только 19% от общей численности населения. По официальной информации, по состоянию на 18 октября 2021 года около 31% населения Кыргызстана подлежащих вакцинации, получили вакцинацию, и 40% - вакцинированы первой дозой вакцины (5-8).

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что тяжесть заболевания и смертность различаются в зависимости от возраста (9-12 лет), поэтому вакцинацию в зависимости от возраста можно рассматривать как важную и приоритетную стратегию (13). На сегодняшний день некоторые страны, в основном с более высоким доходом и лучшим охватом вакцинацией COVID-19, уже продемонстрировали эффективность стратегий вакцинации как в отношении

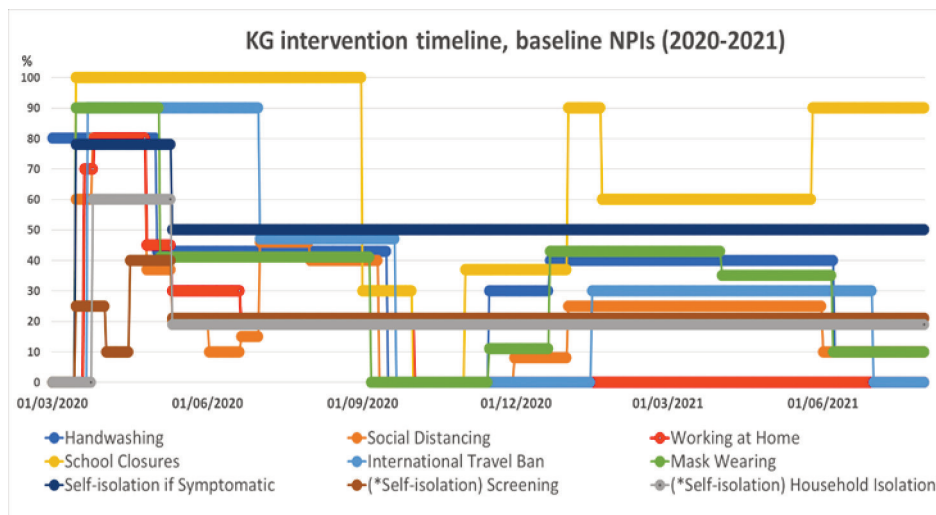
заболеваемости, так и смертности (5,9–18). Наше исследование учитывает местную специфику в отношении существующих фактических данных о потенциальном воздействии вакцинации на течение эпидемии в странах с низким и средним уровнем дохода (LMIC) (19-24). В частности, мы смоделировали четыре гипотетические стратегии вакцинации в зависимости от возраста, чтобы найти оптимальные варианты снижения смертности и может нагрузки на здравоохранение в Кыргызстане. Для практической рациональности были приняты во внимание возможности национальной системы здравоохранения и доступность вакцин.

## Методы

Для прогнозирования мы применили динамическую модель SEIRS. Данный интерфейс был разработан Консорциумом по моделированию COVID-19 (CoMo) в сотрудничестве с группой Oxford Modelling for Global Health (OMGH) и является моделью прогнозирования с учетом возрастных особенностей подверженных воздействию инфекции, SEIRS применяется с целью изучения влияния различных вмешательств на течение пандемии COVID-19 и связанного с этим нагрузки на национальные системы здравоохранения в более чем 150 странах (25,26).

## Параметры модели

Из-за отсутствия данных, описывающих естественную историю заболевания и клиническое течение инфекции по Кыргызстану, были применены значения параметров модели по умолчанию (25). Мы применили 16 возрастных групп, определенных в модели CoMo, с вероятностью контактов внутри и между возрастными группами на основе матриц социальных контактов для 152 стран. Для демографических параметров мы использовали Отчет ООН о



**Рисунок 1. Временные стратегии немедикаментозного вмешательства выбранные правительством КР и фактические модели поведения (базовый сценарий).**

Figure 1. Temporary strategies for non-drug intervention selected by the RC government and actual behaviours (baseline scenario).

перспективах мирового населения за 2019 год (29) и данные Национального статистического комитета Кыргызстана (30). Информация о ежедневных новых и смертельных случаях COVID-19 была получена из официального национального онлайн ресурса COVID-19 (31).

Параметры вместимости стационаров включали наличие дополнительных коек, палат интенсивной терапии (ПИТ) и аппаратов искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Для моделирования мы использовали внутренние отчеты Министерства здравоохранения о готовности системы здравоохранения к эпидемии COVID-19. Кроме того, были проведены беседы с представителями Республиканского центра иммунопрофилактики, Республиканской инфекционной больницы, Национального госпиталя и Министерства Здравоохранения.

#### Основные проводимые мероприятия

Поскольку на момент внедрения модели охват вакцинацией в Кыргызстане достиг всего около 2%, в базовый сценарий мы включили только немедикаментозные вмешательства, которые сформировали основную массу мер реагирования на эпидемию COVID-19 в стране. Это включало самоизоляцию лабораторно или клинико-эпидемиологически подтвержденных случаев COVID-19, выявление новых случаев, добровольный домашний карантин контактных, социальное дистанцирование, гигиену рук, ношение масок, закрытие школ, работу на дому, ограничение передвижения населения и запрет на поездки. График указанных мероприятий показан на рисунке 1 ниже.

Мы определили значения параметров для Кыргызстана на основе оценочных моделей поведения населения и профилактических мер, осуществляемых в стране, начиная с начала эпидемии и до 15 июня 2021 года. В связи с недоступностью прямых значений параметров для социального дистанцирования и работы на дому мы применили отчет Google по передвижению населения Кыргызстана (32) в качестве прокси-данных. Данные по гигиене рук и ношении масок были основаны на консультациях с местными экспертами в области здравоохранения и социологами.

Модель предполагает, что при изоляции случаев COVID-19 и их контактных, инфекция будет иметь более низкую скорость передачи по сравнению с неизолированными случаями и их контактными. Социальное дистанцирование, закрытие школ и работа на дому предполагают сокращение социальных контактов внутри возрастных групп и между ними, в то время как запрет на поездки приведет к сокращению числа случаев ввоза.

#### Гипотетические сценарии вмешательства

В ходе моделирования были рассмотрены четыре гипотетических сценария вакцинации:

- 1) Вакцинация [65+: 70%, 50-64: 40%, 20-49: 15%] и базовые немедикаментозные вмешательства;
- 2) Вакцинация [65+: 70%, 50-64: 40%, 20-49: 15%] и усиленные немедикаментозные вмешательства [ношение маски: 70% и социальное дистанцирование: 25%];
- 3) Усиленная вакцинация [65+: 70%, 50-64: 60%, 20-49: 25%] и базовые немедикаментозные вмешатель

ства;

4) Усиленная вакцинация [65+: 70%, 50-64: 60%, 20-49: 25%] и усиленные немедикаментозные вмешательства [ношение маски: 70% и социальное дистанцирование: 25%].

В этих сценариях мы измерили потенциальное сокращение новых зарегистрированных и незарегистрированных случаев заболевания и нагрузки на систему здравоохранения по сравнению с базовым сценарием. Кроме того, мы оценили, как немедикаментозные вмешательства могут улучшить эффект вакцинации.

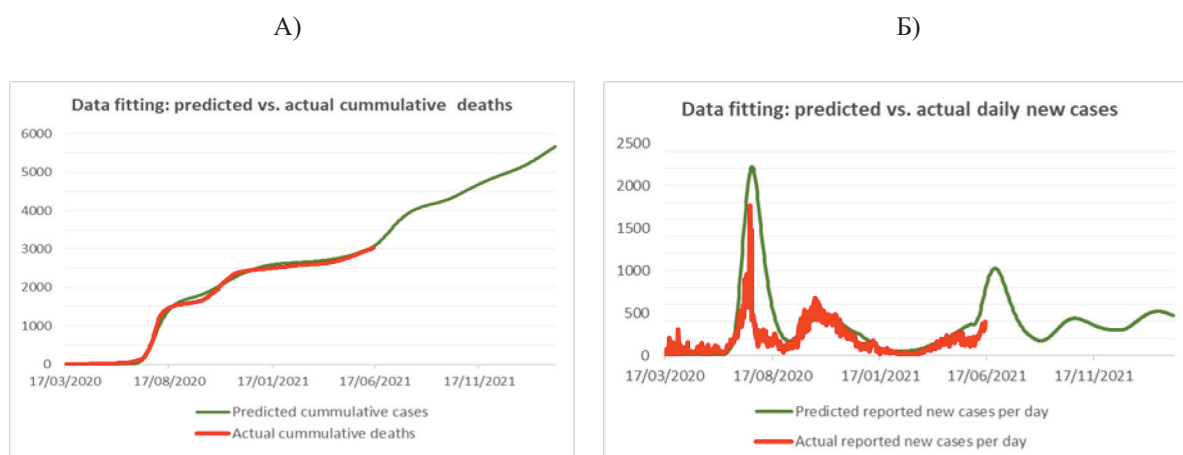
Охват вакцинацией основан на имеющихся данных о тяжести и смертности заболевания, связанных с возрастом, планируемых поставках вакцин в страну (33) и структуре населения, которая характеризуется сравнительно меньшим числом людей старшего возраста (29). При этом, в настоящее время ношение масок и социальное дистанцирование в Кыргызстане практически не соблюдаются, как показано на рисунке 1.

Важно отметить, что эффективность ношения масок, предполагаемая в модели, составляет только 35% с учетом поведения людей, носящих маски.

## Применение модели SIERS

Использование модели выполняется в два этапа: 1) предварительная визуальная калибровка (initial visual fitting) и 2) калибровка данных методом фракционной фильтрации (particle filtering data fitting (PFDF)). При калибровке учитываются указанные выше факторы заболевания и госпитализации, параметры вмешательства, вероятность передачи инфекции с учетом контактов, доля зарегистрированных и бессимптомных случаев, количество зарегистрированных госпитализаций и дата начала моделирования.

Поскольку предполагаемые зарегистрированные случаи смертности считаются более надежными по сравнению с подтвержденными новыми случаями из-за низкой эффективности тестирования и проблем с качеством тестов в стране, при анализе предпочтение отдается в основном в отношении зарегистрированных случаев смерти, хотя мы учитывали также и новые случаи. Ниже приведены графики прогнозируемых данных, откалиброванных по фактическим зарегистрированным случаям смертности и ежедневным новым случаям (рис. 2А и Б):



**Рисунок 2. Данные по прогнозируемым и фактическим зарегистрированным случаям смертности (А) и ежедневным новым случаям (Б) по состоянию на 15 июня 2021 года.**

Figure 2. Data on projected and actual reported deaths (A) and daily new cases (B) as at 15 June 2021.

## Ограничения

Одним из основных ограничений является то, что модель учитывала только предыдущий штамм COVID-19, поскольку на момент моделирования возможность проецирования сценариев с новыми штаммами была недоступна в веб-приложении. Соответственно, фактическое влияние вакцинации на эпидемию и связанные с ней последствия для здоровья может отличаться от прогноза в зависимости от того, какой штамм (штаммы) COVID-19 будет

преобладать в стране.

Другое ограничение заключается в том, что из-за ограниченной доступной информации мы использовали для моделирования некоторые значения ключевых параметров, основанные на предположениях и оценках. Как упоминалось ранее, в таких случаях мы применяли либо существующие глобальные данные, либо косвенные национальные данные, либо оценивали значения в беседах с местными экспертами.

## Результаты

Приведенные ниже результаты отражают модельные прогнозы влияния базового уровня и вышеуказанных четырех гипотетических сценариев на ход эпидемии и нагрузку на систему здравоохранения в Кыргызстане. Модель предполагает, что вакцинация во всех гипотетических сценариях начнется 1 июля 2021 года, таким образом, потенциальные изменения в эпидемии прогнозируются начиная с этого периода.

## Новые ежедневные незарегистрированные случаи и их оценка

Как показано на рисунке 3В, приоритетность групп высокого риска (50-64 и 65+ лет) для вакцинации значительно снижает количество случаев с проявлениями симптомов и лабораторно подтвержденных случаев во всех сценариях. Усиление ношения масок и социальное дистанцирование (сценарий 2 и 4) может ускорить сокращение новых случаев в текущей волне и сгладить пики потенциальных последующих волн по сравнению с альтернативными сценариями с базовыми немедикаментозными вмешательствами (сценарий 1 и 3).

Однако, во всех сценариях небольшой охват групп, подверженных наиболее высокому риску заражения (20-49 лет), не окажет значительного влияния на изменение количества случаев с бессимптомным течением заболевания (рис.3а). Хотя включение двух указанных интервенций может в незначительной степени снизить пик потенциальной волны в октябре 2021 г. при условии, что вакцинация завершится в конце года и не будет дальнейшей работы по данной интервенции. Кроме того, как и в случае с зарегистрированными случаями, усиление немедикаментозных вмешательств могут также ускорить сокращение новых незарегистрированных случаев в текущей волне.

## Нагрузка на систему здравоохранения

Во время нынешней волны эпидемии заполняемость коек и палат интенсивной терапии и аппаратов искусственной вентиляции легких может достичь порогового значения как в базовом, так и в гипотетическом сценариях. Однако модель предсказывает, что нагрузка на больницы значительно снизится во время потенциальных последующих волн. Таким образом, согласно рисунку 4, заполняемость коек в базовом сценарии может достигать 1800-2100 в последующих волнах, тогда как в гипотетических сценариях она может варьировать от 300 до 1000. Как и в случае с новыми случаями, наибольший эффект в снижении нагрузки на больницы, вероятно,

будет достигнут, если вакцинация будет сочетаться с усилением мер по ношению масок и соблюдению социального дистанцирования. Интересно отметить, что такой подход может способствовать ускоренному снижению нагрузки на систему здравоохранения и в нынешней волне (рисунок 4).

## Обсуждение

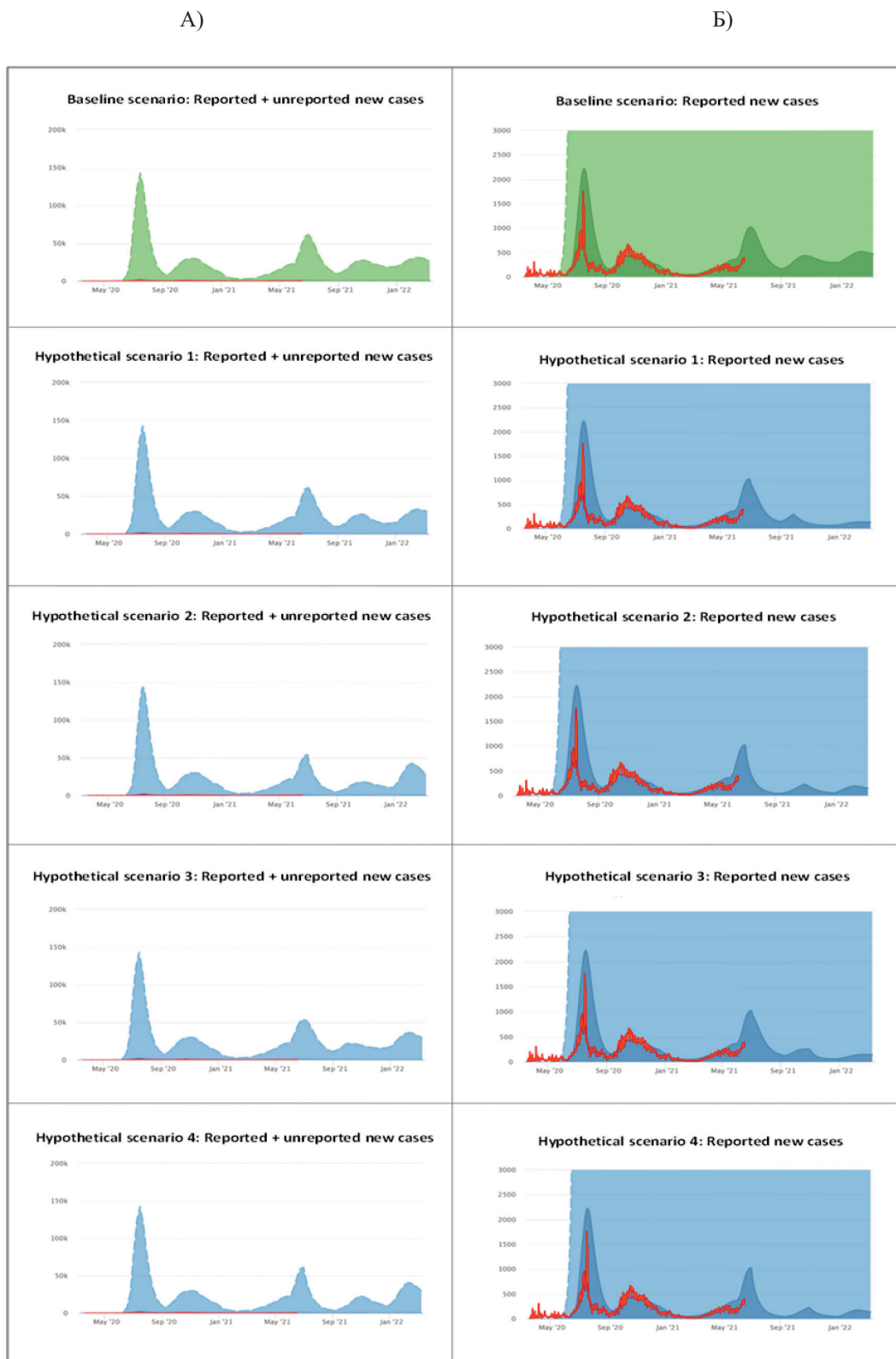
Это исследование предполагает потенциальное положительное влияние вакцинации с учетом возраста на снижение уровня случаев с проявлением симптомов, нагрузки на систему здравоохранения в краткосрочной перспективе. Согласно модели, приоритизация групп высокого риска потенциально окажет косвенное положительное влияние на снижение смертности от других причин в результате уменьшения нагрузки на систему здравоохранения.

Следует отметить, что национальная система здравоохранения, уже претерпевшая кризисы за последние 30 лет, испытала огромную нагрузку в ходе эпидемии COVID-19. Как и во многих других странах с ограниченными ресурсами, во время интенсивных фаз эпидемии большая часть имеющихся медицинских и человеческих ресурсов была перераспределена и выделена для лечения пациентов с COVID-19. В результате Межведомственная комиссия по расследованию работы госорганов и муниципалитетов по борьбе с коронавирусом (35) сообщила о 6430 случаях избыточной смертности (19,2%) в 2020 году, большинство из которых были связаны с сердечно-сосудистыми заболеваниями, COVID-19, заболеваниями легких, за которыми следовали другие причины (34,35). Соответственно, уменьшение числа пациентов с COVID-19 может улучшить текущую ситуацию в других областях здравоохранения.

С другой стороны, учитывая тот факт, что население Кыргызстана молодое, основной акцент вакцинации на группы высокого риска с более низким охватом людей более молодого возраста может иметь меньший эффект в снижении уровня заболеваемости. Таким образом, эффект задержки очередного пика эпидемии COVID-19 предположительно может быть достигнут только за счет более широкого охвата вакцинацией групп с высокой заболеваемостью.

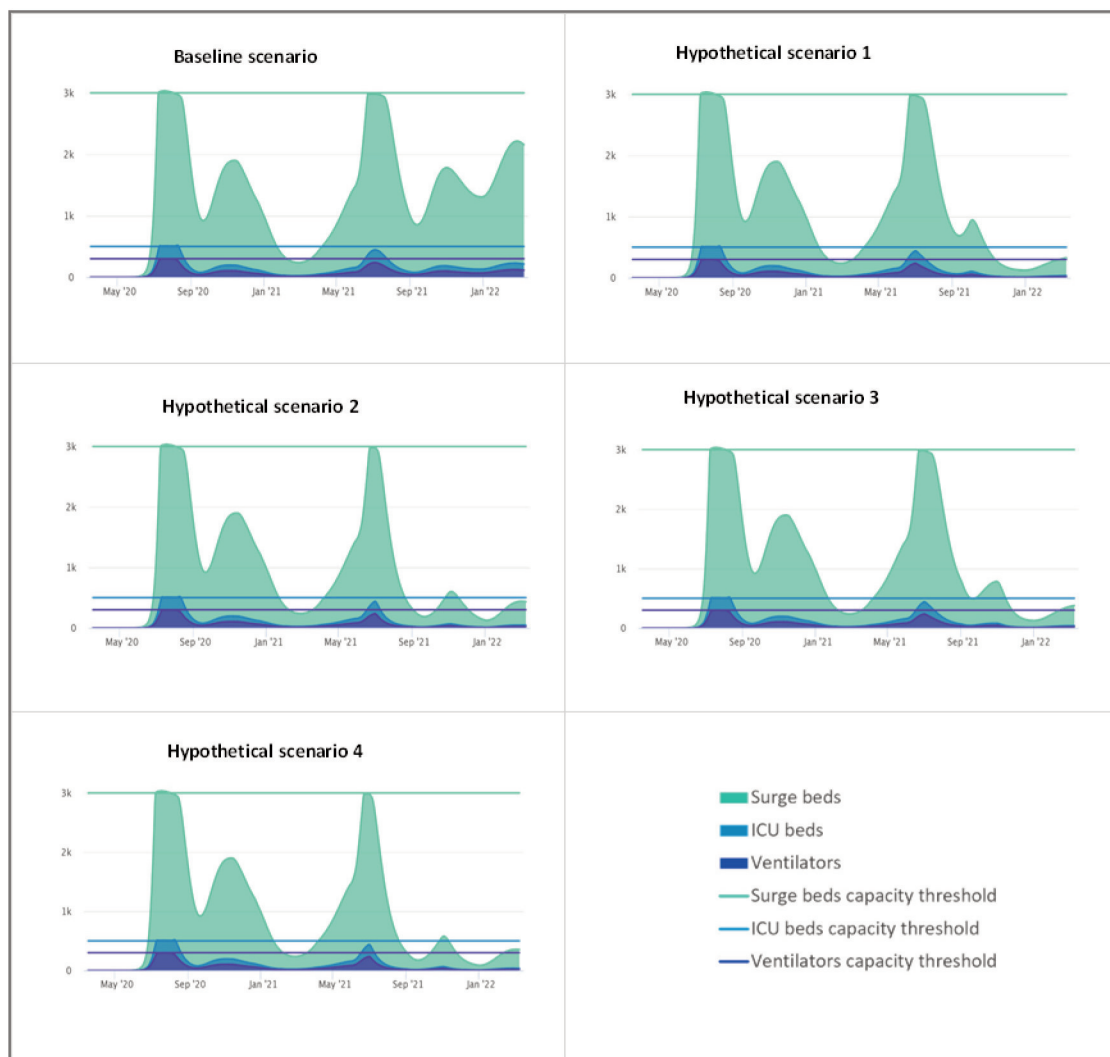
Более того, модель прогнозирует, что прекращение вакцинации после достижения указанных уровней охвата позже вызовет волну, эквивалентную базовому сценарию, поскольку большая часть населения по-прежнему не будет защищена и распространение продолжится.

И, наконец, модель предполагает, что более низкий охват вакцинацией с усиленными немедикаментозными вмешательствами может иметь сравнительно схожий эффект, что и увеличение охвата вакцинацией с базовыми немедикаментозными



**Рисунок 3. Базовые и гипотетические сценарии (1-4) прогнозируемых новых ежедневных зарегистрированных и незарегистрированных случаев. Фактические новые ежедневные зарегистрированные случаи (красная кривая).**

Figure 3. Baseline and hypothetical scenarios (1-4) of predicted new daily reported and unregistered cases. Actual new daily reported cases (red curve).



**Рисунок 4. Базовый и гипотетический сценарии (1-4) прогнозируемой нагрузки на систему здравоохранения.**

Figure 4. Baseline and hypothetical scenarios (1-4) of predicted health system burden.

вмешательствами. В этой модели мы увеличили охват только в отношении ношения масок и социального дистанцирования, поскольку они считаются более смягченными вмешательствами по сравнению с закрытием школ или работой на дому. По-видимому, сочетание сравнительно более смягченных вмешательств с вакцинацией может улучшить эффект вакцинации. Учитывая тот факт, что большинство стран с ограниченными ресурсами, скорее

всего, не получат достаточного количества вакцин в ближайшем будущем (1,36), такой подход может оказаться полезным для борьбы с эпидемией, по крайней мере в краткосрочной перспективе.

**Жазуучулар ар кандай кызыкчылыктардын чыр жоктугун жарыялайт.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов. The authors declare no conflicts of interest.**

**Список литературы/References**

1. COVAX. COVAX explained | Gavi, the Vaccine Alliance [Internet]. 2020 [cited 2021 Jul 15]. Available from: <https://www.gavi.org/vaccineswork/covax-explained>



2. Sputnik. В Кыргызстан привезли вакцину AstraZeneca [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 9]. Available from: <https://ru.sputnik.kg/society/20210730/1053382278/kyrgyzstan-vaktsina-koronavirus-astrazeneca.html>
3. Azattyk. Вакцинация от COVID-19: лед тронулся [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 9]. Available from: <https://rus.azattyk.org/a/31355820.html>
4. Azattyk. В Бишкек привезли 80 тыс доз вакцины “Спутник V”. Видео [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 9]. Available from: <https://ru.sputnik.kg/society/20210617/1052902070/kyrgyzstan-vaktsina-sputnik-v-dostavka.html>
5. Our World in Data. Coronavirus (COVID-19) Vaccinations - Statistics and Research - Our World in Data [Internet]. 2020 [cited 2021 Aug 9]. Available from: <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>
6. Akipress. COVID-19 в Кыргызстане. АКИпресс/ COVID-19 in Kyrgyzstan. AKIpress. [Internet]. 2020 [cited 2021 Aug 10]. Available from: <https://akipress.org/dolbor/covid-19/graph-kg/?hl=ru&from=covid-19&from=left>
7. Bishkek 24. В Бишкеке осталось всего 136 коек для зараженных коронавирусом/ Only 136 surge beds are available now in Bishkek for COVID patients [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 10]. Available from: <https://bishkek24.kg/obshhestvo/v-bishkeke-ostalos-vsego-136-koek-dlya-zarazhennykh-koronavirusom/>
8. Клоор. Третья волна COVID-19. В 10 стационарах Бишкека уже нет свободных коек / Third COVID-19 wave. Now there are no available surge beds in 10 hospitals in Bishkek [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 10]. Available from: <https://kloop.kg/blog/2021/06/30/tretya-volna-covid-19-v-10-statsionarah-bishkeka-uzhe-net-svobodnyh-koek/>
9. Meyerowitz-Katz G, Merone L. A systematic review and meta-analysis of published research data on COVID-19 infection fatality rates. *Int J Infect Dis*. 2020 Dec 1;101:138–48.
10. Levin AT, Hanage WP, Owusu-Boaitey N, Cochran KB, Walsh SP, Meyerowitz-Katz G. Assessing the age specificity of infection fatality rates for COVID-19: systematic review, meta-analysis, and public policy implications. *Eur J Epidemiol* 2020 3512 [Internet]. 2020 Dec 8 [cited 2021 Aug 10];35(12):1123–38. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10654-020-00698-1>
11. Omori R, Matsuyama R, Nakata Y. The age distribution of mortality from novel coronavirus disease (COVID-19) suggests no large difference of susceptibility by age. *Sci Reports* 2020 101 [Internet]. 2020 Oct 6 [cited 2021 Aug 10];10(1):1–9. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-73777-8>
12. Davies NG, Klepac P, Liu Y, Prem K, Jit M, Eggo RM. Age-dependent effects in the transmission and control of COVID-19 epidemics. *Nat Med* 2020 268 [Internet]. 2020 Jun 16 [cited 2021 Aug 10];26(8):1205–11. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41591-020-0962-9>
13. Noh EB, Nam H-K, Lee H. Which Group Should be Vaccinated First?: A Systematic Review. *Infect Chemother* [Internet]. 2021 Jun 1 [cited 2021 Aug 11];53(2):261. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35258295/>
14. Reuters. United Arab Emirates: the latest coronavirus counts, charts and maps [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 10]. Available from: <https://graphics.reuters.com/world-coronavirus-tracker-and-maps/countries-and-territories/united-arab-emirates/>
15. Galvani A, Moghadas S, Schneider E. Deaths & Hospitalizations Averted by Rapid US Vaccination Rollout | Commonwealth Fund [Internet]. 2020 [cited 2021 Aug 10]. Available from: <https://www.commonwealthfund.org/publications/issue-briefs/2021/jul/deaths-and-hospitalizations-averted-rapid-us-vaccination-rollout>
16. Moghadas SM, Vilches TN, Zhang K, Wells CR, Shoukat A, Singer BH, et al. The impact of vaccination on COVID-19 outbreaks in the United States. *medRxiv* [Internet]. 2020 Nov 30 [cited 2021 Aug 10]; Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35258295/>
17. Pritchard E, Matthews PC, Stoesser N, Eyre DW, Gethings O, Vihta K-D, et al. Impact of vaccination on new SARS-CoV-2 infections in the United Kingdom. *Nat Med* 2021 [Internet]. 2021 Jun 9 [cited 2021 Aug 10];1–9. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41591-021-01410-w>
18. Leshem E, Wilder-Smith A. COVID-19 vaccine impact in Israel and a way out of the pandemic. *Lancet* [Internet]. 2021 May 15 [cited 2021 Aug 11];397(10287):1783–5. Available from: <http://www.thelancet.com/article/S0140673621010187/fulltext>
19. Foy BH, Wahl B, Mehta K, Shet A, Menon GI, Britto C. Comparing COVID-19 vaccine allocation strategies in India: A mathematical modelling study. *Int J Infect Dis*. 2021 Feb 1;103:431–8.
20. Imperial College London. Report 33: Modelling the allocation and impact of a COVID-19 vaccine [Internet]. 2020 [cited 2021 Aug 11]. Available from: <https://spiral.imperial.ac.uk/handle/10044/1/82822>
21. Pearson CAB, Bozzani F, Procter SR, Davies NG, Huda M, Jensen HT, et al. COVID-19 vaccination in Sindh Province, Pakistan: a modelling study of health impact and cost-effectiveness. *medRxiv* [Internet]. 2021 Jun 10 [cited 2021 Aug 11];2021.02.24.21252338. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.02.24.21252338v2>
22. Buhat CAH, Lutero DS, Olave YH, Quindala KM, Recreo MGP, Talabis DAS, et al. Optimal Allocation of COVID-19 Vaccines in the Philippines. *medRxiv* [Internet]. 2021 Feb 18 [cited 2021 Aug 11];2021.02.12.21251640. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.02.12.21251640v1>
23. Il YB, Ouattara A, Torreale E, Okonta C. How to ensure a needs-driven and community-centred vaccination strategy for COVID-19 in Africa. *BMJ Glob Heal* [Internet]. 2021 Feb 1 [cited 2021 Aug 11];6(2):e005306. Available from: <https://gh.bmj.com/content/6/2/e005306>
24. Siedner MJ, Alba C, Fitzmaurice KP, Gilbert RF, Scott JA, Shebl FM, et al. Cost-effectiveness of COVID-19 vaccination in low- and middle-income countries. *medRxiv* [Internet]. 2021 May 2 [cited 2021 Aug 11];2021.04.28.21256237. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.04.28.21256237v1>
25. CoMo Consortium. The COVID-19 International Modelling Consortium [Internet]. 2020 [cited 2020 Dec 7]. Available from: <https://como.bmj.com/>
26. COVID-19 Modelling Consortium. COMO COVID-19 Application [Internet]. 2020 [cited 2021 Aug 11]. Available from: <https://comomodel.net/>
27. Aguas R, Hupert N, Shretta R, Celhay O, Moldokmatova A, Arifi F, et al. COVID-19 Pandemic Modelling in Context: Uniting People and Technology Across Nations Border Malaria View project Global Health Decisions View project. *BMJ Pre-print version* [Internet]. 2020 Aug; Available from: <https://www.researchgate.net/publication/342747645>
28. Prem K, Cook AR, Jit M. Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. *PLoS Comput Biol* [Internet]. 2017 Sep 1 [cited 2020 Aug 3];13(9):e1005697. Available from: <http://www.dhsprogram.com/http://>

- data.worldbank.org/,UIS.Stathttp://data.uis.unesco.org/,http://unstats.un.org/unsd/default.htm,InternationalLaborOrganizationhttp://www.ilo.org/global/statistics-and-databases/lang-en/index.htm.
29. UN. World Population Prospects: Population Division [Internet]. 2019 [cited 2020 Aug 3]. Available from: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
  30. NSTKG. National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 3]. Available from: <http://www.stat.kg/en/>
  31. MoH KR. Ministry of Health and Social Development of the Kyrgyz Republic. COVID-19 statistics. [Internet]. 2020 [cited 2021 Aug 11]. Available from: <http://med.kg/index.php/en/>
  32. Google. COVID-19 Community Mobility Reports [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 6]. Available from: <https://www.google.com/covid19/mobility/>
  33. Republican Centre of Immuno-Prophylactics. Kyrgyzstan. COVID-19 vaccination plan. 2021.
  34. Kaktus media. Правда о количестве умерших кыргызстанцев, о которой молчат власти [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 16]. Available from: [https://kaktus.media/doc/433693\\_pravda\\_o\\_kolichestve\\_ymershih\\_kyrgyzstancev\\_o\\_kotoroy\\_molchat\\_vlasti.html](https://kaktus.media/doc/433693_pravda_o_kolichestve_ymershih_kyrgyzstancev_o_kotoroy_molchat_vlasti.html)
  35. Azattyk. Самая высокая смертность за последние 10 лет/ The highest mortality rate in the last 10 years. [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 16]. Available from: <https://rus.azattyk.org/a/31067213.html>
  36. Padma T V. COVID vaccines to reach poorest countries in 2023 — despite recent pledges. Nature. 2021 Jul 15;595(7867):342–3.

**Авторы:**

**Молдокматова Айнура Омургазиевна**, Оксфордский университет, младший научный сотрудник, Магистр науки по социальным исследованиям (Эдинбургский университет) и магистр науки по международному здравоохранению и тропической медицине (Оксфордский университет, Оксфорд, Великобритания);

**Дооронбекова Айжан Жакыпбековна**, директор ОФ «Институт социального развития», Бишкек, Кыргызская Республика;

**Жумалиева Чынаркул Койчумановна**, исследователь, врач-эпидемиолог ОФ «Институт социального развития, Научно-производственное объединение «Профилактическая медицина» МЗ КР, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Мукамбетов Айбек Сагынбекович**, к. м. н., Фонд Сороса в Кыргызской Республике, аспирант Научно-производственного объединения «Общественное здравоохранение», Бишкек, Кыргызская Республика;

**Кубатова Айсулуу Кубатовна**, исследователь ОФ «Институт социального развития, аспирант Научно-производственного объединения «Профилактическая медицина» МЗ КР, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Усенбаев Нурболот Толошевич**, к.м.н., заместитель директора, РЦКиОИ, МЗ КР, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Осмонов Аман Жумабекович**, ведущий специалист, отдел Общественного здравоохранения, МЗ КР, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Ибрагимов Шамиль Марсович**, магистр государственного управления (Гарвардский университет, Школа управления им. Кеннеди), исполнительный директор Фонда Сороса в Кыргызской Республике, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Абдылдаев Талант Ормокевич**, консультант, Медицинская ассоциация в Кыргызской Республике, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Кутманова Айнура Зарылбековна**, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой инфекционных болезней Международной высшей школы медицины, Бишкек, Кыргызская Республика;

**Лузия Фрейтас**, консультант, Оксфордский университет, медицинский факультет Нуффилда, Оксфорд, Великобритания;

**Лиза Джейн Уайт**, профессор эпидемиологии и моделирования, Оксфордский университет, руководитель Оксфордской группы моделирования глобального здоровья (Oxford Modelling of Global health Group), заместитель директора отдела аспирантуры Bid Data Institute при департаменте "Nuffield Department of Medicine" университета Оксфорд, директор международного консорциума по моделированию COVID19 (COVID-19 Modelling Consortium), директор магистерской программы по глобальному моделированию здравоохранения, университет Оксфорда.

**Authors:**

**Moldokmatova Ainura Omurgazievna**, University of Oxford, Junior Research Fellow, Master of Science in Social Research (University of Edinburgh) and Master of Science in International Health and Tropical Medicine (University of Oxford, Oxford, UK);

**Dooronbekova Aizhan Zhakypbekovna**, Director of the Public Foundation "Institute for Social Development", Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Zhumalievna Chynarkul Koichumanovna**, researcher of the PF "Institute of Social Development, epidemiologist of the Scientific and production Centre for preventive medicine, Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Mukambetov Aibek Sagynbekovich**, Ph.D., Soros Foundation in the Kyrgyz Republic, Director of the Public Health Program, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Kubatova Aisuluu Kubatovna**, researcher of the Public Foundation "Institute of Social Development, PhD student of the Scientific and production Centre for preventive medicine, Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Usenbaev Nurbolot Toloshevich**, Ph.D., Deputy Director, Republican Center for Quarantine and Especially Dangerous Infections, Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Osmonov Aman Zhumabekovich**, Leading Specialist, Department of Public Health, Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Ibragimov Shamil Marsovich**, Master of Public Administration (Harvard University, Kennedy School of Management), Executive Director of the Soros Foundation in the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Abdyldaev Talant Ormokeevich**, consultant, Medical Association in the Kyrgyz Republic, Kyrgyzstan. Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Kutmanova Ainura Zarylbekovna**, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Infectious Diseases, International High School of Medicine, Bishkek, Kyrgyz Republic;

**Luzia Freitas**, Consultant, University of Oxford, Nuffield School of Medicine, Oxford, UK;

**Lisa J. White**, Professor of Epidemiology and Modeling, University of Oxford, Head of the Oxford Modeling of Global Health Group, Deputy Director of the Graduate School of the Bid Data Institute at the Nuffield School of Medicine, University of Oxford, Director of the International Modeling Consortium COVID19 (COVID-19 Modeling Consortium), Director of the Master's Program in Global Health Modeling, University of Oxford.