

Эксклюзивный доклад от научных специалистов кафедры информационных компьютерных технологий РХТУ, отображающий динамику распространения коронавируса COVID-19 в мире за последние месяцы

Научные специалисты кафедры информационных компьютерных технологий (ИКТ) Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева на основе методов нелинейной динамики рассчитали сроки, численность заболевших к концу эпидемии, время пиков заболеваемости и численность инфицированных коронавирусом COVID-19 на пике для ряда стран

В специально подготовленном докладе в список рассматриваемых государств вошли: Португалия, Германия, Франция, Италия, Испания, Швеция, Чехия, Китай, Вьетнам, Южная Корея, Япония, Израиль, США, Россия (в том числе г. Москва и Российские регионы).

Данная работа будет интересна как научному сообществу, так и всем тем, кто сегодня пытается понять условия стремительного распространения, а также, исходя из имеющихся данных, спрогнозировать возможную опасность возникновения второй и третьей волн заболевания в будущем.

Расчеты сделаны при показателях роста численности, соответствующих ограничительным мерам, принимаемым в странах. В случае изменения ограничительных мер или при возникновении другой волны распространения эпидемии из-за нарушения ограничительных мер требуется пересчет по математическим моделям.

Ниже представлены графики роста и прироста численности, инфицированных COVID-19 в перечисленных странах, времена пиков эпидемии, сроки окончания эпидемии.

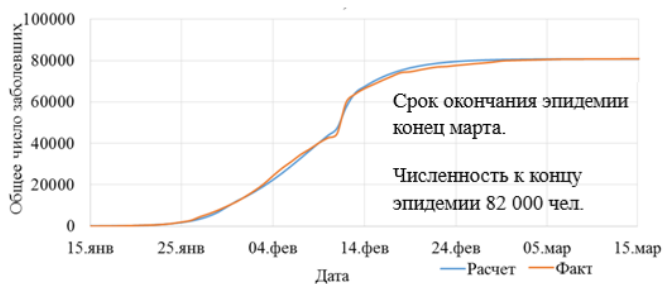


Рис. 1. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Китае

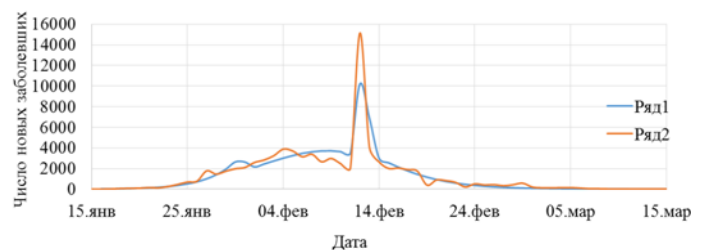


Рис. 2. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Китае

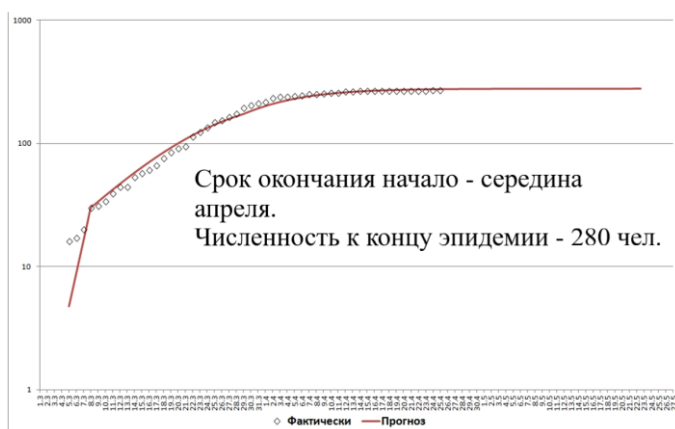


Рис. 3. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 во Вьетнаме

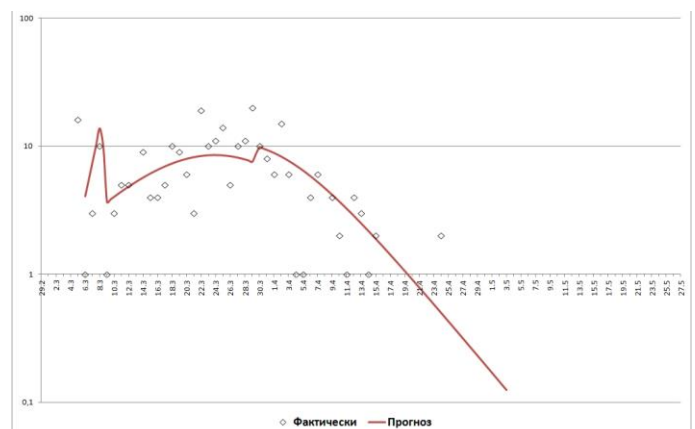


Рис. 4. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 во Вьетнаме

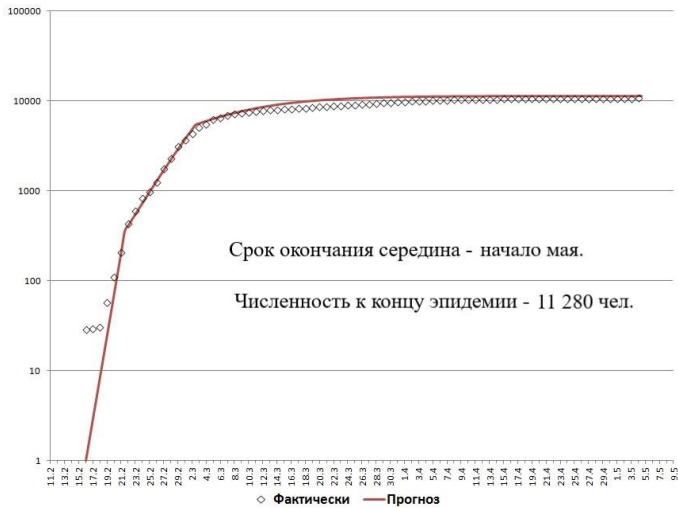


Рис. 5. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Южной Корее

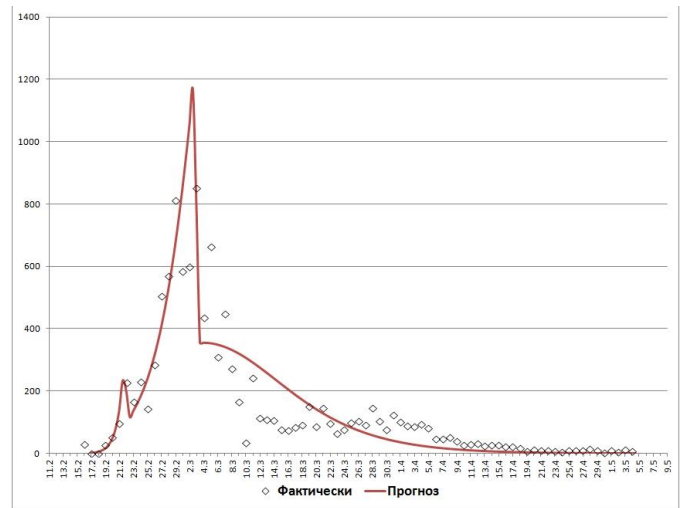


Рис. 6. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Южной Корее

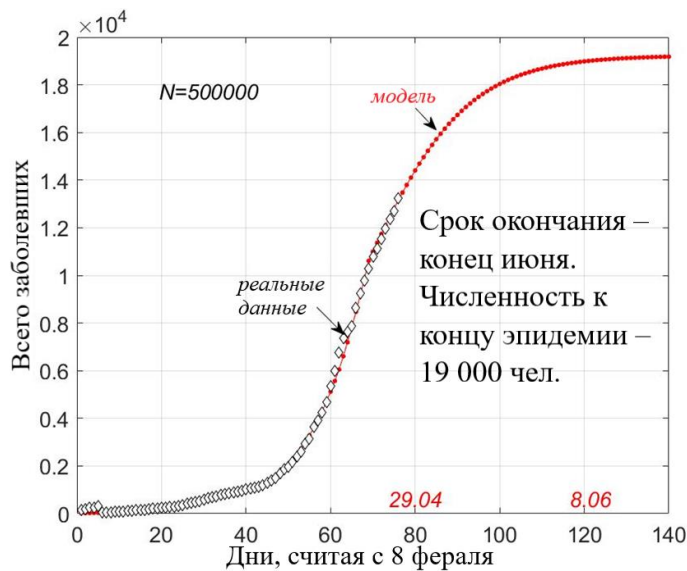


Рис. 7. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Японии

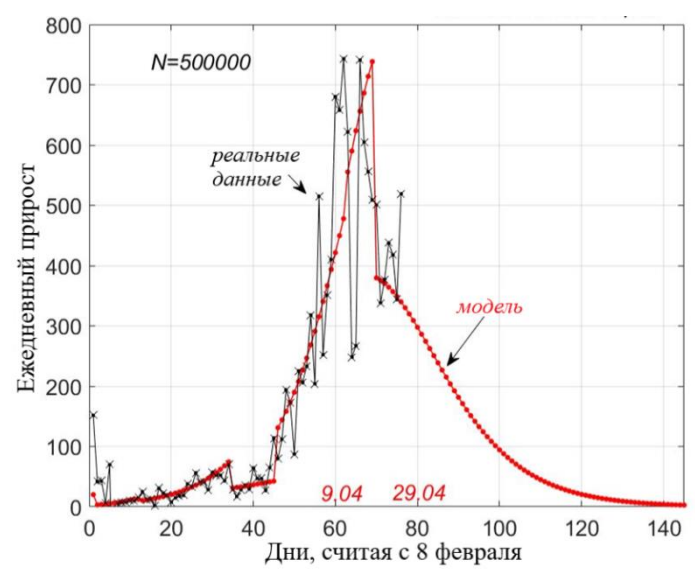


Рис. 8. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Японии

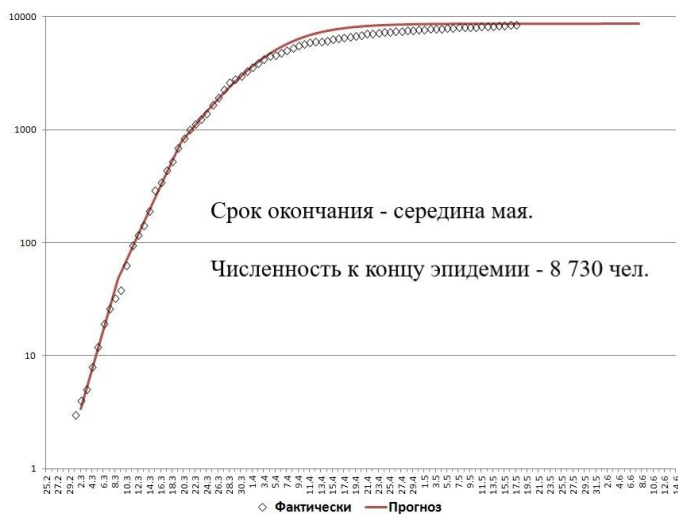


Рис. 9. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Чехии

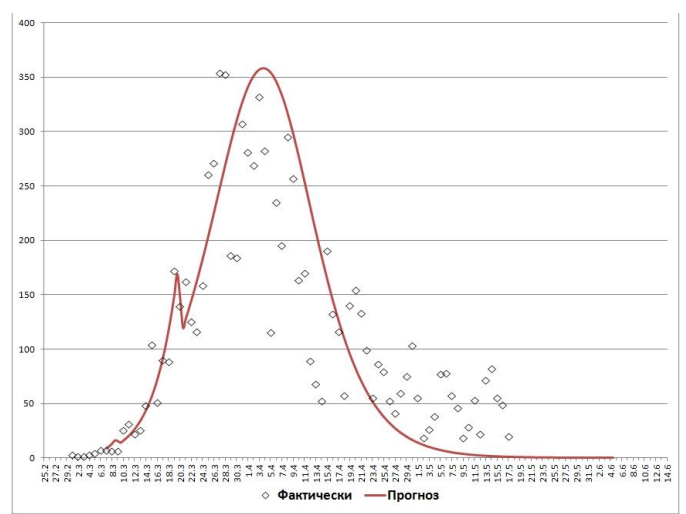


Рис. 10. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Чехии

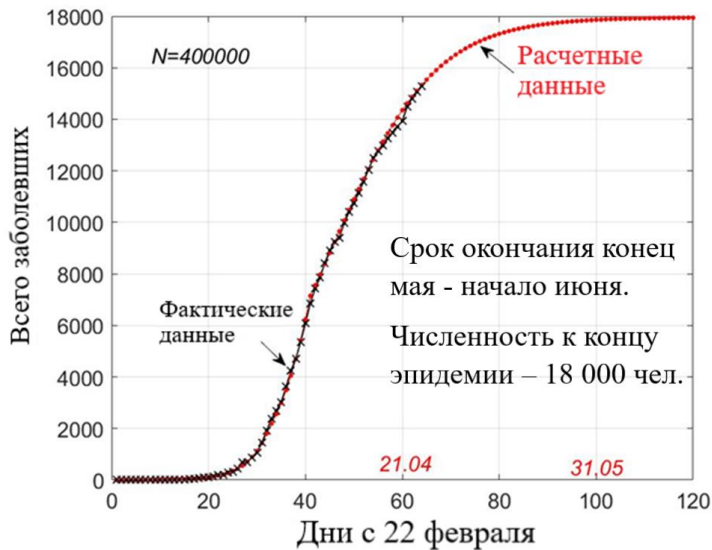


Рис. 11. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Израиле

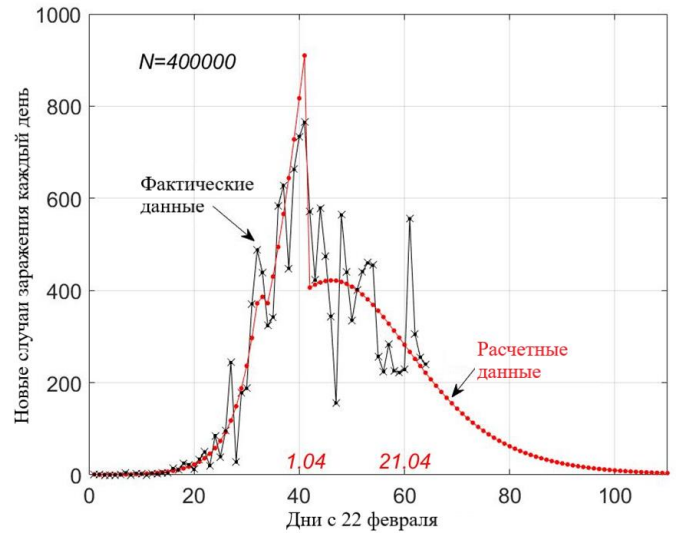


Рис. 12. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Израиле

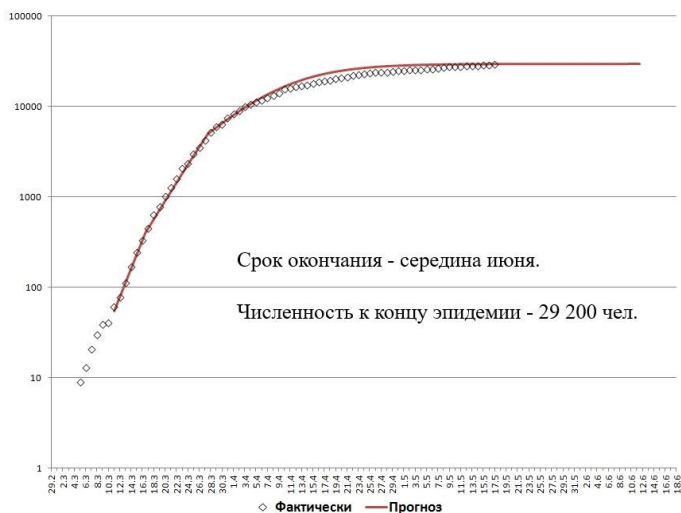


Рис. 13. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Португалии

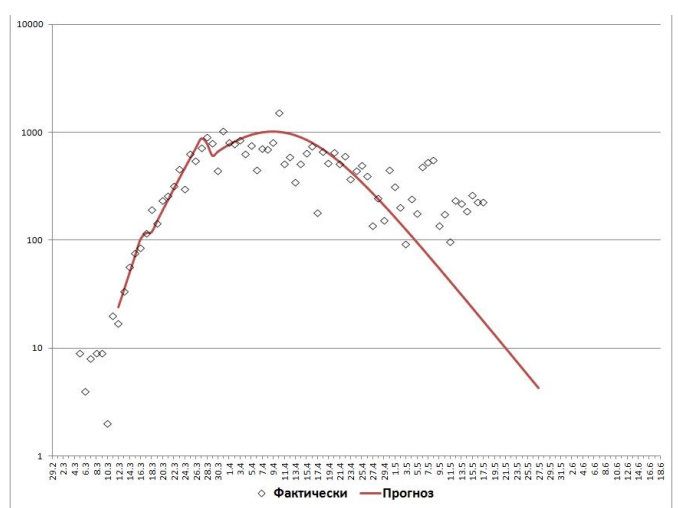


Рис. 14. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Португалии

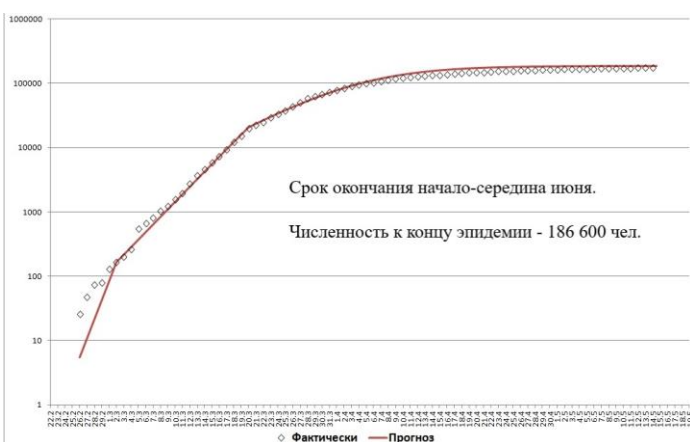


Рис. 15. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Германии

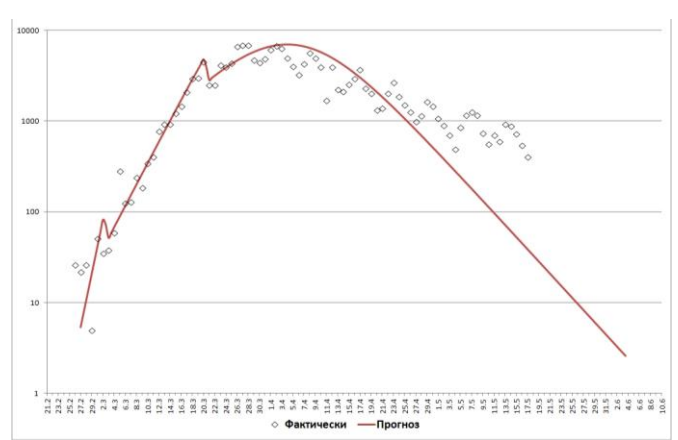


Рис. 16. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Германии

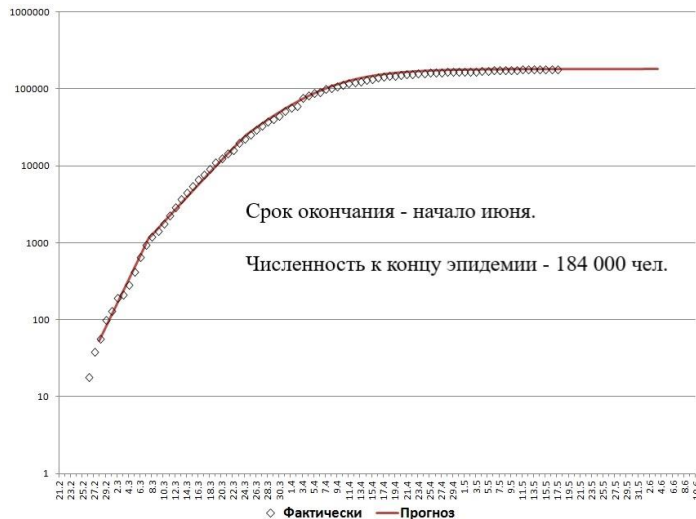


Рис. 17. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 во Франции

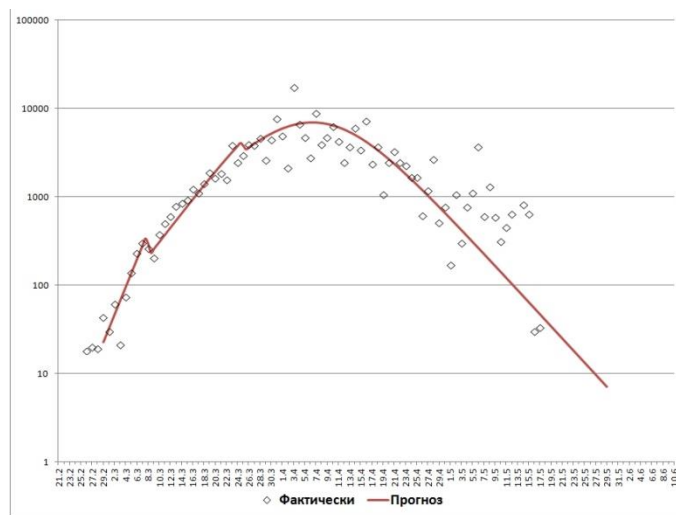


Рис. 18. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 во Франции

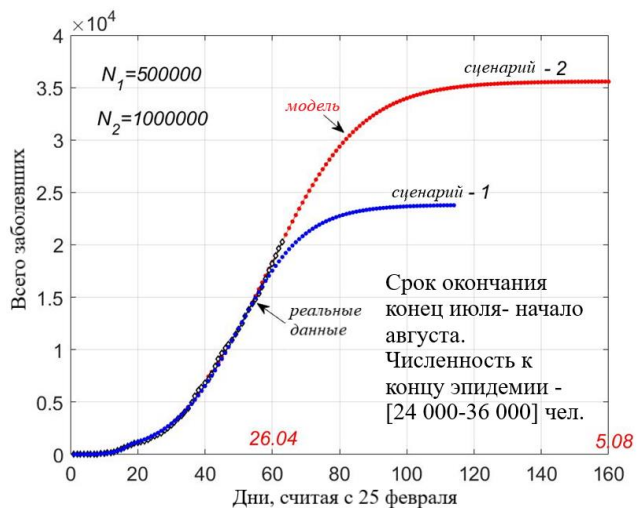


Рис. 19. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Швеции
1 сценарий (емкость) $N=500\ 000$,
2 сценарий (емкость) $N=1\ 000\ 000$

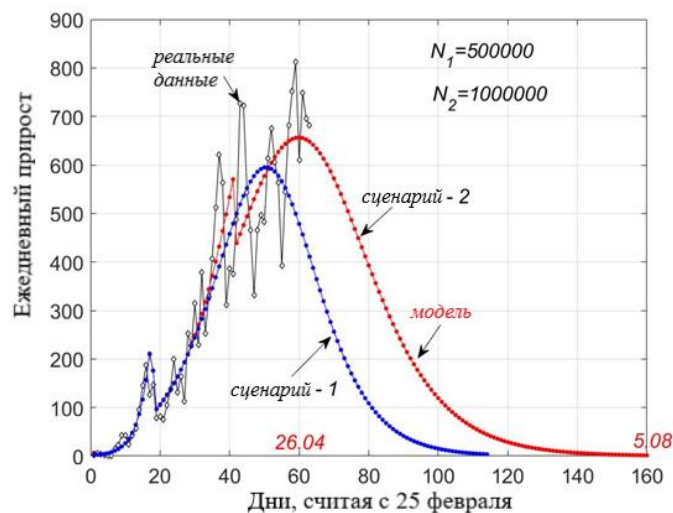


Рис. 20. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Швеции
1 сценарий (емкость) $N=500\ 000$,
2 сценарий (емкость) $N=1\ 000\ 000$

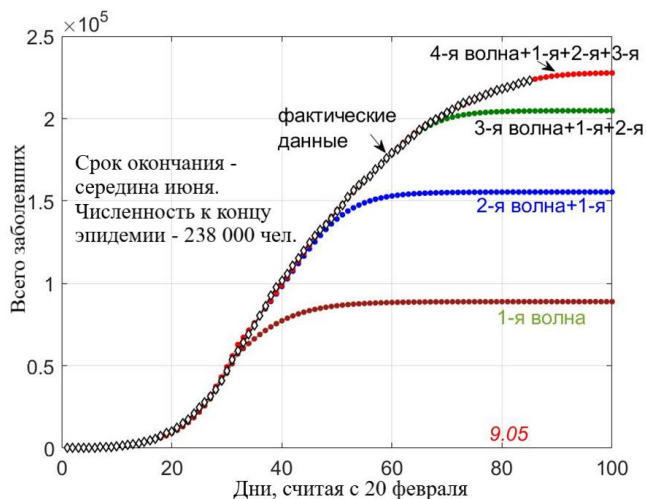


Рис. 21. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Италии. \diamond – фактические данные;

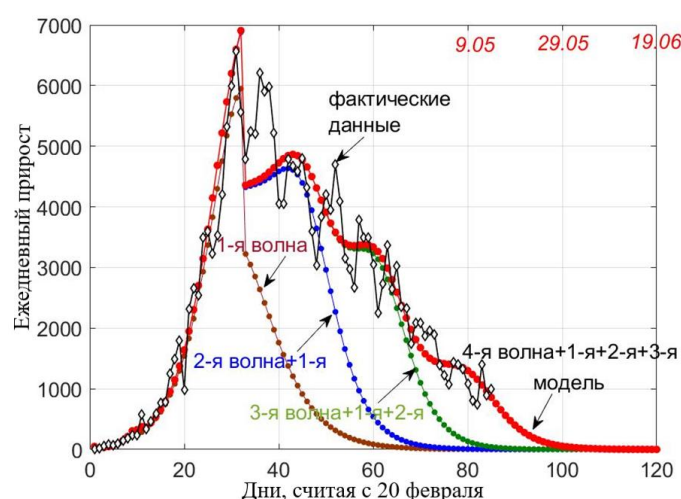


Рис. 22. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Италии. \diamond – фактические данные;

коричневая линия – расчетные значения численности инфицированных, соответствующие 1-ой волне; синяя линия – численность инфицированных, соответствующая суперпозиции 1 и 2-ой волн; зеленая линия – численность инфицированных, соответствующая суперпозиции 1, 2 и 3 волн; красная линия – численность инфицированных коронавирусом, соответствующая суперпозиции 1, 2, 3, 4 волнам развития эпидемии в Италии

коричневая линия – расчетные значения ежедневного прироста численности инфицированных, соответствующего 1 волне эпидемии в Италии; синяя – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1 и 2-ой волн; зеленая линия – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1, 2 и 3 волн; красная линия – прирост численности инфицированных коронавирусом, соответствующий суперпозиции 1, 2, 3, 4 волнам развития эпидемии в Италии

В Италии одновременно в 3-х разных местах в конце февраля возникли 3 волны эпидемии с емкостями соответственно: 1 200 000, 700 000; 500 000 человек. 1 марта зародилась 4-ая волна емкостью 250 000 человек.

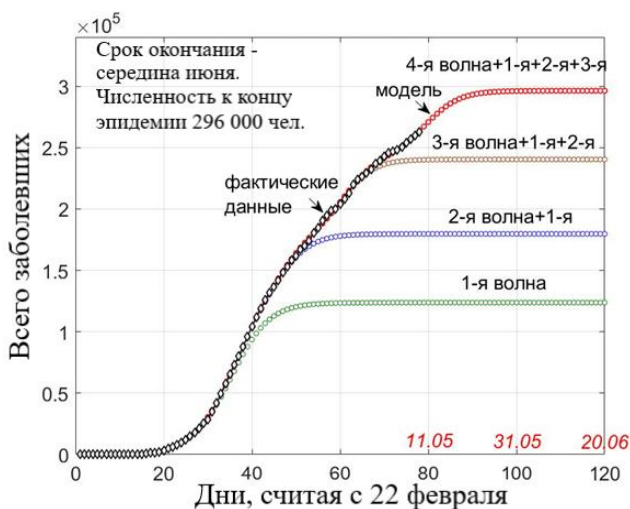


Рис. 23. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в Испании. \diamond – фактические данные; зеленая линия – расчетные значения численности, соответствующие 1-ой волне эпидемии в Испании; синяя линия – численность, соответствующая суперпозиции 1 и 2-ой волн эпидемии в Испании; коричневая линия – численность, соответствующая суперпозиции 1, 2 и 3 волн; красная линия – численность, соответствующая суперпозиции 1, 2, 3 и 4 волнам развития эпидемии коронавируса в Испании

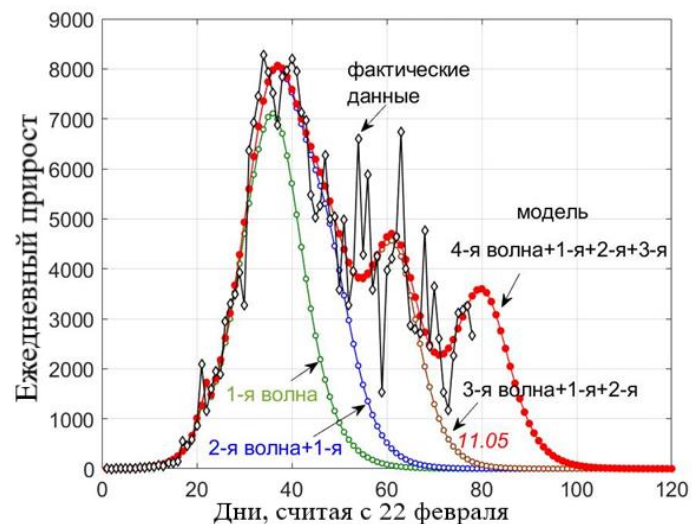


Рис. 24. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Испании. \diamond – фактические данные; зеленая линия – расчетные значения ежедневного прироста численности инфицированных коронавирусом COVID-19, соответствующего 1 волне; синяя линия – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1 и 2 волн; коричневая линия – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1, 2 и 3 волн; красная линия – ежедневный прирост численности инфицированных коронавирусом COVID-19, соответствующий распространения эпидемии в Испании

Распространение эпидемии коронавируса COVID-19 в Испании шло на основе 4-х волн. Волны связаны с появлением новых очагов эпидемии и несоблюдением ограничительных мер.

Первая волна распространения эпидемии в Испании возникла 22 февраля (емкость ~ 1 200 000), вторая волна возникла 2 марта с емкостью 500 000, 3-я волна зародилась 20 марта (емкость ~ 500 000), а четвертая возникла в первых числах апреля с емкостью 200 000.

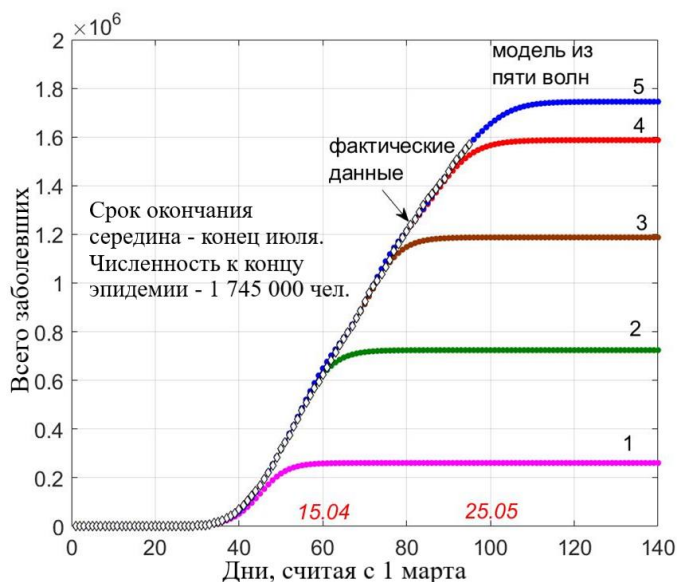


Рис. 25. Фактические данные [1] и расчетная кривая изменения численности инфицированных COVID-19 в США.

◇ – фактические данные по численности; сиреневая линия – расчетная численность, соответствующая 1-ой волне эпидемии; зеленая линия – расчетная численность, соответствующая суперпозиции 1 и 2-ой волн развития эпидемии; коричневая – численность, соответствующая суперпозиции 1, 2, 3-й волн; красная – численность, соответствующая суперпозиции 1, 2, 3, 4 волн; синяя – численность инфицированных, соответствующая суперпозиции 1, 2, 3, 4, 5 волн развития эпидемии коронавируса в США

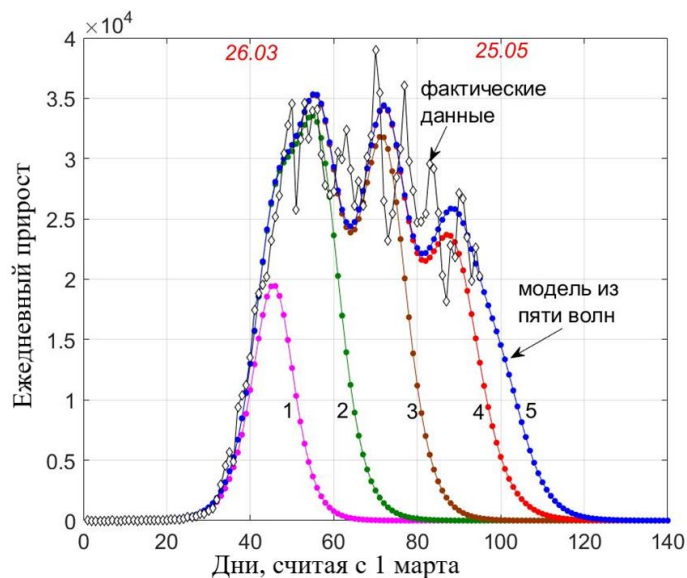


Рис. 26. Фактические данные [1] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в США.

◇ – фактические данные; сиреневая линия – расчетные значения ежедневного прироста численности инфицированных, соответствующих 1-ой волне распространения эпидемии в США; зеленая линия – прирост численности инфицированных, соответствующий суперпозиции 1 и 2-ой волн; коричневая – прирост численности инфицированных, соответствующий суперпозиции 1, 2 и 3-й волн; красная – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1, 2, 3, 4 волнам; синяя линия – прирост численности инфицированных коронавирусом, соответствующий суперпозиции 1, 2, 3, 4, 5 волнам распространения эпидемии в США

Первые две волны в США сформировались с середины февраля (емкость 1-ой волны 2 000 000 человек, а 2-ой волны 4 000 000). В середине марта сформировалась 3-я волна, емкостью 4 000 000; в конце марта сформировалась 4-ая волна емкостью 4 000 000 человек; 5-ая волна сформировалась в 20-х числах апреля, емкость 1 500 000.

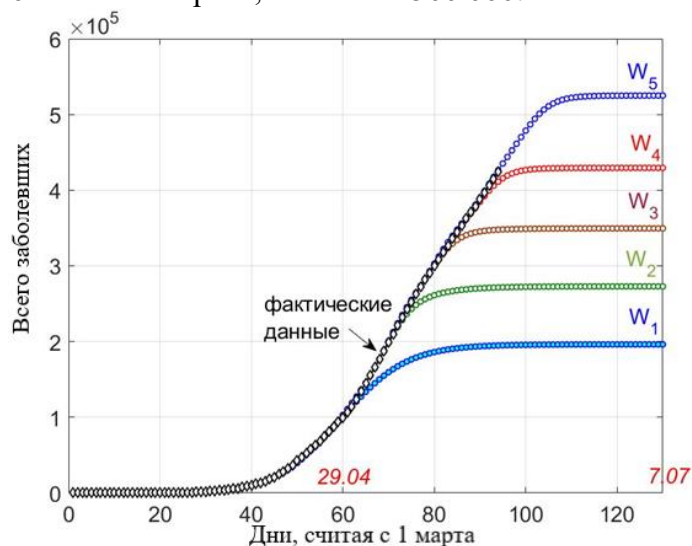


Рис. 27. Фактические данные [2] и расчетная кривая изменения численности инфицированных

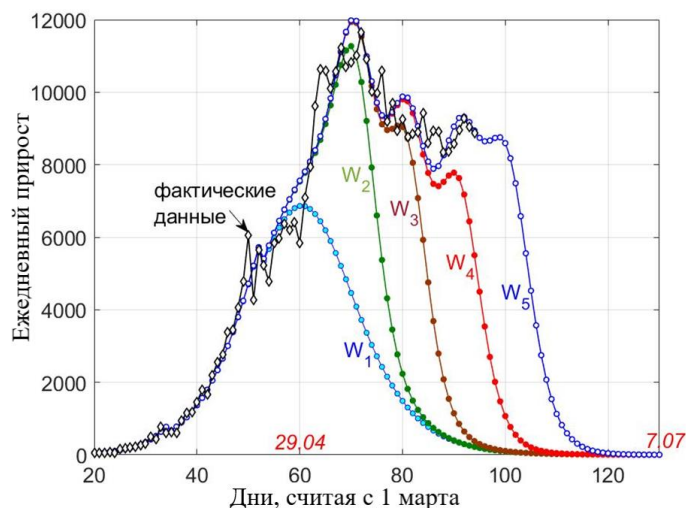


Рис. 28. Фактические данные [2] и расчетная кривая прироста численности инфицированных

COVID-19 в России.

◇ – фактические данные, численность инфицированных в России; W_1 голубая линия – численность инфицированных, соответствующая 1-ой волне распространения эпидемии в России; W_2 зеленая линия – соответствует суперпозиции 1 и 2 волн; W_3 коричневая линия – суперпозиции 1, 2 и 3 волн; W_4 красная линия – суперпозиции 1, 2, 3 и 4 волн; W_5 синяя линия – суперпозиции 1, 2, 3, 4 и 5 волн распространения эпидемии в России

Первая волна самая протяженная, она принесла 196 000 инфицированных, обеспечивает время эпидемии (конец июля), емкость её для России составляет 3 млн. человек. Первая волна дала локальный пик 29 апреля. Вторая волна, емкостью 500 000 человек, проявилась в 20-х числах апреля (возникла вследствие нарушения ограничительных мер), дала локальный пик 10 мая и принесла число инфицированных 76 629. 3 волна емкостью 550 000 человек проявилась после майских праздников, принесла численность инфицированных 76 271, дала локальный пик 20 мая. Четвертая и пятая волны емкостью соответственно 550 000 и 700 000 человек, проявились после середины мая, возникли вследствие постепенного снятия ограничений и роста численности инфицированных в неблагополучных регионах, принесли в сумме число инфицированных ~ 174 356 человек, дают локальные пики 29 мая и 8 июня. Таким образом, математическая модель прогнозирует конец эпидемии в России – конец июля, численность инфицированных к концу июля ~ 524 000 человек. Но думаем, что в связи с снятием ограничений в России появятся новые короткие волны, которые могут увеличить число инфицированных COVID-19.

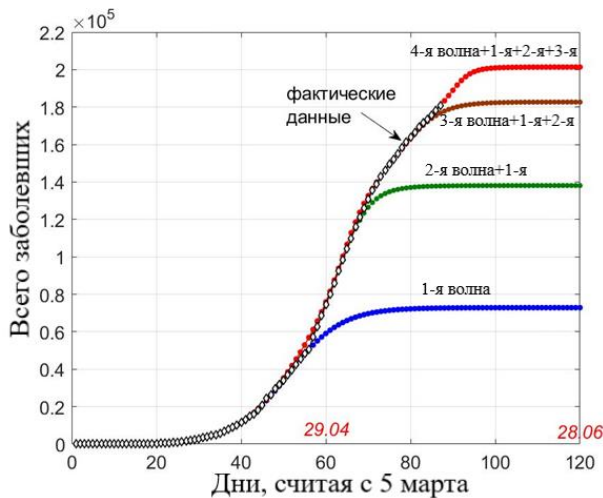


Рис. 29. Фактические данные [2] и расчетные кривые изменения численности инфицированных COVID-19 в Москве.

◇ – фактические данные, синяя линия – расчетная численность инфицированных, соответствующая 1-ой волне; зеленая линия – численность инфицированных, соответствующая суперпозиции 1 и 2-ой волн; коричневая линия – численность инфицированных, соответствующая суперпозиции 3-х волн; красная линия – численность инфицированных, соответствующая суперпозиции 4-х волн

Первая волна в Москве зародилась в первых числах марта является самой протяженной из всех волн; именно она обеспечивает время эпидемии – конец июня, сопровождалась численностью 73 000 инфицированных. Не соблюдение жестко ограничительных мер в Москве привело к появлению ещё двух волн, которые проявились в двадцатых числах апреля, сдвинули пик эпидемии

COVID-19 в России.

◇ – фактические данные; W_1 голубая линия – расчетный ежедневный прирост численности инфицированных соответствующий 1-ой волне; W_2 зеленая линия соответствует суперпозиции 1 и 2 волн; W_3 коричневая линия – суперпозиции 1, 2 и 3 волн; W_4 красная линия – суперпозиции 1, 2, 3 и 4 волн; W_5 синяя линия – суперпозиции 1, 2, 3, 4 и 5 волн распространения эпидемии в России

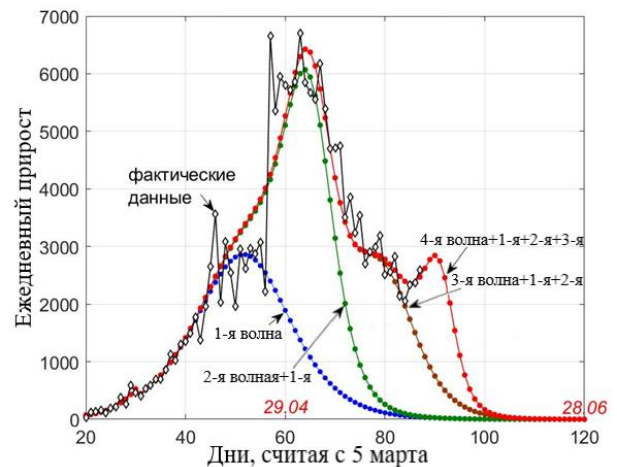


Рис. 30. Фактические данные [2] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Москве.

◇ – фактические данные; коричневая линия – прирост численности, соответствующий 1-ой волне; зеленая линия – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1 и 2-ой волн; синяя линия – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1, 2 и 3 волн; красная линия – прирост численности, соответствующий суперпозиции 1, 2, 3 и 4 волн

на 7 мая и увеличили численность инфицированных ещё на 109 000 человек. Четвертая волна проявилась в двадцатых числах мая (последствие возобновления работы ряда предприятий), является короткой, не повлияла на время окончания эпидемии, но увеличит число инфицированных на 19 000 человек, доведя до численности 201 000. Мы полагаем, что при постепенном снятии ограничений будут ещё возникать новые волны. Важно, чтобы они были короткие, а для этого каждый москвич должен обеспечивать меры предосторожности.

Таким образом, на сегодняшний день (2 июня) мы видим, что распространение эпидемии коронавируса COVID-19 в г. Москва укладывается на суперпозицию 4-х волн, конец эпидемии в Москве конец июня - начало июля. Численность к концу эпидемии ~ 201 000 жителей. Но мы полагаем, что будет ещё ряд коротких волн, которые увеличат численность инфицированных и время окончания эпидемии в г. Москве. Эти волны могут происходить с постепенным снижением ограничительных мер. И мы считаем, что судьба Москвы находится в руках каждого москвича. Как мы будем себя вести при постепенном снятии ограничений. Или ограничимся короткими волнами с малыми емкостями или протяженными с большой амплитудой.

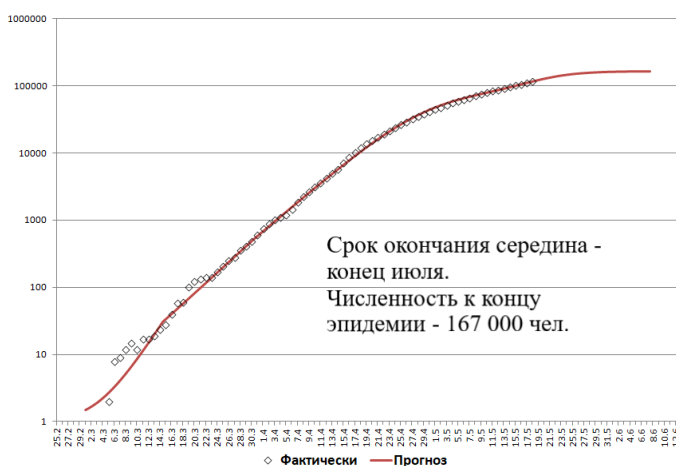


Рис. 31. Фактические данные [2] и расчетные кривые изменения численности инфицированных COVID-19 в Российских регионах

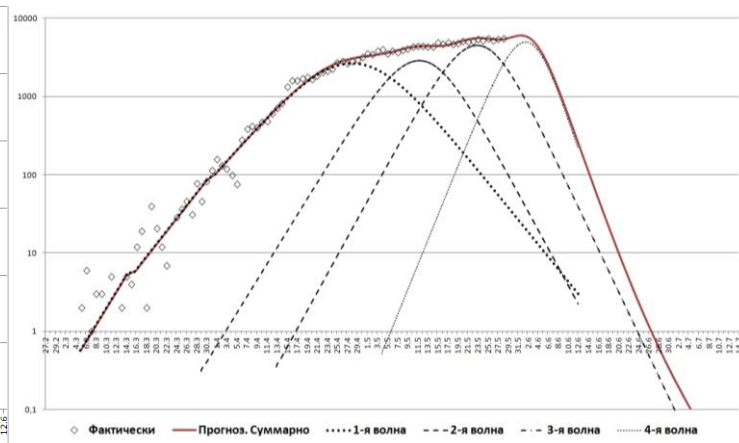


Рис. 32. Фактические данные [2] и расчетная кривая прироста численности инфицированных COVID-19 в Российских регионах

Отдельно считались Российские регионы. При расчете распространения эпидемии в России увидели, что большой вклад в численность инфицированных вносит Москва и Московская область. Поэтому Российские регионы рассматривали не по отдельности, а в сумме, вычитая из данных по численности инфицированных в России число инфицированных в г. Москва и Московской области.

Российские регионы укладываются на настоящее время (начало июня) на волны с емкостями соответственно: 760 000; 400 000; 500 000; 300 000. Первая волна протяженная возникла в начале марта, дала локальный пик 28-29 апреля, обеспечила численность инфицированных ~ 62 000 человек. Вторая волна проявилась после 20-х чисел апреля и дала локальный пик ~ 12 мая, третья волна в регионах проявилась после майских праздников и дала локальный пик 23 мая. Четвертая волна в регионах проявилась после 12 мая в связи с частичным снятием ограничением и ростом численности инфицированных в районах с неблагоприятной эпидемиологической ситуацией, дает пик в июне и добавит ещё 50 000 инфицированных к общей численности, инфицированных в регионах.

Сейчас ряд регионов снимают ограничительные меры, надо отдавать отчет, что в сумме Российские регионы проходят и по модели и по факту пик эпидемии. Это означает, что есть отдельные регионы, на которые надо сейчас обратить пристальное внимание.

Под емкостью понимается численность потенциально возможных жителей, которые могут быть инфицированы коронавирусом COVID-19. Число фактически инфицированных в зависимости от показателя роста численности инфицированных COVID-19 в стране находится в интервале [4-13%] от емкости страны.

Емкость зависит от степени «открытости» страны к вирусной инфекции COVID-19 (наличие потоков жителей, завозящих инфекцию, изолированность очагов инфекции, скученность и плотность проживания в городах мегаполисах страны, устойчивость жителей страны к вирусной инфекции COVID-19). Значение емкости страны определяется в окрестности пика эпидемии.

P.S.: Расчеты сделаны при показателях роста численности, соответствующих ограничительным мерам, принимаемым в странах. В случае изменения ограничительных мер или при возникновении другой волны распространения эпидемии из-за нарушения ограничительных мер требуется пересчет по математическим моделям.

Статья Кольцова Э. М., Куркина Е. С., Васецкий А. М. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Москве. Computational nanotechnology. 2020. Том. 7. №. 1. с. 99-105. <http://urvak.ru/journals/computational-nanotechnology/>.

Koltsova E. M., Kurkina E. S., Vasetsky A. M. Mathematical Modeling of the Spread of COVID-19 in Moscow and Russian Regions //arXiv preprint arXiv:2004.10118. – 2020. <https://arxiv.org/abs/2004.10118>

Статья Кольцова Э. М., Куркина Е. С., Васецкий А. М. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в ряде европейских, азиатских стран, Израиля и России журнала «Проблемы экономики и юридической практики». 2020. № 2. с. 154-165. <http://urvak.ru/bitrix/uploads/Koltsova.pdf>).

Литература

1. URL: <https://coronavirus-monitor.ru/coronavirus-v-rossii/>
2. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>