

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского  
государственного университета  
технологии и дизайна



**Серия 1**

Естественные  
и технические науки

**№ 4/2022**

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПАНДЕМИИ КОРОНАВИРУСА

© С. Л. Горобченко, Д. А. Ковалев, 2022

Рассмотрены вопросы применения системного подхода к оценке развития коронавируса и пандемийной ситуации в целом. Показана применимость системной модели S-образной кривой жизненного цикла к задачам анализа развития пандемии. Предложен алгоритм моделирования изменений в пандемийной ситуации на основе анализа триады «Вирус — Организм — Популяция». Продемонстрирован прогноз на основе предложенной модели, обобщающей развитие пандемийной ситуации на основе различных вирусов, подчиняющихся модели развития на основе жизненного цикла.

**Ключевые слова:** системный подход, коронавирус, пандемийная ситуация, модель жизненного цикла, S-образная кривая, триада «Вирус — Организм — Популяция», алгоритм развития пандемийной ситуации, оценка и прогноз пандемийной ситуации.

**Введение**

Уже идет третий год от начала эпидемии коронавируса, и за это время так и не оказалось исследовательского прогноза по тому, когда и как уйдет коронавирус и закончится ли эта эпидемия вообще. Экспертные оценки весьма противоречивы, в связи с чем нет возможности определенно сформировать представление о близком конце коронавируса или, наоборот, о еще более худшей ситуации. С приходом штамма омикрон и его новой версии стелс-омикрон, возникают предположения о том, что этот процесс мутации будет бесконечным и никогда не прекратится, как и последствия, вызванные им для экономики и жизнедеятельности общества в целом.

Чтобы дать уверенный прогноз по развитию эпидемиологической ситуации, перспективным является системный взгляд на вопрос развития коронавируса и применение системных моделей для его анализа. Для этого предлагается рассмотреть, в каких рамках развивается коронавирус и наступит ли его конец, исходя из общих предпосылок развития любой системы.

**Основные этапы пандемии и характеристики вирусов как систем**

Рассмотрим некоторые опорные точки в развитии пандемической ситуации. Государство ведет статистику все время коронавируса, выделяя его основные волны, которых, так или иначе, в России было уже три, в настоящее время продолжается четвертая волна на основе штамма омикрон. Волны разных стран также, в зависимости от особенностей менталитета населения, здравоохранения и силы государства, немного различаются, но во многом они аналогичны (рис. 1).

Вне зависимости от того, какие барьеры на пути вирусов ставят государства, от закрытия границ до поголовной обязательной вакцинации, все штаммы вируса успешно преодолевают все границы. На очереди следующая волна стелс-омикрона.

Можно отметить, что и сам вирус за это время прошел несколько стадий в своем трансформировании

и, говоря, языком системного подхода, в одной и той же ветке системы проявилось несколько направленностей его подсистем (табл. 1).

Можно выделить некоторые определенности в распространении вируса. Важная особенность развития эпидемии состоит в том, что в зависимости от усилий врачей существует некоторая определенность в том, сколько жизней уносит вирус. За счет повышения уровня тестирования и вакцинации и соответствующего усиления иммунитета вирус лишается своей «кормовой базы», т. е. человеческих организмов. Особенно подчеркнем, что прослеживается одинаковость волн, как сейчас, так и ранее, как, например, во времена испанки.

Рассмотрим, в чем особенности каждого из штаммов, расположив их на известной зависимости «агрессивность (смертность) — заражаемость», и закономерности изменений этого показателя. Выразив на графике пандемическую агрессивность известных вирусов последнего времени и степень того, как они заражают человеческие организмы, можно обнаружить некоторые закономерности (рис. 2).

Из графика можно видеть, что активность вируса в целом падает, и он уже не способен, как испанка, уносить миллионы жизней за столь короткое время. В качестве доказательного примера укажем, что испанка за один год убила до 50 млн человек.

Штамм омикрон более «человечен», безопасен, во многом безобиден, имеет скромный инкубационный период, он не стремится и ему не надо бороться с человеческим носителем. По мнению многих врачей-вирусологов, штамм вируса омикрон — именно такой, и сам он стремится стать только сезонным заболеванием. Эта мутация, по всей видимости, есть начало конца, он вытеснит дельта-штамм и сам деградирует до сезонных респираторных заболеваний. Это предположение, которое еще предстоит подтвердить.

Омикрон обладает самой высокой заражаемостью, но до сих пор отмечен только один, и то — сомнительный смертельный случай. В отличие от наиболее

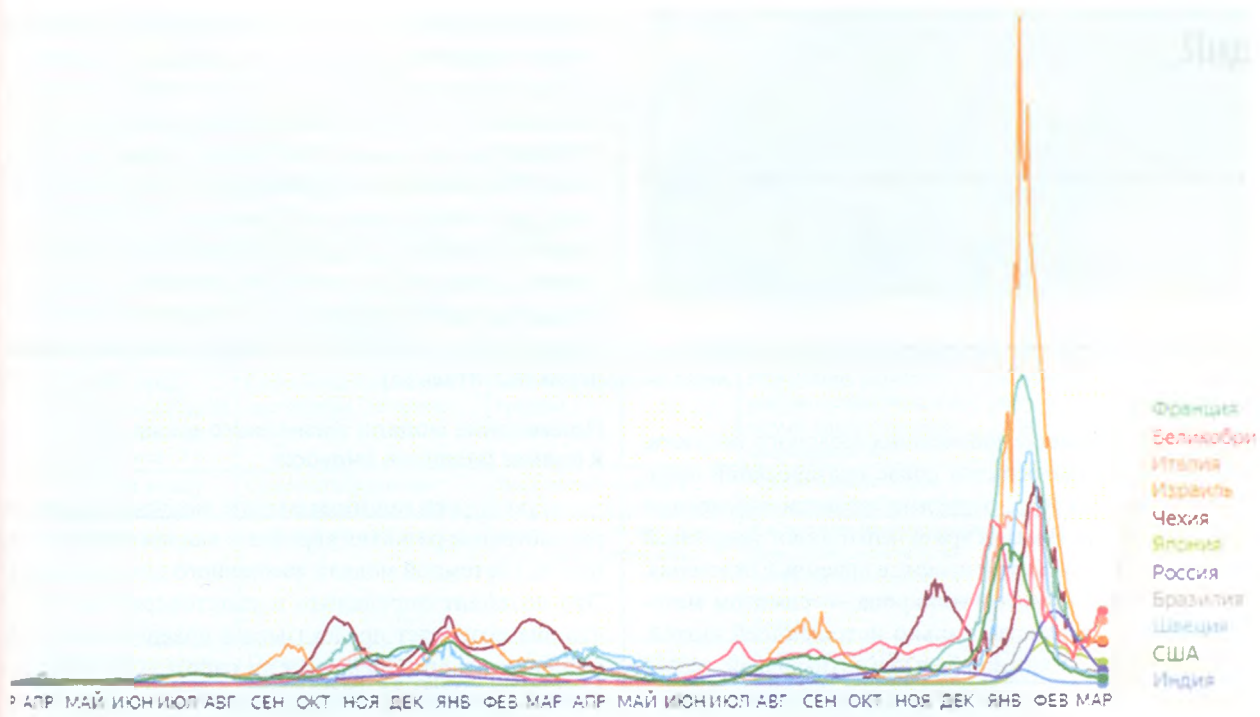


Рис. 1. Число заражений по странам [1]

Таблица 1. Список мутаций, вызывающих беспокойство ВОЗ [2]

Название вариантов вируса	Кодировка	Место возникновения	Дата возникновения
Alpha	B.1.1.7	Великобритания	Декабрь 2020 г.
Beta	B.1.351	Южная Африка	Декабрь 2020 г.
Gamma	P.1	Бразилия	Январь 2021 г.
Delta	B.1.617.2	Индия	Май 2021 г.
Omicron	B.1.1.529	Несколько стран	Ноябрь 2021 г.

агрессивных и потому смертельных штаммов коронавируса, он отличается большим количеством спайков, которыми стремится любым способом соединиться с клетками организма (рис. 3).

Омикрон мутировал в сторону заразности и стремится обойти иммунную систему. Его задача — обойти ее и заразить как можно больше людей. Остановить его имеющимися средствами пока невозможно, но зато он, по всей видимости, и есть тот наш скрытый «друг», который будет способен остановить агрессивный дельта-штамм. Складывается впечатление, что вирус сам себя хочет «угомонить».

Налицо целесообразное поведение вируса, поскольку вирус, как и все живое, стремится к долгосрочному выживанию, и поэтому инфекция должна сохраняться и передаваться дальше. Например, кролики и гориллы после тяжелейших эпидемий никогда полностью не вымирают и продолжают размножаться. Вся популяция, как правило, неуничтожима.

Штамм омикрон значительно слабее по летальности и агрессивности, чем дельта-штамм. Симптоматика слабее и в гораздо меньшей степени страдают легкие. Меньшее количество пациентов поступают в больницу, ни у одного не было потери вкуса и запаха, при этом

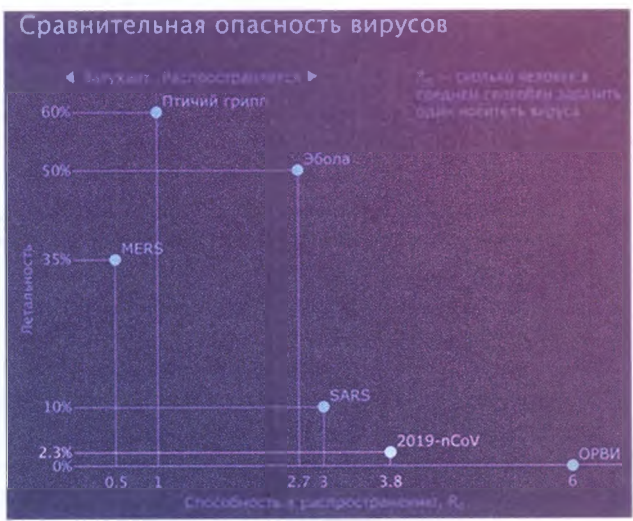


Рис. 2. График заражаемости-летальности наиболее опасных вирусов последнего времени

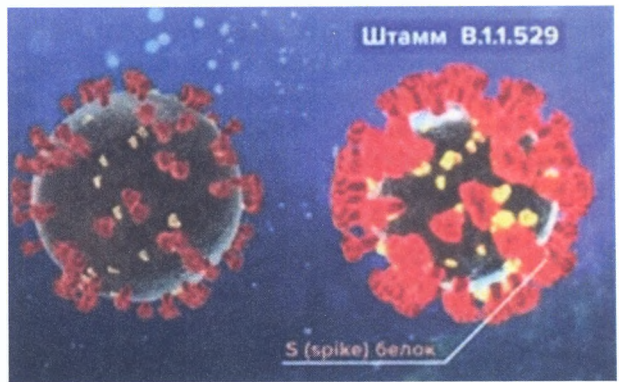
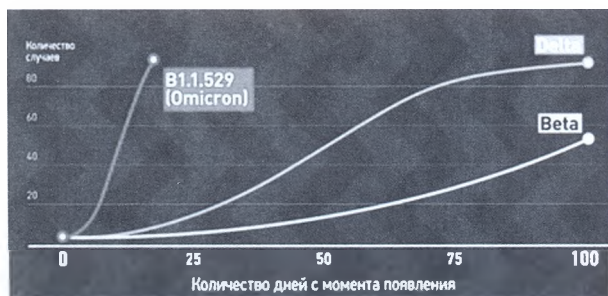


Рис. 3. Дельта-штамм и штамм омикрон



**Рис. 4.** Скорость распространения разных штаммов вируса [2]

значительно больше заболевших молодого возраста. Особенно это проявляется после празднований окончания учебного года, взрослые же люди заболевают меньше и позже. В целом врачи испытывают умеренный оптимизм по результатам приема в приемные отделения.

Основной симптом омикрона — симптом метаболической усталости, сильно истощающей людей, сочетающейся с головной болью и тахикардией, скорее всего, это означает, что вирус стремится не убивать, а охватывать пока не занятые «кормушки» в организме, например, поражая периферические нервы.

Штамм омикрон проходит очень быстрый инкубационный период, значительно быстрее, чем дельта-штамм, соответственно, опережая его в захвате организма. При этом он лечится он проще: так, средний период прерывания в больнице после заражения омикроном значительно короче, чем при заражении дельта-штаммом. Штамм омикрон с легкостью заражает множество людей вокруг. По имеющимся подсчетам, скорость заражения этим штаммом в 4 раза выше, чем у дельта-штамма (рис. 4). Это вирус — супермутант.

Вирус рекомбинируется или, можно сказать, что вирус может заразить вирус. Предположительно, мутация идет в сторону безопасной версии себя. Вирусу выгодно, чтобы хозяин долго не погибал, поэтому его развитие идет в сторону меньшей летальности. Правда, таковы не все вирусы, например, оспа и чума не мутируют, и остаются до конца смертельными. Для штамма омикрон есть надежда, что его летальная сила будет уменьшаться. Омикрон имеет мутацию значительно более сильную, чем дельта. Есть опасение, что это снова начало сильной новой волны, поскольку антитела к его действию могут не действовать.

Какие изменения в вирусе помогут избавиться от него? Отбираются те мутации, которые способствуют приспособляемости вируса к организму хозяина. Это и способность выживать в среде. Большое количество мутаций означает, что он пытается приспособиться, иногда теряет свою патогенность, становится безопасным паразитом.

Штаммы борются между собой за приживаемость в организме. С ними борется и иммунная система. Когда иммунная система борется с одним вирусом, то другому войти уже сложно. Например, гриппом сейчас болеют меньше. За эпидемиологический сезон 2021 года было выявлено всего 10 000 случаев, тогда как обычно эта цифра достигает 50 млн человек. Явно

у вирусов присутствует конкуренция за кормовую базу, и ковид явно победил. Но грипп не «простил» и начинает мутировать. Об этом говорят и цифры заболеваемости. Например, сейчас заболеваемость гриппом пошла вверх и, очевидно, имеет мутации, способные вытеснять коронавирус. О том, что они конкурируют, говорит простой факт: из всех заболевших пациентов нет тех, у которых был бы одновременно, и грипп, и ковид. По данным Домодедовской городской больницы, одновременно грипп и ковид обнаружены только у двух пациентов из тысяч, которые прошли через госпиталь [3].

#### Применение модели жизненного цикла к оценке развития вирусов

Для оценки гипотезы о конце пандемии проведем рассмотрение развития вирусов и пандемийной ситуации по системной модели жизненного цикла системы. Это позволит определить и удостовериться в том, что она позволяет предсказывать поведение вирусов и определить, подтвердится ли гипотеза из учета основных признаков омикрона, которые мы рассмотрели.

Заложим основные куски выделенных определенностей поведения штаммов коронавируса в одну из главных системных таблиц — таблицу оценки жизненного цикла системы (табл. 2).

Обратим внимание, что сейчас начинаются серьезные мутационные изменения в структуре и составе вирусных штаммов и их элементов. У вируса появляются дополнительные функциональные группы, облегчающие выполнение главной функции — приспособляемости и быстрого размножения. Это соответствует концу второго этапа. Наблюдается тенденция к чрезмерному увеличению функциональной группы-победителя (например, за счет количества спайк-белков). Количество организмов, которые потенциально являются кормовой базой штамма, максимально, и вирус специализируется под них. Вирус в лице своих штаммов старается быть незаметным для иммунной системы, в отличие от первых штаммов. Развитие идет за счет формирования новых функциональных групп в составе вируса, обеспечивающих лучшую защиту и невидимость штамма от иммунной системы и вакцин. Это уже начало третьего этапа развития вирусной платформы коронавируса как системы.

Таким образом, коронавирус, пройдя стадии жизненного цикла в соответствии с традиционной моделью жизни системы, становится все больше нишевым и достаточно безопасным. Сейчас он находится в конце 2-й — начале 3-й фазы развития вируса. Его агрессивность уходит, он становится обычным «маргиналом» нашего организма. Он будет быстро и эффективно заражать, но будет не опаснее ОРВИ.

#### Взаимодействие триады «Вирус — Организм — Популяция»

Вирус, организмы и популяции в целом проходят через 4 основные стадии развития — зарождение, развитие, зрелость и старость. Каждый из этапов имеет свои закономерности развития, и при этом

Таблица 2. Признаки развития вируса как системы по S-кривой развития систем

№	Признаки	1-й этап зарождение	2-й этап развитие	3-й этап стабилизация	4-й этап деградация
1	Уровень новизны	Высокий, но быстро снижается	Высокий, с тенденцией к снижению	Низкий	Очень низкий
2	Количество разновидностей	Малое	Растет	Постоянно	Уменьшается
3	Показатель идеальности вируса*	Низкий. Функций (приспособляемости) мало, а «расходы» вируса на борьбу с иммунной системой большие.	Низкий	Приспособляемость резко улучшается, заражаемость растет при низкой летальности.	Приспособляемость вируса улучшается, безопасность организма-кормильца остается в норме (нет высокой летальности).
4	Способность к приспособлению вируса к разным организмам	Сначала только отдельные группы (65 лет+).	Большее покрытие одной группы	Нарастание разновидностей организмов, к которым вирус способен адаптироваться.	Снижение типов организмов, возрастных групп и пр.
5	Различие между разновидностями вируса	Способы обхода иммунной системы могут сильно различаться.	Выделяется главный стандартный вход в организм и способ внутреннего распространения.	Приспособляемость вируса обеспечивается в основном расширением одного способа обхода иммунной системы — (рост количества спайк-белков).	—
6	Характер взаимодействия с организмом	Пытается проникнуть во все клетки и органы организма, часто убивая его.	Побеждает не самая активная, а самая приспособленная к организму-кормильцу система.	Могут появляться вирусы, не отличимые от обычных вирусов, хорошо знакомых организму. Идет интенсивное приспособление.	Изменения в организмах, как кормовой базе, снижают возможности вирусов и затрудняют их существование, например, за счет вакцинации и выработки коллективного иммунитета.
7	Характер потребления ресурсов	Вирус стремится потреблять ресурсы, для него не предназначенные, и начинает приспособляться к имеющейся кормовой базе.	Вирус приспособляется к существующим источникам ресурсов в организме и находит наиболее уязвимые места организма (например, нейрорганеллы).	Вирус находит свои ниши, достаточные для своего существования высокоспециализированные ресурсы, не видимые иммунной системе.	Из-за иммунного ответа, ниши в организме, пригодные для жизнедеятельности вируса исчезают.
8	Характер изменения штаммов вируса	Вирус пытается объединиться с альтернативными системами, лидирующими в данный момент, например, используя простые системы входа в организм — воздушно-капельным путем.	Победа одного штамма приводит к остановке и деградации остальных.	Штаммы приобретают дополнительные функциональные группы, относительно мало связанные с выполнением главной.	Вирус переходит в разряд безвредных штаммов, постоянно присутствующих в организме и даже сотрудничающих с иммунной системой для защиты от новых вирусов.

\* Идеальность вируса как системы определяется соотношением количества жизнеобеспечивающих функций к затратам на их поддержание.

они активно взаимодействуют. При анализе этого взаимодействия необходимо рассмотреть основные тенденции развития каждого из членов этой триады. Необходимо найти правильные сочетания между ними и обозначить роль каждого при их взаимодействии на каждом этапе. При этом учтем, что вирус проходит свой жизненный цикл посредством различных типов штаммов — первоначального (уровень 1), агрессивного (уровень 2) и массового по заражаемости (уровень 3). Изменения в сочетании типа вируса и пандемийной ситуации по этапам движения жизненного цикла показаны на рис. 5.

*Первый этап пандемии.* На первом этапе пандемийной ситуации возможна взаимосвязь только между первыми двумя уровнями. Вирус из почти незаметного популяционного мутанта перерастает в эпидемийный статус.

*Второй этап пандемии.* На втором этапе вирус захватывает все новые разновидности организмов,

особенно с широкими связями или ослабленным иммунитетом, обеспечивающим продвижение вируса по сети популяционных взаимосвязей.

*Третий этап пандемии.* Количество заражений растет, а вместе с ними растет конкуренция. Благодаря развитию и увеличению количества спайк-белков обеспечивается повышение захватываемости клеток и создаются возможности для роста, общая картина заражаемости вирусом стандартизируется.

*Четвертый этап пандемии.* Больше нет новых организмов для заражения. Критический уровень иммунизации популяции достигнут. Все организмы популяции приобрели иммунитет. Вирус максимально стандартизовался и максимально приспособился.

*Пятый этап пандемии.* Рождаются новые мутации вируса под тех участников популяции, организмы которых имели большую сопротивляемость. Популяция приобретает больший иммунитет. Возникают ниши, в которых начинают «искать себя» новые штаммы.

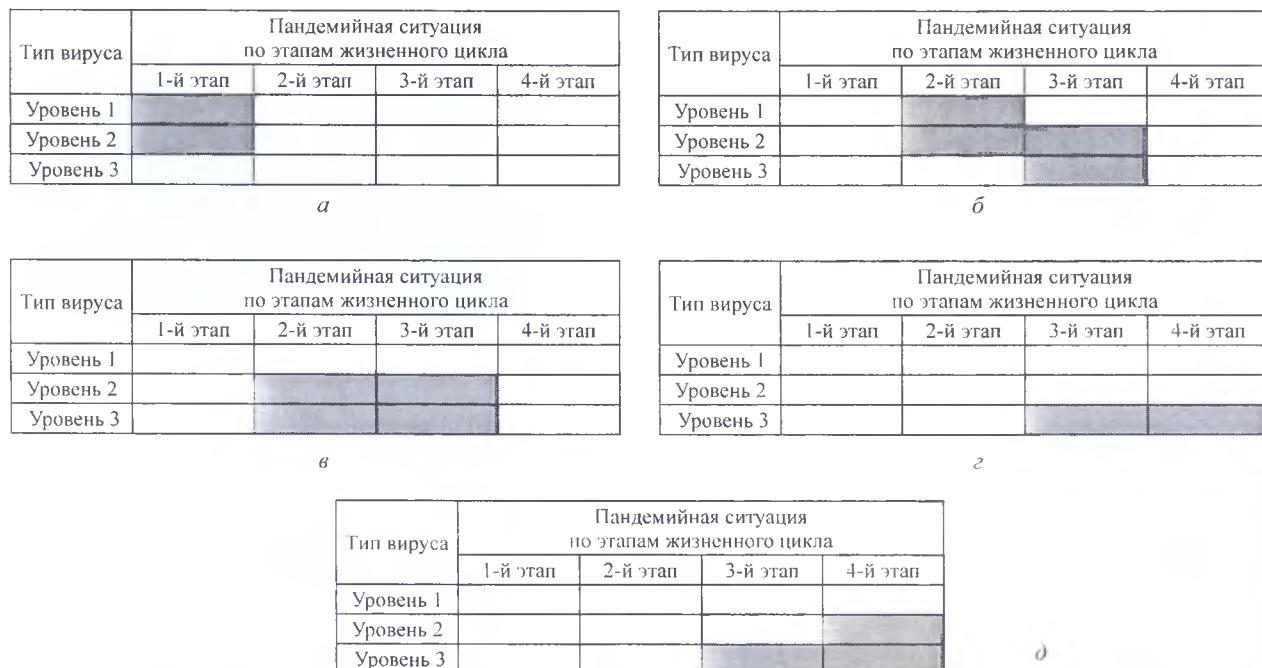


Рис. 5. «Вирус — Организм — Популяция», а) первый этап; б) второй этап; в) третий этап; г) четвертый этап; д) пятый этап

Примерно так, по нашему мнению, будет происходить движение всех штаммов внутри популяции и составляющих ее организмов. Это также означает, что остальные состояния будут маловероятны и их можно не рассматривать.

Как следует из приведенного обзора, существует определенное сбалансированное сочетание между вирусами, организмами и популяциями. При стремлении каждого из элементов триады к собственному выживанию, существуют некоторые уравнивающие силы, создающие баланс и дающие возможность оценки развития пандемийной ситуации при помощи дальнейшей алгоритмизации.

### Алгоритмизация пандемии как системы

Обозначим вирусы, находящиеся на четырех уровнях развития систем, как S1, S2, S3 и S4, организмы, в зависимости от их подверженности вирусу, как C1, C2 и C3 и популяции как M0, M1, M2, M3 и M4. Тогда любое взаимодействие и воспроизводство вируса вплоть до пандемии может быть описано цепочкой, в которой первым звеном будет символ, соответствующий уровню вируса, вторым звеном — символ задействованного организма, и третьим — символ уровня охвата вирусом популяции. Если требуется, можно и дальше добавлять следующие уровни описания, например, состояние мировой эпидемиологической ситуации.

В такой номенклатуре эпидемиологическое состояние будет представлено как совокупность взаимодействия этих составляющих F(S) & F(C) & F(M). Например, на уровне полного охвата популяции формула может выглядеть как S3-C3-M3.

В таком виде уже есть несколько разрешенных и запрещенных состояний, в зависимости от того, на-

сколько агрессивным и заражающим является тот или иной штамм вируса. Ведь в такой цепочке значение каждого следующего звена делает разрешенным или запрещенным значения и/или сочетание предыдущих элементов, сразу указывая, в чем несоответствие. Например, становится ясно, что цепочка S3-C1-M3, не работает. Вирус, находящийся на этапе высокой агрессивности, не может обеспечивать полный охват всей популяции. Подобный язык делает в перспективе возможным создание компьютерных экспертных систем анализа вирусной опасности, которые будут сравнивать цепочки, описывающие возникающие вирусы, с заранее заготовленной матрицей разрешенных цепочек и выдавать обоснованную оценку.

Благодаря проведенной алгоритмизации появляется возможность создания цепочек описания поведения вирусов. Эти описания способны формализовать и конкурировать вирусов между собой. Дело в том, что реальное количество заражений вирусов и применяемых в разных ситуациях способов заражения ограничено. Введя операторы, символически обозначающие действия, характерные для вирусов, и добавив эти операторы к цепочке, описывающей пандемическую ситуацию, можно получить формулу, которая объясняет особенности взаимодействия вирусов по захвату организмов и созданию пандемической ситуации. Например, при разных пандемиях и в разные времена отмечалось, что агрессивность вируса падала, ради сохранения его же выживаемости. Обозначив целенаправленное снижение агрессивности как I, мы можем описать данный тип действий как S2,3I-C2,3-M2,3. В отличие от конкретной ситуации, в описании которой значение каждого звена цепочки всегда единственное, для описания этого способа выживания вируса в целом

можно перечислять через запятую уровни развития вирусов по графику «агрессивность — заражаемость», а также организмов и популяций, для которых данный способ выживания вируса применим.

Чтобы увидеть взаимодействие вирусов в борьбе за свою кормовую базу, следует описать конкурирующие штаммы соответствующими цепочками и соединить эти цепочки оператором, символизирующим данное действие. Например, обозначим конкуренцию английским словом *compete*. Тогда конкуренция нового мутирующего штамма, который решит захватить организм и популяцию, где уже есть его конкурент, будет символизирован как  $S3-C2-M3 \text{ compete } S3-C3-M3$ .

В такой формуле слева должна стоять цепочка того вируса, на стороне которой популяция имеет больше шансов на выживание, а справа — его конкурента. Схема описывает и последовательность конкуренции, где справа всегда будет вирус, который уже захватил свою нишу в лице части организма и популяции.

Приведем пример того, как может происходить нарастание эпидемиологической ситуации. Например, вирус достиг третьего этапа своего развития и успешно обеспечивает свою выживаемость через массовое заражение, что соответствует также третьему этапу пандемической ситуации в популяции (NW). Если такой вирус преодолевает барьеры и попадает в некоторую новую популяцию (ND), то такое развитие ситуации можно описать как  $S3-C1,2,3-M3 \text{ NWtransfer } M1,2 \text{ ND}$ .

Такое описание создает возможность формализации ситуации, когда по формуле можно посмотреть перспективы развития пандемии независимо от того, каковы этнические, возрастные, физиологические

и др. особенности организмов и популяций на данной территории. Без формализации показанным образом, вопросы анализа пандемической ситуации могли бы утонуть в частности. Имея формулы, например, приведенную выше, и зная применявшиеся для нее способы разрешения ситуации, мы сможем без детального изучения ситуации сразу предлагать наиболее сильные решения по переводу пандемии в безопасное русло.

### Заключение

Жизнь всех штаммов коронавируса во всех их проявлениях хорошо ложится в поле общей модели жизненного цикла систем. На основе модели жизненного цикла может быть проведен прогноз развития пандемической ситуации.

Возможность универсально описывать развитие вирусов и пандемической ситуации как системы, позволяет понять, в какой степени, имевшиеся в прошлом ситуации действительно схожи с текущей, и насколько опыт одной реально применим к другой. Каталогизация ситуаций и применяемых в них приемов может сильно облегчить обмен опытом между системными аналитиками и эпидемиологами, практикующими в разных странах или имеющих дело с разными вирусами.

### Список литературы. References

1. <https://yandex.ru/covid19/stat>
2. Financial times 26 ноября 2021 г <https://www.ft.com/russia?page=2>
3. [https://www.1tv.ru/news/2021-11-03/415818-o\\_borbe\\_s\\_koronavirusom\\_bolshoy\\_razgovor\\_v\\_studii\\_programmy\\_dok\\_tok](https://www.1tv.ru/news/2021-11-03/415818-o_borbe_s_koronavirusom_bolshoy_razgovor_v_studii_programmy_dok_tok)

### S. L. Gorobchenko, D. A. Kovalev

St. Petersburg State University of Technologies and Design  
191186 Russia, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18

### A SYSTEMATIC APPROACH TO ASSESSING THE CORONAVIRUS PANDEMIC

The issues of applying a systematic approach to assessing the development of coronavirus and the pandemic situation as a whole are considered. The applicability of the system model of the S-shaped life cycle curve to the tasks of analyzing the development of a pandemic is shown. An algorithm for modeling changes in the pandemic situation based on the analysis of the triad «Virus — Organism — Population» is proposed. The forecast is demonstrated on the basis of the proposed model generalizing the development of the pandemic situation on the basis of various viruses that obey the development model based on the life cycle.

**Keywords:** systemic approach, coronavirus, pandemic situation, life cycle model, S-shaped curve, Virus-Organism-Population triad, algorithm for the development of a pandemic situation, assessment and forecast of a pandemic situation.