

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ЭПИДЕМИЙ EPIDEMICS MODELING AND FORECASTING

УДК 616.981.21/.958.7:51-76

<http://dx.doi.org/10.22328/2077-9828-2026-18-1-84-93>

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИЧ-ИНФЕКЦИИ В ТРЕХ ОСНОВНЫХ ГРУППАХ РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

^{1,4}Э. Р. Герасимук, ¹М. Н. Асатрян, ¹Д. А. Огаркова, ¹Б. Л. Земских, ¹Р. Р. Адгамов, ^{1,2,3}В. А. Гушчин, ^{1,2}А. Л. Гинцбург,
^{5,6}А. И. Мазус

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴Университет «Дубна», г. Дубна, Московская область, Россия

⁵Московский городской центр профилактики и борьбы со СПИД, Москва, Россия

⁶Кафедра инфектологии и вирусологии Института профессионального образования Первого московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

Цель работы. Моделирование распространения ВИЧ-инфекции в трех основных группах риска для прогнозной оценки числа лиц, живущих с ВИЧ с различными стадиями ВИЧ-инфекции, и оценки вклада внедрения массовой антиретровирусной терапии в уменьшение распространения ВИЧ-инфекции.

Материалы и методы. Основным источником данных для исследования служили форма федерального статистического наблюдения (ФСН) № 61 «Сведения о ВИЧ-инфекции», аналитические отчеты Федерального регистра лиц, инфицированных вирусом иммунодефицита человека (ФРВИЧ), использованы данные Росстата о динамике населения Москвы. Эпидемиологическая модель разработана на основе отечественной теории моделирования эпидемий — «эпиддинамики» О. В. Барояна — Л. А. Рвачева.

Результаты и их обсуждение. Вычислительные эксперименты показали, что при сохранении существующих тенденций в распространении ВИЧ-инфекции и уровне охвата антиретровирусной терапией (АРТ) суммарное число лиц, живущих с ВИЧ, находящихся на учете и проживающих в Москве, будет постепенно снижаться и может составить около 35,6 тысяч человек к концу 2030 г. По данным моделирования — применение массовой антиретровирусной терапии позволило предотвратить к настоящему времени более 40 тысяч случаев ВИЧ-инфекции и около 8 тысяч смертей от последствий ВИЧ-инфекции среди жителей Москвы.

Заключение. Разработанная на положениях теории «эпиддинамики» адекватная эпидемиологическая модель является эффективным инструментом для проведения прогнозных исследований динамики эпидемического процесса ВИЧ-инфекции, а также для оценки вклада различных сценариев по объему охвата АРТ ВИЧ+ лиц.

Ключевые слова: математическое моделирование, ВИЧ-инфекция, группы риска, прогнозные сценарии, антиретровирусная терапия

* Контакт: Герасимук Элита Русунданумпу, eealita@mail.ru

MODELING THE SPREAD OF HIV INFECTION IN THREE MAIN RISK GROUPS IN MOSCOW

^{1,4}E. R. Gerasimuk, ¹M. N. Asatryan, ¹D. A. Ogarkova, ¹B. L. Zemskikh, ¹R. R. Adgamov, ^{1,2,3}V. A. Gushchin, ^{1,2}A. L. Gintsburg,
^{5,6}A. I. Mazus

¹National Research Center of Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N. F. Gamaleya, Moscow, Russia

²I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴Dubna University, Dubna, Moscow Region, Russia

⁵Moscow City AIDS Prevention and Control Center, Moscow, Russia

⁶Department of Infectology and Virology, Institute of Professional Education, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

The aim. Modeling the spread of HIV infection in three main risk groups for predicting the number of people living with HIV at various stages of HIV infection and assessing the contribution of the introduction of mass antiretroviral therapy.

Materials and methods. The main source of data for the study was the statistical observation form N61 «Information on HIV infection», Federal Register of persons infected with the human Immunodeficiency virus, using Federal State Statistics Service data on the dynamics of the Moscow population. The epidemiological model was developed on the basis of the Russian theory of epidemic modeling «Epidynamics» by O. V. Baroyan — L. A. Rvachev.

Results and discussion. Computational experiments have shown that if current trends in the spread of HIV and the level of antiretroviral therapy coverage continue, the total number of people living with HIV, registered and living in Moscow, will gradually decrease and may reach approximately 35.6 thousand people by the end of 2030. According to modeling data, the introduction of mass antiretroviral therapy has so far prevented more than 40,000 cases of HIV infection and about 8,000 deaths from the effects of HIV infection among residents of Moscow.

Conclusion. An adequate epidemiological model developed based on the ideas of the theory of «Epidynamics» is an effective tool for conducting predictive studies of the dynamics of the epidemic process of HIV infection, as well as for assessing the contribution of various scenarios in terms of antiretroviral therapy coverage.

Keywords: mathematical modeling, HIV infection, risk groups, predictive scenarios, antiretroviral therapy

* Contact: *Gerasimuk Elita Rusindaputri, ealita@mail.ru*

© Герасимук Э.Р. и соавт., 2026 г.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Герасимук Э.Р., Асатрян М.Н., Огаркова Д.А., Земских Б.Л., Адгамов Р.Р., Гушин В.А., Гинцбург А.Л., Мазус А.И. Моделирование распространения ВИЧ-инфекции в трех основных группах риска на территории Москвы // *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии*. 2026. Т. 18, № 1. С. 84–93, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2077-9828-2026-18-1-84-93>.

Conflict of interest: the authors stated that there is no potential of interest.

For citation: Gerasimuk E.R., Asatryan M.N., Ogarkova D.A., Zemskikh B.L., Adgamov R.R., Gushchin V.A., Gintsburg A.L., Mazus A.I. Modeling the spread of HIV infection in three main risk groups in Moscow // *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*. 2026. Vol. 18, No. 1. P. 84–93, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2077-9828-2026-18-1-84-93>.

Введение. Уникальность эпидемии ВИЧ-инфекции заключается в том, что мы явились свидетелями начала распространения нового типа вируса, который преодолел видовой барьер и продолжает свое шествие во всех странах мира. Опыт регистрации ВИЧ-инфекции в нашей стране в течение почти четырех десятков лет позволил установить основные пути передачи ВИЧ, определяющие так называемые группы риска (или уязвимые группы населения, имеющие рискованное в отношении инфицирования ВИЧ-1 поведение), которые «пересекаются» друг с другом:

а) мужчины, имеющие секс с мужчинами (МСМ, мужчины гомосексуальной и бисексуальной ориентации);

б) потребители инъекционных наркотиков (ПИН);

в) гетеросексуальные лица, имеющие рискованное в отношении заражения ВИЧ-1 сексуальное поведение (АГЛ, активные гетеросексуальные лица).

Вирус первоначально распространялся в среде МСМ, проник в группу наркоманов (ПИН), обусловив резкий рост заболеваемости в середине 1990-х гг., и затем стал распространяться в среде лиц с рискованным в отношении заражения ВИЧ-1 сексуальным поведением (АГЛ) [1]. В группе риска заражения ВИЧ-1 находятся также половые партнеры ВИЧ+ лиц, зачастую не знающие о своем ВИЧ-статусе. Определенное значение в распространении ВИЧ-1 среди основного населения

имеет феномен так называемой «серийной моногамии», когда пара сохраняет верность в непродолжительных отношениях, но последовательно сменяя партнеров [2]. Постепенно ВИЧ-инфекция стала «выходить» за пределы основных групп риска и распространяться среди основного населения.

В последние два десятилетия отмечается изменение возрастного состава впервые выявленных ВИЧ+ лиц в России. Так, если в начале 2000-х годов основной контингент впервые выявленных составляли лица 15–29 лет (до 90% случаев), то с 2019 г. ВИЧ-инфекция диагностируется в основном у лиц 30–49 лет, составив около 68,9% от впервые выявленных ВИЧ+ лиц в 2023 г. [3, 4]. Это означает, что в настоящее время в группе риска инфицирования ВИЧ-1 находятся лица преимущественно того же поколения, что и 20 лет назад, а именно, рожденные в 70–80-х гг. прошлого века. Таким образом, в настоящее время под прицелом риска ВИЧ-инфекции находятся лица активного трудоспособного и репродуктивного возраста, что обуславливает высокую актуальность ВИЧ-инфекции.

До начала массового применения антиретровирусной терапии (АРТ) в России средняя продолжительность жизни ВИЧ+ лиц с момента заражения не превышала 12 лет [5]. Современные схемы лечения, состоящие из оптимального набора препаратов АРТ, при условии приверженности лечению пациента, позволяют не только продлить жизнь и повысить качество жизни, но также обеспечивают существенное снижение риска передачи ВИЧ за счет снижения вирусной нагрузки вплоть до недетектируемого уровня [6]. И поэтому более ранний охват всех нуждающихся в АРТ ВИЧ+ лиц является также эффективной противоэпидемической мерой [7].

Математическое моделирование позволяет проводить вычислительные эксперименты и найти ответы на многие актуальные вопросы, которые невозможно получить другими традиционными эпидемиологическими методами. В ФГБУ «НИЦЭМ им. Н. Ф. Гамалеи» Минздрава России (Центр Гамалеи) имеется многолетний опыт разработки математических моделей распространения инфекций, основанных на отечественной теории моделирования «эпиддинамики» [8]. Отличительной особенностью моделей, разработанных на основе теории «эпиддинамики», является описание распределенной модели развития заболевания, которая отражает обобщенный процесс развития инфекции у множества лиц с различными индивиду-

дуальными характеристиками состояния иммунной системы организма [9]. Это принципиальное отличие от распространенных популяционных моделей эпидемий, у которых продолжительность стадии инфекционного процесса определяется как «средняя» для всех индивидуумов, что существенно влияет на результаты моделирования, особенно для инфекций с длительным течением. В Центре Гамалеи собрана рабочая коллекция моделей, позволяющая проводить прогнозные оценки развития эпидемий и вспышек инфекций с различными механизмами передачи при различных сценариях мер противодействия [10–14]. Адекватная эпидемиологическая модель является эффективным инструментом для проведения прогнозно-аналитических исследований, необходимых специалистам эпидемиологам и лицам, принимающим решения, для эффективного планирования противоэпидемических мероприятий и оценки реализуемых мер.

Материалы и методы. В работе использованы формы Федерального статистического наблюдения (ФСН) № 61 «Сведения о ВИЧ-инфекции» [15] и данные аналитических отчетов Федерального регистра лиц, инфицированных вирусом иммунодефицита человека (ФРВИЧ) [16]. В качестве модельной территории выбран регион — г. Москва. В модели использованы данные Росстата о динамике населения Москвы за период 1988–2023 гг., а также демографические тенденции на прогнозную перспективу — по среднему варианту прогноза Росстата [17].

Модель разработана на основе отечественной теории моделирования эпидемий О. В. Барояна — Л. А. Рвачева — «эпиддинамики», основанной на научной аналогии между развитием эпидемического процесса и процессом течения идеальной жидкости [8]. В Центре Гамалеи имеется опыт разработки системы моделей, основанных на теории «эпиддинамики», для прогнозирования развития эпидемии ВИЧ-инфекции среди потребителей внутривенных наркотиков [18]. На основе имеющегося опыта и анализа информации о феноменологии и особенностях распространения ВИЧ-инфекции в России сформулирована рабочая концепция модели для трех основных групп риска.

Эпидемиологическая модель ВИЧ-инфекции включает: *модель развития инфекционного процесса, модель динамики восприимчивых лиц, модель механизма передачи инфекции.*

В основу *модели инфекционного процесса* была положена отечественная клиническая классификация согласно Клиническим рекомендациям

№ 79 «ВИЧ-инфекция у взрослых», утвержденные Минздравом России [19]. В модели инфекционного процесса также было учтено начало массового применения антиретровирусной терапии (АРТ). Настройки параметров АРТ (объем охвата терапией и эффективность) в модели основаны на данных ФСН № 61. С учетом особенностей течения ВИЧ-инфекции у взрослых, анализа стадий ВИЧ-инфекции у впервые выявленных лиц, а также периода времени до проведения первичной АРТ, некоторые стадии (в соответствии с клинической классификацией) были объединены. Схема модели инфекционного процесса ВИЧ с учетом первичной АРТ представлена на рис. 1.

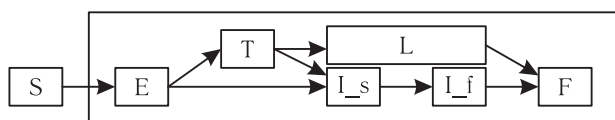


Рис. 1. Схема модели инфекционного процесса ВИЧ с учетом первичной антиретровирусной терапии

Fig. 1. Diagram of the HIV infection process model with primary ART

Восприимчивые лица из группы риска S при заражении ВИЧ переходят в состояние E, соответствующее первичным стадиям ВИЧ-инфекции (включающее стадию инкубации, стадию первичных проявлений и период до первичной АРТ). При естественном течении инфекции (без терапии) ВИЧ-положительные лица из состояния E переходят последовательно в стадию I_s (субклиническая стадия) и финальные стадии I_f (стадия вторичных заболеваний и терминальная), которые заканчиваются смертью F.

К настоящему времени большая часть впервые выявленных ВИЧ-положительных лиц, ставших на учет, получают первичную терапию антиретровирусными препаратами и переходят в состояние T (Thegapy). При успешной первичной терапии дальнейшие схемы пожизненной терапии позволяют поддерживать низкий уровень вирусной нагрузки, что соответствует на схеме состоянию L. При этом в модели предполагается, что продолжительность жизни ЛЖВ при эффективной терапии практически сопоставима с продолжительностью жизни лиц, живущих без ВИЧ.

Модель динамики восприимчивых лиц определяется «притоком» лиц в группы риска из основного населения и переходом в первичные стадии ВИЧ-инфекции (при заражении).

Модель механизма передачи описывает интенсивность контактов ВИЧ-инфицированных

из групп риска с восприимчивыми лицами. В модели сделано допущение, что ВИЧ-инфицированные лица, находящиеся в стадии вторичных заболеваний и терминальной стадии (I_f), не передают ВИЧ в связи с имеющимися тяжелыми клиническими проявлениями. А также лица, находящиеся на первичной терапии АРТ (T), и лица с низкой вирусной нагрузкой (L) в нашей модели не являются источниками инфекции.

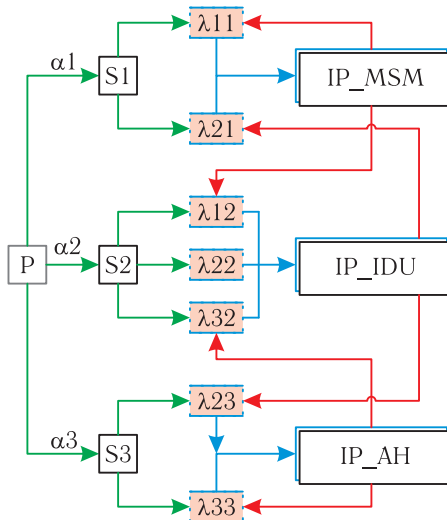
Эпидемиологическая модель распространения ВИЧ среди трех групп риска, разделенных по основным путям передачи ВИЧ, включает:

- группу MSM — мужчины, имеющие секс с мужчинами;
- группу ПИН — потребители инъекционных наркотиков;
- группу АГЛ — активные гетеросексуальные лица.

В группу АГЛ входят как гетеросексуальные лица из основного населения, имеющие рискованный тип сексуального поведения в отношении заражения ВИЧ-инфекции, так и их партнеры.

Поскольку группы риска не изолированы друг от друга, в модели учитываются контакты как внутри одной группы риска, так и между группами. На рис. 2 красными стрелками показаны процессы передачи ВИЧ внутри групп и между группами риска.

Определение пути передачи при постановке на учет основывается на добровольном указании ВИЧ-инфицированного о наличии у него факторов риска, и значит — принадлежности его к той или иной группе риска. При этом нельзя исключать вероятность утаивания принадлежности пациента к ПИН или MSM [20]. По данным статистики среди установленных путей передачи — половой (гомосексуальный и гетеросексуальный) и парентеральный путь (при употреблении наркотиков) являются основными путями передачи ВИЧ-инфекции, а вклад вертикального пути и парентерального пути передачи при медицинских манипуляциях по данным статистики незначительный. К сожалению, значительная часть относится к неустановленным путям передачи, поэтому предварительно до этапа проведения верификации модели требовалось «восстановить» данные. Мы исходили из предположения о том, что в массиве данных с неустановленными путями передачи соотношение (гомосексуального: инъекционного при употреблении наркотиков: гетеросексуального) такое же, как среди данных с основными установленными путями передачи.



λ_{11} — интенсивность передачи между МСМ (половой путь передачи);
 $\lambda_{12}, \lambda_{21}$ — интенсивность передачи между МСМ и ПИН (половой и инъекционный путь передачи);
 λ_{22} — интенсивность передачи между ПИН (инъекционный путь передачи);
 $\lambda_{23}, \lambda_{32}$ — интенсивность передачи между ПИН и гетеросексуальными лицами (половой и инъекционный путь передачи);
 λ_{33} — интенсивность передачи между гетеросексуальными лицами (половой путь передачи).

Рис. 2. Схема эпидемиологической модели ВИЧ-инфекции в трех группах риска (IP — инфекционный процесс среди индивидуумов соответствующих групп риска).

Примечание: P — население территории; S1 — восприимчивые лица из группы риска МСМ; S2 — восприимчивые лица из группы риска ПИН; S3 — восприимчивые лица из группы риска АГЛ; IP_MSM — инфекционный процесс ВИЧ среди МСМ; IP_IDU — инфекционный процесс ВИЧ среди ПИН; IP_AH — инфекционный процесс ВИЧ среди АГЛ; прямоугольники с обозначением IP соответствуют стадиям-состояниям на рис. 1; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — доля среди населения соответствующих групп риска (МСМ, ПИН, АГЛ); λ_{ij} — интенсивность передачи ВИЧ между источником инфекции и восприимчивыми из группы риска

Fig. 2. Scheme of the epidemiological model of HIV infection in three risk groups (IP — is an infectious process among individuals of the corresponding risk groups).

Note: P is the population of the territory; S1 is susceptible persons from the men having sex with men (MSM) risk group; S2 is susceptible persons from the injecting drug users (IDU) risk group; S3 is susceptible persons from the active heterosexuals (AH) risk group; IP_MSM is the HIV infection process among men having sex with men; IP_IDU is the HIV infection process among injecting drug users; IP_AH is the HIV infection process among active heterosexuals; the rectangles with the IP designation correspond to the stages-states in Fig.1; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — the proportion among the population of the corresponding risk groups (MSM, IDU, AH); λ_{ij} — the intensity of HIV transmission between the source of infection and susceptible individuals at risk

Верификация модели проводилась на данных о количестве лиц, живущих с ВИЧ (ЛЖВ), состоящих на учете и проживающих в Москве за 36-летний период наблюдения. Анализ данных показал наличие как минимум трех периодов в динамике

эпидемического процесса ВИЧ-инфекции, отличающихся по интенсивности процесса (рис. 3).

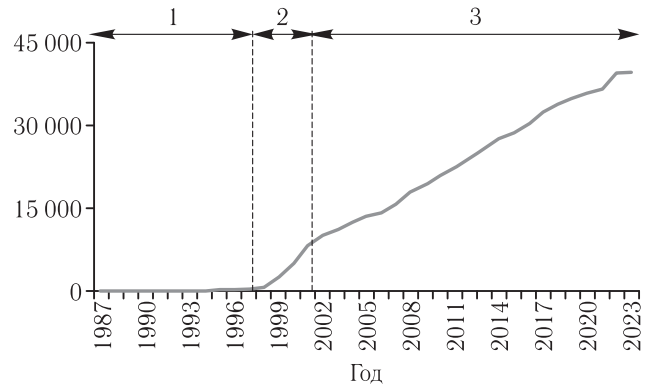


Рис. 3. Периоды эпидемического процесса ВИЧ-инфекции (динамика количества лиц, живущих с ВИЧ, состоящих на учете в Москве)

Fig. 3. Periods of the epidemic process of HIV infection (dynamics of the number of People Living with HIV (PLHIV) registered in Moscow)

Первый — начальный период, с 1987 по 1997 г., который характеризуется этапом становления и постепенным ростом количества лиц, живущих с ВИЧ (ЛЖВ), с последующим ростом количества ЛЖВ, динамику роста количества ЛЖВ можно аппроксимировать степенной функцией ($y=0,5519x^{2,7457}$). **Второй период**, с 1998 по 2001 г., в течение которого отмечается экспоненциальный рост количества ЛЖВ ($y=44,188e^{0,5186x}$), обусловленный, прежде всего распространением ВИЧ среди ПИН. В **третий период**, с 2002 по 2023 г., количество ЛЖВ увеличивалось практически линейно ($y=1489,2x+7756,3$). В связи с такой особенностью динамики количества ЛЖВ в нашей модели были учтены возможности настройки параметров модели на разные периоды эпидемии.

Результат верификации разработанной модели показал высокую степень адекватности модельных и статистических данных (рис. 4). Средняя абсолютная процентная ошибка модели (МАРЕ) не превышает 10%, что говорит о высокой адекватности модельных и статистических данных.

Как было выявлено при верификации модели, в **первый период** эпидемии интенсивность контактов МСМ и ПИН внутри своих групп была практически сопоставимой, во **второй период** интенсивность передачи инфекции значительно возросла в среде ПИН, причем изменение интенсивности контактов во второй период эпидемии произошло, согласно модели, с 1993 г. В этот период возрастает интенсивность передачи вируса от ПИН в основном (гетеросексуальное) население. Увеличение интенсивности эпидемического процесса проявилось

наглядно в 1999 г. в виде резкого подъема заболеваемости (рис. 3). В третий период эпидемии наблюдается снижение интенсивности передачи инфекции по сравнению со вторым периодом, в первую очередь, за счет улучшения выявления ВИЧ+ лиц и последующего внедрения АРТ с нарастающим охватом терапией ВИЧ+ лиц.

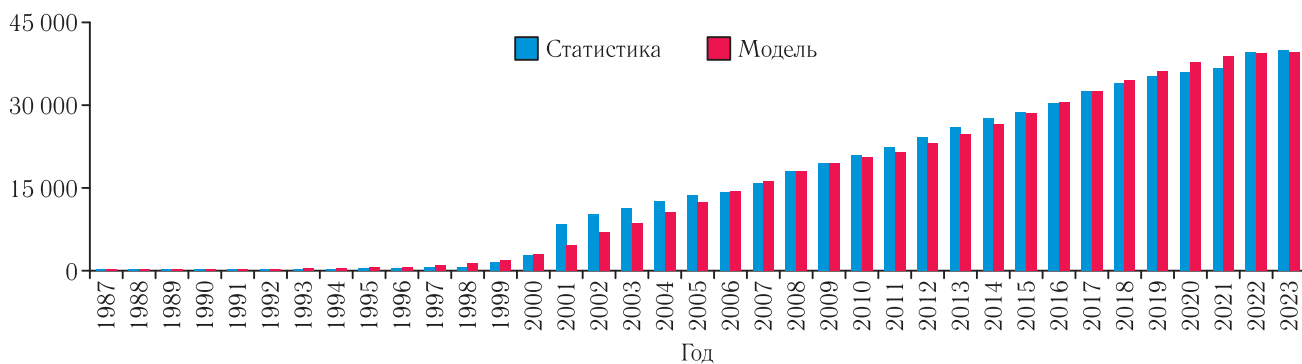


Рис. 4. Результат верификации модели на статистических данных о ВИЧ-инфицированных, находящихся на учете в Москве
Fig. 4. The result of the verification of the model based on statistical data on HIV-infected people registered in Moscow

Результаты и их обсуждение. Высокая адекватность разработанной модели позволяет проводить вычислительные эксперименты с моделью, в том числе выполнять прогнозные оценки на среднесрочную перспективу. Прогнозные оценки проведены по сценарию сохранения имеющихся на начало 2024 год тенденций в развитии эпидемии на среднесрочный период (до 2030 г.). Это означает, что

По данным моделирования в Москве в прогнозный период отмечается тенденция к снижению суммарного количества ЛЖВ, за счет снижения заболеваемости во всех трех группах риска (рис. 5). Суммарное количество ЛЖВ, находящихся на учете и проживающих в Москве, будет посте-

пенно снижаться и может составить около 35,6 тысяч человек к концу 2030 г.

Количество ЛЖВ, находящихся на учете, включает суммарное количество всех выявленных ВИЧ+ лиц в трех группах риска, находящихся в различных стадиях ВИЧ-инфекции. Модель также позволяет определить динамику количества лиц в определенных стадиях-состояниях ВИЧ-

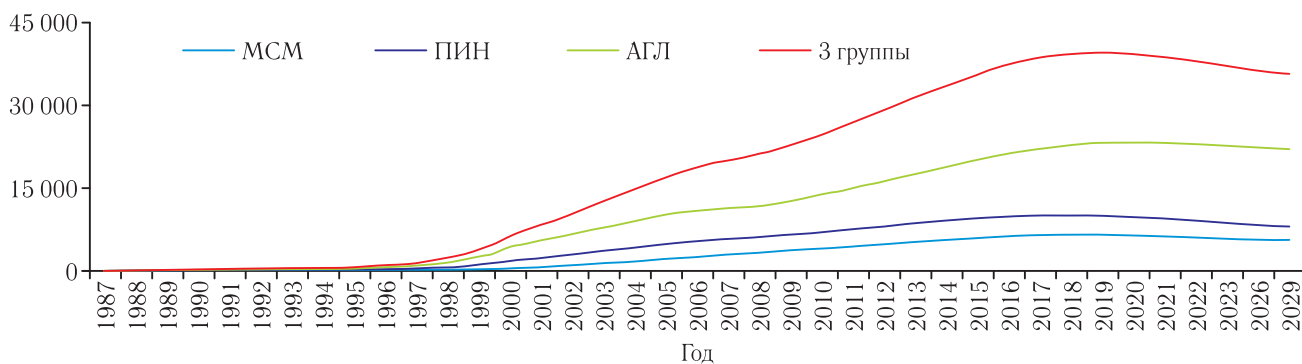


Рис. 5. Результаты моделирования динамики количества людей, живущих с ВИЧ, в трех основных группах, находящихся на учете в Москве
Fig. 5. The results of modeling the dynamics of the number of PLHIV in three main groups registered in Moscow

величина доли групп риска МСМ, ПИН, АГЛ на протяжении прогнозного периода не изменяется, интенсивность контактов в группах риска и между группами также сохраняется на текущем уровне, а также эффективность АРТ и объем охвата первичной терапией лиц в каждой группе соответствуют уровню 2023 г. Подобный сценарий необходим для ориентировки в оценке принимаемых в настоящее время мер по предотвращению эпидемии ВИЧ-инфекции.

инфекции. Так, моделирование показало, что количество лиц, находящихся в субклинической стадии без АРТ (I_s), будет продолжать снижаться, и к 2030 г. не превысит 2 тысяч человек. Схожая динамика прослеживается и для лиц, находящихся в стадии вторичных заболеваний (I_f), — к 2030 г. суммарное количество в трех группах не превысит 7,6 тысяч человек. Такая ситуация обусловлена тем обстоятельством, что благодаря

более раннему охвату АРТ меньшее количество лиц будет переходить в стадию вторичных заболеваний и затем в терминальную стадию.

При сохранении существующего объема охвата терапией на уровне 70% и эффективности первичной АРТ до 75%, количество ЛЖВ с низкой вирусной нагрузкой вследствие успешной первичной терапии (L) будет увеличиваться и может составить для групп MSM и ПИН около 4 тысяч человек, а в группе АГЛ может превысить 15,4 тысяч человек (рис. 6). Постепенное увеличение охвата ЛЖВ во всех группах до 90% и повышение эффективности АРТ до 90% к 2030 году позволит достичь низкую вирусную нагрузку суммарно в трех группах более чем у 25,6 тысяч человек.

личению заболеваемости — суммарное количество ЛЖВ, находящихся на учете в Москве, в конце 2023 года могло составить около 80 тысяч человек (рис. 7). Сравнивая сценарий при отсутствии АРТ и сценарий с терапией, моделирование показало, что внедрение массовой АРТ позволило предотвратить по крайней мере более 40 тысяч случаев ВИЧ-инфекции, а также сохранило жизни около 8 тысяч человек к 2024 г.

Заключение. Разработанная на идеях теории «эпиддинамики» адекватная эпидемиологическая модель является эффективным инструментом для прогноза развития эпидемии, а также для оценки проведенных мер противодействия. Модель позволяет получить прогноз динамики количества ЛЖВ,

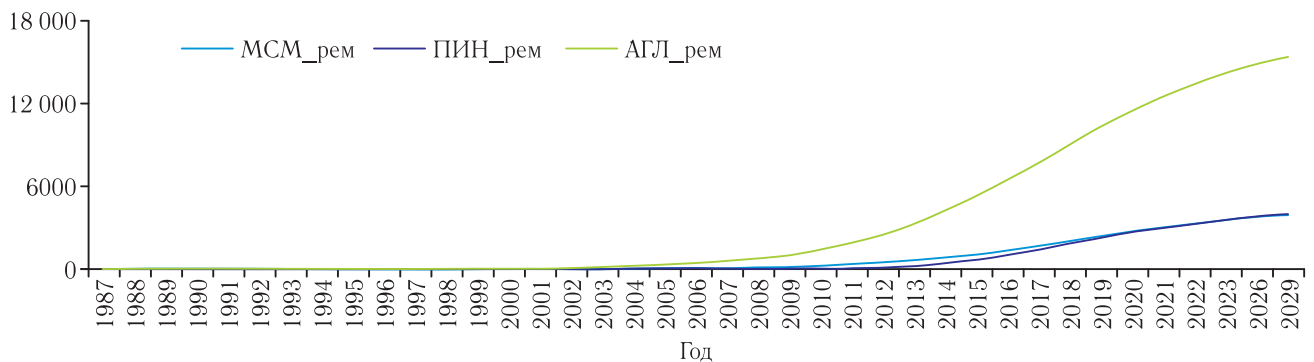


Рис. 6. Динамика числа людей, живущих с ВИЧ, находящихся в ремиссии вследствие успешной терапии (стадия L), при сохранении существующих тенденций эпидемического процесса

Fig. 6. Dynamics of the number of PLHIV in remission due to successful therapy (stage L) while maintaining existing trends while maintaining the existing trends of the epidemic process

Модель также позволяет проводить вычислительные эксперименты, с помощью которых можно оценить вклад тех или иных мер, в сниже-

находящихся на разных стадиях ВИЧ-инфекции, как в каждой группе риска, так и суммарно во всех группах, а также провести прогнозную оценку

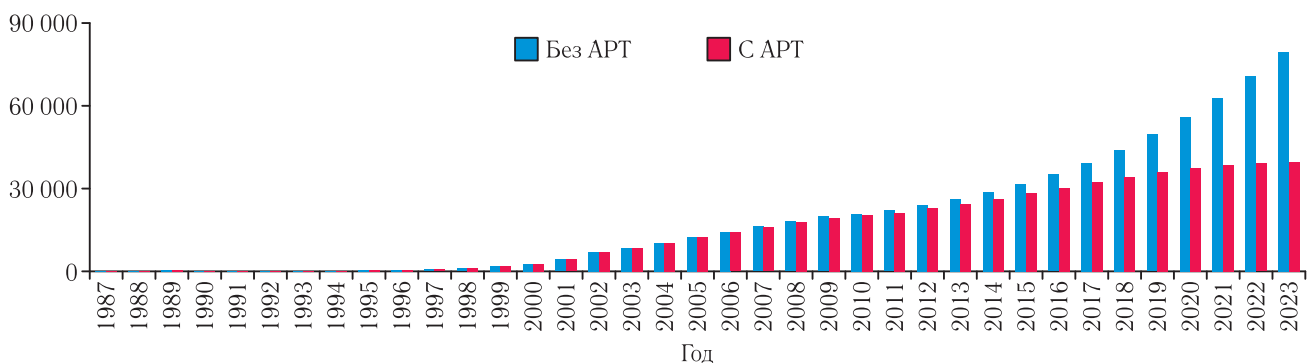


Рис. 7. Сравнение динамики количества людей, живущих с ВИЧ, по сценарию с антиретровирусной терапией (красные столбики) и при отсутствии антиретровирусной терапии (синие столбики)

Fig. 7. Comparison of the dynamics of the number of PLHIV according to the scenario with ART (red bars) and in the absence of ART (blue bars)

нии заболеваемости и смертности от ВИЧ-инфекции. Результаты показали, что по сценарию отсутствия массовой АРТ отмечается тенденция к уве-

динамики количества ЛЖВ при различных сценариях охвата АРТ. Модель в дальнейшем может быть адаптирована для проведения прогноза

ния заболеваемости ВИЧ-инфекцией в трех группах риска на территориях других регионов России.

Представляется важным подчеркнуть, что прогнозирование проводилось по сценарию сохранения имеющихся на начало 2024 год тенденций в развитии эпидемии. Между тем, в настоящий момент мы находимся на этапе социально-экономических изменений, которые существенно могут повлиять на дальнейшую динамику эпидемического процесса, как в Москве, так и в целом в нашей стране. Поскольку ВИЧ-инфекция — это длительно протекающее заболевание и влияние изменений происходит с некоторой инертностью, изменения в динамике заболеваемости ВИЧ-инфекции мы увидим лишь через несколько лет. И поэтому для более точных прогнозов необходимо будет прове-

сти корректирующие расчеты с учетом наметившихся изменений в динамике заболеваемости ВИЧ-инфекции на изучаемой территории.

Верификация модели и вычислительные эксперименты проводились на основе официальных данных о количестве ВИЧ-инфицированных лиц, находящихся на учете в Москве. Однако часть впервые выявленных ВИЧ-инфицированных лиц, постоянно проживающих в Москве, не становится на учет, а также существует проблема определения лиц, не знающих о своем ВИЧ-статусе и представляющих опасность как источники инфекции. Для этих целей в Центре Гамалеи разрабатывается новая модель, ориентированная на оценку количества невыявленных ВИЧ+ лиц с дальнейшим проведением прогнозно-аналитических исследований.

Финансирование: Министерство здравоохранения Российской Федерации. Исследование выполнено при поддержке ФГБУ «НИЦЭМ им. Н. Ф. Гамалеи» Минздрава России, государственное задание № 122021800327–4.

Funding: Ministry of Health of the Russian Federation. The study was supported by the Gamaleya National Research Center for Epidemiology and Microbiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, state assignment No. 122021800327–4.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Оценка социально-экономических потерь общества от эпидемии ВИЧ/СПИД в России. Доклад по результатам исследования по оценке социально-экономических потерь общества от эпидемии ВИЧ/СПИД в России. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2020. [Assessment of socio-economic losses of society from the HIV epidemic/AIDS in Russia. Report on the results of a study assessing the socio-economic losses of society from the HIV epidemic/AIDS in Russia. Analytical Center under the Government of the Russian Federation, 2020 (In Russ.).]
2. Профилактика заражения ВИЧ. Методические рекомендации. МР 3.1.0087–14. Роспотребнадзор, 2014. [Prevention of HIV infection. Methodological recommendations. МР 3.1.0087–14. Rosпотребнадзор, 2014 (In Russ.).]
3. Покровская А.В., Козырина А.В., Гущина Ю.Ш. и др. Социально-демографический портрет пациента, живущего с ВИЧ и посещающего центры СПИД в России и посещающего центры СПИД в России // *Терапевтический архив*. 2016. № 11. С. 12–16. [Pokrovskaya A.V., Kozyrina A.V., Guschina Yu.Sh. et al. Socio-demographic portrait of a patient living with HIV and visiting AIDS centers in Russia and visiting AIDS centers in Russia. *Therapeutic Archive*, 2016, No. 11, pp. 12–16 (In Russ.). doi: 10.17116/terarkh2016881112-16.]
4. Федеральный научно-методический центр по профилактике и борьбе со СПИДОМ. ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора. [Электронный ресурс] [Federal Scientific and Methodological Center for the Prevention and Control of AIDS. Central Research Institute of Epidemiology of Rosпотребнадзор (In Russ.). URL: <http://www.hivrussia.info/dannye-po-vich-infektsii-v-rossii>.]
5. Покровская А.В., Попова А.А., Ладная Н.Н., Юрин О.Г. Продолжительность течения ВИЧ-инфекции и влияющие на нее факторы // *Терапевтический архив*. 2014. Т. 86, № 11. С. 20–23. [Pokrovskaya A.V., Popova A.A., Ladnaya N.N., Yurin O.G. Duration of HIV infection and factors influencing it. *Therapeutic Archive*, 2014, Vol. 86, No. 11, pp. 20–23 (In Russ.). URL: <https://ter-arkhiv.ru/0040-3660/article/view/31647>.]
6. Бобкова М.Р. Латентность ВИЧ. М.: Человек, 2021. 228 с. ил. [Bobkova M.R. HIV latency. Moscow: publishing house Human, 2021. 228 p. (In Russ.).]
7. Распоряжение Правительства РФ от 21 декабря 2020 г. № 3468-р О Государственной стратегии противодействия распространению ВИЧ-инфекции в России на период до 2030 г. [Decree of the Government of the Russian Federation dated December 21, 2020 No. 3468-r On the State Strategy for Countering the Spread of HIV Infection in Russia for the period up to the year 2030 (In Russ.).]
8. Бароян О.В., Рвачев Л.А., Иванников Ю.Г. Моделирование и прогнозирование эпидемий гриппа для территории СССР. М., 1977. 546 с. [Baroyan O.V., Rvachev L.A., Ivannikov Yu.G. Modeling and forecasting of influenza epidemics for the territory of the USSR. Moscow, 1977. 546 p. (In Russ.).]
9. Боев Б.В. Современный этап математического моделирования процессов развития и распространения инфекционных заболеваний // *Эпидемиологическая кибернетика: модели, информация, эксперименты*. М.: НИИЭМ им. Н. Ф. Гамалеи АМН СССР, 1991. С. 6–14.

- [Boev B.V. The modern stage of mathematical modeling of the processes of development and spread of infectious diseases. *Epidemiological Cybernetics: Models, Information, Experiments*. Moscow: N. F. Gamalei National Research Institute of the Academy of Medical Sciences of the USSR, 1991, pp. 6–14 (In Russ.)].
10. Боев Б.В. Модель развития эпидемии гриппа А(H1N1) в России в сезон 2009–2010 годов // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2010. № 1. 52–58. [Boev B.V. A model of the development of the influenza A(H1N1) epidemic in Russia in the 2009–2010 season. *Epidemiology and vaccine prevention*, 2010, No. 1, pp. 52–58 (In Russ.)].
 11. Боев Б.В., Салман Э.Р., Асатрян М.Н. Применение компьютерного инструментария для прогнозирования водных вспышек гепатита А техногенного характера с оценкой эффективности мер противодействия // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2010. № 3. С. 57–62. [Boev B.V., Salman E.R., Asatryan M.N. The use of computer tools for predicting aquatic outbreaks of hepatitis A of a man-made nature with an assessment of the effectiveness of countermeasures. *Epidemiology and vaccine prevention*, 2010, No. 3, pp. 57–62 (In Russ.)].
 12. Асатрян М.Н., Салман Э.Р., Килюковский В.В. и др. Изучение процессов распространения мутантных вариантов «вакцинального бегства» вируса гепатита В среди населения с помощью компьютерной модели эпидемического процесса гепатита В // *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы*. 2013. № 6. С. 34–38. [Asatryan M.N., Salman E.R., Kilikovskiy V.V. et al. Study of the spread of mutant variants of the «vaccine escape» of the hepatitis B virus among the population using a computer model of the epidemic process of hepatitis B. *Epidemiology and infectious diseases. Current issues*, 2013, No. 6, pp. 34–38 (In Russ.)].
 13. Салман Э.Р., Асатрян М.Н., Гайдаренко А.Д., Ершов И.Ф., Семенов Т.А. Прогнозная оценка предотвратимой смертности, ассоциированной с хроническим гепатитом С // *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы*. 2016. № 6. С. 40–47. [Salman E.R., Asatryan M.N., Gaidarenko A.D., Ershov I.F., Semenenko T.A. Predictive assessment of preventable mortality associated with chronic hepatitis C. *Epidemiology and infectious diseases. Current issues*, 2016, No. 6, pp. 40–47 (In Russ.)].
 14. Асатрян М.Н., Герасимук Э.Р., Логунов Д.Ю., Семенов Т.А., Гинцбург А.Л. Прогнозирование динамики заболеваемости COVID-19 и планирование мероприятий по вакцинопрофилактике населения Москвы на основе математического моделирования // *Журнал микробиологии, эпидемиологии, иммунологии*. 2020. Т. 97, № 4. С. 289–302. [Asatryan M.N., Gerasimuk E.R., Logunov D.Yu., Semenenko T.A., Gintsburg A.L. Forecasting the dynamics of COVID-19 incidence and planning measures for vaccination of the Moscow population based on mathematical modeling. *Journal of Microbiology, Epidemiology, Immunobiology*, 2020, Vol. 97, No. 4, pp. 289–302 (In Russ.)]. <https://microbiol.elpub.ru>. doi: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-97-4-1>.
 15. Форма Федерального статистического наблюдения № 61 «Сведения о ВИЧ-инфекции», утвержденная приказом Росстата от 30.12.2020 № 863. [Federal Statistical Observation Form No. 61 «Information on HIV infection», approved by Rosstat Order No. 863 dated 12/30/2020 (In Russ.)].
 16. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 апреля 2017 г. № 426 «Об утверждении Правил ведения Федерального регистра лиц, инфицированных вирусом иммунодефицита человека, и Федерального регистра лиц, больных туберкулезом». [Decree of the Government of the Russian Federation No. 426 dated April 8, 2017 «On Approval of the Rules for Maintaining the Federal Register of Persons Infected with the Human Immunodeficiency Virus and the Federal Register of Persons with Tuberculosis» (In Russ.)].
 17. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. Federal State Statistics Service. [electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru>.
 18. Салман Э.Р. Прогнозирование эпидемии ВИЧ-инфекции среди потребителей внутривенных наркотиков: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2005. [Salman E.R. Forecasting the HIV epidemic among intravenous drug users: abstract. dis. ... Candidate of Medical Sciences, Moscow, 2005 (In Russ.)].
 19. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации. ВИЧ-инфекция у взрослых: официальный сайт. 2020. [Ministry of Health of the Russian Federation. Clinical recommendations. HIV infection in adults: official website. 2020 (In Russ.)]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/79_1 (дата обращения 01.12.2023).
 20. Покровский В.В. Инфекция, вызываемая вирусом иммунодефицита человека, в России и стратегии борьбы с ней // *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы*. 2021, № 3. С. 6–12. [Pokrovskiy V.V. Infection caused by the human immunodeficiency virus in Russia and strategies to combat it. *Epidemiology and infectious diseases. Current issues*, 2021, No. 3, pp. 6–12 (In Russ.)]. doi: <https://dx.doi.org/10.18565/epidem.2021.11.3.6-12>.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 07.12.2025 г.

Авторство: вклад в концепцию исследования и разработку модели — Э.Р. Герасимук, М.Н. Асатрян, Р.Р. Адгамов, Д.А. Огаркова, Б.Л. Земских. Вклад в отладку, тестирование программы и проведение вычислительных экспериментов с моделью — Э.Р. Герасимук, М.Н. Асатрян. Вклад в сбор данных — Д.А. Огаркова, Б.Л. Земских, Р.Р. Адгамов, В.А. Гуцин, А.Л. Гинцбург. Вклад в анализ данных и выводы — Э.Р. Герасимук, М.Н. Асатрян, Д.А. Огаркова, Б.Л. Земских, Р.Р. Адгамов. Вклад в подготовку рукописи — Э.Р. Герасимук, М.Н. Асатрян, Р.Р. Адгамов, Д.А. Огаркова, Б.Л. Земских, В.А. Гуцин, А.Л. Гинцбург, А.И. Мазус.

Сведения об авторах:

Герасимук Элита Русиндапутри — кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории механизмов популяционной изменчивости патогенных микроорганизмов федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамалеи, д. 18; доцент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна»; 141980, г. Дубна, Московская обл., Университетская ул., д. 19; e-mail: ealita@mail.ru; ORCID 0000–0002–7364–163X;

Асатрян Марина Норайровна — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник группы эпидемиологической кибернетики отдела эпидемиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамален, д. 18; e-mail: masatryan@gamaleya.org; ORCID 0000–0001–6273–8615;

Огаркова Дарья Алексеевна — младший научный сотрудник лаборатории механизмов популяционной изменчивости патогенных микроорганизмов федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамален, д. 18; e-mail: daria@ogarkova-dvorkina.ru (dashadv21993@gmail.com); ORCID 0000–0002–1152–4120;

Земских Борис Леонидович — младший научный сотрудник лаборатории механизмов популяционной изменчивости патогенных микроорганизмов федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамален, д. 18; e-mail: boriama@yandex.ru; ORCID 0009–0002–1874–0157;

Адамов Руслан Ринатович — научный сотрудник лаборатории механизмов популяционной изменчивости патогенных микроорганизмов федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамалеи, д. 18; e-mail: bacter@yandex.ru; ORCID 0009–0002–7514–5944;

Гуцин Владимир Алексеевич — доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамален, д. 18; заведующий кафедрой медицинской генетики и постгеномных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119048, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; e-mail: wowaniada@yandex.ru; ORCID 0000–0002–9397–3762;

Гинцбург Александр Леонидович — академик РАН, профессор, научный руководитель центра государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамален» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 123098, Москва, ул. Гамалеи, д. 18; заведующий кафедрой инфектологии и вирусологии Института профессионального образования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 119048, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2 (факт.: 123098, Москва, ул. Гамалеи, 1, корп. «Б»); e-mail: gintsburg@gamaleya.org; ORCID 0000–0003–1769–5059;

Мазус Алексей Израилевич — доктор медицинских наук, профессор, руководитель государственного бюджетного учреждения здравоохранения Московской области «Центр профилактики и борьбы со СПИД»; 105275, Москва, 8-я улица Соколиная гора, 15, корп. 5; e-mail: mazus@yandex.ru; ORCID 0000–003–2581–1443.