

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВИЧ-ИНФЕКЦИИ В ПОПУЛЯЦИЯХ С РАЗЛИЧНЫМ ЕСТЕСТВЕННЫМ ПРИРОСТОМ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Д.А. Нешумаев<sup>1</sup>, Е.Н. Сухарев<sup>2</sup>, В.Л. Стасенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Красноярский краевой центр профилактики и борьбы со СПИД, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Омский государственный медицинский университет, Омск, Россия

### Modeling the epidemic process of HIV infection in populations with different natural population growth

D.A. Neshumaev<sup>1</sup>, E.N. Sukharev<sup>2</sup>, V.L. Stasenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk Regional Center of AIDS prevention, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Omsk State Medical University, Omsk, Russia

#### Резюме

**Цель:** оценить заболеваемость, пораженность ВИЧ-инфекцией и динамику численности населения в популяциях с отрицательным, нулевым и положительным естественным приростом.

**Материалы и методы:** проведено компьютерное вероятностное моделирование методом Монте-Карло эпидемического процесса ВИЧ-инфекции в популяциях с различным естественным приростом численности населения. Использованы параметры, минимально необходимые для такого описания, — численность населения, рождаемость, смертность, пораженность ВИЧ-инфекцией, вероятность передачи ВИЧ.

**Результаты:** при моделировании эпидемического процесса установлено два основных сценария распространения ВИЧ-инфекции в популяции без диагностических, лечебных и профилактических воздействий. При отрицательном или нулевом приросте населения и случайном распределении здоровых и инфицированных индивидуумов в моделируемом пространстве плотность населения постепенно уменьшается. В определенный момент вероятность контакта зараженного и здорового человека становится меньше, чем вероятность инфицированному лицу дожить до этого события. При таких условиях теоретически возможна полная элиминация вируса из популяции.

При положительном естественном приросте возможно формирование устойчивого состояния, при котором периоды подъема численности популяции, заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией сменяются циклическим спадом.

Пораженность ВИЧ-инфекцией в таких странах, как Свазиленд, Ботсвана и Лесото, многие годы находится на уровне 25–30%. При этом численность населения стабильно прирастает. Исходя из проведенных имитационных исследований, можно предположить, что на данных территориях сформировался эволюционно устойчивый баланс между долей здорового и ВИЧ-

#### Abstract

**Aim:** to assess the incidence, prevalence of HIV infection and population dynamics in populations with negative, zero and positive natural increase.

**Materials and Methods:** Computer probabilistic modeling by the Monte Carlo method of the epidemic process of HIV infection in populations with different natural population growths was carried out. The parameters that are minimally necessary for such a description are used — population, birth rate, mortality, HIV prevalence, probability of HIV transmission.

**Results and discussion:** When modeling the epidemic process, two main scenarios of the spread of HIV infection in a population without diagnostic, therapeutic and preventive effects were established. With a negative or zero population growth and a random distribution of healthy and infected individuals in the simulated space, the population density gradually decreases. At some point, the probability of contact of the infected and healthy person becomes less than the probability of an infected person to live up to this event. Under such conditions, the complete elimination of the virus from the population is theoretically possible. With a positive natural increase, it is possible to form a stable state in which the periods of increase in population size, incidence and prevalence of HIV infection change in a cyclical decline. HIV prevalence in countries such as Swaziland, Botswana and Lesotho has been at the level of 25–30% for many years. In this case, the population steadily grows. Based on the conducted simulation studies, it can be assumed that in these territories an evolutionarily stable balance was formed between the share of healthy and HIV-infected people in which the prevalence does not occur above 30%.

**Conclusions.** The development of the epidemic process of HIV infection is determined by the dynamics of natural population growth. With a negative or zero natural growth and a random distribution of individuals in the simulated space, a complete elimination of the virus from the population is theoretically possible. With a positive natural increase, it is pos-

инфицированного населения, при котором пораженность не реализуется выше 30 %.

**Заключение.** Развитие эпидемического процесса ВИЧ-инфекции детерминировано динамикой естественного прироста населения. При отрицательном или нулевом естественном приросте и случайном распределении индивидов в моделируемом пространстве теоретически возможна полная элиминация вируса из популяции. При положительном естественном приросте возможно формирование эволюционно устойчивого циклического равновесия между долей здоровых и ВИЧ-инфицированных лиц.

**Ключевые слова:** ВИЧ-инфекция, математическая модель, стохастический процесс, эпидемиологические факторы, эпидемиологические исследования, демографический прогноз, эпидемиологический мониторинг.

## Введение

В настоящее время стратегии противодействия ВИЧ-инфекции предполагают выполнение рекомендаций руководящих структур или международных организаций без алгоритмов адаптации к различным эпидемическим или демографическим ситуациям.

В частности, в РФ предполагаемые величины охвата скринингом, лечением и иных целевых показателей декларируются национальной стратегией противодействия ВИЧ-инфекции [1]. В соответствии с данным документом в 2020 г. необходимо охватить медицинским освидетельствованием на ВИЧ-инфекцию не менее 24% населения РФ, а доля лиц, получающих АРВТ (от общего числа лиц зараженных ВИЧ-инфекцией), должна составить 38,3%.

UNAIDS рекомендует всем странам добиться в ближайшей перспективе показателей установления диагноза у лиц с ВИЧ-инфекцией на уровне 90%, охвата лечением — 90% от выявленных и достижения неопределяемой вирусной нагрузки у 90% пациентов, находящихся на терапии. Такая стратегия получила название «90-90-90» [2]. В более долгосрочной перспективе высказываются соображения о внедрении стратегии «95-95-95» [3].

Выполнение рекомендаций UNAIDS в условиях РФ требует многократного увеличения финансирования. Несмотря на очевидную беспроигрышность стратегии «90-90-90», имеющийся опыт показывает, что ее эффективность существенно различается между странами. Например, Австралия и Малайзия с показателями, приближенными к «90-90-90», не добились отрицательного тренда заболеваемости и пораженности, в то время как многие страны Африканского континента, в частности, Нигер, с достаточно скромными показателями «35-90-57» демонстрируют стойкое снижение эпидемии ВИЧ-инфекции [4, 5].

Одним из возможных объяснений наблюдаемых процессов может быть разное развитие эпи-

*sible to form an evolutionarily stable cyclic balance between the proportion of healthy and HIV-infected people.*

**Key words:** HIV infection; mathematical model; stochastic process; epidemiological factors; epidemiological studies; demographic forecast; epidemiological monitoring.

демического процесса в популяциях, отличающихся по демографическим характеристикам [6, 7]. Изучение данного параметра на развитие ВИЧ-инфекции определило актуальность настоящей работы.

**Цель исследования** — оценить заболеваемость, пораженность ВИЧ-инфекцией и динамику численности населения в популяциях с отрицательным, нулевым и положительным естественным приростом.

## Материалы и методы

Для изучения основных закономерностей взаимодействия человеческой популяции и ВИЧ проведен эксперимент на компьютерной модели с использованием минимального набора параметров, достаточных для описания эпидемического процесса (табл. 1).

Таблица 1

### Параметры, необходимые для изучения взаимодействия ВИЧ и человеческой популяции

Параметры	Параметры, использованные в модели
Количество населения	Исходное количество индивидов
Рождаемость	Естественный прирост населения (рождаемость — смертность)
Смертность	
Пораженность	Стартовое количество инфицированных индивидов в популяции
Вероятность передачи ВИЧ*	Контакт здорового и инфицированного индивида приводит к заражению в половине случаев (вероятность передачи = 0,5)

\* — пояснение выбора значения = 0,5 в разделе «Материалы и методы».

Так как вирус может поражать все возрастные группы, любой пол и контингенты риска среди населения, то при изучении общих популяционных

тенденций данные параметры не учитывались.

Моделирование эпидемического процесса проведено методом Монте-Карло. Взаимодействие популяции человека и ВИЧ исследуется как случайный процесс. Имитационная модель реализована в среде MATLAB и представляет собой усовершенствованную для этих целей компьютерную программу, представленную в работе [8].

#### *Описание имитационной модели эпидемического процесса*

Рассмотрим подробнее алгоритм работы модели эпидемического процесса.

**Шаг 1 — задание состава и численности популяции.** Случайным образом выбираются целые абсолютные числа  $\{x_{norm_i}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_{norm}$ , распределённые равномерно в некотором диапазоне целых чисел  $[1; S]$ . Каждое выбранное случайным образом число — это здоровый индивид; а значение числа — его координата в одномерном дискретном пространстве  $[1; S]$ , где  $S$  — максимальное число, характеризующее размер пространства, в котором может развиваться эпидемический процесс, а  $N_{norm}$  — количество индивидов в этом пространстве.

Аналогично случайным образом выбираются целые числа  $\{x_{inf_j}\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_{inf}$ , распределённые равномерно в этом же диапазоне  $[1; S]$ , причём каждое число — это ВИЧ-инфицированный индивид, а  $N_{inf}$  — их количество.

Таким образом, общая численность популяции  $N$  складывается из количества здоровых и инфицированных индивидов:  $N = N_{norm} + N_{inf}$

Общая численность популяции, отнесённая к величине диапазона в одномерном пространстве, характеризует плотность населения  $d = N/S$

**Шаг 2 — проверка наличия заражений (контактов при совпадении координат).** При совпадении координат  $x_{norm_i} = x_{inf_j}$  происходит контакт здорового индивида с ВИЧ-инфицированным. Каждый контакт с вероятностью 50% ведёт к заражению ВИЧ. Выбор события определяется генератором случайных чисел. При наступлении заражения количество инфицированных индивидов прирастает на единицу, а количество здоровых убывает на единицу. Количество совпадений (контактов) на текущем шаге обозначим как  $N_c$ .

**Шаг 3 — поправка на естественный прирост населения и летальность (коррекция численности популяции).** На следующем шаге происходит коррекция численности здоровых и инфицированных индивидов с учётом естественной смертности и рождаемости среди здоровой части населения и летальности — среди инфицированной:

$$\begin{aligned} N_{norm_{k+1}} &= N_{norm_k} - N_c + B \cdot N_{norm_k} - D \cdot N_{norm_k}, \\ N_{inf_{k+1}} &= N_{inf_k} + N_c - L \cdot N_{inf_k}, \end{aligned}$$

где  $N_{norm_{k+1}}$  — количество здоровых на следующем цикле,  $N_{norm_k}$  — количество здоровых на текущем цикле,  $N_c$  — количество контактов (заражений),  $B$  — доля родившихся от числа здоровых (рождаемость),  $D$  — доля умерших (естественная смертность),  $L$  — летальность.

В модели предполагается, что средняя продолжительность жизни инфицированного лица существенно меньше, чем аналогичный показатель здорового населения, поэтому  $L > D$ . Также предполагается, что рождение ВИЧ-инфицированных лиц не происходит.

При каждом цикле доля умерших и родившихся — постоянная, хотя в действительности она является функцией от времени и зависит от социально-экономических процессов в обществе.

После коррекции численности повторяется Шаг 1, т.е. вновь выбираются случайным образом координаты здоровых и инфицированных индивидов в заданном пространстве.

Таким образом, при каждом  $k$ -м цикле вычисляется новое количество здоровых и инфицированных индивидов с учётом процесса заражения, естественного прироста населения и летальности среди заражённых.

После  $n$  циклов программа формирует дискретные ряды для следующих параметров эпидемического процесса:

- численность здоровых индивидов  $N_{norm_k}$ ,
- численность инфицированных  $N_{inf_k}$ ,
- общая численность популяции  $N_k$ ,
- заболеваемость,
- поражённость  $I_k = N_{inf_k} / N_k$ .

В результате работы компьютерной программы изучалась динамика численности населения, заболеваемость и поражённость ВИЧ-инфекцией при отрицательном, нулевом и положительном приросте популяции.

По данным Федеральной службы государственной статистики, естественный прирост численности населения РФ в период с 2001 по 2019 г. находится в диапазоне от -0,75% (2002) до 1,81% (2015) [9]. Исходя из принципа симметрии, выбор для исследования осуществлен на уровне -1%, 0% и +1%. Прирост населения -1% / +1% означает, что в каждом последующем периоде времени (опыте) умирает / рождается 1% индивидов от здорового населения.

Анализ статистических отчетов, проведенный Федеральным научно-методическим центром по борьбе со СПИД, показал, что поражённость населения РФ на 31.12.2014 г. составила 512,8 на 100 тыс.

человек (0,5%) [10] и продолжает сохраняться на близком уровне по настоящее время. При этом летальность ВИЧ-инфицированных лиц в одном из наиболее пораженных территорий РФ (Иркутской области) стабильно держится на уровне 4%, а в группе лиц, получающих АРВТ, — порядка 1,7% [11]. Таким образом, в модельных экспериментах показатель пораженности выбран — 0,5%, а летальность изучалась при двух уровнях — 2% и 4%.

Вероятность передачи ВИЧ-инфекции различными путями неодинакова и варьирует от 0,003 до 100% [12–17]. В данной работе выбрано среднее значение — 50%. Выбор продолжительности исследования осуществлен таким образом, чтобы была однозначно определена динамика эпидемиологических показателей.

Параметры, при которых проводилось изучение эпидемического процесса, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Параметры, использованные при имитационном моделировании**

Обозначение	Наименование	Значение
B-D	Естественный прирост населения	-1%, 0%, +1%
L	Летальность	2%, 4%
N	Численность популяции	10 000
N_inf	Количество инфицированных индивидуумов	500
S	Размер пространства	100 000
n	Количество опытов (время)	1500

Каждый эксперимент проводился при одинаковых начальных условиях. Численность здоровых, инфицированных индивидуумов и продолжительность исследования вначале каждого эксперимента были идентичными.

Графики динамики эпидемиологических показателей при различном естественном приросте и летальности получены при уровне значимости  $p < 0,05$ . Средние значения вычислены для 30 экспериментальных повторов и обработаны методом Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Анализ эпидемического процесса при отрицательном естественном приросте населения про-

веден при параметрах, представленных в таблице 3.

Таблица 3

**Параметры модели, использованные при изучении эпидемического процесса с отрицательным естественным приростом населения**

Обозначение	Наименование	Значение
n	Количество опытов (время)	1500
B-D	Естественный прирост населения	-1%
N	Численность популяции	10 000
N_inf	Количество инфицированных индивидуумов	500
S	Размер пространства	100 000
L	Летальность	2% (4%)

Результат проведенного эксперимента представлен на рисунке 1.

Отрицательная динамика естественного прироста населения, независимо от наличия или отсутствия ВИЧ-инфекции, приводит к полному вымиранию популяции. Заболеваемость на первой стадии характеризуется возрастающим трендом. Достигнув максимума, заболеваемость уменьшается, сформировав на графике пик. Пораженность имеет аналогичную динамику, сдвинутую во времени.

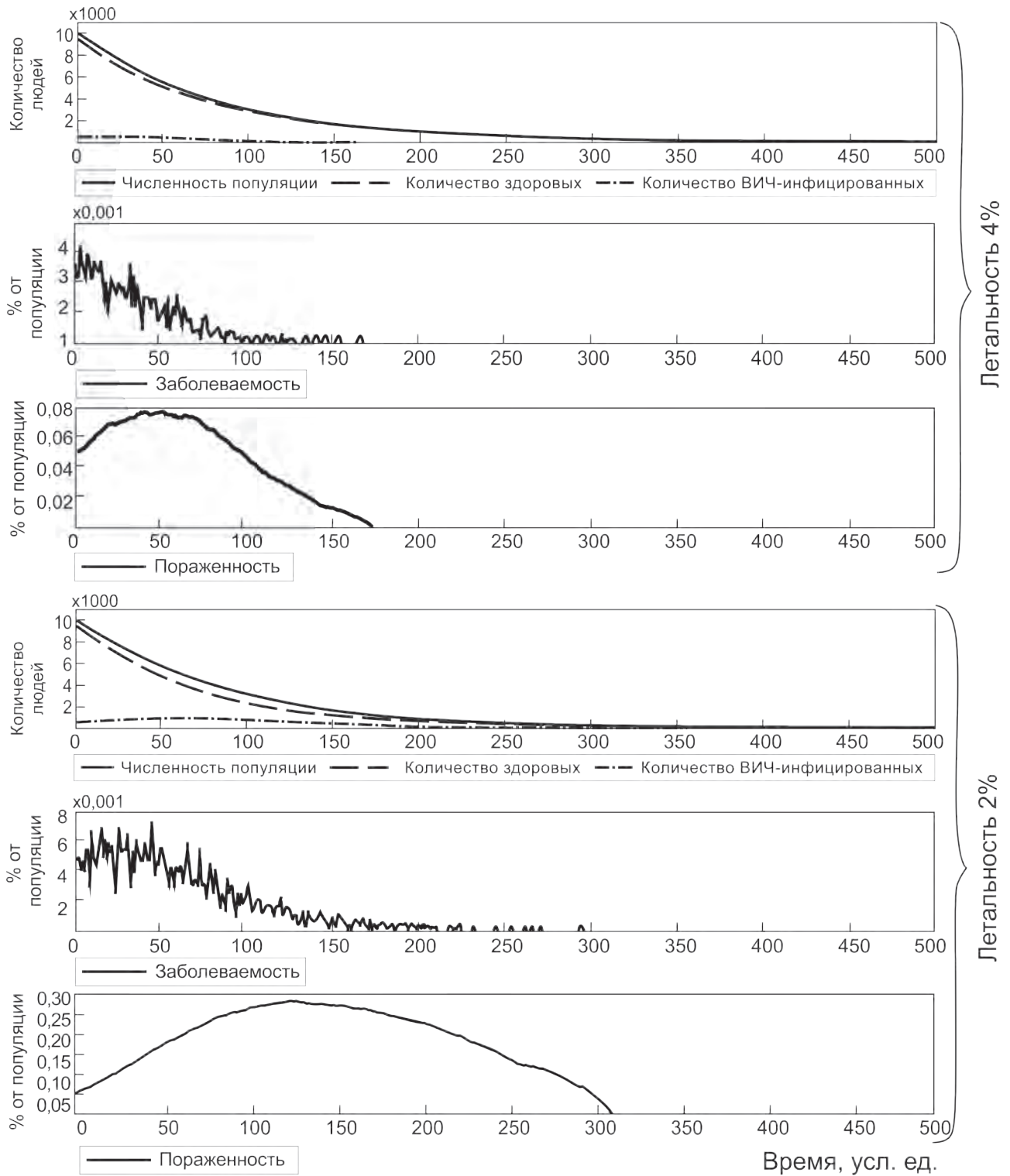
Сценарий, который формируется при уровне рождаемости, равном смертности, повторяет закономерности, выявленные при отрицательном естественном приросте, но население при этом не вымирает (табл. 4, рис. 2).

Таблица 4

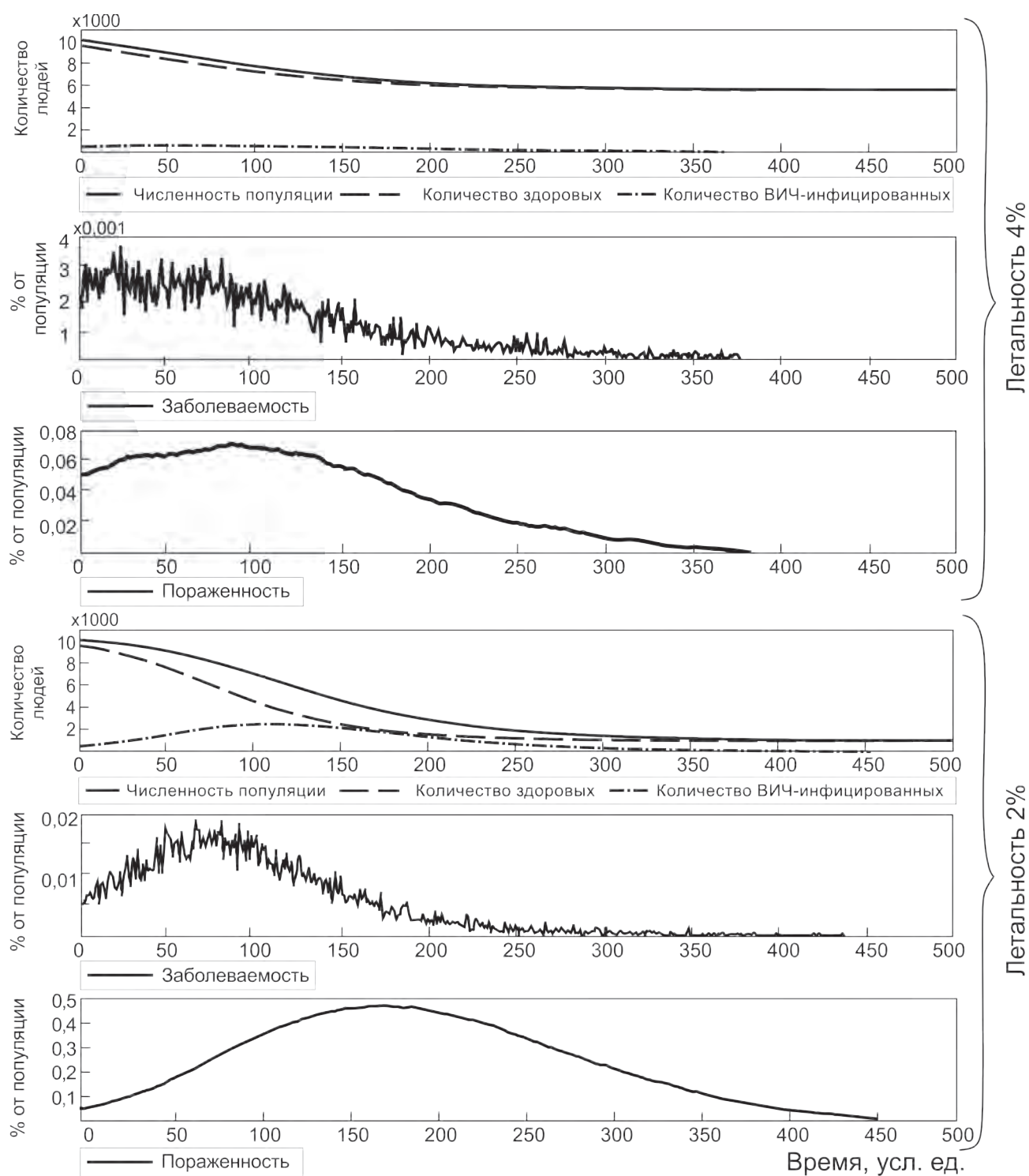
**Параметры модели, использованные при изучении эпидемического процесса с нулевым естественным приростом населения**

Обозначение	Наименование	Значение
n	Количество опытов (время)	1500
B-D	Естественный прирост населения	0%
N	Численность популяции	10 000
N_inf	Количество инфицированных индивидуумов	500
S	Размер пространства	100 000
L	Летальность	2% (4%)





**Рис. 1.** Динамика численности населения, заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией при отрицательном естественном приросте населения и разной летальности (из 1500 показано 500 условных единиц времени)



**Рис. 2.** Динамика численности населения, заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией при нулевом естественном приросте населения и разной летальности (из 1500 показано 500 условных единиц времени)

Численность популяции снижается, далее вероятность контакта зараженного и здорового человека становится меньше, чем вероятность инфицированному лицу дожить до этого события. При достижении таких параметров в модельных экспериментах вирус элиминируется из популяции. Заболеваемость и пораженность, сформировав пики, снижаются до нуля. Население, существенно понизив численность, сохраняет способность к последующему восстановлению за счет сохранившихся здоровых индивидуумов.

Наиболее интересное развитие событий возникает при положительном естественном приросте населения (табл. 5, рис. 3).

Таблица 5

**Параметры модели, использованные при изучении эпидемического процесса с положительным естественным приростом населения**

Обозначение	Наименование	Значение
n	Количество опытов (время)	1500
B-D	Естественный прирост населения	1%
N	Численность популяции	10 000
N_inf	Количество инфицированных индивидуумов	500
S	Размер пространства	100 000
L	Летальность	2% (4%)

При высокой летальности ВИЧ-инфицированных лиц общее количество населения быстро уменьшается, что приводит к последующему снижению заболеваемости и пораженности. При этих условиях относительно низкая доля ВИЧ-инфицированных лиц в популяции приводит к последующему росту населения, и сценарий повторяется. На графике формируется достаточно устойчивая волнообразная структура, где периоды роста численности населения, заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией сменяются спадом, и при этом количество населения медленно прирастает.

Динамика численности популяции описывается тремя базовыми характеристиками — стартовой численностью населения, рождаемостью и смертностью. Известно, что средняя продолжительность жизни ВИЧ-инфицированного лица в отсутствие каких-либо управленческих воздействий на порядок меньше, чем в здоровой популяции. Таким образом, необходимо изучить комбинации двух показателей — естественного прироста населения и летальности ВИЧ-инфицированных лиц.

Известно, что вероятность передачи ВИЧ-инфекции в различных социальных группах [18] и различных путях передачи существенно отли-

чается [11]. Можно выделить сотни различных комбинаций и условий, при которых итоговая вероятность трансмиссии вируса может варьировать [19]. Если у потребителя инъекционных наркотиков были беспорядочные половые связи, то достоверно неизвестно, каким путем произошло инфицирование. Тем не менее, сочетание таких возможностей создает необходимость учета численности не только отдельных контингентов риска, но и таких пересекающихся множеств, что в практической деятельности труднореализуемо.

Таким образом, представляется целесообразным учитывать не каждый индивидуальный путь передачи ВИЧ, а определить интегральную вероятность реализации всех путей передачи внутри всех социальных групп для той или иной популяции. Такую оценку можно получить посредством анализа новых случаев заражения [20]. Лабораторный анализ недавнего инфицирования проводится в стандартном алгоритме диагностики ВИЧ-инфекции при регистрации р24 антигена и не требует дополнительных финансовых затрат. Такой подход позволяет нивелировать необходимость определения численности различных социальных групп и их пересечений.

Основываясь на этих соображениях, имитационная модель не учитывает контингенты риска и обобщает пути передачи.

Следует отметить, что большая плотность населения лишь приводит к более быстрому развитию эпидемического процесса. Аналогичным образом исходная доля больных в популяции  $N_{inf}/N$  влияет только на скорость начального этапа распространения инфекции. Она может быть сколь угодно мала, это не влияет на возрастающий характер числа инфицированных лиц.

Если рассматривать ВИЧ и популяцию человека как систему паразит — хозяин, то динамика численности здорового населения является основным фактором (при отсутствии диагностических, лечебных и профилактических мероприятий), влияющим на скорость и характер развития эпидемического процесса. Таким образом, можно выделить два главных сценария развития событий, связанных с естественным приростом населения:

1. При отрицательном или нулевом естественном приросте человеческой популяции распространение ВИЧ-инфекции приводит к снижению общей численности населения. Скорость прироста новых случаев ВИЧ-инфекции также уменьшается. В определенный момент времени инфицированные лица умирают быстрее, чем реализуют трансмиссию вируса, что в конечном итоге в теоретической модели приводит к полной элиминации вируса.

2. При положительном естественном приросте формируется устойчивое цикличес-

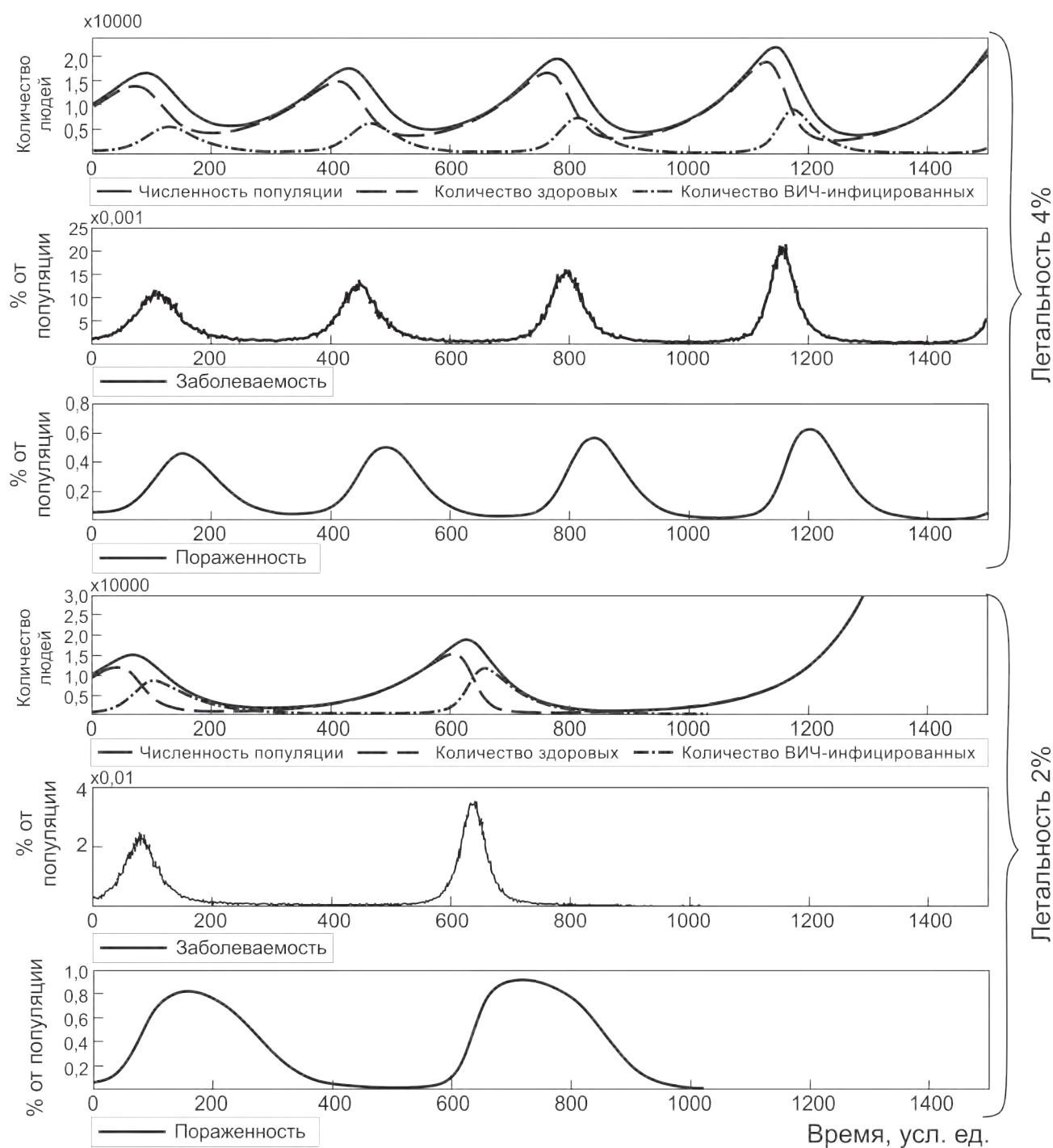


Рис. 3. Динамика численности населения, заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией при положительном естественном приросте населения и разной летальности

кое колебание численности населения и доли ВИЧ-инфицированных лиц. Если ВИЧ-инфицированные лица живут относительно долго (в модельном эксперименте летальность 2%), то численность популяции снижается до критических значений. Повторение нескольких волн подъема/снижения численности населения в конечном итоге может реализовать вариант полного

вымирания ВИЧ-инфицированных пациентов, что в последующем приводит к экспоненциальному росту популяции.

Необходимо отметить, что полная пораженность всей популяции реализуется при высокой вероятности контактов здоровых и зараженных лиц. В модели такой сценарий удастся достичь, создав крайне ограниченное количество коорди-



нат, в которых могут перемещаться индивидуумы. Полагаем, такое развитие событий в естественных условиях маловероятно. Более реалистичным выглядит сценарий формирования эволюционного устойчивого состояния, при котором существует определенная доля здоровых и инфицированных лиц в популяции. Аналогичное заключение о возможности последующей стабилизации эпидемии было сделано учеными из Санкт-Петербурга при исследовании динамической детерминистской модели [21].

Согласно отчету ВОЗ [22], самые пораженные ВИЧ-инфекцией страны мира находятся в Африке (табл. 6).

Удивительно, что при таких параметрах эпидемии численность населения перечисленных стран на протяжении многих десятилетий стабильно прирастает [23] (рис. 4).

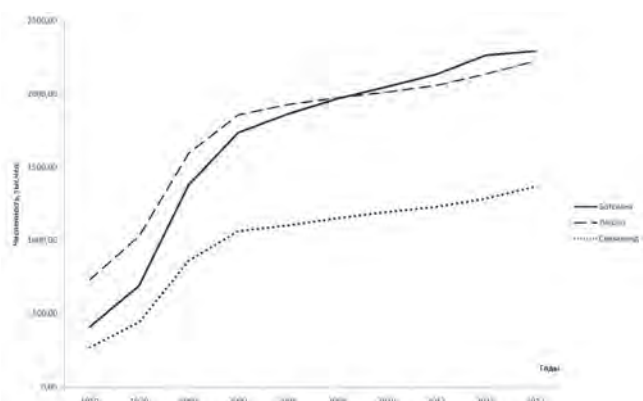


Рис. 4. Динамика численности населения Ботсваны, Лесото и Свазиленда

Расчеты показывают, что ВИЧ-инфекция появилась в Африке в 1930–1940-е гг. [24]. Более 50 лет ВИЧ циркулировал на этом континенте задолго до момента активного влияния международных организаций (UNAIDS) на эпидемический процесс [25]. Исходя из проведенных имитационных исследований, можно предположить, что на данных территориях сформировался эволюционно устойчивый баланс между долей здорового и ВИЧ-инфицированного населения, при котором пораженность не реализуется выше 30%.

Необходимо отметить, что провести точные калибровочные эксперименты показанной модели крайне затруднительно. Комплексы противоэпидемических мероприятий разрабатывались, внедрялись и совершенствовались с момента открытия ВИЧ. Поэтому длительных наблюдений развития эпидемического процесса в естественных условиях не существует. Тем не менее, попытка провести качественное сравнение теоретической модели с динамикой эпидемического процесса в некоторых странах Африки не выявила противоречий, что позволяет перейти к решению второго этапа создания практически ориентированной математической модели.

### Заключение

Развитие эпидемического процесса ВИЧ-инфекции детерминировано динамикой естественного прироста населения. При отрицательном или нулевом естественном приросте и случайном распределении индивидуумов в моделируемом пространстве теоретически возможна полная элиминация вируса из популяции. При положительном естественном приросте возможно формирование эволюционно устойчивого циклического равновесия между долей здоровых и ВИЧ-инфицированных лиц. Сценарий с пораженностью населения на уровне 100% маловероятен.

### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ №2203-р от 20.10.2016 г. «Об утверждении Государственной стратегии противодействия распространению ВИЧ-инфекции в Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу».
2. UNAIDS. 90–90–90: an ambitious treatment target to help end the AIDS epidemic. 2014 [Internet]. Доступно по: [www.unaids.org/en/resources/documents/2017/90-90-90](http://www.unaids.org/en/resources/documents/2017/90-90-90). Ссылка активна на 02.09.2020.
3. Granich R., Gupta S., Wollmers M., et al. Modeling the HIV epidemic: why the 95-95-95 target and ART effectiveness parameters matter. *International Journal of Virology and AIDS*. 2018; 5(1): 041. doi: 10.23937/2469-567X/1510041
4. Progress towards 90-90-90 targets — all ages (treatment cascade) [Internet]. Доступно по: <http://aidsinfo.unaids.org/#data-details>. Ссылка активна на 02.09.2020.
5. Scott N., Stooze M., Kelly Sh.L., et al. Achieving 90-90-90 human immunodeficiency virus (HIV) targets will not be enough to achieve the HIV incidence reduction target in Australia. *Clinical Infectious Diseases*. 2018; 66(7):1019–26. doi: 10.1093/cid/cix939

Таблица 6

### Пораженность населения в возрасте от 15 до 49 лет в наиболее пораженных странах мира

	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2017 г.
Ботсвана	27 (26,0–28,0)	24,5 (22,5–25,6)	23,2 (21–24,2)	22,8 (20,7–24,7)
Свазиленд	25,8 (24,2–27,4)	25,5 (24,2–26,4)	27,4 (25,6–28,3)	27,4 (25,2–28,8)
Лесото	21,9 (21–22,7)	22,1 (20,8–22,9)	22,2 (20,5–22,9)	23,8 (22,5–24,7)

6. Rate of natural increase (per 1,000 population) [Internet]. Доступно по: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>. Ссылка активна на 02.09.2020.
7. HIV estimates with uncertainty bounds 1990-2018 (Download spreadsheet) [Internet]. Доступно по: <https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet> Ссылка активна на 02.09.2020.
8. Нешумаев, Д.А. Скрининг населения необходимый для контроля эпидемии ВИЧ-инфекции / Д.А. Нешумаев // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. — 2017. — Т.9, №3. — С. 73–80. — doi: 10.22328/2077-9828-2017-9-3-73-80
9. Федеральная служба государственной статистики. Численность и состав населения [Internet]. — Доступно по: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#). Ссылка активна на 11.03.2019.
10. ВИЧ-инфекция. Информационный бюллетень №40. 2015 г. [Internet]. Доступно по: [http://www.hivrussia.ru/files/bul\\_40.pdf](http://www.hivrussia.ru/files/bul_40.pdf). Ссылка активна на 02.09.2020.
11. Stirratt M.J., Marks G., O'Daniels C., et al. Characterising HIV transmission risk among US patients with HIV in care: a cross-sectional study of sexual risk behaviour among individuals with viral load above 1500 copies/mL. *Sexually Transmitted Infections*. 2018; 94(3):206-11. doi: 10.1136/sextrans-2017-053178
12. Fonner V.A., Denison J., Kennedy C., et al. Voluntary counseling and testing (VCT) for changing HIV-related risk behavior in developing countries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2012; 9:CD001224. doi: 10.1002/14651858.CD001224.pub4
13. Loutfy M.R., Wu W., Letchumanan M., et al. Systematic review of HIV transmission between heterosexual serodiscordant couples where the HIV-positive partner is fully suppressed on antiretroviral therapy. *PLoS ONE*. 2013;8(2):e55747. doi: 10.1371/journal.pone.0055747
14. Supervie V., Assoumou L., Breban R., et al. Risk of HIV transmission during combined ART initiation for HIV-infected persons with severe immunosuppression. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2017;72(11):3172–76. doi: 10.1093/jac/dkx276
15. Cooper B., Toskin I., Kulier R., et al. Brief sexuality communication — a behavioural intervention to advance sexually transmitted infection/HIV prevention: a systematic review. *BJOG*. 2014;121(s5):92–103. doi: 10.1111/1471-0528.12877
16. Zajac K., Kennedy C., Fonner V., et al. A systematic review of the effects of behavioral counseling on sexual risk behaviors and HIV/STI prevalence in low- and middle-income countries. *AIDS and Behavior*. 2015;19(7):1178–1202. doi: 10.1007/s10461-014-0893-x
17. Методические рекомендации №6963-РХ от 20.09.2007 г. «Эпидемиологическое расследование случая ВИЧ-инфекции и проведение противоэпидемических мероприятий».
18. Zhang L., Peng P., Wu Y., et al. Modelling the epidemiological impact and cost-effectiveness of PrEP for HIV transmission in MSM in China. *AIDS and Behavior*. 2019;23(2):523–33. doi: 10.1007/s10461-018-2205-3
19. Thomson K., Hughes J., Baeten J., et al. Increased risk of HIV acquisition among women throughout pregnancy and during the postpartum period: a prospective per-coital-act analysis among women with HIV-infected partners. *The Journal of Infectious Diseases*. 2018;218(1):16–25. doi: 10.1093/infdis/jiy113
20. Нешумаев, Д.А. Моделирование динамики эпидемии ВИЧ-инфекции с использованием частоты встречаемости ранних случаев заражения / Д.А. Нешумаев [и др.] // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. — 2016. — Т. 8, №2. — С. 53–60. — doi: 10.22328/2077-9828-2016-8-2-53-60
21. Розенталь, В.В. Динамическая модель для описания и прогнозирования течения эпидемии ВИЧ-инфекции / В.В. Розенталь [и др.] // Медицинский академический журнал. — 2012. — Т.12, №1. — С.95–102.
22. Prevalence of HIV among adults aged 15 to 49 Estimates by country, Global Health Observatory data repository (2018). [Internet]. Доступно по: <http://apps.who.int/gho/data/node.main.622?lang=en>. Ссылка активна на 02.09.2020
23. Численность населения стран (2017). [Internet]. Доступно по: <https://knoema.ru/WBPEP2018Oct/population-estimates-and-projections>. Ссылка активна на 02.09.2020.
24. Korber B., Muldoon M., Theiler J., et al. Timing the ancestor of the HIV-1 pandemic strains. *Science*. 2000;288(5472):1789-96.
25. Gaolathe T., Wirth K.E., Holme M.P., et al. Botswana's progress toward achieving the 2020 UNAIDS 90-90-90 antiretroviral therapy and virological suppression goals: a population-based survey. *The Lancet*. 2016;3(5):e221-e30. doi: 10.1016/S2352-3018(16)00037-0

## References

1. Order of the Government of the Russian Federation №2203-r dated 20.10.2016 "On approval of the State strategy to counter the spread of HIV infection in the Russian Federation for the period up to 2020 and beyond". (in Russ).
2. UNAIDS. 90–90–90: an ambitious treatment target to help end the AIDS epidemic. 2014 [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: [www.unaids.org/en/resources/documents/2017/90-90-90](http://www.unaids.org/en/resources/documents/2017/90-90-90).
3. Granich R., Gupta S., Wollmers M., et al. Modeling the HIV epidemic: why the 95-95-95 target and ART effectiveness parameters matter. *International Journal of Virology and AIDS*. 2018; 5(1): 041. doi: 10.23937/2469-567X/1510041
4. Progress towards 90-90-90 targets — all ages (treatment cascade) [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: <http://aidsinfo.unaids.org/#data-details>.
5. Scott N., Stooze M., Kelly Sh.L., et al. Achieving 90-90-90 human immunodeficiency virus (HIV) targets will not be enough to achieve the HIV incidence reduction target in Australia. *Clinical Infectious Diseases*. 2018; 66(7):1019–26. doi: 10.1093/cid/cix939
6. Rate of natural increase (per 1,000 population) [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>.
7. HIV estimates with uncertainty bounds 1990-2018 (Download spreadsheet) [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: <https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet>
8. Neshumayev D.A. Screening of the population necessary to control the HIV epidemic. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*. 2017;9(3):73-80. (in Russ) doi: 10.22328/2077-9828-2017-9-3-73-80
9. Federal state statistics service. The size and composition of the population. [Internet]. [cited 11.03.2019]. Available from: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#).
10. HIV infection. Newsletter №40. 2015. [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: [http://www.hivrussia.ru/files/bul\\_40.pdf](http://www.hivrussia.ru/files/bul_40.pdf). (in Russ).
11. Stirratt M.J., Marks G., O'Daniels C., et al. Characterising HIV transmission risk among US patients with HIV in care: a cross-sectional study of sexual risk behaviour among individuals with viral load above 1500 copies/mL. *Sexually Transmitted Infections*. 2018; 94(3):206-11. doi: 10.1136/sextrans-2017-053178

12. Fonner V.A., Denison J., Kennedy C., et al. Voluntary counseling and testing (VCT) for changing HIV-related risk behavior in developing countries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2012; 9:CD001224. doi: 10.1002/14651858.CD001224.pub4
13. Loutfy M.R., Wu W., Letchumanan M., et al. Systematic review of HIV transmission between heterosexual serodiscordant couples where the HIV-positive partner is fully suppressed on antiretroviral therapy. *PLoS ONE*. 2013;8(2):e55747. doi: 10.1371/journal.pone.0055747
14. Supervie V., Assoumou L., Breban R., et al. Risk of HIV transmission during combined ART initiation for HIV-infected persons with severe immunosuppression. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2017;72(11):3172–76. doi: 10.1093/jac/dkx276
15. Cooper B., Toskin I., Kulier R., et al. Brief sexuality communication – a behavioural intervention to advance sexually transmitted infection/HIV prevention: a systematic review. *BJOG*. 2014;121(s5):92–103. doi: 10.1111/1471-0528.12877
16. Zjac K., Kennedy C., Fonner V., et al. A systematic review of the effects of behavioral counseling on sexual risk behaviors and HIV/STI prevalence in low- and middle-income countries. *AIDS and Behavior*. 2015;19(7):1178–1202. doi: 10.1007/s10461-014-0893-x
17. Methodical recommendations No. 6963-PX dated 20.09.2007 "Epidemiological investigation of a case of HIV infection and carrying out anti-epidemic measures". (in Russ).
18. Zhang L., Peng P., Wu Y., et al. Modelling the epidemiological impact and cost-effectiveness of PrEP for HIV transmission in MSM in China. *AIDS and Behavior*. 2019;23(2):523–33. doi: 10.1007/s10461-018-2205-3
19. Thomson K., Hughes J., Baeten J., et al. Increased risk of HIV acquisition among women throughout pregnancy and during the postpartum period: a prospective per-coital-act analysis among women with HIV-infected partners. *The Journal of Infectious Diseases*. 2018;218(1):16–25. doi: 10.1093/infdis/jiy113
20. Neshumaev D.A., Malysheva M.A., Shevchenko N.M. et al. Modeling the dynamics of HIV epidemic based on the incidence of early HIV cases. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*. 2016;8(2):53-60. (in Russ). doi: 10.22328/2077-9828-2016-8-2-53-60
21. Rosenthal V.V., Belyakov N.A., Vinogradova T.N. et al. Dynamic model for describing and predicting the course of the HIV epidemic. *Medical Academic Journal*. 2012;12(1):95–102. (in Russ).
22. Prevalence of HIV among adults aged 15 to 49 Estimates by country, Global Health Observatory data repository (2018). [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: <http://apps.who.int/gho/data/node.main.622?lang=en>
23. Population estimates and projections (2017). [Internet]. [cited 02.09.2020]. Available from: <https://knoema.ru/WBPEP-2018Oct/population-estimates-and-projections>.
24. Korber B., Muldoon M., Theiler J., et al. Timing the ancestor of the HIV-1 pandemic strains. *Science*. 2000;288(5472):1789-96.
25. Gaolathe T., Wirth K.E., Holme M.P., et al. Botswana's progress toward achieving the 2020 UNAIDS 90-90-90 antiretroviral therapy and virological suppression goals: a population-based survey. *The Lancet*. 2016;3(5):e221-e30. doi: 10.1016/S2352-3018(16)00037-0

---

*Авторский коллектив:*

*Нешумаев Дмитрий Александрович* — заведующий лабораторией Красноярского краевого центра профилактики и борьбы со СПИД, к.м.н.; тел.: +7-923-285-7034, e-mail: neshumaev@gmail.com

*Сухарев Евгений Николаевич* — доцент кафедры электронной техники и телекоммуникаций института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, к.т.н.; тел.: +7-391-291-91-47, e-mail: solo113@mail.ru

*Стасенко Владимир Леонидович* — заведующий кафедрой эпидемиологии Омского государственного медицинского университета, д.м.н., профессор; тел.: 8(3812)65-04-63, e-mail: vlstasenko@yandex.ru