

Эффективность стратегии ЮНЭЙДС «90-90-90» в популяциях с различным приростом численности населения

Д. А. Нешумаев*¹, Е. Н. Сухарев², В. Л. Стасенко³

¹ КГАУЗ Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск

³ ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России

Резюме

Актуальность. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в разных странах эффективность стратегии «90-90-90» существенно различается. Например, Австралия с показателями 90-90-79 (на 2016 г.) не добилась отрицательного тренда заболеваемости и пораженности, в то время как Нигер с показателями 35-90-57 демонстрирует стойкое снижение эпидемии ВИЧ-инфекции. Одно из возможных объяснений наблюдаемых различий – это особенности развития эпидемического процесса ВИЧ-инфекции в популяциях, отличающихся по демографическим характеристикам. Отсюда можно предполагать, что и управленческие воздействия в виде стратегии «90-90-90» или любых других стратегий будут существенным образом отличаться в таких саморегулирующихся системах. **Цель:** моделирование динамики эпидемического процесса в популяциях с различной вероятностью передачи ВИЧ-инфекции и отрицательным, нулевым, положительным приростом численности населения. **Материалы и методы.** В качестве основного метода применялось компьютерное вероятностное моделирование методом Монте-Карло. Использованы следующие параметры для описания эпидемического процесса: численность населения, рождаемость, смертность, пораженность ВИЧ-инфекцией, летальность, вероятность передачи ВИЧ. Значения данных параметров были приближены к мировой статистике ЮНЭЙДС. В работе предполагается, что эффективные управленческие воздействия уменьшают вероятность передачи ВИЧ в популяции. Последовательно исследована динамика численности населения, заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией в популяциях с отрицательным, нулевым, положительным естественным приростом и вероятностью передачи ВИЧ в популяции от 50% до 10%. Статистическая проверка гипотез проводилась методом Стьюдента. **Результаты и обсуждение.** В популяциях с отрицательным приростом численности населения и вероятности передачи ВИЧ на уровне 0,5 заболеваемость и пораженность на начальной стадии характеризуются возрастающим трендом, достигают пиковых значений и уменьшаются до нуля. При уменьшении вероятности передачи ВИЧ пик переходит в плато или сразу принимает нисходящую форму. В общих чертах аналогичные закономерности регистрируются при нулевом приросте численности населения. Заболеваемость и пораженность ВИЧ-инфекцией при положительном приросте численности населения меняются циклическим подъемом и спадом. Изменение диапазона вероятности передачи ВИЧ от 0,5 до 0,2 характеризуется уменьшением частоты и увеличением амплитуды пиков заболеваемости и пораженности. При вероятности передачи ВИЧ на уровне 0,1 эпидемический процесс резко обрывается. Согласно моделированию любое управленческое воздействие в странах с отрицательным приростом численности должно быть эффективным. Практические данные не противоречат теории. Например, показатели «56-66-59» в Украине привели к снижению заболеваемости. Управленческие действия в популяциях с положительным приростом численности населения, которые уменьшают вероятность передачи ВИЧ на 20% или 40% неэффективны. При достижении 80% эпидемический процесс резко прекращается. **Выводы.** Эффект уменьшения вероятности передачи ВИЧ в популяциях с отрицательным и нулевым приростом численности населения выражается в линейном снижении заболеваемости и пораженности (при фиксированной летальности). В популяциях с положительным естественным приростом уменьшения вероятности передачи ВИЧ менее 40% стратегически неэффективно, а при достижении 80% потенцируется резкое прекращение эпидемического процесса.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция, математическая модель, передача ВИЧ-инфекции, стохастический процесс, эпидемиологические факторы, эпидемиологические исследования

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Нешумаев Д. А., Сухарев Е. Н., Стасенко В. Л. Эффективность стратегии ЮНЭЙДС «90-90-90» в популяциях с различным приростом численности населения. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2020; 19 (1): 58–70. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-1-58-70>.

* Для переписки: Нешумаев Дмитрий Александрович, к. м. н., заведующий лабораторией иммунологических и гематологических исследований Краевой Центр СПИД, 660049, г. Красноярск, ул. К. Маркса, 45, стр. 1. +7 (391) 226-84-12, neshumaev@gmail.com. © Нешумаев Д. А. и др.

The Effectiveness of the UNAIDS Strategy «90-90-90» in Populations with Different Population GrowthDA Neshumaeв**¹, EN Sukharev², VL Stasenko³¹ Krasnoyarsk Regional Center of AIDS prevention² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk³ Omsk State Medical University**Abstract**

Introduction. Available data indicate that the effectiveness of the strategy of "90-90-90" varies considerably between countries. For example, Australia with figures 90-90-79 (2016) has not achieved the negative trend of the incidence and prevalence, while Niger 35-90-57 performance demonstrates a stable decrease in the HIV epidemic. One possible explanation for the observed processes may have different development of the epidemic process in populations that differ by demographic characteristics. From this we can assume that the epidemic control in a strategy of «90-90-90» or any other strategies will differ significantly in such self-regulating systems. **Aim:** modeling the dynamics of the epidemic process in populations with different probability of HIV transmission and negative, zero, positive population growth. **Materials and methods:** Computer probabilistic modeling by the Monte Carlo method was carried out. The following parameters were used to describe the epidemic process: population size, birth rate, mortality, HIV prevalence, lethality among patients with HIV/AIDS and probability of HIV transmission. The values of these parameters were close to the UNAIDS global statistics. It is assumed that the effective management of the epidemic reduce the probability of HIV transmission in the population. The dynamics of the population size, incidence and prevalence of HIV infection in populations with negative, zero, positive natural growth and the probability of HIV transmission in the population from 50% to 10% has been consistently studied. Statistical processing carried out by the Student method. **Results and discussion.** In populations with a negative population growth and a probability of HIV transmission of 0.5, incidence and prevalence at the initial stage are characterized by an increasing trend, reach peak values and decrease to zero. When reducing the probability of HIV transmission peak becomes plateau or directly take the downward shape. In general terms, similar patterns are recorded at zero population growth. The incidence and prevalence of HIV infection with a positive population growth are changing cyclically up and down. Change transmission probabilities range from 0.5 to 0.2 is characterized by a decrease in the frequency and amplitude of peaks increasing incidence and prevalence. When transmission probabilities at 0.1 epidemic process drops sharply. According to the simulation, any managerial impact in countries with negative population growth should be effective. Practical evidence does not contradict theory. For example, indicators "56-66-59" in Ukraine led to a decrease in the incidence. Management actions in populations with positive population growth that reduce the probability of HIV transmission by 20% or 40% are ineffective. When reaching 80%, the epidemic process abruptly stops. **Conclusions.** The effect of reducing the probability of HIV transmission in populations with a negative and zero population growth is expressed as a linear reduction in incidence and prevalence (at fixed lethality). In populations with a positive natural growth reduction transmission probabilities less than 40% strategically not effective, and when it reaches 80% potentiated abrupt cessation epidemic process.

Key words: HIV infection, mathematical model, HIV transmission, stochastic process, epidemiological factors, epidemiological studies

No conflict of interest to declare.

For citation: The Effectiveness of the UNAIDS Strategy «90-90-90» in Populations with Different Population Growth. Neshumaeв DA, Sukharev EN, Stasenko VL. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2020; 19 (1): 58–70 (In Russ.). [https://doi: 10.31631/2073-3046-2020-19-1-58-70](https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-1-58-70).

Введение

Система контроля за ВИЧ-инфекцией состоит из вертикальной иерархии федерального, территориального уровней и включает три компонента: выявление инфицированных лиц, лечение и профилактические мероприятия [1]. Эффект интегрального влияния компонентов сводится к уменьшению вероятности передачи ВИЧ-инфекции в популяции и как следствие – сокращению числа новых случаев заражения.

Долевое распределение имеющихся материальных ресурсов между компонентами системы всех уровней складывается в большинстве случаев эмпирически. В частности в РФ предполагаемые величины охвата скринингом, лечением и рядом иных

целевых показателей декларируются национальной стратегией противодействия ВИЧ-инфекции [2]. UNAIDS (ЮНЭЙДС) рекомендует всем странам добиться в ближайшей перспективе показателей-установления диагноза у лиц с ВИЧ-инфекцией на уровне 90%, охвата лечением – 90% от выявленных и достижение неопределяемой вирусной нагрузки у 90% пациентов, находящихся на терапии. Такая стратегия получила название «90-90-90» [3]. В более долгосрочной перспективе высказываются соображения о внедрении стратегии «95-95-95» [4].

Задача наиболее эффективного распределения имеющихся ресурсов в системе противодействия ВИЧ-инфекции на сегодняшний день не решена. Вероятно поэтому, в ожидаемых результатах национальной

** For correspondence: Neshumaeв Dmitry A., Cand. Sci. (Med.), head of the laboratory of immunological and hematological research of Krasnoyarsk Regional Center of AIDS prevention +7 (391) 226-84-12, neshumaeв@gmail.com, ©Neshumaeв DA et al.

Таблица 1. Параметры, необходимые для изучения взаимодействия ВИЧ и человеческой популяции
Table 1. Parameters needed to study the interaction of HIV and the human population

Параметры Parameters	Параметры, использованные в модели Parameters used in the model
Количество населения Number of population	Исходное количество индивидов Population size
Рождаемость Fertility	Прирост численности населения (рождаемость – смертность) Population growth (fertility – mortality)
Смертность Mortality	
Пораженность Prevalence	Стартовое количество инфицированных индивидов в популяции The number of infected individuals
Вероятность передачи ВИЧ HIV transmission probability	Вероятность передачи ВИЧ HIV transmission probability

стратегии декларируются только качественные оценки, такие как «стойкое снижение количества вновь зарегистрированных ВИЧ-инфицированных случаев». Также предпринимаются попытки оценить посредством моделирования научную обоснованность показателей регламентированных стратегией «90-90-90». Результат такого анализа представляет в большинстве случаев широкий диапазон возможных сценариев [5,6].

Если сравнивать множество возможных систем контроля за ВИЧ-инфекцией с одинаковым вложением материальных ресурсов, то наиболее эффективной будет система с максимальной скоростью замедления эпидемического процесса [7]. Эквивалентная задача заключается в выборе системы, позволяющей добиться максимального уменьшения вероятности передачи ВИЧ в зависимости от единицы вложенных средств.

В некоторых моделях было показано, что развитие ВИЧ-инфекции существенно отличается в популяциях с различным естественным приростом численности населения [8]. Отсюда можно предположить, что в зависимости от демографических параметров эффект одних и тех же управленческих воздействий, выражающийся в уменьшении вероятности передачи ВИЧ, будет различным.

Таким образом, один из возможных подходов для более точной оценки эффективности стратегий противодействия ВИЧ-инфекции – это исследование динамики эпидемического процесса в зависимости от уровня вероятности передачи ВИЧ в популяциях с различным приростом численности населения.

Цель – моделирование динамики эпидемического процесса в популяциях с различной вероятностью передачи ВИЧ-инфекции и отрицательным, нулевым, положительным приростом численности населения.

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).

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 эпидемического процесса реализована в среде MATLAB и представляет собой усовершенствованную для этих целей авторскую компьютерную программу, представленную в работе [9].

Описание имитационной модели эпидемического процесса

Рассмотрим подробнее алгоритм реализации 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 индивидуумов 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 занимаемого ею диапазона в одномерном пространстве характеризует плотность населения $d = N/S$.

Таблица 2. Параметры и их значения, использованные при имитационном моделировании
Table 2. Parameters and their values used in simulation

Параметры моделирования Parameters			Данные ЮНЭЙД/ООН UNAIDS/ UN Data		
Обозначение Designation	Наименование Name	Значение Value	Наименование Name	Значение Value	Ссылка Ref
N	Численность популяции Population size	10 000	Численность населения Земли Earth population	7,6 млрд 7,6 billion	[10]
N_{inf}	Количество инфицированных индивидуумов The number of infected individuals	500	Число людей с ВИЧ-инфекцией The number of infected individuals	37,9 (32,7–44,0) млн/ million	[11]
L	Летальность Mortality	4%	Летальность Mortality	6% (2000 г.) 2% (2018 г.)	[12]
$B-D$	Естественный прирост населения Population growth	-1%, 0%, +1%	Медиана прироста численности населения Земли для 201 страны Median population growth for 201 countries	1,5% (2000 г.) до 1,2% (2015 г.)	[10]
P_{cont}	Вероятность передачи ВИЧ HIV transmission probability	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1	Вероятность передачи ВИЧ (значения соответствуют $p < 0.05$) HIV transmission probability (values $p < 0.05$)	0,005–0,0019, 0,15–0,35 0,78–0,87 0,64	[13, 14, 15, 16]
S	Размер пространства Space size	100 000	–	–	–
n	Количество опытов (время) Number of experiments (time)	1 500	–	–	–

Шаг 2 – проверка наличия заражений (контактов при совпадении координат). При совпадении координат $x_{norm_i} = x_{inf_i}$ происходит контакт здорового индивида с ВИЧ-инфицированным. Каждый контакт с вероятностью P_{cont} ведёт к заражению ВИЧ. При наступлении заражения количество инфицированных индивидов прирастает на единицу, а количество здоровых убывает на единицу. Количество совпадений (контактов) на текущем шаге обозначим N_c .

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

$$N_{norm_{k+1}} = N_{norm_k} - N_c + B \cdot N_{norm_k} - D \cdot N_{norm_k},$$

$$N_{inf_{k+1}} = N_{inf_k} + N_c - L \cdot N_{inf_k},$$

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 -ом цикле вычисляется новое количество здоровых и инфицированных индивидуумов 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 индивидуумов N_{norm_k} ,

численность инфицированных N_{inf_k} ,

общая численность популяции N_k ,

заболеваемость $T = \frac{1}{N_k} (N_{inf_{k+1}} - N_{inf_k})$,

поражённость $I_k = \frac{N_{inf_k}}{N_k}$.

По результатам работы компьютерной программы, реализующей этот алгоритм, изучалась динамика

Таблица 3. Параметры модели, использованные при изучении эпидемического процесса с отрицательным естественным приростом населения и различной вероятностью передачи ВИЧ

Table 3. Model parameters used in the study of the epidemic process with negative natural population growth and different probability of HIV transmission

Обозначение Designation	Наименование Name	Значение Value
n	Количество опытов (время) Number of experiments (time)	1000
$B-D$	Естественный прирост населения Population growth	-1%
N	Численность популяции Population size	10 000
N_{inf}	Количество инфицированных индивидуумов The number of infected individuals	500
S	Размер пространства Space size	100 000
L	Летальность Mortality	4%
P_{cont}	Вероятность передачи ВИЧ HIV transmission probability	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1

численности населения, заболеваемость и пораженность ВИЧ-инфекцией при отрицательном, нулевом и положительном приросте популяции и различной вероятности передачи ВИЧ. Предполагается, что вероятность передачи ВИЧ – это функция эффективности противоэпидемических мероприятий. Чем меньше данный параметр, тем эффективнее меры противодействия эпидемическому процессу.

Выбор экспериментальных значений выбран исходя из следующих данных (табл. 2)

По данным ООН, медиана прироста численности населения стран мира в настоящее время приближается к 1%. 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)

Рисунок 1. Численность населения, заболеваемость и пораженность ВИЧ-инфекцией при отрицательном приросте популяции и различной вероятностью передачи ВИЧ

Figure 1. Population, incidence and prevalence of HIV infection with a negative population growth and a different probability of HIV transmission

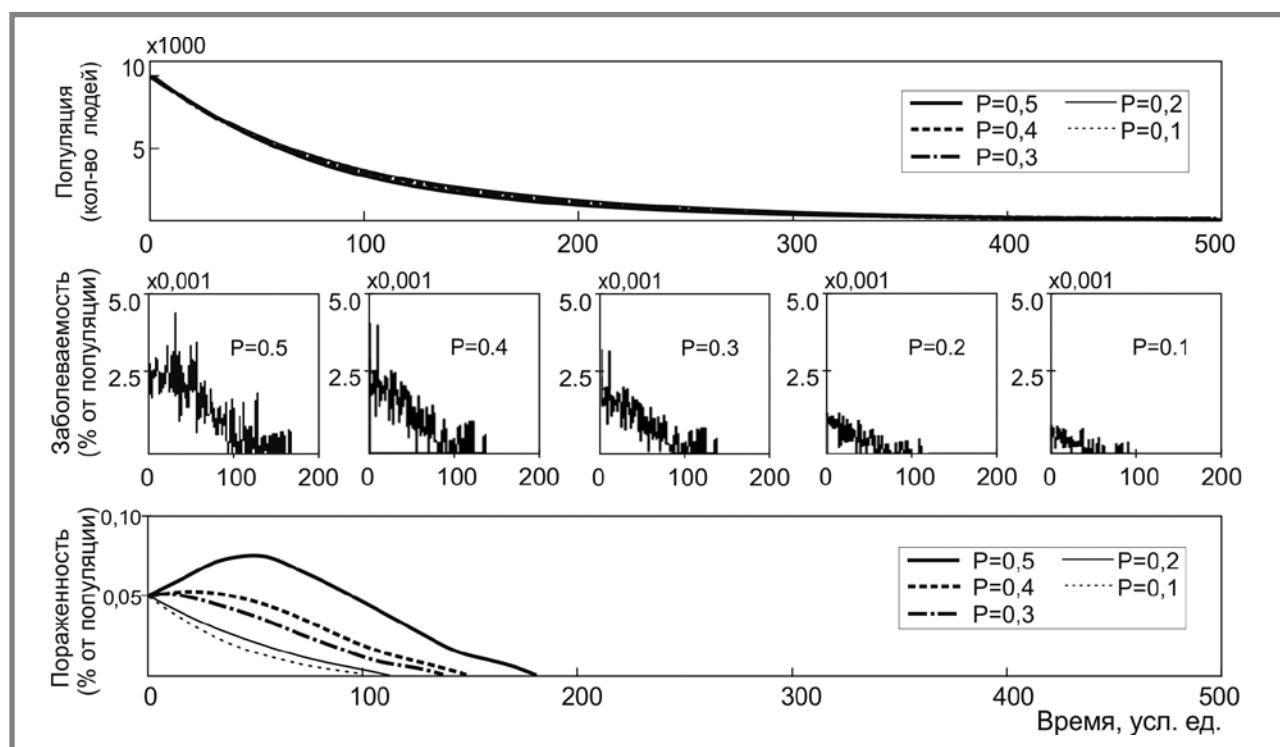


Таблица 4. Фазы эпидемического процесса, характерные для популяций с отрицательным приростом численности и разной вероятностью передачи ВИЧ
Table 4. Phases of the epidemic process characteristic of populations with negative population growth and different probability of HIV transmission

Параметры Parameters	Проявление фазы эпидемического процесса Manifestation of the phase of the epidemic process		
Заболеемость Incidence	Рост Growth	Спад Recession	Спад Recession
Пораженность Prevalence	Рост Growth	Рост Growth	Спад Recession
Вероятность передачи ВИЧ, при которой характерна данная фаза The probability of HIV transmission at which this phase is characteristic	0,5; 0,4	0,5; 0,4	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1

рождается/умирает 1% индивидуумов от здорового населения.

Средняя пораженность ВИЧ-инфекцией общемирового населения составляет 0,49%. Численность моделируемой популяции и количество ВИЧ-инфицированных индивидуумов подобраны с учетом данной пропорции. Выбор количества опытов (время) осуществлен таким образом, чтобы была однозначно определена динамика эпидемиологических показателей.

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

Графики динамики эпидемиологических показателей при различном приросте численности населения и разной вероятности передачи ВИЧ получены при уровне значимости $p < 0,05$. Средние значения вычислены для 30 экспериментальных повторов и обработаны методом Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Анализ динамики эпидемического процесса ВИЧ-инфекции при отрицательном приросте численности населения и различной вероятностью передачи ВИЧ проведен при параметрах, представленных в таблице 3.

Результат проведенного эксперимента представлен на рисунке 1.

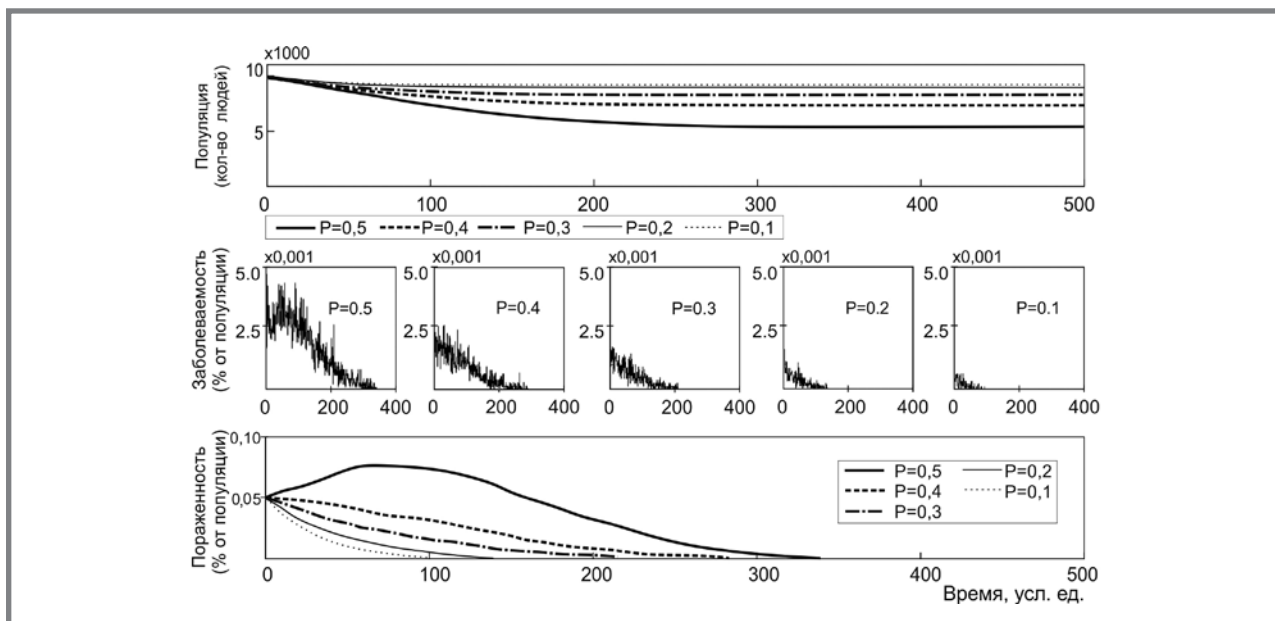
При вероятности передачи ВИЧ на уровне 0,5, заболеваемость и пораженность на начальной стадии характеризуются возрастающим трендом, достигают пиковых значений и уменьшаются до нуля. В диапазоне вероятностей от 0,4–0,3 пик переходит в плато с последующим понижением, а при вероятности передачи ВИЧ 0,2–0,1 графики принимают нисходящую форму. В модельных экспериментах отрицательная динамика прироста численности населения является основным фактором, который в долгосрочной перспективе приводит к элиминации вируса из популяции

Таблица 5. Параметры модели, использованные при изучении эпидемического процесса с нулевым приростом численности населения и различной вероятностью передачи ВИЧ
Table 5. Model parameters used in the study of the epidemic process with zero population growth and different probability of HIV transmission

Обозначение Designation	Наименование Name	Значение Value
n	Количество опытов (время) Number of experiments (time)	1000
$B-D$	Естественный прирост населения Population growth	0%
N	Численность популяции Population size	10 000
N_{inf}	Количество инфицированных индивидуумов The number of infected individuals	500
S	Размер пространства Space size	100 000
L	Летальность Mortality	4%
P_{cont}	Вероятность передачи ВИЧ HIV transmission probability	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1

Рисунок 2. Численность населения, заболеваемость и пораженность ВИЧ-инфекцией при нулевом приросте популяции и различной вероятностью передачи ВИЧ

Figure 2. Population, incidence and prevalence of HIV infection with a zero population growth and a different probability of HIV transmission



не зависимо от наличия или отсутствия управленческих воздействий.

Можно выделить несколько фаз, характерных для эпидемического процесса (табл. 4).

Чем меньше вероятность передачи ВИЧ в популяции, тем характернее наличие только нисходящего тренда заболеваемости и пораженности. Рост эпидемиологических показателей регистрируется при вероятностях передачи ВИЧ на уровне 0,5 и 0,4.

Динамика эпидемии, которая формируется при уровне рождаемости равном смертности в общих чертах повторяет закономерности, выявленные при отрицательном естественном приросте, но население при этом не вымирает (табл. 5, рис. 2).

Заболеваемость и пораженность при вероятности передачи ВИЧ на уровне 0,5, характеризуется формированием пика, который снижается до нуля. В диапазоне вероятностей 0,4–0,1 пик

не формируется, а момент регистрации последнего инфицированного индивидуума в популяции наступает существенно быстрее. Население, понизив численность, сохраняет способность к последующему восстановлению за счет сохранившихся здоровых индивидуумов. В процессе развития эпидемии создаются условия, при которых вероятность контакта зараженного и здорового человека становится меньше, чем вероятность инфицированному лицу дожить до этого события. При таких модельных параметрах, ВИЧ с течением времени элиминируется из популяции.

Фазы характерные для данного эпидемического процесса представлены в таблице 6.

Проявление фазы эпидемии при которой одновременно регистрируется рост заболеваемости и пораженности специфично для вероятности передачи ВИЧ на уровне 0,5. Управленческие воздействия, способные уменьшить данную вероятность, изменяют тренд на нисходящий.

Таблица 6. Фазы эпидемического процесса, характерные для популяций с нулевым приростом численности и разной вероятностью передачи ВИЧ

Table 6. Phases of the epidemic process characteristic of populations with zero population growth and different probability of HIV transmission

Параметры Parameters	Проявление фазы эпидемического процесса Manifestation of the phase of the epidemic process		
Заболеваемость Incidence	Рост Growth	Спад Recession	Спад Recession
Пораженность Prevalence	Рост Growth	Рост Growth	Спад Recession
Вероятность передачи ВИЧ, при которой характерна данная фаза The probability of HIV transmission at which this phase is characteristic	0,5	0,5	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1

Таблица 7. Параметры модели, использованные при изучении эпидемического процесса с положительным приростом численности населения и различной вероятностью передачи ВИЧ
Table 7. Model parameters used in the study of the epidemic process with a positive population growth and a different probability of HIV transmission

Обозначение Designation	Наименование Name	Значение Value
n	Количество опытов (время) Number of experiments (time)	1000
$B-D$	Естественный прирост населения Population growth	1%
N	Численность популяции Population size	10 000
N_{inf}	Количество инфицированных индивидуумов The number of infected individuals	500
S	Размер пространства Space size	100 000
L	Летальность Mortality	4%
P_{cont}	Вероятность передачи ВИЧ HIV transmission probability	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1

Характеристики эпидемического процесса при положительном естественном приросте населения существенно отличаются от представленных ранее закономерностей (табл. 7, рис. 3).

Заболеемость и пораженность ВИЧ-инфекцией при положительном естественном приросте меняется циклическим подъемом и спадом. Численность населения синхронно снижается и повышается вследствие тесной связанности эпидемиологических и популяционных параметров. Изменение диапазона вероятности передачи ВИЧ от 0,5 до 0,2 характеризуется уменьшением частоты и увеличением амплитуды пиков заболеваемости

и пораженности. При вероятности передачи ВИЧ на уровне 0,1 эпидемический процесс резко обрывается, что приводит к последующему экспоненциальному росту популяции.

Одновременный рост заболеваемости и пораженности при положительном естественном приросте в отличие от популяций с отрицательным и нулевым приростом численности населения в модельных экспериментах регистрируется гораздо чаще (табл. 8).

Одновременное уменьшение заболеваемости, пораженности и отсутствие фаз роста данных параметров характерно только для экспериментов с вероятностью передачи ВИЧ на уровне 0,1.

Рисунок 3. Численность населения, заболеваемость и пораженность ВИЧ-инфекцией при положительном приросте популяции и различной вероятностью передачи ВИЧ
Figure 3. Population, incidence and prevalence of HIV infection with a positive population growth and a different probability of HIV transmission

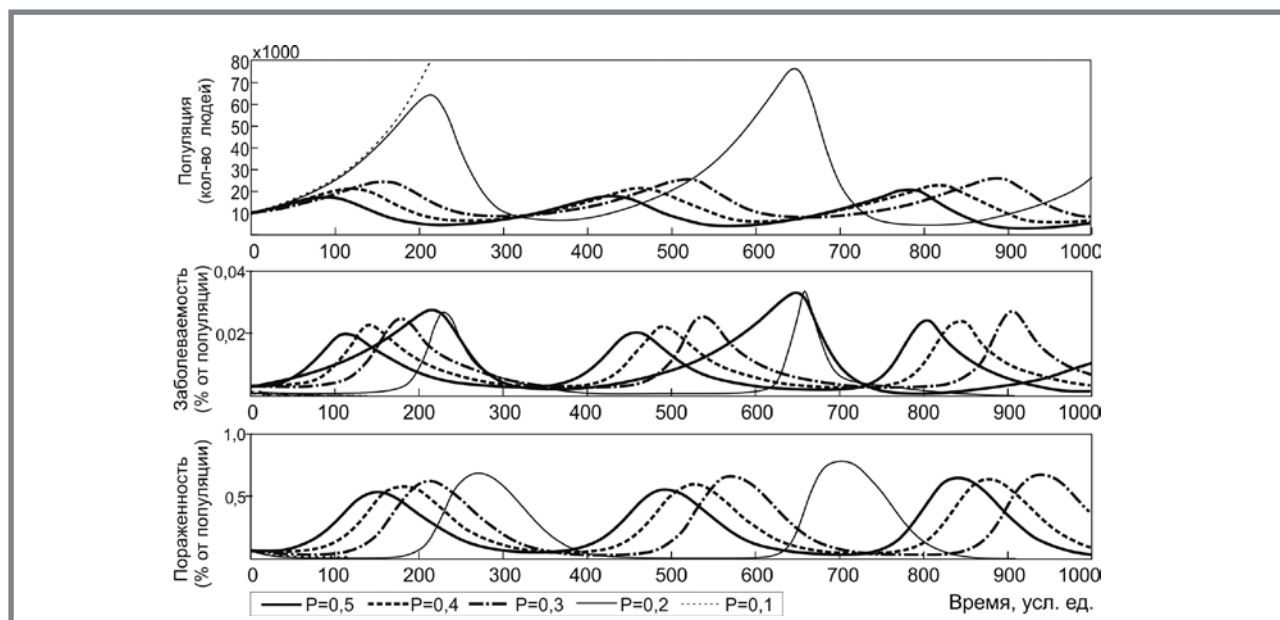


Таблица 8. Фазы эпидемического процесса, характерные для популяций с положительным приростом численности и разной вероятностью передачи ВИЧ

Table 8. Phases of the epidemic process characteristic of populations with positive population growth and different probability of HIV transmission

Параметры Parameters	Проявление фазы эпидемического процесса Manifestation of the phase of the epidemic process		
Заболеемость Incidence	Рост Growth	Спад Recession	Спад Recession
Пораженность Prevalence	Рост Growth	Рост Growth	Спад Recession
Вероятность передачи ВИЧ при которой характерна данная фаза The probability of HIV transmission at which this phase is characteristic	0,5; 0,4; 0,3; 0,2	0,5; 0,4; 0,3; 0,2	0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1

Полученные данные позволяют провести анализ скорости замедления эпидемического процесса при различном уровне управленческих воздействий (рис. 4).

Уменьшение вероятности передачи ВИЧ в популяциях с отрицательным приростом численности приводит к более медленному замедлению эпидемического процесса, чем в популяциях с рождаемостью равной смертности. В среднем на каждые 10% уменьшения вероятности передачи ВИЧ приходится 9% и 19% замедления скорости приращения заболеваемости соответственно. При фиксированной летальности аналогичное уменьшение будет наблюдаться и по пораженности. С высокой точностью ($p < 0,05$) данный тип зависимости описывается линейной функцией. В популяциях с положительным естественным приростом уменьшения вероятности передачи ВИЧ менее 40% стратегически неэффективно, а при

достижении 80% эпидемический процесс резко прекращается.

В модельных экспериментах изменения параметров взаимодействующей системы «человек–ВИЧ» носит фазовый характер. В практическом приложении этим можно объяснить неравномерность проявлений эпидемического процесса в отдельных территориальных, социальных и возрастных группах населения.

Если рассмотреть с точки зрения комбинаторики все возможные варианты проявления фаз саморегулирующейся системы ВИЧ и популяции человека, то можно составить таблицу (табл. 9).

Необходимо отметить, что такая комбинация заболеваемости и пораженности как «рост-спад» в модельных экспериментах не наблюдается. Если сравнить теоретические данные с практическими наблюдениями ЮНЭЙДС, то можно отметить, что ВИЧ-инфекция, характеризующаяся

Рисунок 4. Замедление скорости эпидемического процесса (заболеваемости и пораженности) в популяциях с различным приростом численности населения ($p < 0.05$)

Figure 4. Slowing down the speed of the epidemic process (incidence and prevalence) in populations with different population growths ($p < 0.05$)

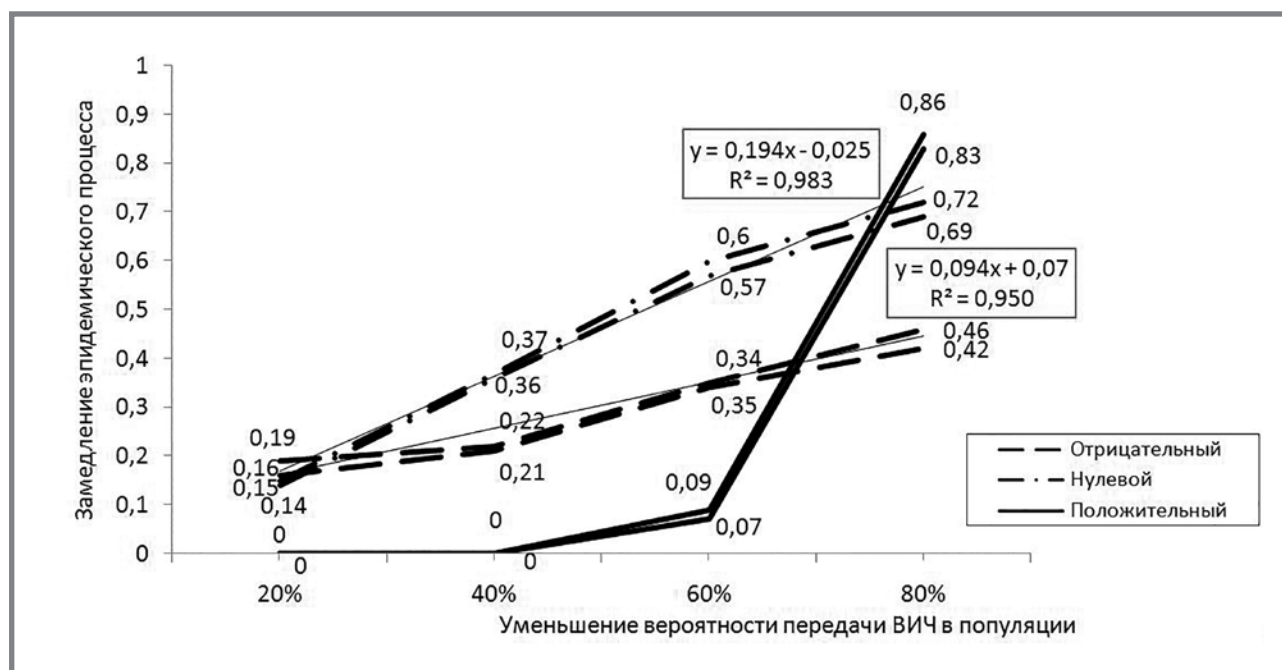


Таблица 9. Возможные сочетания различных проявлений фаз эпидемического процесса
Table 9. Possible combinations of various manifestations of the phases of the epidemic process

Параметр Parameters	Проявление фазы эпидемического процесса Manifestation phase of the epidemic process			
	Рост Growth	Рост Growth	Спад Recession	Спад Recession
Заболееваемость Incidence	Рост Growth	Рост Growth	Спад Recession	Спад Recession
Пораженность Prevalence	Рост Growth	Спад Recession	Рост Growth	Спад Recession
Наблюдаются в модельных эксперимантах Observed in model experimenters	Да Yes	Нет No	Да Yes	Да Yes

ростом заболеваемости и снижением пораженности (в средних значениях) в 2015–2018 гг. встречается в двух странах из 134 [12] (табл. 10).

Как следует из таблицы 10, снижение заболеваемости и пораженности в указанных странах не является достоверным. С уровнем значимости 95% доверительные интервалы исследуемых параметров перекрываются, поэтому утверждать, что такая ситуация действительно зарегистрирована не представляется возможным. Анализ данных за 2010–2018 гг. выявил аналогичную недостоверную ситуацию в трех странах из 133 – Боливии, Джибути и Мали. Дальнейшее увеличение анализируемого периода не позволило установить таких комбинаций.

Таким образом, теоретические исследования не противоречат практическим данным. Установлено, что сочетание параметров рост заболеваемости – снижение пораженности на данный момент достоверно не зарегистрировано. Гипотетически такая ситуация возможна при значительных миграционных процессах или высокой летальности ВИЧ-инфицированных лиц при значительной плотности населения.

Информирование лиц об их положительном ВИЧ-статусе уменьшает вероятность передачи ВИЧ в среднем в 3 раза (табл. 11).

Аналогичные исследования проведены для пациентов, принимающих антиретровирусную терапию и достигших неопределяемой вирусной нагрузки. С вероятностью не менее 96% такие индивидуумы перестают быть источником заражения. К сожалению, низкая стандартизация профилактических мероприятий, неиспользующих лекарственные препараты, не позволяет провести

однозначную оценку этого этапа и поэтому в данной работе не учитывается.

Достижение показателей «90-90-90» означает, что не менее 73% лиц от всех ВИЧ-инфицированных индивидуумов с вероятностью 96% перестанут быть источниками заражения. Подходы теории вероятностей позволяют рассчитать итоговую вероятность сложного события через значения вероятности простых событий. В большинстве случаев неизвестная эффективность профилактической работы позволяет провести оценку только нижней границы возможного уменьшения вероятности передачи ВИЧ, которая складывается из выявления ВИЧ-инфицированных лиц и лечебных мероприятий. Таким образом, можно рассчитать, что достижение показателей «90-90-90» позволяет снизить вероятность передачи ВИЧ до уровня близкого к 80% (нижняя оценка).

Мониторинг достижения показателей «90-90-90» ЮНЭЙДС проводит с 2015 г. Данные первого года наблюдения включали оценку всех трех параметров только у 24 стран [23]. На данный момент количество стран, подключившихся к глобальной инициативе, неуклонно возрастает и некоторые государства сумели достигнуть плановых показателей [24].

Учитывая проведенные эксперименты, можно предположить, что в зависимости от показателей прироста численности населения, одни и те же управленческие воздействия будут иметь разную эффективность (табл. 12).

Согласно теоретическим предсказаниям любое управленческое воздействие в странах с отрицательным приростом численности должно быть в той или иной степени эффективным. Практические данные не противоречат теории. Даже такие скромные

Таблица 10. Станы мира, в которых возможен рост заболеваемости и спад пораженности (в скобках указан диапазон $p < 0,05$)

Table 10. The countries of the world in which the possible increase in the incidence and prevalence decline (in brackets the range $p < 0,05$)

Страна Country	Заболееваемость, на тыс. населения Incidence, per ths population		Пораженность, % Prevalence, %	
	2015	2018	2015	2018
Гватемала Guatemala	0,13 (0,12–0,14)	0,14 (0,13–0,14)	0,30 (0,27–0,32)	0,27 (0,25–0,30)
Мали Mali	0,69 (0,54–0,96)	0,78 (0,6–1,12)	0,80 (0,63–0,97)	0,79 (0,63–1,00)

Таблица 11. Уменьшение вероятности передачи ВИЧ в зависимости от компонента контроля за ВИЧ-инфекцией
Table 11. Reduction of the probability of HIV transmission according to the control component of HIV

Компонент контроля Control component	Уменьшение вероятности передачи ВИЧ Reducing the probability of HIV transmission	Ссылка на работу Ref.
Выявление и информирование лиц с ВИЧ-инфекцией Screening and informing people with HIV	59–76%	[17, 18]
Антиретровирусная терапия HAART	96–100%	[19, 20]
Профилактическая работа (без использования лекарственных препаратов) Preventive work (without the use of drugs)	Достоверно не определена Reliably not determined	[21, 22]

Таблица 12. Прирост заболеваемости и пораженности в 2015–2018 годы в некоторых странах с отрицательным и положительным приростом численности населения и различным каскадом лечения на 2016 год
(таблица составлена на основе данных [25], [10], [12])

Table 12. Increase in the incidence and prevalence in 2015–2018 years in some countries, with negative and positive population growth and various stage of treatment for 2016 (Table drawn up on the basis of data [26], [10], [12])

Страна Country	Каскад лечения 2016 г Cascade treatment 2016	Прирост насе- ления, тыс. чел. Population growth, per ths population	Прирост заболева- емости, на тыс. населения The increase in the incidence per ths population	Прирост поражен- ности, % The increase in the prevalence rate,%	Заболеваемость, тыс. населения The incidence per ths population		Пораженность, % The prevalence, %	
					2015	2018	2015	2018
Некоторые страны с отрицательным приростом численности населения Some countries with negative population growth								
Украина Ukraine	56-66-59	-675,48	-0,01	0,03	0,29	0,28	0,51	0,54
Румыния Romania	89-77-90	-419,07	0,00	0,01	0,04	0,04	0,08	0,09
Португалия Portugal	76-90-88	-112,15	-0,03	0,00	0,1	0,07	0,40	0,40
Некоторые страны с положительным приростом численности населения Some countries with positive population growth								
Австралия Australia	90-90-79	965,65	0,00	0,01	0,04	0,04	0,10	0,11
Малайзия Malaysia	90-39-90	1 257,07	0,01	0,01	0,17	0,18	0,27	0,28
Ботсвана Botswana	85-90-90	133,35	-1,25	-0,56	5,61	4,36	16,98	16,41
Зимбабве Zimbabwe	75-90-81	624,17	-0,67	-0,41	3,46	2,79	9,41	9,00
Южно- Африканская республика Republic of South Africa	86-65-81	2 406,15	-1,46	0,32	6,4	4,94	13,00	13,32
Нигер Niger	35-90-57	2 441,17	-0,01	-0,02	0,09	0,08	0,18	0,16

показатели как «56-66-59» в Украине привели к снижению заболеваемости.

Моделирование эпидемии ВИЧ в популяциях с положительным приростом численности населения выявило интересную особенность. Управленческие действия, которые уменьшают вероятность передачи ВИЧ на 20% или 40%, в стратегическом плане неэффективны. Ситуация напоминает физиологический принцип «все или ничего», при котором уменьшение вероятности передачи ВИЧ на 80% резко прекращает эпидемический процесс и потенцирует элиминацию вируса из популяции. Возможно по этой причине Австралия и Малайзия с показателями приближенными к «90-90-90» не смогли добиться убедительной динамики снижения заболеваемости и пораженности [26].

В то же время необходимо отметить, что есть страны, где оценка ожидаемого результата только по каскаду медицинской помощи дает некорректные результаты. Аналогичные соображения высказывались еще до момента широкого внедрения антиретровирусной терапии [27,28]. Возможно,

что на Африканском континенте, где очень широко распространена пропаганда осторожности к ВИЧ-инфекции, существенный прогресс обеспечен именно комплексным сочетанием с профилактическими мероприятиями. К сожалению, на данный момент трудно сказать, может ли такая противоэпидемическая работа компенсировать недостающее снижение вероятности передачи ВИЧ в такой стране как, например, Нигер с достаточно скромными показателями «35-90-57». Данный вопрос требует дальнейшего изучения и исследования.

Выводы

Эффект уменьшения вероятности передачи ВИЧ в популяциях с отрицательным и нулевым приростом численности населения выражается в линейном снижении заболеваемости и пораженности (при фиксированной летальности).

В популяциях с положительным естественным приростом уменьшения вероятности передачи ВИЧ менее 40% стратегически неэффективно, а при достижении 80% потенцируется резкое прекращение эпидемического процесса.

Литература

1. Беляков Н. А., Рассохин В. В., Розенталь В. В. и др. Эпидемиология ВИЧ-инфекции. Место мониторинга, научных и дозорных наблюдений, моделирования и прогнозирования обстановки. // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2019. т. 11, №2. С. 7–26.
2. 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».
3. UNAIDS. 90–90–90: an ambitious treatment target to help end the AIDS epidemic. 2014. Доступно на: www.unaids.org/en/resources/documents/2017/90-90-90.
4. Granich R., Gupta S., Wollmers M., Ruffner 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. Vol. 5, N 1. 041. doi: 10.23937/2469-567X/1510041.
5. Kelly S.L., Wilson D.P. HIV cascade monitoring and simple modeling reveal potential for reductions in HIV incidence. // *JAIDS*. 2015. Vol. 69, N3. P. 257–63. doi: 10.1097/QAI.0000000000000655.
6. Stover J., Bollinger L., Izazola J.A., et al. What is required to end the AIDS epidemic as a public health threat by 2030? The cost and impact of the fast-track approach // *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11, N5. e0154893. doi: 10.1371/journal.pone.0154893.
7. Нешумаев Д.А., Сухарев Е.Н., Стасенко В.Л. Система управления ВИЧ-инфекцией. Часть 1. Принципы функционирования и оптимальные параметры // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2017. т. 9, №4. С. 93–101. doi: 10.22328/2077-9828-2017-9-4-93-101
8. Нешумаев Д.А., Малышева М.А., Шевченко Н.М., и др. Моделирование динамики эпидемии ВИЧ-инфекции с использованием частоты встречаемости ранних случаев заражения // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2016. т. 8, № 2. С. 53–60. doi: 10.22328/2077-9828-2016-8-2-53-60
9. Нешумаев Д.А. Скрининг населения необходимый для контроля эпидемии ВИЧ-инфекции. // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2017. т. 9, № 3. С. 73–80. doi: 10.22328/2077-9828-2017-9-3-73-80
10. Rate of natural increase (per 1,000 population) [Internet]. Доступно на: <https://population.un.org/wpp/DataQuery>.
11. Информационный бюллетень – глобальная статистика по СПИДу 2019. Доступно на: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_FactSheet_ru.pdf.
12. HIV estimates with uncertainty bounds 1990–2018 (Download spreadsheet) [Internet]. Доступно на: <https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet>.
13. Thomson K.A., Hughes J., Baeten J.M., 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. Vol. 218, N1. P. 16–25. doi: 10.1093/infdis/jiy113.
14. Malunguza, N.J., Hove-Musekwa, S.D., Mukandavire Z. Projecting the impact of anal intercourse on HIV transmission among heterosexuals in high HIV prevalence settings. // *Journal of Theoretical Biology*. 2018. Vol. 437. P. 163–178. doi: 10.1016/j.jtbi.2017.10.020.
15. Volz E.M., Vu S.L., Ratmann O., et al. Molecular epidemiology of HIV-1 subtype B reveals heterogeneous transmission risk: implications for intervention and control. // *The Journal of Infectious Diseases*. 2018. Vol. 217, N.10. P. 1522–1529. doi: 10.1093/infdis/jiy044.
16. Brown B.J., Oladokun R.E., Ogunbosu B.O., et al. Blood transfusion-associated HIV infection in children in Ibadan, Nigeria. // *Journal of the International Association of Providers of AIDS Care*. 2017. 303–308. Vol. 16, N3. P. 303–308. doi: 10.1177/2325957413500990.
17. Marks G., Crepaz N., Senterfitt J., et al. Meta-analysis of high-risk sexual behavior in persons aware and unaware they are infected with HIV in the United States: implications for HIV prevention programs. // *JAIDS*. 2005. Vol. 39, N 4. P. 446–453. doi: 10.1097/01.qai.0000151079.33935.79.
18. Fonner V.A., Denison J., Kennedy C.E., et al. Voluntary counseling and testing (VCT) for changing HIV-related risk behavior in developing countries // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2012. N 9. Art. N.: CD001224. doi: 10.1002/14651858.CD001224.pub4.
19. 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. Vol. 8, N 2. e55747. doi: 10.1371/journal.pone.0055747.
20. 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. Vol. 72, N 11. P. 3172–3176. doi: 10.1093/jac/dkx276
21. 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. V. 121, Suppl. 5. P. 92–103. doi: 10.1111/1471-0528.12877.
22. Zajac K., Kennedy C.E., Fonner V.A., 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. Vol. 19, N 7. P. 1178–1202. doi: 10.1007/s10461-014-0893-x.
23. Progress towards 90-90-90 targets - all ages (treatment cascade) [Internet]. Доступно на: <http://aidsinfo.unaids.org/#data-details>. Ссылка активна на 18.10.2019.
24. Gisslen M., Svedhem V., Lindborg L., et al. Sweden, the first country to achieve the Joint United Nations Programme on HIV/AIDS (UNAIDS)/World Health Organization (WHO) 90-90-90 continuum of HIV care targets // *HIV Medicine*. 2017. Vol. 18, N4. P. 305–307. doi: 10.1111/hiv.12431
25. Прекращение эпидемии СПИДа прогресс в достижении целей 90–90–90 [Internet]. Доступно на: <https://www.unaids.org/ru/topic/data/publications>.

Original Articles

26. Scott N., Stoove 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. Vol. 66, N7. P. 1019–26. doi: 10.1093/cid/cix939
27. Smith M.K., Powers K.A., Muessig K.E., et al. HIV treatment as prevention: the utility and limitations of ecological observation // *PLoS Medicine*. 2012. Vol. 9, N7. e1001260. doi: 10.1371/journal.pmed.1001260
28. Wilson D.P. HIV treatment as prevention: natural experiments highlight limits of antiretroviral treatment as HIV prevention. *PLoS Medicine*. 2012. Vol. 9, N7. e1001231. doi: 10.1371/journal.pmed.1001231

References

1. Belyakov NA, Rassokhin VV, Rosenthal VV et al. Epidemiology of HIV infection. Place of monitoring, scientific and surveillance observations, modeling and forecasting. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*. 2019; 11 (2): 7–26 (In Russ.).
2. Decree of the government of the Russian Federation N2203-r 20.10.2016 «On approval of the state strategy for countering the spread of HIV infection in the Russian Federation for the period until 2020 and the future perspective» (In Russ.).
3. UNAIDS. 90–90–90: an ambitious treatment target to help end the AIDS epidemic. 2014. Available at: www.unaids.org/en/resources/documents/2017/90-90-90.
4. Granich R, Gupta S, Wollmers M, Ruffner 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.
5. Kelly SL, Wilson DP. HIV cascade monitoring and simple modeling reveal potential for reductions in HIV incidence. *JAIDS*. 2015; 69 (3): 257–63. doi: 10.1097/QAI.0000000000000655.
6. Stover J, Bollinger L, Ijazola JA et al. What is required to end the AIDS epidemic as a public health threat by 2030? The cost and impact of the fast-track approach. *PLoS ONE*. 2016; 11 (5): e0154893. doi: 10.1371/journal.pone.0154893.
7. Neshumaev DA, Sucharev EN, Stasenko VL. The control system of HIV infection: Part 1 - principles of operation and optimal parameters. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*. 2017; 9 (4): 93–101 (in Russ.). doi: 10.22328/2077-9828-2017-9-4-93-101.
8. Neshumaev DA, Malysheva MA, Shevchenko NM 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. doi: 10.22328/2077-9828-2016-8-2-53-60 (in Russ.).
9. Neshumaev DA. 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
10. Rate of natural increase (per 1,000 population) [Internet]. Available at: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>.
11. Newsletter – Global HIV/AIDS statistics – 2019 fact sheet [Internet]. Available at: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_FactSheet_ru.pdf
12. HIV estimates with uncertainty bounds 1990–2018 (Download spreadsheet). Available at: <https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet>.
13. Thomson KA, Hughes J, Baeten JM 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.
14. Malunguza NJ, Hove-Musekwa SD, Mukandavire Z. Projecting the impact of anal intercourse on HIV transmission among heterosexuals in high HIV prevalence settings // *Journal of Theoretical Biology*. 2018; 437: 163–178. doi: 10.1016/j.jtbi.2017.10.020.
15. Volz EM, Vu SL, Ratmann O et al. Molecular epidemiology of HIV-1 subtype B reveals heterogeneous transmission risk: implications for intervention and control. *The Journal of Infectious Diseases*. 2018; 217 (10): 1522–1529. doi: 10.1093/infdis/jiy044.
16. Brown BJ, Oladokun RE, Ogunbosi BO et al. Blood transfusion-associated HIV infection in children in Ibadan, Nigeria. *Journal of the International Association of Providers of AIDS Care*. 2017; 16 (3): 303–308. doi: 10.1177/2325957413500990.
17. Marks G, Crepaz N, Senterfitt J et al. Meta-analysis of high-risk sexual behavior in persons aware and unaware they are infected with HIV in the United States: implications for HIV prevention programs. *JAIDS*. 2005; 39 (4): 446–453. doi: 10.1097/01.qai.0000151079.33935.79
18. Fonner VA, Denison J, Kennedy CE et al. Voluntary counseling and testing (VCT) for changing HIV-related risk behavior in developing countries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2012; 9. Art. N.: CD001224. doi: 10.1002/14651858.CD001224.pub4
19. Loutfy MR, 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
20. 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): 3172–3176. doi: 10.1093/jac/dkx276.
21. 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 (Suppl. 5): 92–103. doi: 10.1111/1471-0528.12877.
22. Zujac K, Kennedy CE, Fonner VA 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.
23. Progress towards 90-90-90 targets - all ages (treatment cascade). Available at: <http://aidsinfo.unaids.org/#data-details>.
24. Gisslen M, Svedhem V, Lindborg L et al. Sweden, the first country to achieve the Joint United Nations Programme on HIV/AIDS (UNAIDS)/World Health Organization (WHO) 90-90-90 continuum of HIV care targets. *HIV Medicine*. 2017; 18 (4): 305–307. doi: 10.1111/hiv.12431.
25. Ending the AIDS epidemic progress towards goals 90–90–90. Available at: <https://www.unaids.org/ru/topic/data/publications>.
26. Scott N, Stoove 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.
27. Smith MK, Powers KA, Muessig KE et al. HIV treatment as prevention: the utility and limitations of ecological observation // *PLoS Medicine*. 2012; 9 (7): e1001260. doi: 10.1371/journal.pmed.1001260.
28. Wilson DP. HIV treatment as prevention: natural experiments highlight limits of antiretroviral treatment as HIV prevention. *PLoS Medicine*. 2012; 9 (7): e1001231. doi: 10.1371/journal.pmed.1001231.

Об авторах

- **Дмитрий Александрович Нешумаев** – к. м. н., заведующий лабораторией иммунологических и гематологических исследований Краевого Центра СПИД. +7 (391) 226-84-12, neshumaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3826-6088>.
- **Евгений Николаевич Сухарев** – к. т. н., доцент кафедры электронной техники и телекоммуникаций института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. +7(391) 291-91-47, solo113@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-1967-2902>.
- **Владимир Леонидович Стасенко** – д. м. н., профессор, заведующий кафедрой эпидемиологии Омского государственного медицинского университета. +7 (3812) 65-04-63, vlstasenko@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3164-8734>.

Поступила: 20.11.2019. Принята к печати: 10.01.2020.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- **Dmitry A. Neshumaev** – Cand. Sci. (Med.), head of the laboratory of immunological and hematological research of Krasnoyarsk Regional Center of AIDS prevention/+7 (391) 226-84-12, neshumaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3826-6088>.
- **Evgeny N. Sukharev** – Cand. Sci. (Techn.), associate professor of department of electronic engineering and telecommunications of institute of informatics and telecommunications of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology/+7(391) 291-91-47, solo113@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1967-2902/>
- **Vladimir L. Stasenko** – professor, head of the department of epidemiology of Omsk State Medical University/+7 (3812) 65-04-63, vlstasenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1967-2902>.

Received: 20.11.2019. Accepted: 10.01.2020.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.