

УДК 614.446.9+616-036.22

СКРИНИНГ НАСЕЛЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭПИДЕМИИ ВИЧ-ИНФЕКЦИИ

Д.А.Нешумаев

КГАУЗ «Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД», Россия

© Д.А.Нешумаев, 2017 г.

Цель: теоретически оценить минимально необходимый охват скринингом, требуемый для стабилизации эпидемии ВИЧ-инфекции, сравнить полученные данные с практическими результатами. Материалы и методы. Изучение основных закономерностей развития эпидемического процесса в закрытой популяции проведено с использованием простой компьютерной модели. Суть ее заключается в следующем: в плоскости случайным образом двигаются точки. Несколько точек инфицированы, остальные — нет. При контакте инфицированной и здоровой точек происходит заражение. Далее предполагается, что эпидемический процесс будет контролируемым, если количество выявляемых ВИЧ-инфицированных лиц в каждый момент времени будет равно (или больше) приращению заражений в предыдущий период времени. Результаты исследования. Проведена оценка минимального охвата скринингом, который необходим для достижения этой цели. В результате исследований установлено, что скорость эпидемического процесса замедляется по причине уменьшения вероятности контакта инфицированного субъекта со здоровым индивидуумом. Вследствие этого снижается и минимально необходимый охват скринингом. В КГАУЗ «Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД» на протяжении 2011–2014 годов проводилось определение ранних случаев заражения среди вновь выявленных ВИЧ-инфицированных лиц. Полученная информация позволяет рассчитать эффективный охват скринингом для данного периода времени, который имеет так же, как и в модельном эксперименте, снижающийся тренд с 49% — 39% соответственно.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция, скрининг на ВИЧ, математическая модель, эпидемический процесс, ранняя диагностика ВИЧ, управление.

SCREENING OF THE POPULATION NECESSARY TO CONTROL THE HIV EPIDEMIC

D.A.Neshumaeu

Krasnoyarsk Regional AIDS Center, Russia

The study of the main regularities of the epidemic process in a closed population was carried out using a simple computer model. In a plane, points move at random. A few points are infected, the rest are not. When an infected and healthy point contacts, infection occurs. It is further assumed that the epidemic process will be controlled if the number of detected HIV infected persons at each time point is equal to or greater than the increment of infections in the previous period of time. An estimate of the minimum screening coverage necessary to perform this task. As a result of the research, it has been established that the rate of the epidemic process slows down due to a decrease in the probability of contact of the infected subject with a healthy individual. As a consequence, the minimum coverage required for screening is also reduced. In Krasnoyarsk Regional AIDS Center during 2011–2014 conducted the identification of early cases of infections among newly identified HIV infected individuals. The information obtained makes it possible to calculate effective screening coverage for a given period of time, which also has the same declining trend as in the model experiment, from 49% to 39%, respectively.

Key words: HIV infection, screening for HIV, mathematical model, epidemic process, early diagnosis of HIV, management.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2077-9828-2017-9-3-73-80>

Введение. Порядок обследования населения с целью диагностики ВИЧ-инфекции регламентирован нормативными документами [1, 2]. Решение, какую долю популяции необходимо охватить скри-

нингом, принимается руководителями здравоохранения соответствующей территории и лимитируется возможностями финансирования. Очевидно, что чем больше лиц обследовано, тем выше веро-

ятность выявить максимальное количество потенциальных источников заражения и, таким образом, создать предпосылки для последующей ликвидации эпидемического процесса.

Служба по надзору за ВИЧ-инфекцией в РФ охватывает скринингом около 20% популяции. Регистрируемый рост заболеваемости и пораженности населения в последние годы позволяет предполагать, что данный уровень охвата недостаточен [3].

Один из возможных способов оптимизации скрининга — увеличение тестирования безусловно уязвимых групп с постоянным уточнением критериев и контингентов, подлежащих обследованию на ВИЧ-инфекцию [4]. Это позволяет уложиться в рамки имеющихся финансовых средств, но трудно реализуется на практике. Значительная часть людей при обследовании на ВИЧ регистрируются под кодом «прочие» (118 код), и уточнение истинного статуса пациента происходит только после эпидемиологического расследования.

Иной подход содержится в стратегии Всемирной организации здравоохранения «90–90–90», предполагающей, что к 2020 году 90% всех ВИЧ-инфицированных лиц будут знать о своем статусе [5]. Для выявления такого количества необходим охват скринингом, близкий к 100%. Следовательно, реализация такой цели потребует многократного увеличения стоимости диагностических мероприятий, что в ближайшие годы в РФ крайне затруднительно. Поиск дополнительных путей оптимизации, посредством исследования возможности контроля эпидемического процесса при меньшем охвате скринингом населения, определил актуальность данной работы.

Цель: теоретически оценить минимально необходимый охват скринингом, требуемый для стабилизации эпидемии ВИЧ-инфекции, сравнить полученные данные с практическими результатами.

Материалы и методы. Для установления общих закономерностей эффективного охвата скринингом разработана простая компьютерная модель на основе имитационного моделирования.

В плоскости со сторонами 25×25 единиц случайным образом распределены 1000 точек, 10 из которых инфицированы. В каждый имитируемый момент времени координаты точек определяются генератором случайных чисел. При совпадении координат инфицированной и неинфицированной точек происходит заражение. Анализировались 300 последовательных моментов времени. Для повышения надежности исследования траектории скорости рас-

пространения ВИЧ-инфекции в популяции построены для 100 итераций.

Влияние площади плоскости и количества внедряемых ВИЧ-инфицированных лиц оценивалось при анализе размерностей 50×50, 75×75 единиц и стартового количества в 50 и 100 зараженных субъектах.

Такие характеристики, как рождаемость, продолжительность жизни, смертность, а также пути передачи ВИЧ, социальный статус, контингент зараженных лиц в данной модели считаются несущественными для оценки динамики охвата скринингом.

Начиная с 2007 года в КГАУЗ «Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД» (КГАУЗ Краевой Центр СПИД) внедрена ранняя диагностика ВИЧ-инфекции посредством определения р24 антигена [6]. Полученные данные, дополненные регистрацией ранних случаев заражения среди вновь выявленных лиц с положительным иммунным блотом в 2011–2014 годах, позволяют рассчитать минимально необходимый охват скринингом для территории Красноярского края в данный период времени [7].

Таким образом, переход от предложенной компьютерной модели распространения ВИЧ-инфекции в стационарной популяции к оценке минимально необходимого охвата скринингом осуществлен в несколько этапов (табл. 1).

При расчетах использовалась следующая формула:

$$\text{Мин. необходимый охват} = \frac{\text{Охват скринингом} \times \text{Кол-во выявленных «ВИЧ+» лиц (реальный)}}{\text{Ожидаемое приращение «ВИЧ+» лиц в данный период времени}}$$

При статистической обработке рассчитывались среднее арифметическое и стандартное отклонение для каждого имитируемого момента времени, учитывая 100 итераций.

Результаты и их обсуждение.

Динамика пораженности ВИЧ-инфекцией популяции с постоянной численностью индивидумов. Предложенная имитационная модель распространения ВИЧ-инфекции включает два параметра, определяемых исследователем:

1) площадь, в которой двигаются случайным образом имитируемые субъекты;

2) количество внедряемых ВИЧ-инфицированных лиц в здоровую популяцию.

Таблица 1

Последовательность анализа данных

№ п/п	Задачи, решаемые на данном этапе
1	Динамика пораженности ВИЧ-инфекцией популяции с постоянной численностью индивидуумов
2	Заболееваемость ВИЧ-инфекцией в модельном эксперименте
3	Оценка минимально необходимого охвата скринингом
4	Сравнение с практическими данными, полученными в КГАУЗ Краевом Центре СПИД в 2011–2014 гг.

В связи с этим необходимо в обязательном порядке проверить устойчивость выявленных закономерностей к данным характеристикам.

Пораженность ВИЧ-инфекцией в зависимости от площади, в которой могут случайным образом двигаться моделируемые люди, представлена на рисунке 1.

Если относительная скорость инфицирования не зависит от площади плоскости, то можно предполагать, что экспоненциальная фаза роста появится на линейном графике (площадь 75×75 единиц) с увеличением стартового количества внедряемых ВИЧ-инфицированных лиц в здоровую популяцию (рис. 2).

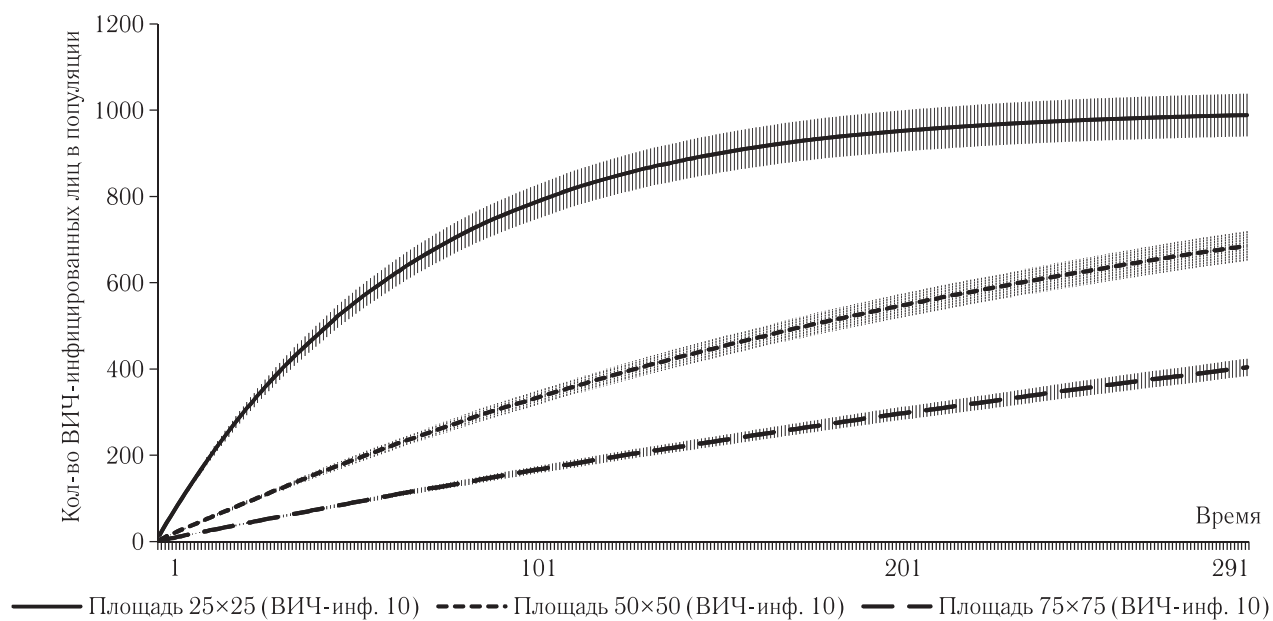


Рис. 1. Динамика пораженности ВИЧ-инфекцией популяции из 1000 индивидуумов в зависимости от площади, в которой могут перемещаться моделируемые объекты

График, построенный для площади 25×25 единиц, характеризуется наличием экспоненциальной фазы роста. При уменьшении вероятности контакта график вырождается в линейный. Несмотря на случайность моделируемого процесса, выявленные зависимости обладают сходимостью по вероятности для всех 100 итераций. Это подтверждается стандартным отклонением, не пересекающимся между графиками с разными площадями.

Установленные зависимости обладают интересным свойством. Если в качестве стандарта выбрать количество людей, инфицирующихся за определенный промежуток времени, то стандартизованные временные интервалы будут одинаковы для всех графиков, независимо от площади, в которой происходят перемещения (табл. 2).

Из рисунка 2 следует, что гипотеза о форме кривой при увеличении исходного количества источников заболевания подтвердилась. Следовательно, можно констатировать, что динамика пораженности растягивается в абсолютной временной шкале в зависимости от вероятности передачи ВИЧ-инфекции, но в стандартизованном виде она одинаковая.

Наличие или отсутствие экспоненциальной фазы роста можно объяснить посредством простых логических рассуждений. Если в здоровую популяцию попал один инфицированный индивидуум, то на начальной стадии эпидемии контакт такого субъекта будет всегда сопровождаться появлением нового случая заражения (при вероятности передачи ВИЧ, равной 1, как считается в модельном эксперименте). При 50%-ном насыщении популя-

Таблица 2

Момент времени (в ячейках таблицы), при котором происходит инфицирование определенного количества людей в зависимости от моделируемой площади

Площадь плоскости, ед.	Кол-во ВИЧ-инфицированных лиц								
	50	100	150	200	250	300	350	400	Сумма
25×25	4	8	12	16	20	25	30	35	150
50×50	14	28	43	62	75	92	112	132	558
75×75	30	61	94	129	168	208	251	297	1238
Стандартизация относительно суммы									
25×25	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,17	0,20	0,23	1,00
50×50	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,20	0,24	1,00
75×75	0,02	0,05	0,08	0,10	0,14	0,17	0,20	0,24	1,00

ции вирусом скорость передачи снизится вдвое, потому что вероятность контакта со здоровым индивидуумом пропорционально снизится.

пространение вируса от упущенных случаев. Поэтому в дальнейшем графики 20%-ного и 100%-ного охвата практически совпадают.

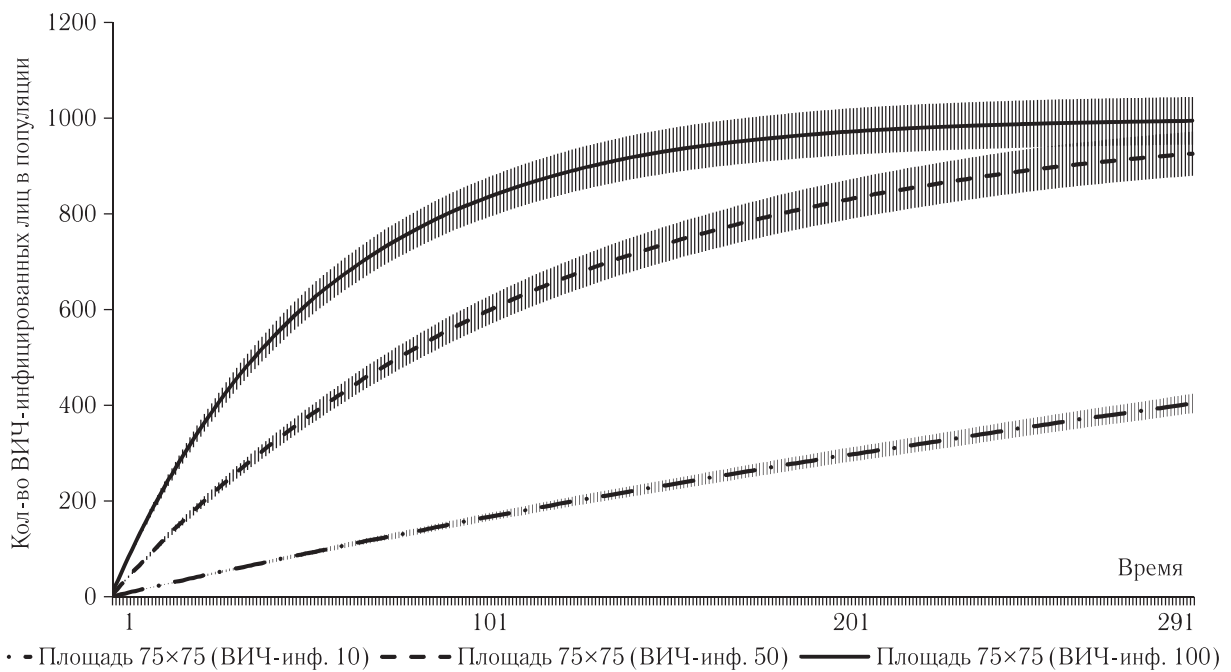


Рис. 2. Динамика пораженности ВИЧ-инфекцией популяции из 1000 индивидуумов в зависимости от стартового количества ВИЧ-инфицированных лиц, попавших в здоровую популяцию

Заболеемость ВИЧ-инфекцией в модельном эксперименте. Динамика заболеваемости в модели распространения ВИЧ-инфекции представлена на рисунке 3.

Из анализа представленных графиков следует, что при незначительном стартовом количестве зараженных пациентов динамика заболеваемости практически линейная, в отличие от массового заражения популяции.

Если охват скринингом уменьшить до 20%, то начальная фаза выявления ВИЧ-инфекции становится возрастающей по сравнению с 100%-ным скринингом. В данной модели нет поправки на рас-

Необходимо отметить, что, если ввести более одного пути передачи, при которых вероятность передачи ВИЧ различная, может появиться второй пик заболеваемости после первого. Для цели данного исследования эти дополнения несущественны, поэтому в дальнейшем не анализируются.

Эффективный охват скринингом. Под эффективным охватом скринингом будем понимать минимально необходимый охват, позволяющий выявлять количество ВИЧ-инфицированных лиц, равное (или большее) приращению заболевших в предыдущий период времени.

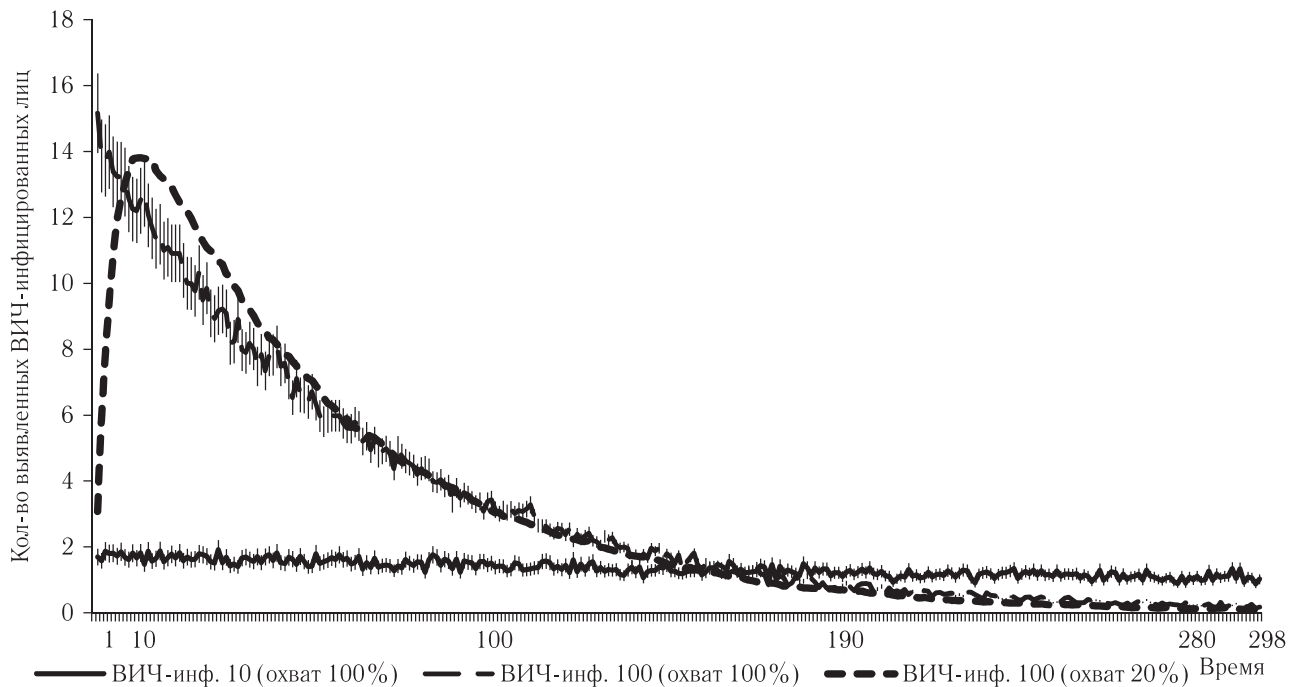


Рис. 3. Динамика выявления ВИЧ-инфицированных лиц на плоскости 75×75 единиц при различном стартовом количестве (10 или 100) и различном охвате скринингом

Модельный эксперимент показывает, что эффективный охват не зависит ни от площади выбранной плоскости, ни от стартового количества ВИЧ-инфицированных лиц (рис. 4).

В процессе развития эпидемии увеличивается количество ВИЧ-инфицированных лиц в популяции с одновременным замедлением скорости приращения новых случаев. При таких условиях для

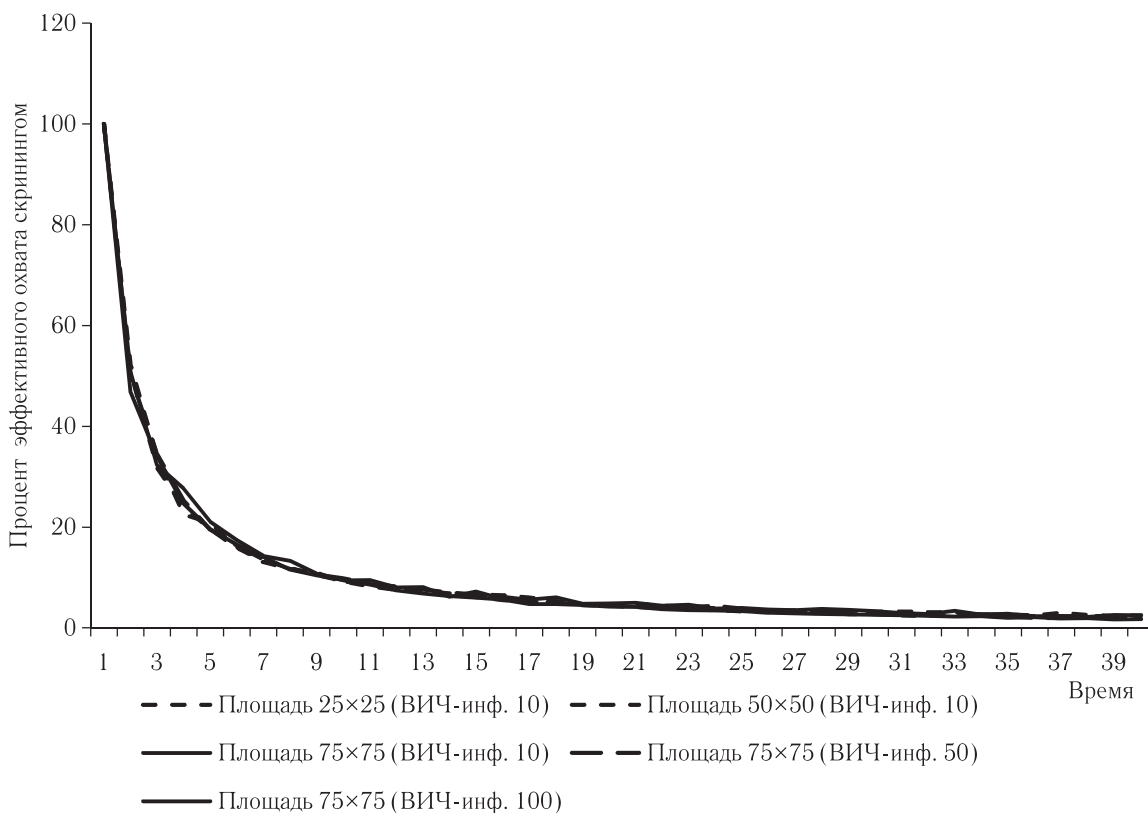


Рис. 4. Эффективный охват скринингом в зависимости от площади плоскости и стартового количества ВИЧ-инфицированных лиц, введенных в здоровую популяцию

выявления количества зараженных лиц, равных приращению в предыдущий период времени, требуется все меньший и меньший объем скрининга.

Из полученных значений вытекает интересное следствие: чем менее распространен ВИЧ в популяции, тем больший охват скринингом необходим, чтобы предотвратить прогрессию эпидемии. Гарантированное выявление единственного ВИЧ-инфицированного лица требует 100%-ного исследования популяции. Допустим, в следующий период времени появился еще один зараженный индивидум. Выявление такого прироста, то есть одного из двух инфицированных лиц, распределенных в плоскости случайным образом, требует обследования в среднем 50% населения.

Необходимо отметить, что в данной модели допускается ситуация, при которой выявленные однажды

при любом уточнении и усложнении начальных условий эффективный скрининг после начала эпидемического процесса будет составлять не более 50% от популяции.

Определение эффективного скрининга на территории Красноярского края. Опубликованный анализ ранних случаев заражения за 2011–2014 годы [7] позволяет рассчитать приращение ВИЧ-инфицированных лиц в популяции Красноярского края (табл. 3).

Коэффициент прироста рассчитывается из количества ранних случаев заражений, которые определяются лабораторным способом среди вновь выявленных пациентов с положительным иммунным блотом и лиц с неопределенным/отрицательным иммунным блотом и положительным p24 антигеном.

Таблица 3

Моделирование количества выявленных ВИЧ-инфицированных лиц (включая установленных по p24 Ag) с использованием коэффициента прироста (данные из статьи [7], дополненные)

	Показатель	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Моделирование	Расчет прироста новых случаев заражений ($p < 0,05$) в Красноярском крае	3182±475	3395±507	4087±610	6946±1037
	Общее кол-во «ВИЧ+» в популяции на конец года ($p < 0,05$)	8458±766	9025±801	10 865±938	18 464±1503
	Будут выявлены при скрининге (модель) ($p < 0,05$)	2110±183	2176±200	2195±226	3689±304
Реальные показатели	Охват скринингом, %	25	24	20	20
	Подтверждены в иммунном блоте + лица с подтвержденным p24 Ag	1871	2153	2916	4122
Эффективный охват скринингом	Максимально возможный прирост новых случаев заражений ($p < 0,05$) (см. строка 1)	3182+475=3657	3395+507=3902	4087+610=4697	6946+1037=7983
	Минимально необходимый охват скринингом, %	49	44	33	39

инфицированные пациенты могут быть установлены повторно. Если такую возможность исключить, то для достижения требуемой цели охват скринингом необходимо будет увеличить. Аналогичный эффект был зарегистрирован в практической деятельности в Санкт-Петербурге. Увеличение охвата скринингом с 2006 по 2011 год не привело к пропорциональному росту регистрации вновь выявленных ВИЧ-инфицированных лиц [4]. Более того число повторных выявлений ВИЧ в стационарах города показало большой удельный вес вторичных диагнозов из-за сокрытия больным своего статуса или технических моментов [8, 9]. Тем не менее, можно показать, что

Предложенное в таблице 3 моделирование демонстрирует предсказательную точность на уровне 4% [7]. Следовательно, можно предполагать, что прирост новых случаев заражений определен с высоким уровнем надежности.

В 2011 году в Красноярском крае выявлен 1871 ВИЧ-инфицированный пациент при охвате скринингом 25%. При уровне достоверности 95% максимальный прирост новых заражений в этом году может составить 3657 случаев. Следовательно, чтобы выявить данное количество и ограничить развитие эпидемического процесса, необходим охват скринингом не менее 49% от популяции.

Постепенное снижение минимально необходимого эффективного охвата скринингом можно объяснить кумулятивным насыщением популяции ВИЧ-инфекцией с течением времени. Как следствие, для того чтобы выявить количество пациентов, равное (или большее) приращению предыдущего периода времени, необходим меньший охват скринингом.

Необходимо отметить, что оптимизация планирования обследований и оценка перспектив развития эпидемии, путем математического моделирования, используется рядом авторов [10–12]. Независимо от используемой модели создаются условия для прогнозирования новых случаев ВИЧ-инфекции и определения комплекса наиболее эффективных мероприятий по противодействию эпидемии. Помимо этого, модели позволяют при значительных отклонениях регистрируемых параметров выявлять появление каких-либо дополнительных факторов, влияющих на эпидемический процесс [10].

Заключение. Достаточно простая компьютерная модель, основанная на вероятности случайных контактов между здоровыми и инфицированными субъектами, позволяет найти логически непротиворечивый ответ регистрируемого на практике результата.

Тем не менее, предложенное объяснение уменьшения эффективного охвата скринингом с течением времени требует дополнительных проверок и уточнений. Необходимо попытаться учесть раз-

ную вероятность передачи ВИЧ-инфекции при тех или иных путях передачи, влияние профилактических и противоэпидемических мероприятий, которые в данной работе не учитывались, а также экономическую целесообразность увеличения охвата скринингом при сравнении со стоимостью упущенного случая.

После доработки в компьютерных экспериментах несложно рассчитать калибровочные точки для различных эпидемиологических параметров (заболеваемость, пораженность и пр.), которые позволят применить такую модель для практической деятельности не только для объяснения общих тенденций, но и для управленческих рекомендаций.

Компьютерное моделирование случайных контактов между инфицированными и здоровыми субъектами позволило определить, что для выявления количества зараженных лиц, равных приращению в предыдущий период времени, требуется уменьшающийся с течением времени охват скринингом. Необходимо учитывать, что в практической деятельности (в отличие от компьютерной модели) повторное выявление диспансерных пациентов не регистрируется как новый случай заражения. Анализ ранних случаев заражения за 2011–2014 годы в Красноярском крае позволил установить, что эффективный охват скринингом для данного периода времени также имеет тенденцию к снижению: 49, 44, 33 и 39% соответственно.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Эпидемиологический надзор за ВИЧ-инфекцией: Методические указания. М., 2016. 70 с. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71263114/>. [Epidemiological surveillance of HIV infection: guidelines. Moscow, 2016, 70 p. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71263114/> (In Russ.)].
2. Профилактика ВИЧ-инфекции: Санитарно-эпидемиологические правила СП 3.1.5.2826-10 // Постановление Главного гос. сан. врача РФ от 11 января 2011 г. № 1. М., 2011. URL: <https://rg.ru/2011/04/15/sp-sp-id-dok.html>. [Prevention of HIV infection: Sanitary-epidemiological rules SP 3.1.5.2826-10. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the RF of January 11, 2011 No. 1. Moscow, 2011. URL: <https://rg.ru/2011/04/15/sp-sp-id-dok.html> (In Russ.)].
3. ВИЧ-инфекция: Информационный бюллетень № 40 / Федеральный научно-методический центр по профилактике и борьбе со СПИД. М., 2015. 56 с. URL: <http://www.hivrussia.ru/stat/bulletin.shtml#40>. [Information Bulletin No. 40. Federal Scientific and Methodological Center for AIDS Prevention and Control, Moscow, 2015, pp. 56. URL: <http://www.hivrussia.ru/stat/bulletin.shtml#40> (In Russ.)].
4. Виноградова Т.Н., Лисицина З.Н., Крутицкая Л.И., Ершова И.А., Маклакова В.А., Сизова Н.В., Дубикайтис П.А. Возможности и необходимость оптимизации скрининга населения на ВИЧ-инфекцию // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2012. Т. 4, № 2. С. 101–108. [Vinogradova T.N., Lisitsyna Z.N., Krutitskaya L.I., Ershova I.A., Maklakova V.A., Sizova N.V., Dubikaitis P.A. Opportunities and a need for improved screening of the population for HIV. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2012, Vol. 4, No. 2, pp. 101–108 (In Russ.)].
5. Глобальная стратегия сектора здравоохранения по ВИЧ на 2016–2021 гг. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2015. URL: http://www.who.int/hiv/draft-hiv-strategy-2016-2021_ru.pdf?ua=1. [Global health sector strategy on HIV for 2016–2021. Geneva: World Health Organization, 2015. URL: http://www.who.int/hiv/draft-hiv-strategy-2016-2021_ru.pdf?ua=1 (In Russ.)].
6. Рузаева Л.А., Ольховский И.А., Нешумаев Д.А., Шевченко Н.М., Виноградова М.Н. Значимость иммуноферментного теста для выявления антигена вируса иммунодефицита человека р24 в подтверждении ВИЧ-инфекции // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобио-

- логии. 2008. № 6. С. 19–22. [Ruzaeva L.A., Olkhovsky I.A., Nechunaev D.A., Shevchenko N.M., Vinogradova M.N. The significance of ELISA test for the detection of antigen of human immunodeficiency virus P24 confirmation of HIV infection. *J. Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, 2008, No. 6, pp. 19–22 (In Russ.)].
7. Нешумаев Д.А., Малышева М.А., Шевченко Н.М., Кокотюха Ю.А., Мейрманова Е.М., Уланова Т.И., Загрядская Ю.Е. Моделирование динамики эпидемии ВИЧ-инфекции с использованием частоты встречаемости ранних случаев заражения // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2016. Т. 8, № 2. С. 53–60. [Nechunaev D.A., Malysheva M.A., Shevchenko N.M., Kokotyuha Yu.A., Meirmanova E.M., Ulanova T.I., Zagryadskaya Yu.E. Modeling the dynamics of HIV infection using the incidence of early infections. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2016, Vol. 8, No. 2, pp. 53–60 (In Russ.)].
8. Беляков Н.А., Багненко С.Ф., Дубикайтис П.А., Алимов Р.Р., Виноградова Т.Н. Результаты десятилетнего выявления ВИЧ-инфекции в стационаре скорой медицинской помощи // Медицинский академический журнал. 2014. Т. 14, № 2. С. 48–54. [Belyakov N.A., Bagnenko S.F., Dubikaitis P.A., Alimov R.R., Vinogradova T.N. The results of a decade of HIV-infection in the hospital medical emergency. *Medical Academic J.*, 2014, Vol. 14, No. 2, pp. 48–54 (In Russ.)].
9. Багненко С.Ф., Дубикайтис П.А., Минаева Н.В., Рассохин В.В., Беляков Н.А. Структура обращений ВИЧ-инфицированных больных в стационар скорой помощи // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2011. Т. 3, № 3. С. 81–87. [Bagnenko S.F., Dubikaitis P.A., Minaeva N.V., Rassokhin V.V., Belyakov N.A. Patterns of HIV-infected patients in a hospital ambulance. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2011, Vol. 3, No. 3, pp. 81–87 (In Russ.)].
10. Розенталь В.В., Беляков Н.А., Виноградова Т.Н., Пантелеева О.В., Рассохин В.В., Сизова Н.В. Динамическая модель для описания и прогнозирования течения эпидемии ВИЧ-инфекции // Медицинский академический журнал. 2012. Т. 12, № 1. С. 95–102. [Rosenthal V.V., Belyakov N.A., Vinogradova T.N., Panteleeva O.V., Rassokhin V.V., Sizova N.V. A dynamic model for describing and predicting the course of HIV-infection. *Medical Academic J.*, 2012, Vol. 12, No. 1, pp. 95–102 (In Russ.)].
11. Розенталь В.В., Беляков Н.А., Рассохин В.В., Дубикайтис П.А. Подходы к определению оценочного числа ВИЧ-инфицированных больных в популяции // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2011. Т. 3, № 3. С. 7–12. [Rosenthal V.V., Belyakov N.A., Rassokhin V.V., Dubikaitis P.A. Approaches to the definition of estimated HIV-infected patients in the population. *HIV infection and Immunosuppressive Disorders*, 2011, Vol. 3, No. 3, pp. 7–12 (In Russ.)].
12. Плавинский С.Л. Математическое моделирование распространения инфекций, передающихся половым путем. Значение для общественного здравоохранения // Российский семейный врач. 2002. № 1. С. 16–22. [Plavinsky S.L. Mathematical modelling of the spread of sexually transmitted infections. The public health. *Russian Family Doctor*, 2002, No. 1, pp. 16–22 (In Russ.)].

Статья поступила 05.06.2017 г.

Контактная информация: Нешумаев Дмитрий Александрович, e-mail: neshumaev@gmail.com

Сведения об авторе:

Нешумаев Дмитрий Александрович — к.м.н., зав. лабораторией иммунологических и гематологических исследований КГАУЗ «Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД», 660049, Красноярск, ул. К. Маркса, 45, e-mail: neshumaev@gmail.com.