

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ

УДК 616-036.22+ 616.98

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИИ ВИРУСА ИММУНОДЕФИЦИТА ЧЕЛОВЕКА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

¹Роберт Хеймер, ²Харриет Л. Миллс, ¹Эдвард Уайт, ²Питер Викерман, ³Кэролин Колинь¹Йельская школа здравоохранения и Центр Междисциплинарных исследований по СПИДу, Нью-Хэйвен, Коннектикут, США²Факультет математики, Имперский колледж, Лондон, Великобритания³Отдел социальной и математической эпидемиологии, Лондонский институт гигиены и тропической медицины, Лондон, Великобритания

MODELING THE EXPANSION OF THE HIV EPIDEMIC IN ST. PETERSBURG, RF

¹Robert Heimer, ²Harriet L. Mills, ¹Edward White, ²Peter Vickerman, ³Carolyn Colijn¹Yale School of Public Health and Center for Interdisciplinary Research on AIDS,²Department of Mathematics, Imperial College London, United Kingdom³Social and Mathematical Epidemiology, London School of Hygiene and Tropical Medicine, London, United Kingdom

© Коллектив авторов, 2014 г.

Высокая распространенность ВИЧ-инфекции и большое количество незащищенных половых контактов, отмечаемое среди потребителей инъекционных наркотиков в Санкт-Петербурге, привело к предположению, что передача ВИЧ половым путем от ПИН к их гетеросексуальным партнерам, не употребляющим инъекционные наркотики (PIDUs), может генерировать самоподдерживающуюся гетеросексуальную эпидемию. Мы построили математическую модель, которая включала поведенческий опрос ПИН Санкт-Петербурга и их половых партнеров в эпидемическую модель, которая сочетала в себе модели сексуальных партнеров ПИН и не-ПИН, чтобы дать представление о передаче ВИЧ половым путем, и детерминированную модель парентеральной передачи среди ПИН. Мы сравнили эпидемиологическую модель, основанную на полученных данных исследований, проведенных в Санкт-Петербурге с целенаправленным тестированием ПИН. Модель позволяет внимательно отслеживать обе формы исследований. Результат моделирования выявляет постоянную распространенность ВИЧ около 50% среди ПИН, увеличивая распространенность среди их партнеров, не употребляющих инъекционные наркотики, и населения в целом, достигающего 14% и 2%, соответственно к 2025 году. Эти высокие показатели распространенности ВИЧ-инфекции за пределами популяции ПИН происходят из-за того, что парентеральная передача способствует развитию эпидемии, и мостики, представленные гетеросексуальными партнерами ПИН, не употребляющими инъекционные наркотики играют решающую роль в передаче инфекции среди населения в целом. Это означает, что половой путь передачи может поддерживать эпидемию ВИЧ среди не-ПИН в случае невозможности остановки парентерального пути. Таким образом, ключ к контролю за эпидемией является в снижении передачи среди ПИН с сочетанием программ профилактики и применения антиретровирусной терапии для снижения вирусной нагрузки.

Ключевые слова: Распространенность ВИЧ-инфекции, потребители инъекционных наркотиков, моделирование эпидемии, передача парентеральным и половым путем, контроль за эпидемией.

The high prevalence of HIV infection and substantial rates of unprotected sexual intercourse reported among injection drug users in St. Petersburg has led to speculation that sexual transmission of HIV from IDUs to their non-injecting heterosexual partners (PIDUs) may generate a self-sustaining, heterosexual epidemic. We constructed a mathematical model that incorporated behavioral data from a survey of St. Petersburg IDUs and their sexual partners into an epidemic model that combines a network model of sexual partnerships of IDUs and non-IDUs to represent sexual transmission of HIV and a deterministic model for parenteral transmission among IDUs. We compared the model to surveillance data obtained from testing conducted throughout St. Petersburg and from targeted testing of IDUs. The model closely follows both forms of surveillance. The model outputs reveal a constant HIV prevalence of approximately 50% among IDUs, increasing prevalence among PIDUs and the general population reaching 14% and 2%, respectively, by 2025. These high HIV prevalences outside of IDUs occur because parenteral transmission drives the epidemic and the PIDU bridge population plays a crucial role transferring infection into the general population. This implies that sexual transmission could sustain a non-IDU HIV epidemic but only if parenteral trans-

mission remains unchecked. Thus, the key to epidemic control is reducing transmission among IDUs by a combination of prevention programs and antiretroviral treatment to reduce viral load.

Key words: HIV Prevalence/Injection Drug Users/Epidemic Modeling/Parenteral and Sexual Transmission/Epidemic Control.

Введение. Эпидемия ВИЧ-инфекции в России продолжает распространяться в популяции со времени зарождения в среде наркоманов в конце 1990-х годов. Потребители инъекционных наркотиков (ПИН) составляют наиболее пораженную ВИЧ группу, свидетельством этого является то, что в Санкт-Петербурге распространенность ВИЧ-инфекции среди ПИН в результате парентеральной передачи при небезопасных инъекциях возросла с 2% в 1999 г. до 59% в 2009 г. [1, 2]. В начале последнего десятилетия на эту группу приходилось до 90% всех случаев инфицирования, но после 2002 г. стало расти число случаев в результате небезопасных гетеросексуальных половых контактов. Оба пути передачи ВИЧ имеют место во всех возрастных группах, но наиболее часто представлены в возрасте 18–40 лет [3, 4]. В настоящее время в Санкт-Петербурге диагностированы более 50 тысяч случаев ВИЧ-инфекции, что составляет 1% общей популяции и 5% популяции среди людей именно в этом возрасте. В последние 10 лет ежегодно регистрировались от двух до четырех тысяч новых случаев ВИЧ-инфекции. На основании данных эпидемиологического надзора, полученных тестированием на ВИЧ на уровне популяции, остается неясным имеет ли место генерализованная эпидемия гетеросексуальной передачи ВИЧ, которая сохранится и в отсутствие парентеральной передачи среди ПИН и последующей половой передачи к половым партнерам, не употребляющим наркотики [5].

Чтобы лучше понять природу эпидемии ВИЧ в Санкт-Петербурге [6], нами была разработана эпидемиологическая модель для оценки ее популяционной динамики в популяции ПИН, на примере системы связей и взаимодействия между ПИН и общей популяцией и затем в общей гетеросексуальной популяции. Описываемая модель объединяет сетевую модель сексуальных контактов для половой передачи ВИЧ и детерминистическую для парентеральной передачи. Моделирование осуществляется для популяции численностью в 10 тысяч человек, и его результаты экстраполируются на взрослое население Санкт-Петербурга. Это сообщение представляет собой сокращенную версию статьи, опубликованной в журнале *Drug and Alcohol Dependence* [7].

Исследования с использованием моделирования имеют то преимущество, что позволяют оценить последствия изменений в тактике профилактики и те-

рапии заболевания. В нашей модели мы делаем два допущения относительно предоставления высокоактивной антиретровирусной терапии (ВААРТ) для ПИН. В основе модели допускаем, что лечение ВИЧ-инфицированного пациента, если это не ПИН, начинается, как только содержание CD4-лимфоцитов становится ниже 350 кл/мкл [3, 4]. Для ПИН мы допускаем, что терапия для них недоступна до тех пор, пока не проходит 6 месяцев со времени прекращения приема наркотиков, или пока у них не выявляются заболевания, соответствующие достижению стадии СПИДа, как это следует из общих тенденций в этих вопросах. В качестве варианта основной модели мы допускаем принятие профилактического подхода к лечению, при котором всех ВИЧ-инфицированных ПИН лечат антиретровирусными препаратами, как только установлен диагноз [8, 9, 10]. Это изменение вводится в моделирование для периода с 2012 года, когда были опубликованы новые рекомендации по лечению ВИЧ-инфекции [4].

Материалы и методы исследования. Эта модель основана на данных серологических и поведенческих исследований, которые включали 691 ПИН и 58 их половых партнеров, не употребляющих наркотики, и были проведены в период с ноября 2005 г. по декабрь 2008 г. как часть многоцентрового исследовательского проекта, известного под названием «Кооперативная согласованная программа по половому заражению и передаче ВИЧ» (Sexual Acquisition and Transmission of HIV Cooperative Agreement Program (SATH-CAP) [11, 12]. В нее были включены Санкт-Петербург и три популяции в США — в Лос-Анджелесе, Чикаго и Северной Каролине.

Целью исследования было оценить значение передачи ВИЧ половым путем в сообществах ПИН и за их пределами. Детали способов формирования выборок и сбора данных, которые везде были общими, были подробно описаны [13, 14]. В исследовании применялся метод рекрутирования участников посредством социальных сетей ПИН, известный больше под названием «выборка, управляемая респондентом» (respondent driven sampling — RDS) (Gyarmathy et al., 2009). Респонденты — начало цепочек были отобраны из числа ПИН, знакомых российским партнерам. Серологические и молекулярно-эпидемиологические данные по ВИЧ и вирусу гепатита С были получены и проанализированы с использованием проб крови, собранных с Санкт-

Санкт-Петербурге [15, 16, 17]. Эти данные также позволили определить оценочное количество ПИН в Санкт-Петербурге — $83\,000 \pm 5800$ человек [18].

Скорость распространения ВИЧ гетеросексуальным путем принята на основании последних данных, найденных в литературе [19]. Оценки скорости распространения ВИЧ парентеральным путем при небезопасных инъекциях у ПИН были опубликованы ранее и оказались одинаковыми, примерно 7–8 случаев на 1000 инъекций [20, 21].

Несмотря на то, что передача ВИЧ в молодой взрослой возрастной группе населения Санкт-Петербурга происходит как половым, так и парентеральным путем, наша модель предназначена для исследования полового пути передачи. В связи с этим мы использовали подход, основанный на сети индивидуальных половых контактов, и стохастическую модель подверженности-передачи для парентерального заражения. Формирование выборок методом «латинского гиперкуба» (ЛГ) использовалось, чтобы оценить влияния индивидуальных параметров на результаты моделирования [22], при этом основное внимание было уделено поведенческим параметрам, поскольку они самые неопределенные и должны быть исследованы методами анализа чувствительности.

При формировании выборок оценивались все поведенческие параметры на полном 95% доверительном интервале при постоянстве биологических параметров. Процедура ЛГ была повторена 20 раз для каждой из 100 комбинаций разных параметров, и кривые распространенности ВИЧ в исследованных выборках были построены для периода длительностью в 25 лет (2000–2025 гг.). Регрессионный анализ данных по ЛГ использовался для определения параметров, которые сильнее всего коррелировали с распространенностью ВИЧ. Дополнительные детали относительно оценки параметров и методов моделирования были опубликованы ранее [7] и могут быть получены от авторов по запросу.

Результаты исследования и их обсуждение. Используя данные о поведении, полученные в обследованиях ПИН, мы моделировали передачу ВИЧ в этой наиболее рискованной группе, начиная с распространенности ВИЧ, составившей 5% в 1999 г. Рост заболеваемости ВИЧ-инфекцией, т.е. число новых случаев в год в результате вклада обоих путей передачи (полового и парентерального), оказался около 5%, ежегодно за рассматриваемый в модели период с 1999 по 2024 гг., что соответствует нескольким проспективным когортным исследованиям, описанным в литературе [23, 24], но меньше того, о чем сообщалось в ретроспективном когортном исследовании [17]. Оценки распространенности включают кумулятивное число

новых случаев инфекций минус число смертей от СПИДа, связанных со СПИДом заболеваний, передозировки опиоидов и от других причин, что соответствует в российской терминологии показателю поражаемости (рис. 1).

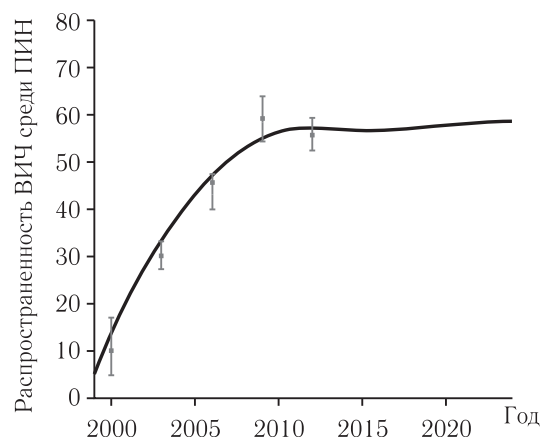


Рис. 1. Моделирование распространенности ВИЧ среди ПИН. Сплошная черная линия: результаты моделирования. Серые точки: оценки по выборкам ПИН в 2000 г. ($n=100$), 2003 г. ($n=900$), 2006–2007 гг. ($n=691$), 2009 г. ($n=411$), 2012 г. ($n=806$) с указанием стандартных отклонений.

На рисунке 1 в соответствии с моделью показано, что частота встречаемости ВИЧ-инфекции среди изучаемой группы людей достигает плато в 55%, начиная с 2010 года, по мере достижения эквивалиума показателей смертности и заболеваемости. Оценки в нашем моделировании соответствуют оценкам распространенности ВИЧ в выборках ПИН, набираемых после 2000 г. почти каждый второй год [2, 12, 25, 26].

Моделирование половой передачи ВИЧ от ПИН к половым партнерам (ППИН), не употребляющим наркотики, позволило рассчитать ежегодное повышение распространенности ВИЧ вплоть до 2024 г. (рис. 2).

В 2007 г. распространенность ВИЧ среди ППИН, согласно модели, оценивается в 6%, что соответствует данным исследования половых партнеров ПИН в крупном исследовании SATH-CAP, где в выборке ППИН распространенность ВИЧ составила 5,6%, при этом, в анализе не учитывались лица, серопозитивные по вирусу гепатита С, который является маркером инъекций наркотиков [11].

На рисунке 2 показаны результаты моделирования половой передачи ВИЧ в общей гетеросексуальной популяции, исключаяющей ПИН и ППИН (ПППИН). Повышение распространенности ВИЧ в ПППИН было отражением такового в популяции ППИН, повышающегося в течение всего периода моделирования до 2024 г. По оценке в рамках модели, распространенность ВИЧ среди жителей Санкт-Петербурга превысит

2% уровень пораженности, при котором считается, что эпидемия ВИЧ переходит от концентрированной ста-

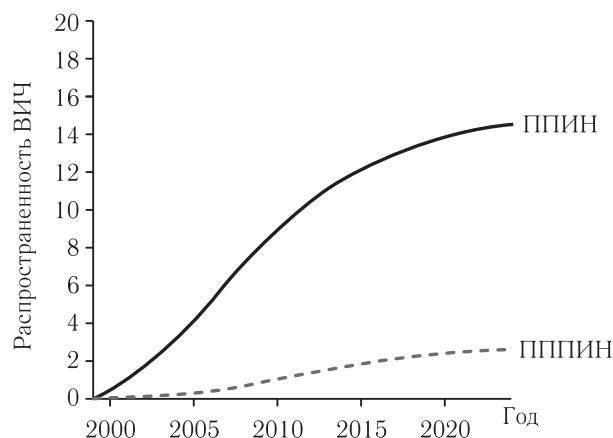


Рис. 2. Моделирование распространения ВИЧ в результате гетеросексуальной передачи. Сплошная черная линия: результаты моделирования для половых партнеров ПИН (ППИН). Черный пунктир: результаты моделирования гетеросексуальной передачи в общую популяцию (ПППИН).

дии к генерализованной в 2015 году.

Как вариант, мы рассчитали влияние распространённости ВИЧ в объединенной популяции ПППИН и ППИН, если передача ВИЧ среди ПИН прекратилась в 2012 г. (рис. 3).

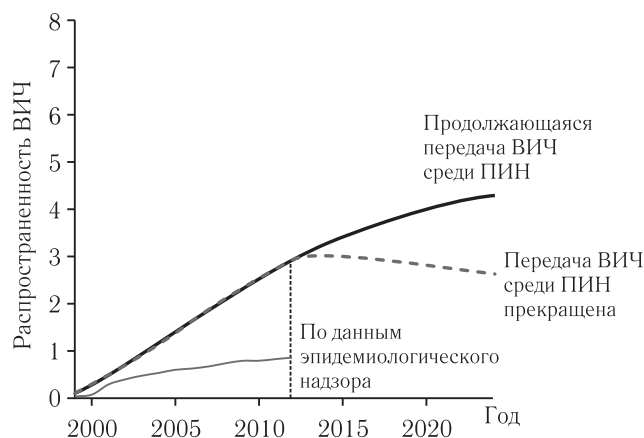


Рис. 3. Последствия прекращения передачи ВИЧ среди ПИН. Сплошная черная линия: результат моделирования общей распространённости ВИЧ в гетеросексуальной популяции, включая ПИН. Черный пунктир: результат моделирования общей распространённости ВИЧ в гетеросексуальной популяции, включая ПИН, если парентеральная и половая передача ВИЧ среди ПИН прекращена с начала 2012 г. Серая линия: распространённость лиц, живых с ВИЧ/СПИД по официальным данным эпидемиологического надзора с учетом новых случаев инфекции и смерти от ВИЧ.

Из полученной модели следует, что распространённость ВИЧ в этих двух группах вместе начнет снижаться почти немедленно. Хотя это снижение скромное, результаты моделирования, в отличие от двух

кривых на рис. 3, демонстрируют степень, при которой эпидемия ВИЧ продолжает подпитываться новыми случаями инфицирования среди ПИН.

Главная цель моделирования инфекционных заболеваний состоит в определении сильных и слабых сторон принимаемых эпидемиологических и медицинских мер. В случае эпидемии ВИЧ в Санкт-Петербурге возникает три основных вопроса, ответы на которые можно искать при помощи нашей модели. Во-первых, насколько точно эпидемиологический надзор отражает состояние эпидемии? Во-вторых, перейдет ли концентрированная эпидемия в среде ПИН на уровень генерализованной и самоподдерживающейся в общей популяции? В-третьих, какими будут последствия мер, направленных на снижение заболеваемости в популяции под риском инфицирования?

Мы можем сравнивать сведения, полученные при использовании нашей модели касательно расширения эпидемии ВИЧ в общей популяции, с данными эпидемиологического надзора по тестированию населения Санкт-Петербурга. Сравнение можно проводить по числу инфицированных лиц и по соотношению между инфицированными, являющимися или не являющимися потребителями инъекционных наркотиков. По данным эпидемиологического надзора, каждый год после 2002 г. регистрируются 3–5 тысяч новых случаев ВИЧ-инфекции, в результате чего в 2012 г. распространение ВИЧ в популяции достигло 1%, а кумулятивное число ВИЧ-инфицированных достигло 44 583 [5, 27, 28]. В то же время из модели следует, что число таких случаев превышает указанное в два раза, а распространённость ВИЧ в популяции составляет практически 3% (рис. 3). Эти данные совпадают с результатом моделирования эпидемии в СПб, проведенного русскими исследователями [29, 30]. По результатам моделирования получается, что многие ВИЧ-инфицированные люди (двое из каждых трех) не проходили тестирование, и еще большее число даже не подозревают о своем ВИЧ-статусе. Из этого следует, что необходимо значительно увеличить объемы и размах тестирования.

Также мы можем использовать модель для сравнения ПИН и гетеросексуальных не-ПИН (ППИН+ПППИН). При этом оказывается, что в 2012 г. (и в каждом предыдущем) к последним (не ПИН) относится только один из трех-четырех вновь выявленных случаев ВИЧ-инфекции (рис. 4).

Представленный на рисунке 4 график, полученный в результате использования модели, демонстрирует, что, несмотря на то, что доля случаев выявленной ВИЧ-инфекции в связи с инъекциями наркотиков и гетеросексуальной передачи ВИЧ будет расти, на нее, по-видимому, придется менее 30% всех еже-

годно диагностируемых случаев. Тенденции в распространении полового пути передачи в соответствии с моделью и данными государственного эпидемиологического надзора на основе общегородского тестирования на ВИЧ очевидны. Однако на рис. 4 виден рост

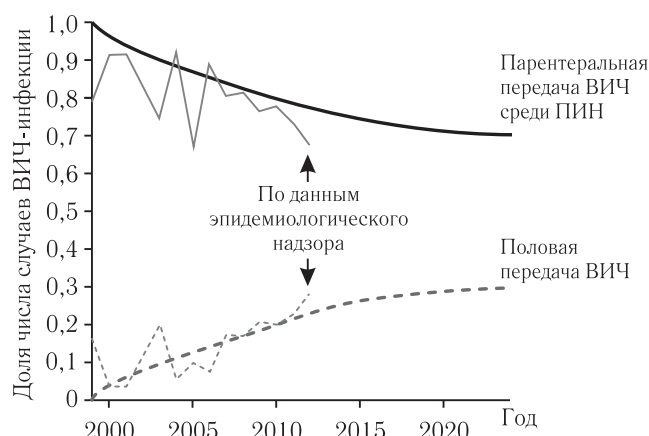


Рис. 4. Доля случаев выявленной ВИЧ-инфекции в связи с инъекциями наркотиков и гетеросексуальной передачи ВИЧ. Сплошная черная линия: результат моделирования доли случаев, относимых к инъекциям у ПИН. Черный пунктир: результаты моделирования доли случаев, относимых к гетеросексуальной передаче среди не-ПИН. Сплошная серая линия: доля диагностированных случаев по официальным данным эпидемиологического надзора, относимых к инъекциям у ПИН. Серый пунктир: доля диагностированных случаев по официальным данным эпидемиологического надзора, относимых к гетеросексуальной передаче среди не-ПИН.

разрыва между долей случаев ВИЧ, относимых к незащищенным половым контактам и соответствующими процентами модели, которые занижены по сравнению с объективными данными. Вероятно, не исключена возможность того, что некоторые лица скрывают свою принадлежность к ПИН, что неудивительно ввиду стигматизации данной группы населения [31, 32, 33]. Другая возможность — это просто недостаточная эффективность тестирования ПИН на ВИЧ для определения степени проникновения ВИЧ в эту среду. В нашей выборке ПИН оказалось, что только 49 из 801 (6%) сообщили, что проходили тестирование в течение последних трех лет. Отсюда может следовать то, что, если результат тестирования на ВИЧ положительный, тестируемый скрывает свою принадлежность к ПИН (данные исследования SATHCAP).

Поскольку из модели следует, что распространенность ВИЧ в популяции уже превысила условно выбранный порог в 1%, когда эпидемия считается самоподдерживающейся, ее можно считать генерализованной [34]. Мы касаемся этого вопроса на рисунке 3, где моделирование показывает, что, если передачу ВИЧ среди ПИН эффективно предотвратить, эпидемия пойдет на спад. Однако предотвра-

щение передачи ВИЧ в этой группе населения потребует одновременно расширения программ лечения и профилактики ВИЧ-инфекции. Антитретровирусная терапия может уменьшить вирусную нагрузку и тем самым снизить вероятность половой передачи ВИЧ более чем на 90% [35, 36]. Недавние принятые в России рекомендации лечения ВИЧ-инфицированных пациентов, в том числе ПИН, расширили доступ ПИН к ВААРТ, специально предусматривая доступность ВААРТ для всех ВИЧ-инфицированных, включая ПИН [4]. Эту политику необходимо применять как можно шире, чтобы снижать вирусную нагрузку среди ПИН [37, 38]. Дальнейшее существенное снижение передачи ВИЧ среди ПИН может быть достигнуто благодаря усилению программ профилактики ВИЧ-инфекции среди ПИН, таких как обмен шприцов, расширение доступа к лекарствам и улучшение лечения наркомамии. Важно, что тем самым можно будет снизить риск парентеральной передачи ВИЧ среди ПИН на 40–70% [10, 39, 40]. Снижение вирусной нагрузки в этой популяции понизит их способность передавать ВИЧ, и в результате ограничение эпидемии станет более вероятным, несмотря на то, что ВААРТ может увеличить численность ВИЧ-инфицированных активных ПИН посредством снижения уровня смертности среди них.

Важным является то, что лечение также позволит снизить на уровне популяции вирусную нагрузку ВИЧ, что, в свою очередь, уменьшит вероятность передавать ПИН вирус и повысит шансы эффективного контроля над эпидемией. Если не учитывать ПИН в расчетах, маловероятно, что по материалам моделирования генерализованная гетеросексуальная эпидемия окажется самоподдерживающейся.

Заключение. Таким образом, значение описываемой модели состоит в том, что ключевыми для ограничения эпидемии ВИЧ остаются усилия по снижению передачи ВИЧ среди ПИН. ПИН пока остаются движущей силой распространения ВИЧ-инфекции в Санкт-Петербурге. Ключом к ограничению эпидемии является снижение передачи вируса в этой популяции и за ее пределами, которое может быть достигнуто путем значительного расширения целенаправленных программ профилактической и терапевтической антитретровирусной терапии. ВИЧ-инфицированные ПИН предпочитают не раскрывать свой статус, и исправить это может ослабление стигматизации в обществе. В связи с этим, система эпидемиологического надзора требует организационного улучшения для того, чтобы более эффективно идентифицировать скрытые популяции ВИЧ-инфицированных людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ostrovsky D.V.* Twelve years long journey. — St. Petersburg: Vozvrastcheniye Foundation, 2000. — 120 p.
2. *Eritsyen K., R. Heimer R. Barbour V., et. al.* Individual-, network-, and city-level factors associated with HIV prevalence among people who inject drugs in eight Russian cities // *BMJ Open*, 2013. — Vol. 3. — P. 6. — doi:10.1136/bmjopen-2013-002645. — URL: <http://bmjopen.bmj.com/content/3/6/e002645.full>.
3. *Вирус иммунодефицита человека — медицина: Руководство для врачей / Под ред. Н.А.Белякова, А.Г. Рахмановой.* — СПб.: Балтийский образовательный медицинский центр, 2010. — 752 с.
4. *Покровский В.В., Юрин О.Г., Кравченко А.В., Беляева В.В., Канестри В.Г., Афонина Л.Ю., Ермак Т.Н., Буравцова Е.В., Шахгильдян В.И., Козырина Н.В., Нарсия О.С., Зимица В.Н., Покровская А.В., Конов Д.С., Конов В.В., Голицева М.А., Ефремова О.С., попова А.А.* Протоколы диспансерного наблюдения и лечения больных ВИЧ-инфекцией // *Эпидемиология и Инфекционные Болезни. Актуальные вопросы.* — 2012. — Т. 6. — С. 1–27.
5. *Дворак С.И., Крыга Л.Н., Виноградова Т.Н., Сафонова П.В., Жолобов В.Е., Плавинский С.Л., Рассохин В.В.* Медико-социальные особенности «старения» эпидемии ВИЧ-инфекции в Санкт-Петербурге // *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии.* — 2013. — Т. 5, № 4. — С. 82–89.
6. *Беляков Н.А., Розенталь В.В., Дементьева Н.Е., Виноградова Т.Н., Сизова Н.В.* Моделирование и общие закономерности циркуляции субтипов и рекомбинантных форм ВИЧ // *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии.* — 2012. — Т. 4, № 2. — С. 7–18.
7. *Mills H. L., White E., Colijn C.* PHIV Transmission from drug injectors to partners who do not inject, and beyond: Modeling the potential for a generalized heterosexual epidemic in Saint Petersburg, Russia // *Drug & Alcohol Dependence.* — 2013. — Vol. 133. — P. 242–247.
8. *Beyrer C., Malinowska-Sempruch K., Kamarulzaman A., Kazatchkine M., Sidibe M., A Strathdee P.S.* Time to act: a call for comprehensive responses to HIV in people who use drugs // *The Lancet.* — 2010. — Vol. 376. — P. 551–563.
9. *Wood E., Milloy M. J., Montaner J. S.* HIV treatment as prevention among injection drug users // *Current Opinions in HIV/AIDS.* — 2012. — Vol. 7. — P. 151–156.
10. *Preventing HIV infection among injecting drug users in high risk countries: an assessment of the evidence / Committee on the Prevention of HIV Infection among Injecting Drug Users in High Risk Countries.* — Washington D.C, Institute of Medicine, 2006. URL: www.nap.edu.
11. *Niccolai L. M., Shcherbakova I. S., Toussova O. V., Kozlov A.P., Heimer R.* The potential for bridging of HIV transmission in Russian Federation: Sex risk behaviors and HIV prevalence among drug users (DUs) and their non-DU sex partners // *Journal of Urban Health.* — 2009. — 86 (Suppl 1). — P. 131–143.
12. *Niccolai L. M., Toussova O. V., Verevchkin S. V., Barbour R., Heimer R., Kozlov A.P.* High HIV prevalence, suboptimal HIV testing, and low knowledge of HIV-positive serostatus among injection drug users in St. Petersburg, Russia // *AIDS & Behavior.* — 2010. — Vol. 14. — P. 932–941.
13. *Iguchi, M., Ober A., Berry S., Fain T., Heckathorn D., Gorbach P., Heimer R., Kozlov A., Ouellet L., Shoptaw S., Zule W.* Simultaneous recruitment of drug users and men who have sex with men in the United States and Russia using respondent driven sampling: sampling methods and implications // *Journal of Urban Health.* — 2009. — Vol. 86 (Suppl 1). — P. 5–31.
14. *Ober, A. J., Iguchi M. Y., Weiss R. E., Gorbach P.M., Heimer R., Ouellet L.J., Shoptaw S., Anglin M.D., Zule W.A.* The relative role of perceived partner risks in promoting condom use in a three-city sample of high-risk, low-income women // *AIDS & Behavior.* — 2011. — Vol. 15. — P. 1347–1358.
15. *Paintsil, E., S. V. Verevchkin, E. Dukhovlinova, Niccolai L., Barbour R., White E., Toussova O.V., Alexander L., Kozlov A.P., Heimer R.* Hepatitis C Virus Infection among drug injectors in St. Petersburg, Russia: social and molecular epidemiology of an endemic infection // *Addiction.* — 2009. — 104. — P. 1881–1890.
16. *Masharsky A.E., Dukhovlinova E.N., Verevchkin S.V., Toussova O.V., Skochilov R.V., Anderson J.A., Hoffman I., Cohen M.S., Swannstrom R., Kozlov A.P.* A substantial transmission bottleneck among newly and recently HIV-1-infected injection drug users in St Petersburg, Russia // *Journal of Infectious Diseases.* — 2010. — Vol. 201. — P. 1697–1702.
17. *Niccolai L. M., Verevchkin S. V., Toussova O. V., White E., Barbour R., Kozlov A.P., Heimer R.* Estimates of HIV incidence among drug users in St. Petersburg, Russia: Continued growth of a rapidly expanding epidemic // *European Journal of Public Health.* — 2011. — Vol. 25. — P. 613–619.
18. *Heimer R., Khoshnood K., Stephen P.C. and Jariwala-Freeman B.* Evaluating a needle exchange program in a small city: models for testing HIV-1 risk reduction // *International Journal of Drug Policy.* — 1996. — Vol. 7. — P. 123–129.
19. *Boily M.C., Baggaley R.F., Wang L., Masse B., White R.G., Hayes R.J., Alary M.* Heterosexual risk of HIV-1 infection per sexual act: systematic review and meta-analysis of observational studies // *The Lancet Infectious Diseases.* — 2009. — Vol. 9. — P. 118–129.
20. *Kaplan, E. H., Heimer R.* A model-based estimate of HIV infectivity via needle sharing // *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndrome (J. AIDS).* — 1992. — Vol. 5. — P. 1116–1118.
21. *Hudgens M.G., Longini I. M., Halloran M. E., Choopanya K., Vanichseni S., Kitayaporn D., Mastro T.D., Mock P.A.* Estimating the transmission probability of human immunodeficiency virus in injecting drug users in Thailand // *Journal of the Royal Statistical Society, Applied Statistics.* — 2001. — Vol. 50 (part 1). — P. 1–14.

22. McKay M.D., Beckman R. J., Conover W.J. A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code // *Technometrics*. — 1979. — Vol. 21. — P. 239–245.
23. Kozlov A.P., Shaboltas A.V., Toussova O.V., Verevchkin S.V., Masse B.R., Perdue T., Beauchamp G., Sheldon W., Miller W.C., Heimer R., Ryder R.W., Hoffman I.F. HIV incidence and factors associated with HIV acquisition among injection drug users in St. Petersburg, Russia // *AIDS*. — 2006. — Vol. 20. — P. 901–906.
24. Hoffman I., Latkin C., Kukhareva P.V., Malov S.V., Batluk J.V., Shaboltas A.V., Skochilov R.V., Sokolov N.V., Verevchkin S.V., Hudgens M.G., Kozlov A.P. A peer-educator network HIV prevention intervention among injection drug users: Results of a randomized controlled trial in St. Petersburg, Russia // *AIDS & Behavior*. — 2013. — Vol. 17. — P. 2510–2520.
25. Abdala N., Carney J. M., Klimov J. N., Ostrovski D., Somlai A.M., Kozlov A., Heimer R. Estimating the prevalence of syringe-borne and sexually transmitted diseases among injection drug users in St. Petersburg, Russia // *International Journal of STD & у*. — 2003. — Vol. 14. — P. 697–703.
26. Shaboltas A.V., Toussova O.V., Hoffman R., Heimer R., Verevchkin S.V., Ryder R.W., Khoshnood K., Perdue T., Masse B.R., Kozlov A.P. HIV prevalence, socio-demographic and behavioral correlates and recruitment methods among injection drug users in St. Petersburg, Russia // *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndrome (J. AIDS)*. — 2006. — Vol. 41. — P. 657–663.
27. Покровский В.В. ВИЧ/СПИД в России: ситуация и прогноз // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. — 2008. — № 3. — С. 4–12.
28. Смольская Т.Т., Огурцова С.В. Обзор состояния эпидемии ВИЧ-инфекции в Северо-Западном федеральном округе // *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии*. — 2011. — Т. 3, № 1. — С. 27–36.
29. Розенталь В.В., Беляков Н.А., Виноградова Т.Н., Пантелева 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. 95–103.
30. 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. 2, № 3. — С. 7–12.
31. Balabanova Y., Coker R., Atun R. A., Drobniewski F. Stigma and HIV infection in Russia // *AIDS Care*. — 2006. — Vol. 18. — P. 846–852.
32. Sarang A., Rhodes T., Sheon N., Page K. Policing drug users in Russia: risk, fear, and structural violence // *Substance Use & Misuse*. — 2010. — Vol. 45. — P. 813–864.
33. Amirkhanyan Y.A., Kelly J. A., Kuznetsova A. V., DiFranceisco W.J., Musatov V.B., Pirogov D.G. People with HIV in HAART-era Russia: transmission risk behavior prevalence, antiretroviral medication-taking, and psychosocial distress // *AIDS & Behavior*. — 2011. — Vol. 15. — P. 767–777.
34. Anonymous (2011). UNAIDS Terminology Guideline. Geneva, Switzerland, UNAIDS.
35. Donnell D., Baeten J. M., Kiarie J., Thomas K.K., Stevens W., Cohen C.R., McIntyre J., Lingappa J.R., Celum C. Heterosexual HIV-1 transmission after initiation of antiretroviral therapy: a prospective cohort analysis // *The Lancet*. — 2010. — Vol. 375. — P. 2092–2098.
36. Cohen M.S., Smith M. K., Muessig K. E., Hallett T.B., Powers K.A., Kashuba A.D. Antiretroviral treatment of HIV-1 prevents transmission of HIV-1: where do we go from here // *The Lancet*. — 2013. — Vol. 382. — P. 1515–1524.
37. Das M., Chu P. L., Santos G.-M., Scheer S., Vittinghoff E., McFarland W., Colfax G.N. Decreases in community viral load are accompanied by reductions in new HIV infections in San Francisco // *PLoS One*. — 2010. — Vol. 5 (6): e1106.
38. Monater J. S. G., Lima V. D., Barrios R., Yip B., Wood E., Kerr T., Shannon K., Harrigan P.R., Hogg R.S., Daly P., Kendall P. Association of highly active antiretroviral therapy coverage, population viral load, and yearly new HIV diagnoses in British Columbia, Canada: a population-based study // *The Lancet*. — 2010. — Vol. 376. — P. 532–539.
39. Heimer R., White E. Estimation of the number of injection drug users in St. Petersburg, Russia // *Drug & Alcohol Dependence*. — 2010. — Vol. 109. — P. 79–83.
40. Wodak A., Cooney A. Do needle syringe programs reduce HIV infection among injecting drug users: a comprehensive review of the international evidence? // *Substance Use & Misuse*. — 2006. — Vol. 41. — P. 777–813.

Дата поступления: 15.01.2014 г.

Контактная информация: Роберт Хеймер e-mail: robert.heimer@yale.edu

Перевод с английского: Голубев Алексей Георгиевич

Публикация подготовлена при финансовой поддержке авторов из средств грантов: Харриет Л. Миллс - Bristol Centre for Complexity Sciences and EPSRC grant EP/5011214. Эвард Уайт и Роберт Хеймер (1) 5U01DA017387-04 Heimer (PI) NIDA «Integrating Sex and Drug Related HIV Risk and Transmission» и (2) 2P30MH062294-06A1 P. Cleary (PI) NIMH «Center for Interdisciplinary Research on AIDS (CIRA)». Кэролин Колийн — received support from EPSRC grant EP/I03626/1. P.V. was funded by a MRC New Investigators Award (G0701627).

Коллектив авторов:

Robert Heimer — Professor of Epidemiology and of Pharmacology,
 Harriet Mills — Postdoctoral Research Associate,
 Edward White — Associate Research Scientist,
 Peter Vickerman — Professor in Infectious Disease Modelling,
 Caroline Colijn — Senior Lecturer.