

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭПИДЕМИОЛОГИИ ТУБЕРКУЛЕЗА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Паролина Л.Е., Докторова Н.П., Отпущенникова О.Н.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр фтизиопульмонологии и инфекционных заболеваний» Минздрава России, Москва, e-mail: drndok@mail.ru

Сохраняющийся резервуар туберкулезной инфекции, недостаточная эффективность терапии туберкулеза заставляют концентрировать внимание противотуберкулезной службы на направлениях, влияющих на эпидемиологический процесс и возможности прогнозирования развития эпидемии туберкулеза. В статье систематизированы и проанализированы данные исследований, оценивающих вклад социально-экономических факторов в эпидемическую ситуацию по туберкулезу. Проведен анализ использования этих факторов при математическом моделировании развития эпидемии туберкулеза. Глубина поиска литературных источников составила 15 лет. Анализировались полнотекстовые публикации из поисковых систем scholar.google.ru, researchgate.net и научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU. Из исследования исключались литературные обзоры, а также эпидемиологические прогнозы, которые не включали математические модели. Получено, что наиболее значимыми социально-экономическими факторами для развития туберкулеза являются бедность, отсутствие работы, низкий уровень образования, миграция, отсутствие постоянного места жительства, пребывание в исправительно-трудовых учреждениях, несбалансированное питание. Использование социально-экономических детерминант развития туберкулеза является оправданным для создания математических моделей эпидемии туберкулеза. При этом наблюдается недостаточное число исследований по математическому моделированию, особенно учитывающих сложные связи между несколькими социальными факторами и другими элементами, влияющими на эпидемиологию туберкулеза.

Ключевые слова: туберкулез, факторы риска, социальные факторы, моделирование, развитие эпидемии.

SOCIO-ECONOMIC DETERMINANTS AND MATHEMATICAL MODELING IN THE EPIDEMIOLOGY OF TUBERCULOSIS

Parolina L.E., Doktorova N.P., Otpuschennikova O.N.

National Medical Research Center of Phthisiopulmonology and Infectious Diseases Russian Federation, Moscow, e-mail: drndok@mail.ru

The persisting reservoir of tuberculosis infection, insufficient effectiveness of tuberculosis therapy make the anti-tuberculosis service focus on the areas that affect the epidemiological process and the possibility of predicting the development of the tuberculosis epidemic. The article provides a systematization and analysis of studies evaluating the contribution of socio-economic factors to the epidemic situation of tuberculosis. The analysis of the use of these factors in the mathematical modeling of the development of the tuberculosis epidemic is carried out. The depth of the search for literary sources was 15 years. We analyzed full-text publications from the scholar.google.ru, researchgate.net search engines and the eLIBRARY.RU scientific electronic library. Literature reviews as well as epidemiological projections that did not include mathematical models were excluded from the study. It was found that the most significant socio-economic factors for the development of tuberculosis are poverty, lack of work, low level of education, migration, lack of permanent residence, stay in prison, and malnutrition. The use of socio-economic determinants of the development of tuberculosis is justified for creating mathematical models of the tuberculosis epidemic. However, there is an insufficient number of mathematical modeling studies, especially taking into account the complex relationships between several social factors and other elements that influence the epidemiology of tuberculosis.

Keywords: tuberculosis, risk factors, socio-economic factors, modeling, epidemic development.

Еще в начале последнего десятилетия XX в. ВОЗ объявила туберкулез глобальной угрозой здоровью в связи с тем, что ежегодно появляется 8 млн новых случаев заболевания, смерть от туберкулеза уносит жизни 3 млн человек [1]. Эпидемическая обстановка по туберкулезу и в настоящее время остается напряженной. В 2019 г., по данным ВОЗ, туберкулезом заболели около 10 млн человек и умерли более 400 тыс. [2]. В России по

данным 2019 г. впервые заболевают туберкулезом до 60 тыс. человек ежегодно (2019 г. – 60 531 человек), умирают более 7 тыс. человек [3–5]. При положительной динамике эпидемических показателей в России в последнее десятилетие в стране регистрируется рост доли туберкулеза с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ) возбудителя. С 2017 по 2019 гг. этот показатель вырос с 28,2% до 32,8%. [5]. Особую проблему составляет туберкулез с широкой лекарственной устойчивостью (ШЛУ ТБ). Данные за последние 4 года свидетельствуют о неблагоприятной тенденции развития этого процесса, причем темпы его развития опережают распространение МЛУ ТБ [5]. Согласно официальной статистике [5], есть данные, что в стране идет интенсивная трансформация ядра бактериовыделителей с накоплением лекарственно устойчивых форм МБТ. Среди повторных случаев лечения показатель распространения ШЛУ МБТ достиг 10%, что предполагает наличие тенденции к неуправляемому процессу распространения, как это было с ситуацией распространения МЛУ МБТ в начале 2000-х гг.

Сохраняющийся резервуар туберкулезной инфекции, недостаточная эффективность терапии туберкулеза заставляют концентрировать внимание противотуберкулезной службы на направлениях, влияющих на эпидемиологический процесс, и возможности прогнозирования развития эпидемии туберкулеза.

Цель исследования. Оценка уровня применения социально-экономических факторов для характеристики эпидемической ситуации по туберкулезу и использования этих факторов при математическом моделировании развития эпидемии туберкулеза.

Материалы и методы исследования. В соответствии с целью работы был проведен поиск литературы англоязычных и российских источников по изучаемой проблеме за последние 15 лет. Целевая группа состояла из пациентов с туберкулезом и математических моделей эпидемии туберкулеза, учитывающих социально-экономические факторы риска заболевания. Анализировались полнотекстовые публикации из поисковых систем scholar.google.ru, researchgate.net и научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU. Из исследования исключались литературные обзоры, а также эпидемиологические прогнозы, которые не включали математические модели.

Результаты исследования и их обсуждение. Значение социально-экономических факторов риска при туберкулезе общепризнано. В социальной характеристике больного туберкулезом всегда придавалось большое значение образованию, профессии, условиям труда, социальным условиям жизни; значимость этих факторов по-прежнему сохраняется [6–9].

По данным ряда авторов, в последние годы среди впервые выявленных больных лишь 5,2–18% имеют высшее образование. Источником средств существования лишь у половины

больных является постоянная работа на производстве, у трети – временная работа. В анамнезе жизни у пациентов выявляются такие социальные факторы риска развития туберкулеза, как тяжелый физический труд, сменная работа, распад семьи, работа во вредных условиях и без отпусков, неквалифицированный труд [10, 11].

Ряд исследователей изучали заболеваемость туберкулезом лиц с различным семейным положением [12, 13], что позволило сделать вывод о том, что заболеваемость разведенных и, более того, одиноких мужчин в 2,3–3,7 раза превышает заболеваемость женатых. К причинам, вызвавшим повышенную заболеваемость одиноких, относят неблагоприятные социальные и жилищные условия, психические стрессы, связанные с бракоразводными делами.

В качестве одной из основных причин сложностей борьбы с туберкулезом эксперты ВОЗ рассматривают усиление миграционных процессов в обществе. При этом значимыми оказываются все виды миграции (вынужденная, внешняя, внешняя трудовая, незаконная и внутренняя), увеличение риска заражения туберкулезом пропорционально усилению процессов миграции [14]. Распространенность туберкулеза среди мигрантов в России на протяжении последних двух десятилетий в 6–40 раз превышает таковую среди постоянных жителей. Данные исследований свидетельствуют о сохранении высокой пораженности туберкулезом мигрантов (до 10,7%). Показатель заболеваемости в среде мигрантов равен 247 на 100 тыс. населения в 2011 г. [15]. Приведенные факты свидетельствуют о том, что мигрирующее население неизбежно является резервуаром туберкулезной инфекции и миграция оказывает существенное неблагоприятное влияние на эпидемиологию туберкулеза.

В России высока доля лиц, не имеющих работы. Ежегодно отмечается увеличение в структуре заболевших туберкулезом неработающих трудоспособного возраста. По данным официальной статистики, лица, не имеющие работы, составляют значительную долю впервые выявленных больных туберкулезом, что стало особенно заметно в кризисные годы. По данным 2010 г. при общей заболеваемости в стране 77,2 случая на 100 тыс. населения показатель заболеваемости безработных превысил 850 на 100 тыс. безработных. В Москве в 2013 г. доля неработающих среди впервые выявленных больных туберкулезом, прибывших из других субъектов РФ, составляла 52–53% [16]. При исследовании уровня бедности выявлено, что сочетание изменений в питании и демографии, имевших место в течение десятилетия с 1998 г., способствовало увеличению заболеваемости туберкулезом на душу населения в Индии с высоким бременем болезни, но снижению ее в Корее с более низким бременем [17].

Социальные и экологические потрясения, межрегиональные военные конфликты значительно увеличивают число лиц без определенного места жительства. По данным О.Б.

Нечаевой [18], среди лиц без определенного места жительства туберкулез выявляется в 15,6% случаев, при этом максимальный риск развития туберкулеза приходится на 5–6-й год бродяжничества. В 2013 г. в г. Москве [17] 39,7% впервые выявленных больных туберкулезом являлись лицами без определенного места жительства, гражданами иных стран и жителями других субъектов РФ. Среди умерших от туберкулеза доля этих групп жителей в 2013 г. составила почти 46%. При этом в среднем по России доля впервые выявленных больных – лиц без определенного места жительства составила в 2013 г. 2,3%, а доля иностранцев – 2,7%. Высокая заболеваемость туберкулезом лиц без определенного места жительства, неконтролируемость эпидемического процесса в этой прослойке населения создают угрозу дальнейшего распространения туберкулеза.

Существенное влияние на эпидемическую ситуацию по туберкулезу в России оказывают и контингенты УИС [19]. Лица, содержащиеся в местах лишения свободы, являются группой высокого риска по туберкулезу в любой стране мира [20]. Регистрируемая заболеваемость туберкулезом в пенитенциарных учреждениях Европейского региона ВОЗ была в 24 раза выше, чем среди всего населения [21]. Российская Федерация входит в число 6 стран с наиболее высокой заболеваемостью туберкулезом в пенитенциарных учреждениях, превышающей 1 000 на 100 тыс. тюремного населения. К таким странам также принадлежат Кыргызстан, Республика Молдова, Казахстан, Украина и Азербайджан [20]. Заболеваемость ТБ в пенитенциарных учреждениях в 10 раз превышает таковую среди населения. [22]

На эпидемиологическую ситуацию в учреждениях уголовно-исполнительной системы существенное влияние оказывает состояние здоровья контингента, попадающего в следственные изоляторы (СИЗО). В местах лишения свободы 53,8% пациентов выявляются в первые дни поступления в СИЗО (в 2018 г. – 52,4%), что указывает на недостатки в организации выявления туберкулеза среди групп высокого социального риска в гражданском секторе [4].

В процессе многофакторного анализа с применением логистической регрессии было оценено комплексное влияние факторов на риск развития ТБ у пациентов с ВИЧ, в результате которого достоверное влияние на риск развития туберкулеза сохранили следующие факторы: пребывание в пенитенциарных учреждениях, табакокурение, уровень образования не выше среднего; протективное влияние оказывало наличие постоянной работы. Социально-экономические факторы: низкий уровень образования, отсутствие постоянной работы – увеличивают риск развития активного туберкулеза и у пациентов с ВИЧ-инфекцией в 5 и 4 раза соответственно [23].

С помощью метода оценки параметров были оценены различия в эпидемиологических показателях отдельных субъектов РФ, которые объяснялись региональной неоднородностью

по таким характеристикам, как качество работы противотуберкулезных учреждений, уровень безработицы, доход и жилплощадь на душу населения [24].

В настоящее время исследователями создан социально-демографический портрет больных туберкулезом [25, 26]. Характеристики впервые выявленных больных позволяют нарисовать медико-социальный портрет большей части больных туберкулезом: мужчина средних лет, курящий, злоупотребляющий алкоголем, с наличием хронического бронхита, гастрита, безработный или работающий на неквалифицированных работах, одинокий, не имеющий своего жилья или проживающий в неблагоприятных условиях, с элементами социальной дезадаптации, особенно бывший в местах лишения свободы. Социальный портрет болеющей туберкулезом женщины: чаще одинокая, злоупотребляющая алкоголем, длительно курящая, проживающая в общежитии, с явно недостаточным денежным доходом, с низким образовательным уровнем, в прошлом привлекавшаяся к уголовной ответственности.

Анализ англоязычных источников показал, что в основном в публикациях изучается влияние отдельных социальных факторов на эпидемиологию туберкулеза, таких как статус питания (индекс массы тела и недостаточное питание) [17, 27, 28, 29], материальное благосостояние [30], курение и загрязнение воздуха в помещениях [31], перенаселенность и социально-экономический статус [32, 33].

В ряде исследований было показано комбинированное влияние статуса питания и демографических изменений, включая возрастную структуру и урбанизацию, на заболеваемость туберкулезом [17, 34].

Математическое моделирование является мощным и гибким инструментом для оценки потенциального воздействия различных факторов, в том числе при туберкулезе [35, 36].

Существующие модели эпидемиологии туберкулеза, по данным литературы, условно можно разделить на группы: модели естественной динамики туберкулезной эпидемии, не испытывающей воздействия какой-либо лечебной программы; модели для планирования противотуберкулезных программ, оценки их эффективности и последствий; модели совместного распространения и взаимодействия туберкулеза и ВИЧ/СПИД [37].

Наиболее распространенными моделями, в которых использовались социально-экономические факторы риска, были сравнительные модели динамической передачи ТБ среди населения и нединамические аналитические модели. Большинство исследований включали концептуальную основу для иллюстрации механики моделей и гипотез, лежащих в основе их исследовательских вопросов, и отражали основную особенность туберкулеза по

сравнению с острыми инфекционными заболеваниями – наличие длительного латентного периода [38–40].

Анализ публикаций, в которых проводилось математическое моделирование эпидемии туберкулеза с использованием социально-экономических факторов риска заболевания, показал, что эти исследования, в основном, основывались на данных литературы [28, 29], национальных обследований населения [27, 31] или общедоступных баз данных [27, 31]. Большинство исследований было откалибровано на основе оценок ВОЗ.

Зарубежные модели чаще всего использовали такие факторы, как недоедание и бедность. Эти исследования показали, что сокращение недоедания и повышение благосостояния существенно снизят заболеваемость туберкулезом.

Модель Oxlade et al. была стратифицирована по уровням недоедания по квартилям благосостояния. В этой модели было показано, что различные уровни питания приводили к изменениям в параметрах реактивации и прогрессирования туберкулеза [31].

Andrews et al. внедрили параллельную структуру для двух групп благосостояния в стандартную модель туберкулеза, чтобы изучить возможности вмешательств, нацеленных на бедных, и доказали, что приоритетное внимание к бедным может принести пользу в борьбе с туберкулезом [30].

Ackley et al. изучали модели, построенные на гипотетических сценариях изменения в восприимчивости к инфекции и прогрессировании заболевания [28].

Reeves et al. использовали эконометрический анализ для оценки изменений соответствующих параметров модели, контролирующей выявление случаев заболевания. Модель показала, что уменьшение финансирования борьбы с туберкулезом из-за экономического спада может привести к снижению выявления случаев туберкулеза и, как следствие, к более высокому уровню заболеваемости туберкулезом [41].

Bhunu et al. разделили население на «богатые» и «бедные» сообщества и сравнили воспроизводимость этих двух слоев. При этом они обнаружили, что перенаселенность, плохое питание, более низкий социально-экономический статус (непосредственные факторы) и сокращение обращаемости за лечением ухудшают эпидемиологическую ситуацию по туберкулезу [32].

В России разработке моделей эпидемиологии туберкулеза с использованием социально-экономических детерминант посвящены немногочисленные исследования, учитывающие целый ряд социально-экономических и демографических факторов.

В исследовании К.К. Авилова, А.А. Романюхи (2007) изучена математическая модель распространения туберкулеза с учетом влияния противотуберкулезных программ и миграционных процессов. Предложенная модель продемонстрировала неоднородность

областей России по заболеваемости туберкулезом и эффективности выявления больных, что важно для построения региональных противотуберкулезных программ [42].

Проведено моделирование распространения и контроля туберкулеза с учетом воспроизводства населения региона страны и импульсного изменения численности индивидуумов в дискретные моменты времени под влиянием различных факторов, в том числе социально-экономического характера. Авторами показаны решения модели, интерпретируемые как полное искоренение туберкулеза в регионе или поддержание численностей групп больных индивидуумов на некотором допустимом уровне [43].

Е.В. Елтошкиной, Т.В. Бодякиной (2017) [44] на примере Иркутской области была построена математическая модель влияния социальных, экологических факторов на заболеваемость туберкулезом. Авторами установлено, что на распространение туберкулеза оказывают влияние многочисленные факторы (безработица, доход ниже прожиточного минимума, среднедушевой денежный доход, количество врачебных амбулаторно-поликлинических учреждений, загрязнение атмосферного воздуха и др.). Основным фактором, влияющим на рост заболевания туберкулезом, является понижение среднедушевого денежного дохода населения.

Указанные исследования подтвердили актуальность математического моделирования для понимания эпидемиологии туберкулеза и правомерность использования в моделях социально-экономических детерминант.

Заключение. Исследования, представленные в обзоре, подтверждают мнение о том, что эпидемиология туберкулеза связана с социальными детерминантами. Наиболее значимыми социально-экономическими факторами являются бедность, отсутствие работы, низкий уровень образования, миграция, отсутствие постоянного места жительства, пребывание в исправительно-трудовых учреждениях, несбалансированное питание.

В настоящее время в России и мире наблюдается определенный диссонанс между большим числом исследований, оценивающих вклад социально-экономических факторов риска развития туберкулеза в эпидемиологию заболевания, и нехваткой исследований по математическому моделированию с применением указанных факторов при анализе эпидемиологии туберкулеза. При этом большинство моделей фокусируются на одном-двух факторах, среди которых доминируют статус питания и благосостояние. Недостаточно моделей, в которых используются сложные связи между несколькими социальными факторами и другими элементами, влияющими на эпидемиологию туберкулеза, а также с действиями системы здравоохранения в отношении лечения и профилактики туберкулеза. Моделирование эпидемии туберкулеза с использованием социально-экономических детерминант позволит расширить существующие научные данные и создать условия для

принятия взвешенных решений со стороны государства в отношении мер, противодействующих распространению заболевания.

Список литературы

1. World Health Organisation. The world health report 1998. Geneva: WHO, 1998. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/whr/1998/en/>. (дата обращения: 18.11.2020).
2. The Global TB Report. Geneva: WHO, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240013131>. (дата обращения: 18.11.2020).
3. Отраслевые и экономические показатели противотуберкулёзной работы в 2018–2019 гг. Аналитический обзор основных показателей и статистические материалы / Под ред. С.А. Стерликова. М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2020. 92 с.
4. Нечаева О.Б. Туберкулез в России. ЦНИИОиЗ, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://mednet.ru/images/materials/СМТ/tuberkulez-2019.pdf> (дата обращения: 18.11.2020).
5. Нечаева О.Б., Гордина А.В., Стерликов С.А., Кучерявая Д.А., Дергачёв А.В., Пономарёв С.Б., Бурыхин В.С. Ресурсы и деятельность противотуберкулёзных организаций Российской Федерации в 2018–2019 гг. (статистические материалы). М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2020. 99 с.
6. Баласанянц Г.С. Развитие эпидемического процесса при туберкулезе: влияние внешних и внутренних факторов // Инфекции и иммунитет. 2014. Спец. выпуск. С. 13-17.
7. Докторова Н.П. Клинико-экономическая эффективность лечения молодых больных инфильтративных деструктивным туберкулезом легких с разной степенью социальной адаптации диссертация: дис... канд. мед. наук. Москва, 2007. 135 с.
8. Данилов А.Н., Морозова Т.Н., Докторова Н.П. Динамика основных эпидемических показателей по туберкулезу в Саратовской области // Саратовский научно-медицинский журнал. 2014. Т. 10. № 2. С. 289-293.
9. Shimeles E., Enquesselassie F., Aseffa A., Tilahun M., Mekonen A., Wondimagegn G., Nailu T. Risk factors for tuberculosis: A case-control study in Addis Ababa, Ethiopia. PLoS One. 2019. vol. 14. no 4. P. e0214235.
10. Паролина Л.Е., Докторова Н.П., Данилов А.Н., Разина А.Ю. Социально-эпидемиологические проблемы и тенденции развития туберкулеза у лиц молодого возраста // Здравоохранение РФ. 2014. № 4. С. 50-54.
11. Lönnroth K., Jaramillo E., Williams B.G., Dye C., Raviglione M. Drivers of tuberculosis epidemics: the role of risk factors and social determinants. Soc Sci Med. 2009. no 12. P. 2240-2246.

12. Mitku A.A., Dessie Z.G., Muluneh E.K., Workie D.L. Prevalence and associated factors of TB/HIV co-infection among HIV Infected patients in Amhara region, Ethiopia. *Afr Health Sci.* 2016. vol. 16. no 2. P. 588-595.
13. Pradipta I.S., Forsman L.D., Eelko Hak J.B., Alffenaar J.-W. Risk factors of multidrug-resistant tuberculosis: A global systematic review and meta-analysis. *Journal of Infection.* 2018. vol. 77. no 6. P. 469-478.
14. Отчет о ходе реализации Плана действий по борьбе с туберкулезом для Европейского региона ВОЗ на 2016–2020 ггг, Европейский региональный комитет, 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/378260/68wd08r_A_Progress_ReportTBAP_180412.pdf (дата обращения: 18.11.2020).
15. Паролина Л.Е. Социальные проблемы трудовых мигрантов, больных туберкулезом // Актуальные вопросы эпидемиологии, клиники, диагностики и лечения туберкулеза: материалы научно-практической конференции. Саратов: Издательство СГМУ, 2009. С. 69-73.
16. Богородская Е.М, Белиловский Е.М., Борисов С.Е., Рыбка Л.Н., Петров В.А., Матвеева М.В. Заболеваемость туберкулезом мигрирующего населения и лиц БОМЖ в городе Москве // Туберкулез и социально значимые заболевания. 2014. № 4. С. 3-8.
17. Dye C., Bourdin Trunz B., Lönnroth K., Roglic G., Williams B.G. Nutrition, diabetes and tuberculosis in the epidemiological transition. *PLoS ONE.* 2011. no 6. P. e21161.
18. Нечаева О.Б. Туберкулез в Российской Федерации: заболеваемость и смертность // Медицинский алфавит. Эпидемиология и гигиена 2013. № 4. С. 7-12.
19. Кононец А.С. Организация лечения больных туберкулезом в уголовно-исправительной системе // Химиотерапия туберкулеза: Руководство для врачей. М., 2000. Гл.4. С. 165-168.
20. Васильева И.А., Стерликов С.А., Белиловский Е.М., Борисов С.Е., Пономарёв С.Б. Туберкулез в учреждениях уголовно-исполнительной системы в странах Европы и в Российской Федерации // Туберкулёз и болезни лёгких. 2018. Т. 96. № 5. С. 6-13.
21. Tuberculosis surveillance and monitoring report in Europe 2017: surveillance report. ECDC, 2017. 150 p.
22. Коломиец В.М., Белоконова Л.В., Корнеева С.И., Стерликов С.А. Туберкулез в пенитенциарных учреждениях России: этапы и эффективность решения проблем // Туберкулёз и болезни лёгких. 2020. Т. 98. № 3. С. 57-64.
23. Кулабухова Е.И. Влияние медико-биологических и социально-эпидемиологических факторов на риск развития туберкулеза у пациентов с ВИЧ-инфекцией: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2020. 119 с.

24. Мельниченко О.А., Романюха А.А. Модель эпидемиологии туберкулеза Анализ данных и оценка параметров // Математическое моделирование. 2008. Т. 20. № 8. С. 107-128.
25. Кульчавеня Е.В., Осадчий А.В., Рейхруд Т.А., Нарышкина С.Л., Кожевникова Е.В., Рейхруд М.В. Социально-демографическая характеристика больных туберкулезом легких // Journal of Siberian Medical Sciences. 2013. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=1154 (дата обращения: 18.11.2020).
26. Сысоев П.Г., Соловьева Ю.В., Шаклеина Л.А. Медико-социальный портрет больного туберкулезом // Синергия наук. 2018. № 22. С. 1307-1311. [Электронный ресурс]. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article2183> (дата обращения: 18.11.2020).
27. Lin H.-H., Murray M., Cohen T., Colijn C., Ezzati M. Effects of smoking and solid-fuel use on COPD, lung cancer, and tuberculosis in China: a time-based, multiple risk factor, modelling study. *Lancet*. 2008. no 372. P. 1473-1483.
28. Ackley S.F., Liu F., Porco T.C., Pepperell C.S. Modeling historical tuberculosis epidemics among Canadian First Nations: effects of malnutrition and genetic variation. *Peer J*. 2015. no 3. P. e1237.
29. Odone A., Houben R.M., White R.G., Lönnroth K. The effect of diabetes and undernutrition trends on reaching 2035 global tuberculosis targets. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2014. no 2. P. 754-764.
30. Andrews J.R., Basu S., Dowdy D.W., Murray M.B. The epidemiological advantage of preferential targeting of tuberculosis control at the poor. *Int. J. Tuberc. Lung Dis*. 2015. no 19. P. 375-380.
31. Oxlade O., Huang C.C., Murray M. Estimating the impact of reducing under-nutrition on the tuberculosis epidemic in the central eastern states of India: a dynamic modeling study. *PLOS ONE*. 2015. no 10. P. e0128187.
32. Bhunu C.P., Mushayabasa S., Smith R.J. Assessing the effects of poverty in tuberculosis transmission dynamics. *Applied Mathematical Modelling*. 2012. no 36. P. 4173-4185.
33. Maciel E.L., Pan W., Dietze R., Peres R.L., Vinhas S.A., Ribeiro F.K., Palaci M., Rodrigues R.R., Zandonade E., Golub J.E. Spatial patterns of pulmonary tuberculosis incidence and their relationship to socio-economic status in Vitoria, Brazil. *Int. J. Tuberc. Lung Dis*. 2010. vol. 14. no 11. P. 1395-402.
34. Rasanathan K., Sivasankara Kurup A., Jaramillo E., Lönnroth K. The social determinants of health: key to global tuberculosis control. *Int. J. Tuberc. Lung Dis*. 2011. vol. 15. Suppl 2. P. S30-S36.
35. Garnett G.P., Cousens S., Hallett T.B., Steketee R., Walker N. Mathematical models in the evaluation of health programmes. *Lancet*. 2011. no 378. P. 515-525.

36. TB Modelling and Analysis Consortium. TB MAC 7 Report. Modelling socio-economic determinants and interventions for TB—what do we know, where do we go? New York, NY, USA: TB MAC, 2015. [Электронный ресурс]. URL: http://tb-mac.org/wp-content/uploads/2018/06/TB-Mac-Meeting-7-Report-2015_12_05-Final.pdf (дата обращения 18.11.2020).
37. Мельниченко О.А. Моделирование распространения туберкулеза и анализ факторов, влияющих на эпидемический процесс: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2008. 106 с.
38. Pedrazzoli D., Boccia D., Dodd P.J., Lönnroth K., Dowdy D.W., Siroka A., Kimerling M.E., White R.G., Houben R. Modelling the social and structural determinants of tuberculosis: opportunities and challenges. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* 2017. vol. 21. no 9. P. 957-964.
39. Melnichenko O.A., Romanyukha A.A. A model of tuberculosis epidemiology: estimation of parameters and analysis of factors influencing the dynamics of an epidemic process. *Rus. J. Num. Anal. Math Modelling.* 2008. vol. 23. no 1. P. 63-75.
40. Boccia D., Rudgard W., Shrestha S., Lönnroth K., Eckhoff P., Golub J., Sanchez M., Maciel E., Rasella D., Shete P., Pedrazzoli D., Houben R., Chang S., Dowdy D. Modelling the impact of social protection on tuberculosis: the S-PROTECT project. *BMC Public Health.* 2018. vol. 18. no 1. P. 786.
41. Reeves A., Basu S., McKee M., Sandgren A., Stuckler D., Semenza J.C. Tuberculosis control and economic recession: longitudinal study of data from 21 European countries, 1991–2012. *Bull World Health Organ.* 2015. vol. 93. no 6. P. 369-379.
42. Авилов К.К., Романюха А.А. Математическое моделирование процессов распространения туберкулеза и выявления больных // *Автомат. и телемех.* 2007. № 9. С. 145-160.
43. Перцев Н.В. Непрерывно-дискретная модель распространения и контроля туберкулеза // *Сиб. журн. индустр. матем.* 2017. Т. 17. № 3. С. 86–97.
44. Елтошкина Е.В., Бодякина Т.В. Построение модели влияния социальных факторов на динамику заболевания туберкулезом // *Проблемы и перспективы формирования здорового образа жизни в информационном обществе: сборник статей междунар. науч.-практ. конф.* Иркутск: Мегапринт, 2017. С. 30-37. [Электронный ресурс]. URL: http://195.206.39.221/fulltext/i_002993.pdf#page=30 (дата обращения: 18.11.2020).