

УДК 616-002.5-053.2+616.2-022:578.834.1

DOI: 10.34215/1609-1175-2022-4-43-48



Эпидемические показатели туберкулеза у детей до и после пандемии COVID-19 в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации: прогноз и моделирование

И.Ф. Довгальук¹, Д.А. Кудлай^{2,3}, А.А. Старшинова⁴¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия² Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия³ Институт иммунологии, Москва, Россия⁴ Национальный медицинский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Цель: оценка изменений эпидемических показателей туберкулезной инфекции у детей в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации (СЗФО РФ) до и после пандемии COVID-19 с проведением математического моделирования и прогноза данных показателей в ближайшие годы. **Материалы и методы.** Проведен анализ основных эпидемических показателей по туберкулезу согласно данным федеральной статистики за период с 2009 по 2021 год. Выполнено математическое моделирование эпидемических показателей в ближайшие годы с учетом скрининга населения на туберкулез с применением рентгенологического обследования. Статистический анализ проводился с использованием свободной программной среды вычислений R (v.3.5.1) и коммерческого пакета программного обеспечения Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Statistics for Windows, версия 24.0, IBM Corp., 2016). Прогнозирование временных рядов проводилось с помощью языка программирования статистических расчетов R версии 4.1.2 и пакета bsts версии 0.9.8. **Результаты исследования.** В рамках проведенного исследования установлено, что значение среднего для регрессионного коэффициента единственного предиктора в модели заболеваемости туберкулезом составляет 0,0098. Доказано, что значимость скрининга с рентгенологического обследования, как предиктора заболеваемости туберкулезом у детей должен быть не менее 60% населения, что позволяет контролировать эпидемическую ситуацию в стране с населением более 140 млн человек. **Заключение.** Оценка корреляционной зависимости между заболеваемостью туберкулезом у детей в РФ выявила положительную корреляционную зависимость в динамике с учетом скрининга на туберкулез не менее 60% населения. При существующей системе обследования на туберкулез ожидается продолжающееся улучшение эпидемической ситуации, несмотря на ограничения на фоне пандемии COVID-19. Следует отметить, что в регионах СЗФО охват профилактическим обследованием на туберкулез достаточный только в Калининградской, Мурманской и Псковской областях.

Ключевые слова: туберкулез, эпидемические показатели, дети, математическое моделирование, территории Северо-Западного региона

Поступила в редакцию: 11.11.22. Получена после доработки: 16.11.22. Принята к печати: 21.11.22

Для цитирования: Довгальук И.Ф., Кудлай Д.А., Старшинова А.А. Эпидемические показатели туберкулеза у детей до и после пандемии COVID-19 в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации: прогноз и моделирование. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2022;4:43–48. doi: 10.34215/1609-1175-2022-4-43-48

Для корреспонденции: Старшинова Анна Андреевна – доктор медицинских наук, профессор кафедры факультетской терапии, начальник Управления научными исследованиями ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России (197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова д. 2); ORCID: 0000-0002-9023-6986; тел.: +7 (905) 204-38-61; e-mail: starshinova_777@mail.ru, starshinova_aa@almazovcentre.ru

Tuberculosis prevalence in children in the Northwestern Federal District of Russia before and after COVID-19 pandemic: prognosis and epidemiological models

I.F. Dovgalyuk¹, D.A. Kudlay^{2,3}, A.A. Starshinova⁴¹ Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint-Petersburg, Russia; ² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University,Moscow, Russia; ³ Institute of Immunology, Moscow, Russia; ⁴ Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

Aim. To assess changes in the epidemic indicators of tuberculosis infection (TB) in children in the Northwestern Federal District of Russia before and after the COVID-19 pandemic based on mathematical modeling and forecasting. **Materials and methods.** The main epidemiological indicators of TB were analyzed using the official statistical data for 2009–2021. A mathematical forecasting of epidemiological indicators was performed based on chest X-ray screening for TB. A statistical analysis was carried out using the software environment R (v.3.5.1) and the commercial software Statistical Package for Social Sciences (SPSS Statistics for Windows, version 24.0, IBM Corp., 2016). Time series forecasting was performed using the programming language of statistical calculations R, version 4.1.2 and the bsts package, version 0.9.8. **Results.** The mean regression coefficient of a single predictor was found to differ in a model for TB morbidity in children is 0.0098. X-ray screening for TB was established to be a significant mortality predictor in children. At least 60% of the population should undergo TB screening in order for TB prevalence to be controlled in a country with a population above 140 million people. **Conclusions.** The conducted study revealed a positive correlation between the incidence of tuberculosis in children in Russia and TB screening in at least 60% of the population. Under the current TB screening system in Russia, the epidemic TB situation will continue to improve, despite COVID-19 restrictions.

At the same time, in the Northwestern Federal District of Russia, preventive TB screening can be considered sufficient only in the Kaliningrad, Murmansk, and Pskov Oblasts.

Keywords: tuberculosis, epidemic indicators, children, epidemiological models, Northwestern Russia

Received 11 November 2022. Revised 16 November 2022. Accepted 21 November 2022

For citation: Dovgalyuk I.F., Kudlay D.A., Starshinova A.A. Tuberculosis prevalence in children in the Northwestern Federal District of Russia before and after COVID-19 pandemic: prognosis and epidemiological models. *Pacific Medical Journal*. 2022;4:43–48. doi: 10.34215/1609-1175-2022-4-43-48

Corresponding author: Anna A. Starshinova, MD, Professor of the Department of Faculty Therapy, Head of the Department of Scientific Research of the Almazov National Medical Research Centre (2, Akkuratova str., Saint-Petersburg, 197341, Russia); ORCID: 0000-0002-9023-6986; тел.: +7 (905) 204-38-61; e-mail: starshinova_777@mail.ru, starshinova_aa@almazovcentre.ru

Согласно Докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о глобальной борьбе с туберкулезом 2021 г., пандемия COVID-19 серьезно подорвала успехи, достигнутые в борьбе с этим заболеванием во всем мире: впервые за более чем десять лет показатели смертности от туберкулеза возросли [1].

В 2020 г. по сравнению с 2019 г. возросло количество умерших туберкулезных больных, значительно снизилась численность людей, проходящих диагностику, лечение или профилактическую терапию туберкулеза, резко сократились общие параметры финансирования основных видов противотуберкулезной помощи [2].

Начиная с 2018 года ВОЗ обращает особое внимание на проблемы выявления и лечения туберкулеза у детей. В 2020 году от туберкулеза умерло 226 000 детей в возрасте до 15 лет. Моделирование показало, что 80% смертей от туберкулеза приходится на детей в возрасте до 5 лет, а также 96% детей, умерших от туберкулеза, не получали лечения [3].

Меры борьбы с туберкулезом, предпринятые за последние годы в Российской Федерации, были максимально эффективны. Достигнутые успехи также отразились и на снижении заболеваемости туберкулезом у детей и подростков, которая в 2020 году, по данным Федерального центра мониторинга, составила 6,2 и 12,7 на 100 тыс. населения соответственно [4].

Внедренные ранее новые методы диагностики туберкулезной инфекции (проба с аллергеном туберкулезным рекомбинантным, ELISPOT, квантифероновый тест), активное применение компьютерной томографии молекулярно-генетических методов позволили повысить эффективность выявления и верификации туберкулеза у детей, что отразилось на эпидемических показателях заболевания до пандемии COVID-19 [5, 6].

По данным проведенных исследований в различных странах мира, было доказано снижение активности по выявлению и лечению больных туберкулезом в периоды роста заболеваемости COVID-19. Исследователи отмечают снижение выявления больных туберкулезом до 84% и лиц с латентной туберкулезной инфекции до 95% [7], что может прогностически отрицательно сказаться на росте заболеваемости и смертности от туберкулеза.

Известно, что эпидемические показатели туберкулеза у детей от 0 до 14 лет и подростков наиболее чутко реагируют на изменение общей эпидемиологии туберкулеза в регионе и пропорционально снижаются или повышаются в зависимости от ее изменения [8, 9].

Очевидно, что получение данных о наиболее эпидемически неблагоприятных регионах позволит принять меры по выявлению причин и факторов, влияющих на сложившуюся ситуацию.

Исторически в РФ благодаря поддержке государства проводится скрининг туберкулезной инфекции у детей с применением иммунологических тестов: проба Манту с 2 ТЕ и проба с аллергеном туберкулезным рекомбинантным (проба с Диаскинтестом®) [5, 6]. У взрослого населения в зависимости от эпидемической ситуации проводится один или два года с применением рентгенографии органов грудной клетки [10, 11].

Согласно данным официальной статистики, до пандемии COVID-19 охват профилактическим обследованием населения на туберкулез увеличился с 62,5 до 73,7% населения.

С 2019 по 2021 год в РФ отмечалось объективное снижение данного показателя до 66,7 в 2020 году и далее с некоторым повышением в 2021 году (70,8%), что связано объективными ограничениями в условиях пандемии [11, 12].

В сравнении с другими регионами РФ показатель заболеваемости детей и подростков в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) (дети от 0 до 14 лет – 4,2 и подростков в возрасте от 15 до 17 лет – 6,7 на 100 тыс. населения) и наиболее сопоставим с данными по Центральному федеральному округу [12].

Целью настоящего исследования явилась оценка изменений эпидемических показателей туберкулезной инфекции у детей в СЗФО РФ до и после пандемии COVID-19 с проведением математического моделирования и прогноза данных показателей в ближайшие годы.

Материалы и методы

Проведен анализ основных эпидемических показателей туберкулеза у детей по данным федеральной статистики (формы № 8 и 33) за период с 2009 по 2021 год. Ежегодные показатели оценены на 100 тысяч среднегодового населения, в том числе детского (от 0 до 17 лет). Информация была получена из открытых демографических данных государственной статистики (<https://www.fedstat.ru>). Заболеваемость в каждом отдельном регионе РФ рассчитывали отдельно в соответствии с данными официально изданных статистических материалов РФ.

Проведенный ранее корреляционный анализ наиболее значимых эпидемических показателей выявил положительную корреляционную зависимость между заболеваемостью населения, заболеваемостью детей в возрасте от 0 до 17 лет и показателем охвата населения профилактическими осмотрами на туберкулез [12].

Сопоставление данных профилактического обследования населения в СЗФО с показателями заболеваемости взрослого и детского населения представлены на рис. 1.

Охват населения профилактическим обследованием населения на туберкулез (ПОТ) значительно отличается в различных регионах СЗФО, что может быть неблагоприятным фактором для последующего роста заболеваемости туберкулезом детского населения.

Прогнозирование временных рядов проводилось с помощью статистических расчетов R версии 4.1.2 (<https://www.R-project.org>) и пакета bsts версии (0.9.8 <https://www.unofficialgoogledatascience.com/2017/07/fitting-bayesian-structural-time-series.html> (Accessed Jul 27, 2022)). Данный пакет основывается на методологии байесовских структурных моделей временных рядов (bayesian structural time series), где временной ряд рассматривался как сумма различных компонентов: тренда, сезонности, эффектов предикторов.

В качестве моделей-кандидатов для прогнозирования временных рядов заболеваемости туберкулезом детей (от 0 до 17 лет) рассматривались модели с использованием следующих компонентов:

- только с трендом (локальным линейным или полулокальным линейным);
- с трендом и авторегрессией;
- с трендом, авторегрессией и предиктором – коэффициентом охвата населения профилактическими осмотрами на туберкулез с проведением рентгенологического обследования.

Локальный линейный тренд описывается средним уровнем временного ряда и коэффициентом его прироста/убыли. Компонент полулокального линейного тренда отличается от обычного линейного тренда тем, что коэффициент прироста/убыли среднего уровня

ряда регулируется авторегрессией первого порядка (с лагом, равным 1) [13].

В ходе подгонки каждой модели на тренировочных данных, представлявших собой полные временные ряды указанных эпидемических показателей, вычислялись ошибки следующего шага (one-step-ahead errors).

Выборка для определения ошибок прогнозов на тестовых данных не выделялась из-за слишком малых длин анализируемых временных рядов (2009–2021 гг., 13 лет). Динамика эпидемических показателей за период 2020–2021 гг. отличалась от динамики в предыдущие периоды в связи с отсутствием проведения адекватного обследования на туберкулез в условиях ограничений во время пандемии COVID-19. Показатели данного временного периода не были использованы в качестве тестовых данных.

Для описательного анализа используемых временных рядов эпидемических показателей использовались значения темпа прироста/убыли. Они вычислялись по формуле:

$$\text{Темп прироста/убыли} = (X_t / X_{\text{пр.}} \times 100\%) - 100\%,$$

где X_t – значение показателя в текущий момент времени, $X_{\text{пр.}}$ – значение показателя в предыдущий момент времени, которая разработана и апробирована авторами [12].

Во всех случаях использовался темп прироста/убыли относительно предыдущего года. Для описания уровней заболеваемости детей в 2021 г. использовался темп убыли относительно 2019 года. В качестве метрики для сравнительной оценки качества моделей использовалась статистика Харви (Harvey's goodness of fit statistic) [13], зависящая от ошибок следующего шага и числа наблюдений в анализируемом временном ряду. При отрицательных значениях статистики Харви модель отвергалась; наиболее качественной считалась модель с самым высоким положительным значением статистики.

Прогнозирование временных рядов заболеваемости туберкулезом детей (от 0 до 17 лет) выполнялось на горизонте 5 лет. В случае если добавление

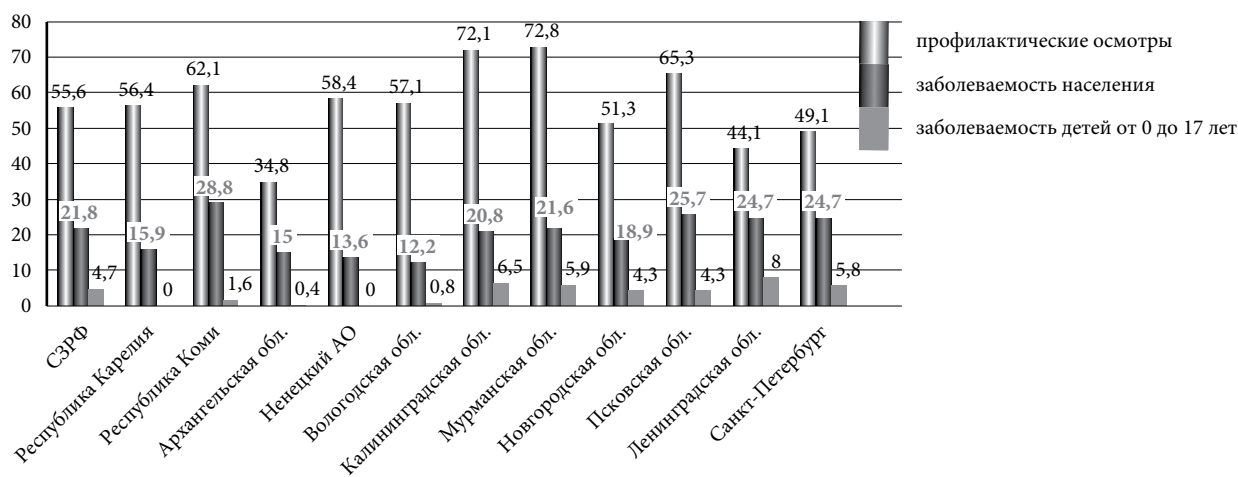


Рис. 1. Сопоставление данных заболеваемости взрослого и детского населения с данными об охвате ПО населения в 2021 году.

Таблица

Прогнозные значения коэффициента охвата профилактическими осмотрами на туберкулез для разработанных сценариев

Сценарий	Годы и процент охвата населения профилактическим обследованием на туберкулез				
	2022	2023	2024	2025	2026
Базовый (продолжение текущего тренда)	75,89	76,74	77,04	77,66	78,15
Консервативный (резкое снижение)	47,37	58,95	60,00	62,11	63,16
Оптимистический (резкое повышение)	82,11	85,26	86,32	88,42	89,47

предиктора в модель улучшало ее и вероятность включение его в модель была не нулевой, влияние предиктора на целевой показатель считалось доказанным. В таком случае прогнозирование величин целевого показателя на ближайшие 5 лет проводилось по трем сценариям:

- базовый – сохранение текущей динамики коэффициента охвата профилактическими осмотрами на туберкулез;
- консервативный – резкое снижение коэффициента охвата профилактическими осмотрами на туберкулез;
- оптимистический – резкое повышение коэффициента охвата профилактическими осмотрами на туберкулез.

Для базового сценария использовался прогноз коэффициента охвата профилактическими осмотрами на туберкулез (ПО) на горизонте 5 лет, полученный на модели временного ряда с использованием линейного тренда и авторегрессии с максимальным лагом, равным 3. Число итераций алгоритма составило 10 тысяч, значение статистики Харви – 0,1121245 ($\approx 0,11$).

Прогнозируемые сценарии с использованием экспертных врачебных оценок фактического охвата профилактического обследования на туберкулез на данном горизонте представлены в таблице.

- с полулокальным линейным трендом (модель № 1);
- с полулокальным линейным трендом и предиктором (модель № 2).

Значения статистики Харви для указанных моделей составили:

- для модели № 1 – 0,07766001 ($\approx 0,078$);
- для модели № 2 – 0,07901242 ($\approx 0,079$).

Согласно полученным данным, модель № 2 является оптимальной. Добавление предиктора к модели № 2 позволило незначительно увеличить точность модели. Вероятность включения данного предиктора в отдельные реализации модели составила 35,1%. На основе модели № 2 далее строились прогнозы заболеваемости туберкулезом детей.

Полученные результаты прогноза заболеваемости туберкулезом детей при базовом, консервативном и оптимистичном сценариях представлены на рис. 2–4.

При всех сценариях заболеваемости туберкулезом у детей, независимо от охвата ПОТ, модель прогнозирует снижение показателя. При базовом сценарии динамики охвата ПОТ прогноз заболеваемости детей в период с 2022 по 2026 г. характеризуется уверенным нисходящим трендом с темпом убыли в пределах 11,4–20,4% и средним темпом убыли 15,6% за год (рис. 2). При консервативном сценарии динамики охвата ПОТ данный показатель продолжит снижение с темпом убыли в пределах 11,1–20,6% и средним темпом убыли 15,6% за год (рис. 3). Сопоставимые данные получены в условиях применения оптимистичного сценария по охвату населения ПОТ, где заболеваемость туберкулезом детей также продолжит снижение с темпом

Результаты исследования

Проведенный анализ позволил выделить две модели сценариев, которые показали минимальную точность:

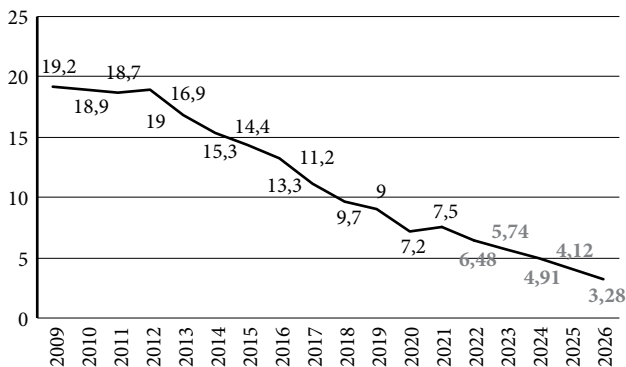


Рис. 2. Прогноз заболеваемости туберкулезом детей (0–17 лет) в РФ при базовом сценарии.

Примечание: с 2009 по 2021 год – исторические данные; с 2022 по 2026 год – базовый прогноз.

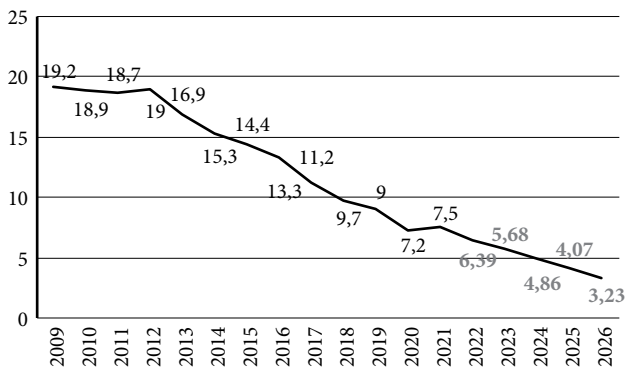


Рис. 3. Прогноз заболеваемости туберкулезом детей (0–17 лет) в РФ при консервативном сценарии.

Примечание: с 2009 по 2021 год – исторические данные; с 2022 по 2026 год – консервативный прогноз.

убыли в пределах 11,4–20,0% и средним темпом убыли 15,4% за год (рис. 4).

Следует отметить, что в рамках проведенного исследования установлено, что значение среднего для регрессионного коэффициента единственного предиктора в модели заболеваемости туберкулезом составляет 0,0098. Доказано, что значимость скрининга с рентгенологического обследования как предиктора заболеваемости туберкулезом у детей должен быть не менее 60% населения (рентгенологическое обследование у взрослых и иммунологические пробы у детей). Данный объем обследования является достаточным и позволяет контролировать эпидемическую ситуацию в стране с населением более 140 млн человек. Однако согласно данным, представленным на рис. 1, практически во всех регионах СЗФО, за исключением Калининградской, Мурманской и Псковской областей, охват профилактическим обследованием на туберкулез был менее 60%.

Обсуждение полученных данных

Пандемия COVID-19 оказала влияние на борьбу с туберкулезом во всех странах, с серьезными последствиями по распространению инфекции и прогностическим повышением числа новых случаев заболевания в ближайшие годы [9, 14].

До недавнего времени рентгенография считалась наиболее эффективным методом для скрининга туберкулезной инфекции [15]. Однако применение комплексного обследования с включением цифровой рентгенограммы и иммунологических проб у лиц с клиническими проявлениями заболевания в условиях мегаполиса, оказалось более эффективным по сравнению с тотальным скринингом населения с применением только рентгенологического обследования у лиц без наличия показаний к обследованию [8, 9].

В настоящем исследовании было показано, что при сохранении любого из предлагаемых подходов и сценариев заболеваемость туберкулезом у детей в возрасте от 0 до 17 лет будет планомерно снижаться к 2026 году, но при сохранении охвата профилактического обследования на туберкулез не менее 60% населения.

Заключение

Улучшение эпидемической ситуации будет сохраняться при охвате ПОТ на уровне не менее 60% в течение пятилетнего периода. Однако в последующем, при накоплении резервуара инфекции и увеличении числа новых случаев заболевания, в долгосрочном периоде эпидемическая ситуация может ухудшиться. При рассмотрении полученных результатов моделирования относительно показателей профилактического обследования на туберкулез в регионах СЗФО можно прогнозировать повышение заболеваемости у детей во всех регионах за исключением Калининградской, Мурманской и Псковской областей.

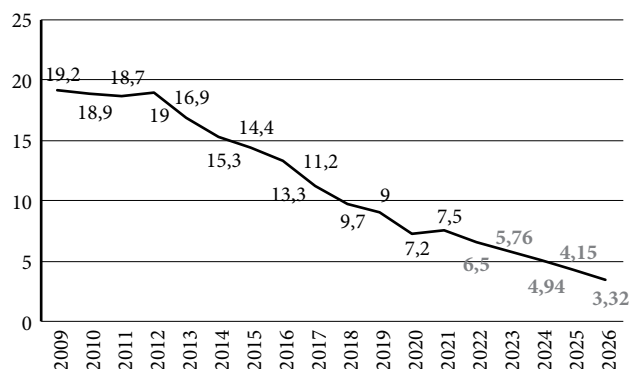


Рис. 4. Прогноз заболеваемости туберкулезом детей (0–17 лет) в РФ при оптимистическом сценарии.

Примечание: с 2009 по 2021 год – исторические данные; с 2022 по 2026 год – оптимистический сценарий.

Следует отметить, что анализ эпидемических показателей за 12 лет проведен только с учетом одного фактора – охват профилактическими осмотрами населения на туберкулез. С целью повышения точности моделирования и прогнозирования эпидемической ситуации туберкулеза необходим поиск дополнительных показателей, которые позволят с большей достоверностью оценить ее изменение.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования: авторы заявляют о финансировании проведенного исследования из собственных средств.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала – САА

Написание текста – САА, ДИФ

Редактирование – КДА

Литература / References

1. WHO global lists of high burden countries for TB, multidrug/rifampicin-resistant TB (MDR/RR-TB) and TB/HIV, 2021–2025. – 2021. – 16 p. ISBN 978-92-4-002943-9.
2. McQuaid CF, McCreesh N, Read JM, Sumner T, Houben RMGJ, White RG, Harris RC. The potential impact of COVID-19-related disruption on tuberculosis burden. *Eur Respir J*. 2020;56:2001718; doi: 10.1183/13993003.01718-2020
3. WHO consolidated guidelines on tuberculosis. Module 5: management of tuberculosis in children and adolescents. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN: 978-92-4-004676-4.
4. Нечаева О.Б. Состояние и перспективы противотуберкулезной службы России в период COVID-19. *Туберкулез и болезни лёгких*. 2020;98(12):7–19. [Nechaeva OB. The state and prospects of the anti-tuberculosis service in Russia during the period of COVID-19. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020;98(12):7–19 (In Russ.)]. doi: 10.21292/2075-12302020-98-12-7-19
5. Довгалюк И.Ф., Старшинова А.А., Галкин В.Б., Кудлай Д.А., Яблонский П.К. Туберкулез у детей в Северо-Западном регионе Российской Федерации: эпидемиология, эффективность профилактических и диагностических и мероприятий. *Педиатрия им. Сперанского*. 2019;98(3):274–9. [Dovgalyuk IF, Starshinova AA, Galkin VB, Beltyukov MV, Kudlay DA,

- Yablonsky PK. Tuberculosis in children in the Northwestern Region of the Russian Federation: Epidemiology and diagnostic measures efficacy. *Pediatrics n.a. G.N. Speransky*. 2019;98(3):274–9 (In Russ.)) doi: 10.24110/0031403X-2019-98-3-274-279
6. Старшинова А.А., Кудлай Д.А., Довгальук И.Ф., Басанцова Н.Ю., Зинченко Ю.С., Яблонский П.К. Эффективность применения новых методов иммунодиагностики туберкулезной инфекции в Российской Федерации (обзор литературы). *Педиатрия им. Сперанского*. 2019;4:229–35. [Starshinova AA, Kudlay DA, Dovgalyuk IF, Basantsova NYu, Zinchenko YuS, Yablonsky PK. The effectiveness of the use of new methods of immunodiagnosics of tuberculosis infection in the Russian Federation (literature review). *Pediatrics n.a. G.N. Speransky*. 2019;4:229–35 (In Russ.)). doi: 10.24110/0031-403X-2019-98-4-229-235
7. Comella-del-Barrio P, De Souza-Galvão ML, Prat-Aymerich C, Domínguez J. Impact of COVID-19 on Tuberculosis Control. 2021;57:S2. doi: 10.1016/j.arbres.2020.11.016
8. Aksenova VA, Baryshnikova LA, Klevno NI, Kudlay DA. Screening for tuberculosis infection in children and adolescents in Russia – past, present, future. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2019;97(9):59–67. (In Russ.) doi: 10.21292/2075-1230-2019-97-9-59-67
9. Слогодская Л.В., Богородская Е.М., Сенчихина О.Ю., Никитина Г.В., Кудлай Д.А. Формирование групп риска заболевания туберкулезом при различных иммунологических методах обследования детского населения. *Российский педиатрический журнал*. 2017;20(4):207–13. [Slogotskaya LV, Bogorodskaya EM, Senchikhina OYu, Nikitina GV, Kudlay DA. Formation of risk groups for tuberculosis in various immunological methods for examining the child population. *Russian pediatric journal*. 2017;20(4):207–13 (In Russ.)). doi:10.18821/15609561-2017-20-4-207-213
10. Yablonskii PK, Vizel AA, Galkin VB, Shulgina MV. Tuberculosis in Russia. Its history and its status today. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015;191:372–6.
11. Туберкулез в Российской Федерации 2011 г. Аналитический обзор статистических показателей, используемых в Российской Федерации и в мире. М.: ООО «Издательство «Триада», 2015. 280 с. [Tuberculosis in the Russian Federation 2011. Analytical review of statistical indicators used in the Russian Federation and in the world. Moscow: Triada, 2015. 280 p. (In Russ.)]
12. Старшинова А.А., Довгальук И.Ф., Кудлай Д.А., Бельтюков М.В., Яблонский П.К. Туберкулез у взрослых и детей в Северо-Западном федеральном округе: динамика эпидемиологических показателей и критерии их оценки. *Туберкулез и болезни легких*. 2022;100(9):46–58. [Starshinova AA, Dovgalyuk IF, Kudlay DA, Beltyukov MV, Yablonskiy PK. Tuberculosis in adults and children in the Northwestern Federal District: Changes in epidemiological rates and criteria for their assessment. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2022;100(9):46–58 (In Russ.)). doi: 10.21292/2075-12302022-100-9-46-58
13. Harvey AC. *Forecasting, structural time series models, and the Kalman filter*. Cambridge University Press, 1989:268 p.
14. Glaziou P. Predicted impact of the COVID-19 pandemic on global tuberculosis deaths in 2020. *medRxiv and bioRxiv*. doi: 10.1101/2020.04.28.20079582
15. Qin ZZ, Ahmed S, Sarker SM, Paul K, Sikder SA, Naheyant T, Barrett R, Sayera Banu S, Creswell J. Tuberculosis detection from chest x-rays for triaging in a high tuberculosis burden setting: an evaluation of five artificial intelligence algorithms. *Lancet Digit Health*. 2021;3:e543–54. doi: 10.1016/S2589-7500(21)00116-3