

© Мельникова Е.Н., 2024

УДК 614.446.3; 57.032



Прогнозирование эпидемического процесса ВИЧ-инфекции инструментами ARIMA и Microsoft Excel

Е.Н. Мельникова

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет»,
ул. Одесская, д. 54, г. Тюмень, 625023, Российская Федерация

Резюме

Введение. Эпидемиологическая ситуация по ВИЧ-инфекции в Российской Федерации, в частности Тюменской области, остается весьма напряженной. Особое место в эпидемиологии ВИЧ-инфекции в силу неопределенности обстановки занимают моделирование и прогнозирование эволюции эпидемии.

Цель исследования: на основании ретроспективного анализа заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Тюменской области в период с 1993 по 2020 г. выполнить прогнозирование эпидемического процесса на период 2021–2025 гг. двумя различными инструментами (ARIMA и Microsoft Excel) и сравнить полученные данные с фактическими в 2021–2023 гг.

Материалы и методы. В работе использован комплекс эпидемиологических, статистических, математических методов исследований. Для прогнозного моделирования применены иерархические модели семейства ARIMA с включением 2 уровней иерархии: район, город. Для построения полиномиальной линии тренда использована программа Microsoft Excel. Период выполнения данного исследования: март – май 2021 года.

Результаты. На основании данных, полученных в модели ARIMA, составлена картограмма прогноза заболеваемости. Согласно фактическим данным, заболеваемость ВИЧ-инфекцией в 2021–2022 гг. в Тюменской области составила 67,9 и 71,4 на 100 тысяч населения соответственно. Прогнозируемое значение в 2021 году составило 52 на 100 тыс. населения (предиктивный интервал PI 80 % – 29–76 на 100 тыс. населения, PI 95 % – 16–89 на 100 тыс. населения). При построении полиномиальной линии тренда (коэффициент аппроксимации $R^2 = 0,7497$) в регионе спрогнозирован рост заболеваемости ВИЧ.

Заключение. При сравнении двух методик прогнозирования данные, полученные в прогнозировании с использованием модели ARIMA, в большей степени соответствуют фактическим. При сравнении двух методик преимуществом в прогнозировании обладает модель ARIMA.

Ключевые слова: ВИЧ, прогнозирование, ARIMA, картограмма прогнозов заболеваемости, городское и сельское население.

Для цитирования: Мельникова Е.Н. Прогнозирование эпидемического процесса ВИЧ-инфекции инструментами ARIMA и Microsoft Excel // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 7. С. 68–75. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-7-68-75

Forecasting the Epidemic Process of HIV Infection using ARIMA and Microsoft Excel Tools

Elena N. Melnikova

Tyumen State Medical University, 54 Odesskaya Street, Tyumen, 625023, Russian Federation

Summary

Relevance: The epidemiological situation on HIV infection in the Russian Federation, in particular in the Tyumen Region, remains very tense. Due to the uncertainty of the situation, modeling and forecasting the evolution of the epidemic occupy a special place in the epidemiology of the disease.

Objective: To forecast the epidemic process for the years 2021 to 2025 based on the results of a retrospective analysis of HIV incidence in the Tyumen Region in 1993–2020 using two different tools (ARIMA and Microsoft Excel) and to compare predictions with the rates actually observed in 2021–2023.

Materials and methods: The study was conducted in March to May 2021 by applying a complex of epidemiological, statistical, and mathematical research methods. For predictive modeling, hierarchical models of the ARIMA family were used with the inclusion of two levels of hierarchy (district and city). Microsoft Excel was used to construct a polynomial trend line.

Results: Based on the output of the ARIMA model, the incidence forecast cartogram was created. According to statistics for the Tyumen Region, HIV incidence rates in the years 2021 and 2022 were 67.9 and 71.4 per 100,000 population, respectively. The predicted rate in 2021 was 52 per 100,000 population (80 % prediction interval (PI): 29 to 76 per 100,000; 95 % PI: 16 to 89 per 100,000 population). When constructing a polynomial trend line (approximation coefficient $R^2 = 0.7497$), an increase in HIV incidence was predicted in the region.

Conclusions: The comparison of two predictive methods shows that ARIMA results are more consistent with actual data, which means that the ARIMA model has an advantage in forecasting.

Keywords: HIV, forecasting, ARIMA, incidence forecast cartogram, urban and rural population.

Cite as: Melnikova EN. Forecasting the epidemic process of HIV infection using ARIMA and Microsoft Excel tools. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(7):68–75. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-7-68-75

Введение. Современная ситуация по ВИЧ-инфекции в Российской Федерации (РФ) является весьма напряженной: переход эпидемии ВИЧ-инфекции в генерализованную стадию с 2016 года подтвержден в 20 субъектах [1].

Уральский федеральный округ (УрФО) является одним из самых неблагоприятных регионов по ВИЧ-инфекции среди всех федеральных округов РФ¹. Начиная с первого десятилетия XXI века на территории УрФО наблюдается сложная эпидемиологическая ситуация по ВИЧ-инфекции. В 1999–2001 гг. в РФ показатель заболеваемости увеличился в 4,3 раза (с 13,8 до 59,9 на 100 тыс. населения), в УрФО – в 10,4 раза (с 16,2 до 168,4 на 100 тыс. населения)². В период с 2009 по 2018 г. на территории всех субъектов, входящих в УрФО, «распространенность ВИЧ-инфекции составляла 1434,2 ‰ и в 2,2 раза превышала общероссийские показатели (714,3 ‰)» [2].

Заболеваемость ВИЧ в УрФО имела самый высокий уровень среди всех федеральных округов РФ до конца 2016 года, а Тюменская область (ТО), входящая в УрФО, на протяжении 12 лет (2006–2017 гг.) находилась в группе из восьми регионов РФ с самым высоким уровнем заболеваемости³. По итогам 2021 года в ТО фиксируется генерализованная стадия ВИЧ-инфекции (пораженность ВИЧ беременных составила 2,4 %) [3]. Одной из причин, обуславливающих высокие показатели заболеваемости и пораженности ВИЧ-инфекцией в ТО, является географическое положение, определяющее ее как транзитный регион для доставки наркотиков из западной и восточной части страны на север региона в автономные округа, что привело к формированию одного из крупнейших путей наркотрафика [4, 5]. Увеличение числа потребителей инъекционных наркотиков способствовало росту случаев ВИЧ-инфекции в области. По территории области проходят участки Транссибирской магистрали, а также железной дороги, соединяющей Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа с другими регионами страны.

Особое место в эпидемиологии ВИЧ-инфекции в силу неопределенности обстановки занимают моделирование и прогнозирование эволюции эпидемии [6]. Математическое моделирование способствует более точному изучению определенных процессов [7]. Государственная стратегия противодействия распространению ВИЧ-инфекции в РФ на период до 2030⁴ (далее – Государственная стратегия) также

определяет одну из основных целей научных исследований и разработок в области ВИЧ-инфекции и выделяет «научное обоснованное прогнозирование развития эпидемического процесса».

Цель исследования: на основании ретроспективного анализа заболеваемости ВИЧ-инфекцией в период с 1993 по 2020 г. в Тюменской области выполнить прогнозирование эпидемического процесса на период 2021–2025 гг. двумя различными инструментами (ARIMA и Microsoft Excel) и сравнить полученные данные с фактическими в 2021–2023 гг.

Материалы и методы. Для прогнозирования были использованы показатели заболеваемости ВИЧ-инфекцией в ТО в период с 1993 по 2020 г. Период выполнения прогнозного моделирования: март – май 2021 года. Источником информации послужили официальные статистические данные государственного бюджетного учреждения здравоохранения Тюменской области «Центр профилактики и борьбы со СПИД», доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Тюменской области»; форма федерального статистического наблюдения № 61 «Сведения о контингентах больных ВИЧ-инфекцией» по Тюменской области. Статистические данные Федерального научно-методического центра по профилактике и борьбе со СПИДом⁵, информационные бюллетени «ВИЧ-инфекция на территории Уральского федерального округа»^{6,7} являлись материалами для анализа заболеваемости ВИЧ в РФ и УрФО. Для сравнения динамики заболеваемости проведен расчет темпов роста и прироста.

Для прогнозного моделирования использовались иерархические модели семейства ARIMA из-за своей гибкости, возможности описания множества характеристик временных рядов [8]. При построении оптимальной модели ARIMA учитывались минимальные байесовские информационные критерии (BIC) и стабильный коэффициент множественной корреляции, статистически значимые оценки параметров и остатки как белый шум. Для определения параметров моделей ARIMA (p, d, q), необходимых для получения минимального значения информационного критерия Акаике (AIC), использовался алгоритм Хиндмана и Хандакара (Hyndman Khandakar). Статистический анализ и визуализация полученных данных проводились с использованием среды для статистических вычислений R 4.1.0 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия) с использованием дополнительных пакетов sf 1.0–2. С целью получения

¹ Питерский М.В., Алимов А.В., Захарова Ю.А. и др. ВИЧ-инфекция на территории Уральского федерального округа: информационный бюллетень за 2018 г. Екатеринбург, 2019. 37 с.

² Алимов А.В., Новоселов А.В., Устюжанин А.В. ВИЧ-инфекция на территории Уральского федерального округа: информационный бюллетень за 2017 г. Екатеринбург, 2018. 60 с.

³ Питерский М.В., Алимов А.В., Захарова Ю.А. и др. ВИЧ-инфекция на территории Уральского федерального округа: информационный бюллетень за 2018 г. Екатеринбург, 2019. 37 с.

⁴ Государственная стратегия противодействия распространению ВИЧ-инфекции в Российской Федерации на период до 2030 г.: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 21.12.2020 г. № 3468-р. [Интернет]. 2020. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012250074> (дата обращения: 06 июля 2021 г.).

⁵ Федеральный научно-методический центр по профилактике и борьбе со СПИДом ФБУН «Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии» Роспотребнадзора: ВИЧ-инфекция в Российской Федерации. [Электронный ресурс.] Режим доступа: <http://www.hivrussia.info/dannye-po-vich-infektsii-v-rossii/> (дата обращения: 08.05.2023).

⁶ ВИЧ-инфекция на территории Уральского федерального округа: Информационный бюллетень за 2018 г. / М.В. Питерский, А.В. Алимов, Ю.А. Захарова, Е.В. Леленкова, Е.В. Болгарова, Ю.Ю. Бурцева, Л.Г. Вяткина. Екатеринбург, 2019.

⁷ ВИЧ-инфекция на территории Уральского федерального округа: информационный бюллетень за 2020 год / М.В. Питерский, О.Я. Яранцева, Ю.А. Захарова, А.В. Семенов. Екатеринбург, 2021.

наиболее достоверных значений прогнозирования были использованы 2 уровня иерархий: показатели заболеваемости ВИЧ в городах региона и районах. По результату использования модели ARIMA была получена картограмма прогнозов заболеваемости по каждой из 22 административно-территориальных образований Тюменской области, показатели заболеваемости по городским и сельским территориям. Для построения полиномиальной линии тренда была использована программа Microsoft Excel и получен прогноз заболеваемости ВИЧ-инфекцией до 2025 года.

Результаты. С целью понимания тенденции эпидемического процесса (ЭП) проведен ретроспективный анализ заболеваемости ВИЧ-инфекцией в ТО в период с 1993 по 2020 г. По результату проведенного анализа выделено 5 периодов ЭП: период с 1993 по 1997 г. – умеренный рост новых эпизодов инфицирования. Затем наблюдаются два периода эпидемиологического подъема заболеваемости (с 1998 по 2000 г. и с 2006 по 2016 г.) и два периода эпидемиологического спада заболеваемости (с 2001 по 2005 г. и с 2017 по 2020 г.).

Многолетняя динамика заболеваемости ВИЧ-инфекцией в РФ, УрФО и ТО представлена на рис. 1.

Примечательно, что динамика ЭП ВИЧ в РФ, УрФО и ТО имеет определенные различия: в 2000 г. в ТО фиксируется предельный показатель заболеваемости, составляющий 154,1 на 100 тыс. населения (в УрФО максимальный показатель заболеваемости ВИЧ-инфекцией регистрируется на год позже – в 2001 г. и составляет 168,4 на 100 тыс. населения, превышая максимальные показатели заболеваемости ВИЧ-инфекцией по РФ и ТО за весь период регистрации). В период эпидемиологического подъема заболеваемости ВИЧ в ТО (с 1998 по

2000 г.) темп прироста значительно превышает общероссийские, составив в 1999–2000 гг. +5854,2 и +169,8 (в РФ – +900,0 и +151,4). Темп роста в 1999 году в РФ составил +492,9, в ТО +5951,0, в 2000 году, напротив, в ТО темп роста фиксируется ниже, чем в РФ (в ТО +269,7, в РФ +282,6). Последний год второго периода ЭП (2000 г.) характеризуется максимальным абсолютным приростом заболеваемости +97,0 на 100 тыс. населения (в РФ +20,9). Картина заболеваемости ВИЧ меняется, и в 2001 году показатель заболеваемости ВИЧ-инфекцией составил 145,6 на 100 тыс. населения, что в 2,4 раза выше общероссийского, но был ниже показателя заболеваемости в УрФО в 1,2 раза. Темп прироста в РФ составил –64,1, в УрФО +71,3, в ТО –5,5. Темп роста в 2001 году на территории РФ, УрФО и ТО составил от +94,5 (в ТО) до +171,3 (в УрФО). В 2016 году темп прироста в РФ составил +0,9, в ТО +6,0, на территории УрФО –3,8. Темп роста в 2016 году на территории ТО был ниже, чем в РФ (+106,0 в ТО, +111,0 в РФ), но выше, чем в УрФО (в УрФО +96,2). С 2016 г. на территории УрФО наблюдается снижение заболеваемости, в ТО это происходит на год позже, как и в среднем по России.

Попытка прогнозирования ЭП ВИЧ-инфекции в ТО на период до 2025 года была проведена с использованием метода ARIMA и возможностей Microsoft Excel (полиномиальной линии тренда).

Помимо прогнозирования показателей заболеваемости по каждому административно-территориальному образованию была создана картограмма прогнозов заболеваемости в ТО на 2021–2025 гг. (см. рис. 2).

Картограмма была создана в январе 2021 года, в связи с чем имеется возможность сравнения прогнозируемой заболеваемости ВИЧ-инфекцией

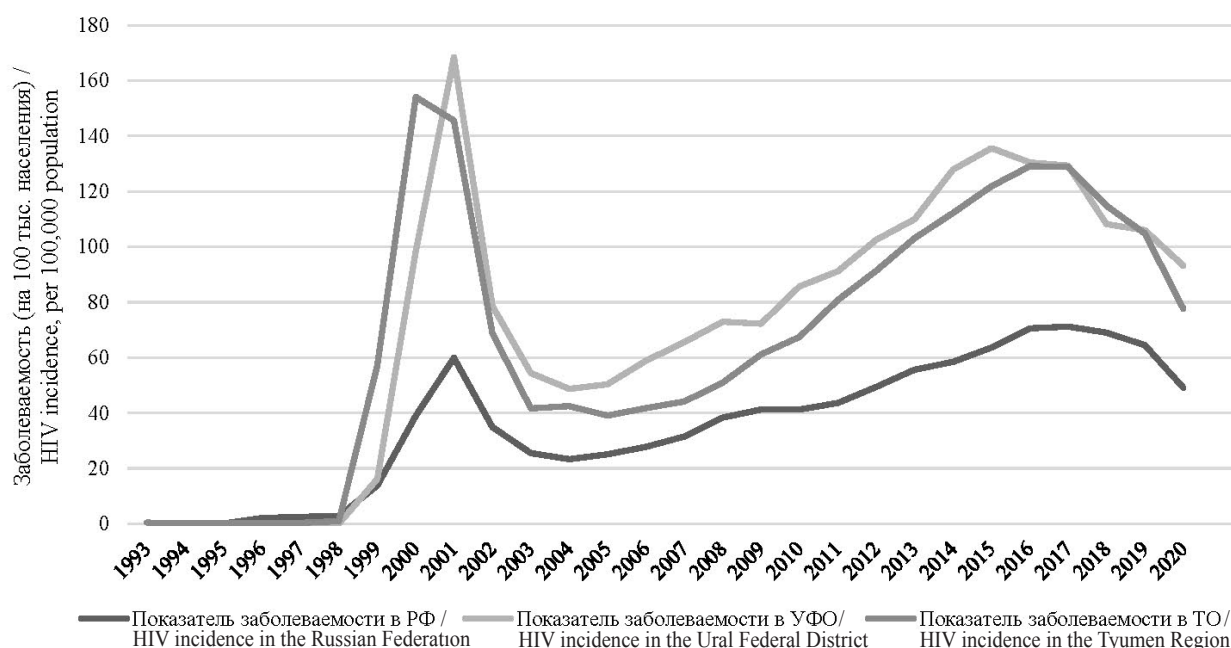


Рис. 1. Динамика заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Российской Федерации, Уральском федеральном округе и Тюменской области в 1993–2020 гг. (на 100 тыс. населения)

Fig. 1. HIV incidence rates in the Russian Federation, the Ural Federal District, and the Tyumen Region in 1993–2020 (per 100,000 population)

с фактической. Так, согласно фактическим данным, заболеваемость ВИЧ-инфекцией в 2021–2022 гг. в ТО составила 67,9 и 71,4 на 100 тысяч населения соответственно⁸. Прогнозируемое значение в 2021 году составило 52 на 100 тысяч населения (предиктивный интервал PI 80 % – 29–76 на 100 тыс. населения, при PI 95 % – 16–89 на 100 тыс. населения). Согласно полученным данным, в Бердюжском районе при низких показателях заболеваемости ВИЧ было спрогнозировано ежегодный рост заболеваемости в 2021–2025 гг. Фактические данные соответствовали прогнозируемым результатам (в 2021–2023 гг. показатель заболеваемости составил 57,9; 57,9; 73,2 на 100 тыс. населения соответственно; предиктивный показатель – 64,0; 66,0; 69,0 на 100 тыс. населения).

Для сравнения другой методики прогнозирования эпидемиологической ситуации была использована программа Microsoft Excel, с помощью которой построена полиномиальная линия тренда показателя заболеваемости, коэффициент детерминации (аппроксимации) которой составил $R^2 = 0,7497$. Согласно данным, полученным в модели, планируется рост показателей заболеваемости ВИЧ в регионе (см. рис. 3).

Обсуждение. Превышение фактических показателей заболеваемости с прогнозируемыми в ARIMA связано в первую очередь с ограничительными мероприятиями по новой коронавирусной инфек-

ции COVID-19, в связи с чем была снижен доступ к лицам, которые подвергаются повышенному риску ВИЧ-инфицирования в силу особенностей своего поведения. В 2021 г. на фоне значительного роста охвата тестированием темп прироста заболеваемости составил +5,2 %, что обусловлено в первую очередь влиянием пандемии коронавирусной инфекции на диагностику ВИЧ-инфекции в 2020 году). По данным различных источников, модель ARIMA при прогнозировании ЭП обладает точностью, что было описано в прогнозировании заболеваемости COVID-19 [9–12], бешенством крупного рогатого скота [13], туберкулезом [14–16], ВИЧ-инфекцией [17–18], геморрагической лихорадкой [19], норовирусной инфекцией [20], последствий пневмококиоза [21], в вопросах определения потребностей в запасах вакцин COVID-19 [22]. Также данная модель используется в других сферах: при прогнозировании ценовой динамики [23–27], логистической эффективности [28–29], курса валют [30], экономических показателей [31]. Полученные в ходе исследования данные прогнозирования изменений активности ЭП ВИЧ-инфекции до 2025 года позволяют проводить целенаправленные профилактические мероприятия, ориентированные на конкретные административно-территориальные образования ТО, необходимы для стабилизации эпидемиологической ситуации по ВИЧ-инфекции. Безусловно, использование результатов прогнозного моделирования не ограничивается

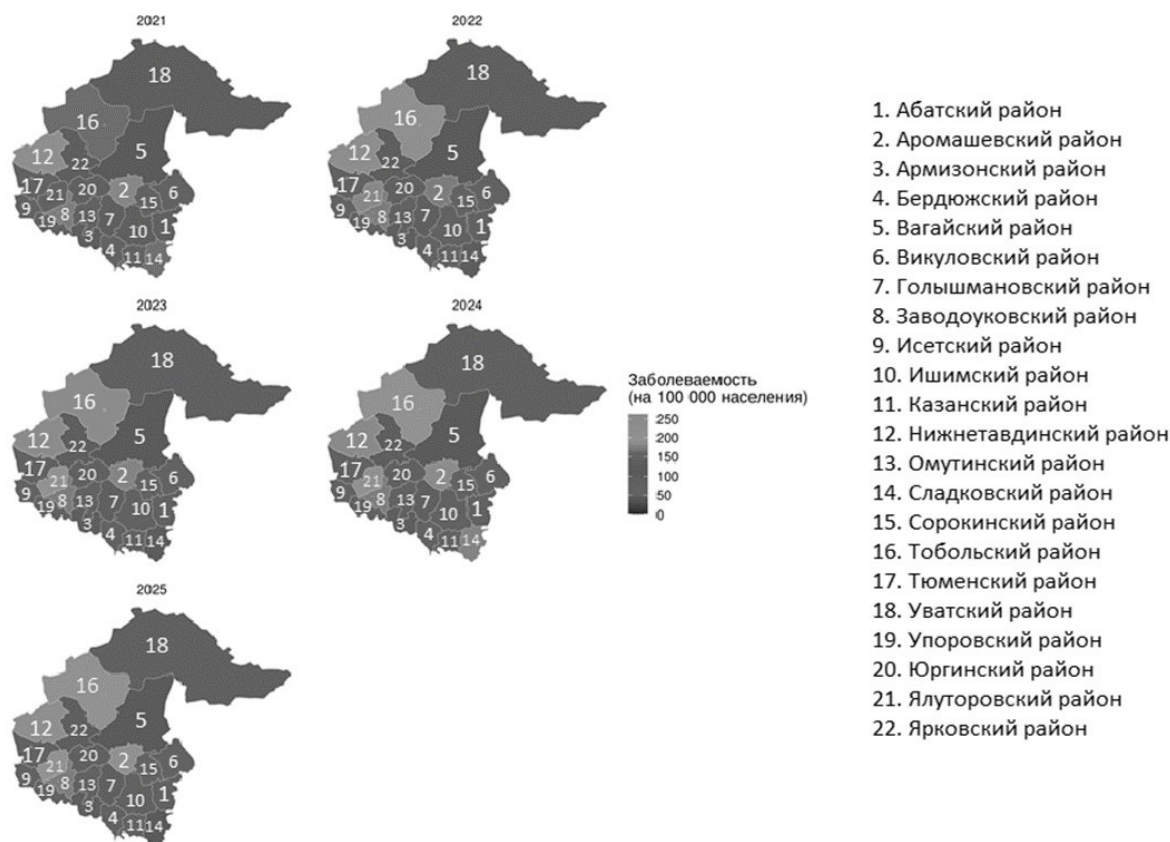


Рис. 2. Картограмма прогнозов заболеваемости в Тюменской области, полученная в иерархической модели ARIMA

Fig. 2. Cartogram of predicted incidence rates in the Tyumen Region obtained in the hierarchical ARIMA model

⁸ Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Тюменской области в 2022 году». Тюмень: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тюменской области, 2023. С. 6.

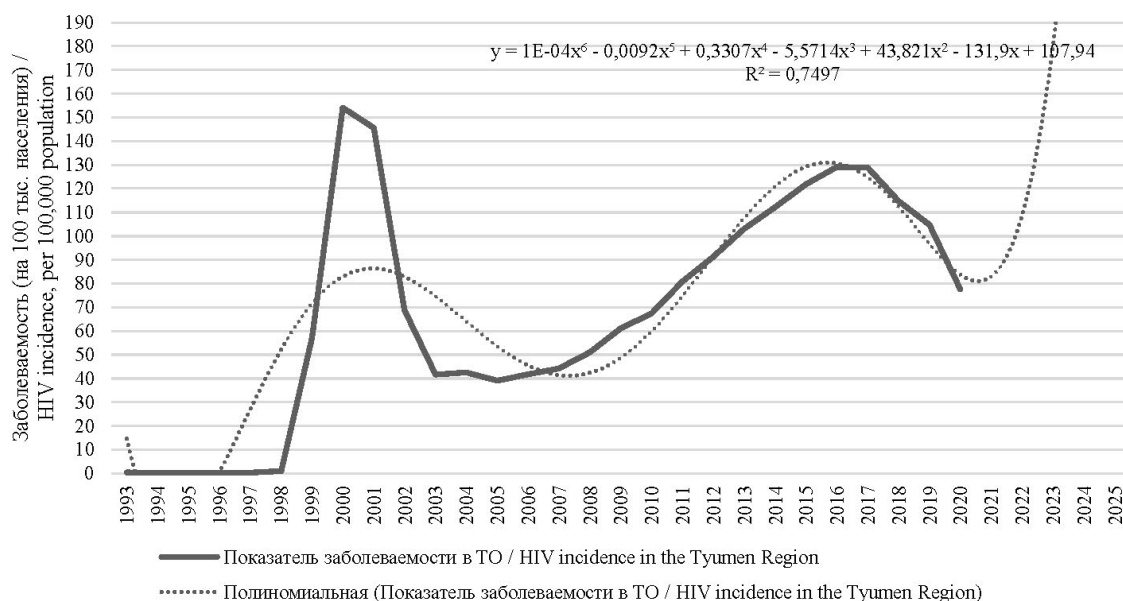


Рис. 3. Показатель заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Тюменской области с 1993 по 2020 г. с прогнозируемым показателем заболеваемости до 2025 года (на 100 тыс. населения)

Fig. 3. HIV incidence rates in the Tyumen Region in 1993–2020 and those predicted until the year 2025 (per 100,000 population)

разработкой лишь профилактических программ. Применение данного инструментария позволяет спрогнозировать число лиц, нуждающихся в антиретровирусной терапии, химиопрофилактике туберкулеза (расчет количества необходимых лекарственных средств), а также расчет количества медицинских работников, открытие других филиалов и межрайонных кабинетов на территориях с повышенной заболеваемостью ВИЧ. В то же время безусловный фактор, влияющий на ЭП, – это грамотность населения в вопросах безопасного поведения в отношении ВИЧ-инфекции. Благодаря возможности получения оптимальной модели путем изменения количества задержек в каждом аспекте модель ARIMA работает как более статистическая модель в прогнозировании по сравнению с другими методами, такими как линейная регрессия или экспоненциальное сглаживание. В модели авторегрессии каждое значение ряда находится в линейной зависимости от предыдущих значений. Модель скользящего среднего предполагает, что в ошибках модели в предшествующие периоды сосредоточена информация обо всей предыстории ряда.

Заключение. Выполненное прогнозирование эпидемического процесса до 2025 года двумя различными инструментами (ARIMA и Microsoft Excel) и сравнение полученных данных с фактическими 2021–2023 гг. позволяют заключить: данные, полученные в модели ARIMA, приближены к фактическим. Полиномиальная линия тренда не показала эффективности в прогнозировании ЭП. Использование различных методов прогнозного моделирования способствуют анализу текущей эпидемиологической ситуации, а также конструированию предполагаемой, являясь мощным инструментом в эпидемиологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ладная Н.Н., Покровский В.В., Дементьева Л.А. Развитие эпидемии ВИЧ-инфекции в Российской Федерации в 2015 г. // Актуальные вопросы ВИЧ-инфекции : материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30–31 мая 2016 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье». 2016. С. 4–9.
2. Сисин Е.И., Голубкова А.А., Алимов А.В. Скрининг на антитела к ВИЧ и возможности его совершенствования для решения проблемы сдерживания распространения ВИЧ-инфекции // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2020. № 12 (3). С. 95–103.
3. Ладная Н.Н., Покровский В.В., Соколова Е.В. Распространение инфекции, вызываемой вирусом иммунного дефицита человека, на территориях Российской Федерации в 2021 г. // Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. 2022. № 12 (30). С. 12–18.
4. Рудаков Б.В., Абдулаев М.А. Проблемы противодействия незаконному проникновению наркотических и психотропных средств в Уральский федеральный округ // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т. 15. С. 166–170. <http://e-koncept.ru/2016/86933.htm>
5. Вьюхова А.И. Анализ мониторинга наркоситуации и ближайший прогноз (по материалам УМВД России по Тюменской области) // Правопорядок: история, теория, практика. 2019. № 2 (21). С. 66–72.
6. Беляков Н.А., Рассохин В.В., Розенталь В.В. и др. Эпидемиология ВИЧ-инфекции. Место мониторинга, научных и дозорных наблюдений, моделирования и прогнозирования обстановки // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2019. № 11 (2). С. 7–26.
7. Янчевская Е.Ю., Меснянкина О.А. Математическое моделирование и прогнозирование в эпидемиологии инфекционных заболеваний // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2019. № 23 (3). С. 328–334.
8. Миролубова А.А., Ермолаев А.Д., Прокофьев М.Б. ARIMA – прогнозирование спроса производственного

- предприятия // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. № 2 (66). С. 50–55
9. Кондратенко А.В., Тушев А.Н. Прогнозирование распространения инфекции COVID-19 в России с помощью модели ARIMA // Наука и молодежь : Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 8 частях, Барнаул, 01–05 июня 2020 года. Часть 7. Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2020. С. 165–168.
 10. Макаровских Т.А., Аботалеб М.С.А. Автоматический подбор параметров модели ARIMA для прогноза количества случаев заражения и смерти от Covid-19 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2021. № 10 (2). С. 20–37.
 11. Ларькин А.Д. Анализ и оценка распространения COVID-19 на основе модели ARIMA // Электронные системы и технологии : Материалы 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. Минск: Научное электронное издание, 2023. С. 215–218.
 12. Chowell G, Dahal S, Tariq A, Roosa K, Hyman JM, Luo R. An ensemble n-sub-epidemic modeling framework for short-term forecasting epidemic trajectories: Application to the COVID-19 pandemic in the USA. *PLoS Comput Biol*. 2022;18(10):e1010602. doi: 10.1371/journal.pcbi.1010602
 13. Santos AJFD, Ferreira JM, Baptista F, et al. Statistical analysis between 2006 and 2019 and forecast of rabies in cattle for 2020 and 2022 in Tocantins State (Brazil), by using the R Studio software. *Epidemiol Infect*. 2022;150:1–19. doi: 10.1017/S0950268822000553
 14. Siamba S, Otieno A, Koech J. Application of ARIMA, and hybrid ARIMA Models in predicting and forecasting tuberculosis incidences among children in Homa Bay and Turkana Counties, Kenya. *PLOS Digit Health*. 2023;2(2):e0000084. doi: 10.1371/journal.pdig.0000084
 15. Zhao D, Zhang H, Cao Q, et al. The research of ARIMA, GM(1,1), and LSTM models for prediction of TB cases in China. *PLoS One*. 2022;17(2):e0262734. doi: 10.1371/journal.pone.0262734
 16. Li ZQ, Pan HQ, Liu Q, Song H, Wang JM. Comparing the performance of time series models with or without meteorological factors in predicting incident pulmonary tuberculosis in eastern China. *Infect Dis Poverty*. 2020;9(1):151. doi: 10.1186/s40249-020-00771-7
 17. Seabra IL, Pedroso AO, Rodrigues TB, et al. Temporal trend and spatial analysis of the HIV epidemic in young men who have sex with men in the second largest Brazilian Amazonian province. *BMC Infect Dis*. 2022;22(1):190. doi: 10.1186/s12879-022-07177-w
 18. Yuan L, Tian S, Zhao Z, Liu P, Liu L, Sun J. Mean generation function model in AIDS epidemic estimation. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2022;22(1):104. doi: 10.1186/s12911-022-01825-6
 19. Zhang R, Song H, Chen Q, Wang Y, Wang S, Li Y. Comparison of ARIMA and LSTM for prediction of hemorrhagic fever at different time scales in China. *PLoS One*. 2022;17(1):e0262009. doi: 10.1371/journal.pone.0262009
 20. Косова А.А., Чалапа В.И. Прогнозирование динамики заболеваемости норовирусной инфекцией с применением моделей временных рядов // Уральский медицинский журнал. 2023. Т. 22. № 3. С. 57–63.
 21. Lou HR, Wang X, Gao Y, Zeng Q. Comparison of ARIMA model, DNN model and LSTM model in predicting disease burden of occupational pneumoconiosis in Tianjin, China. *BMC Public Health*. 2022;22(1):2167. doi: 10.1186/s12889-022-14642-3
 22. Dhamodharavadhani S, Rathipriya R. Vaccine rate forecast for COVID-19 in Africa using hybrid forecasting models. *Afr Health Sci*. 2023;23(1):93–103. doi: 10.4314/ahs.v23i1.11
 23. Архипова А.А. Прогнозирование ценовой динамики акций с помощью модели ARIMA-GARCH // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 6-1(100). С. 14–17.
 24. Ленских А.Н., Шарипов Д.Д. Анализ стоимости урана с использованием модели ARIMA // Современные технологии и экономика в энергетике : Материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2023. С. 34–37.
 25. Герасимук А.Д. Применение модели ARIMA для прогнозирования цен на нефть // Самоуправление. 2022. № 2 (130). С. 300–304.
 26. Кочегурова Е.А., Михайлова Я.А. Прогнозирование индекса потребительских цен Томской области с использованием модели ARIMA // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–26 марта 2021 года. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. С. 59–60.
 27. Привалов К.О. Прогнозирование спроса на товары с использованием моделей ARIMA и SARIMA // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи – НТТДМ 2021 : Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 21 мая 2021 года. Вып. 5. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2021. С. 107–113.
 28. Дуболазов В.А., Оспанов Д.Т., Сомов А.Г. Анализ и прогнозирование поведения агрегированного индекса логистической эффективности методом ARIMA // Экономика и предпринимательство. 2019. № 3 (104). С. 1132–1136.
 29. Маловецкая Е.В., Мозалевская А.К. Возможности применения моделей ARIMA при построении прогнозных значений вагонопотоков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. № 17 (1). С. 33–41.
 30. Лебедев Я.Б. Прогнозирование курсов валют методом ARIMA // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем : материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 17–21 апреля 2023 года. Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2023. С. 358–361.
 31. Каменская Е.А. Применение ARIMA-моделей при прогнозировании экономических показателей // Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии : Сборник научных статей по итогам работы второго международного круглого стола, Москва, 15–16 мая 2019 года. Том 1. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Конверт», 2019. С. 89–90.

REFERENCES

1. Ladnaia NN, Pokrovsky VV, Dementyeva LA, Simashev TI, Lipina ES, Yurin OG. [Development of the HIV epidemic in the Russian Federation in 2015.] In: *Topical Issues of HIV Infection: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 30–31, 2016*. St. Petersburg: St. Petersburg Public Organization “Man and His Health” Publ.; 2016:4–9. (In Russ.)

2. Sisin Yel, Golubkova AA, Alimov AV, Lelenkova YeV, Mahorina TV, Pitserskiy MV. HIV antibody screening and ways to improve it to address the problem of containing the spread of HIV infection. *VICH-Infektsiya i Immunosupressii*. 2020;12(3):95-103. (In Russ.) doi: 10.22328/2077-9828-2020-12-3-95-103
3. Ladnaia NN, Pokrovsky VV, Sokolova EV, Chekryzhova DG, Kirzhanova VV. Prevalence of human immune deficiency virus infection in the territories of the Russian Federation in 2021. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni. Aktual'nye Voprosy*. 2022;12(3):12-18. (In Russ.) doi: 10.18565/epidem.2022.12.3.12-18
4. Rudakov BV, Abdulaev MA. [Problems of countering the illegal penetration of narcotic and psychotropic drugs into the Ural Federal District.] *Nauchno-metodicheskiy Elektronnyy Zhurnal „Koncept“*. 2016;15:166-170. (In Russ.) Accessed July 25, 2024. <http://e-koncept.ru/2016/86933.htm>
5. Viukhova AI. Analysis of the monitoring of the drug situation and the immediate prognosis (on materials of the Ministry of Internal Affairs of Russia for Tyumen region). *Pravoporyadok: Istoriya, Teoriya, Praktika*. 2019;(2(21)):66-72. (In Russ.)
6. Belyakov NA, Rassohin VV, Rozental' VV, et al. [Epidemiology of HIV infection. Place of monitoring, scientific and sentinel observations, modeling and forecasting of the situation.] *VICH-Infektsiya i Immunosupressii*. 2019;11(2):7-26. (In Russ.) doi 10.22328/2077-9828-2019-11-2-7-26
7. Yanchevskaya EYa, Mesnyankina OA. Mathematical modelling and prediction in infectious disease epidemiology. *Vestnik Rossiyskogo Universiteta Druzhby Narodov. Seriya: Meditsina*. 2019;23(3):328-334. (In Russ.) doi: 10.22363/2313-0245-2019-23-3-328-334
8. Mirolyubova AA, Ermolaev AD, Prokofiev MB. ARIMA – Forecasting the demand of the production plant. *Sovremennye Naukoemkie Tekhnologii. Regional'noe Prilozhenie*. 2021;(2(66)):50-55. (In Russ.) doi: 10.6060/snt.20216602.0007
9. Kondratenko AV, Tushev AN. [Prediction of the spread of COVID-19 in Russia using the ARIMA model.] In: *Science and Youth: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Barnaul, June 01–05, 2020*. Barnaul: I.I. Polzunov Altai State Technical University Publ.; 2020;7:165-168. (In Russ.)
10. Makarovskikh TA, Abotaleb MSA. Automatic selection of ARIMA model parameters to forecast COVID-19 infection and death cases. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Vychislitel'naya Matematika i Informatika*. 2021;10(2):20-37. (In Russ.) doi: 10.14529/cmse210202
11. Larkin AD. Analysis and assessment of the spread of COVID-19 based on the ARIMA model. In: *Electronic Systems and Technologies: Proceedings of the 59th Scientific Conference of Postgraduates, Undergraduates and students of BSUIR, Minsk, April 17–21, 2023*. Minsk: Scientific Electronic Edition Publ.; 2023:215-218. (In Russ.)
12. Chowell G, Dahal S, Tariq A, Roosa K, Hyman JM, Luo R. An ensemble n-sub-epidemic modeling framework for short-term forecasting epidemic trajectories: Application to the COVID-19 pandemic in the USA. *PLoS Comput Biol*. 2022;18(10):e1010602. doi: 10.1371/journal.pcbi.1010602
13. Santos AJFD, Ferreira JM, Baptista F, et al. Statistical analysis between 2006 and 2019 and forecast of rabies in cattle for 2020 and 2022 in Tocantins State (Brazil), by using the R Studio software. *Epidemiol Infect*. 2022;150:1-19. doi: 10.1017/S0950268822000553
14. Siamba S, Otieno A, Koech J. Application of ARIMA, and hybrid ARIMA Models in predicting and forecasting tuberculosis incidences among children in Homa Bay and Turkana Counties, Kenya. *PLOS Digit Health*. 2023;2(2):e0000084. doi: 10.1371/journal.pdig.0000084
15. Zhao D, Zhang H, Cao Q, et al. The research of ARIMA, GM(1,1), and LSTM models for prediction of TB cases in China. *PLoS One*. 2022;17(2):e0262734. doi: 10.1371/journal.pone.0262734
16. Li ZQ, Pan HQ, Liu Q, Song H, Wang JM. Comparing the performance of time series models with or without meteorological factors in predicting incident pulmonary tuberculosis in eastern China. *Infect Dis Poverty*. 2020;9(1):151. doi: 10.1186/s40249-020-00771-7
17. Seabra IL, Pedroso AO, Rodrigues TB, et al. Temporal trend and spatial analysis of the HIV epidemic in young men who have sex with men in the second largest Brazilian Amazonian province. *BMC Infect Dis*. 2022;22(1):190. doi: 10.1186/s12879-022-07177-w
18. Yuan L, Tian S, Zhao Z, Liu P, Liu L, Sun J. Mean generation function model in AIDS epidemic estimation. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2022;22(1):104. doi: 10.1186/s12911-022-01825-6
19. Zhang R, Song H, Chen Q, Wang Y, Wang S, Li Y. Comparison of ARIMA and LSTM for prediction of hemorrhagic fever at different time scales in China. *PLoS One*. 2022;17(1):e0262009. doi: 10.1371/journal.pone.0262009
20. Kosova AA, Chalapa VI. Predicting the dynamics of norovirus infection using time series models. *Ural'skiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2023;22(3):57-63. (In Russ.) doi: 10.52420/2071-5943-2023-22-3-57-63
21. Lou HR, Wang X, Gao Y, Zeng Q. Comparison of ARIMA model, DNN model and LSTM model in predicting disease burden of occupational pneumoconiosis in Tianjin, China. *BMC Public Health*. 2022;22(1):2167. doi: 10.1186/s12889-022-14642-3
22. Dhamodharavadhani S, Rathipriya R. Vaccine rate forecast for COVID-19 in Africa using hybrid forecasting models. *Afr Health Sci*. 2023;23(1):93-103. doi: 10.4314/ahs.v23i1.11
23. Arkhipova AA. Forecasting stock price using the ARIMA-GARCH model. *Ekonomika i Biznes: Teoriya i Praktika*. 2023;(6-1(100)):14-17. (In Russ.) doi: 10.24412/2411-0450-2023-6-1-14-17
24. Lenskikh AN, Sharipov DD. [Uranium cost analysis using the ARIMA model.] In: *Modern Technologies and Economics in the Energy Sector: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 27, 2023*. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publ.; 2023:34-37. (In Russ.)
25. Gerasimuk AD. Application of the ARIMA model for oil price forecasting. *Samoupravlenie*. 2022;(2(130)):300-304. (In Russ.)
26. Kochegurova EA, Mikhaylova YaA. [Forecasting the consumer price index of the Tomsk Region using the ARIMA model.] In: *Youth and Modern Information Technologies: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Tomsk, March 22–26, 2021*. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University Publ.; 2021:59-60. (In Russ.)
27. Privalov KO. Forecasting the demand for goods using the ARIMA and SARIMA models. In: *Development of Scientific and Technical Creativity of Children and Youth – NTTDM 2021: Proceedings of the Fifth All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Smolensk, May 21, 2021*. Kirov: Interre-

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-32-7-68-75>
Original Research Article

- gional Center for Innovative Technologies in Education Publ.; 2021;5:107-113. (In Russ.)
28. Dubolazov VA, Ospanov DT, Somov AG. Analysis and prediction of the behavior of the logistic performance index by the method of ARIMA. *Ekonomika i Predprinimatel'stvo*. 2019;(3(104)):1132-1136. (In Russ.)
29. Malovetskaya EV, Mozalevskaya AK. Possibilities of application of ARIMA models in building forecast values of car-flows. *T-Comm: Telekommunikatsii i Transport*. 2023;17(1):33-41. (In Russ.) doi: 10.36724/2072-8735-2023-17-1-33-41
30. Lebedev YB. Forecasting exchange rates using the ARIMA method. In: *Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation, Moscow, April 17–21, 2023*. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia Publ.; 2023:358-361. (In Russ.)
31. Kamenskaya EA. [Application of ARIMA models in forecasting economic indicators.] In: *Contemporary World Economy: Problems and Prospects in the Era of Development of Digital Technologies and Biotechnology: Proceedings of the Second International Round Table, Moscow, May 15–16, 2019*. Moscow: "Konvert" LLC; 2019;1:89-90. (In Russ.)

Сведения об авторе:

✉ **Мельникова** Елена Николаевна – старший преподаватель кафедры гигиены, экологии и эпидемиологии; e-mail: melnikova-elena@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4402-279X>.

Информация о вкладе автора: автор подтверждает единоличную ответственность за написание рукописи, концепцию, дизайн исследования, анализ, интерпретацию данных, подготовку окончательного варианта рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует заключения этического комитета или других документов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Статья получена: 01.10.23 / Принята к публикации: 10.07.24 / Опубликовано: 31.07.24

Author information:

✉ **Elena N. Melnikova**, Senior Lecturer, Department of Hygiene, Ecology and Epidemiology, Tyumen State Medical University; e-mail: melnikova-elena@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4402-279X>.

Author contribution: The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The author has no conflicts of interest to declare.

Received: October 01, 2023 / Accepted: July 10, 2024 / Published: July 31, 2024