

Застосування геопросторової мультиагентної системи для моделювання різних аспектів передачі туберкульозу

Частина друга

І.О. Сем'янів¹, Л.Д. Тодоріко¹, Я.І. Виклюк², Д.В. Невінський²

1. Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

2. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Конфлікт інтересів: відсутній

ОБҐРУНТУВАННЯ. Представлено моделювання епідеміологічного процесу поширення туберкульозу з використанням мультиагентних систем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Це дослідження передбачає розроблення алгоритму, що використовує потенціал штучного інтелекту для створення геопросторової моделі, яка висвітлює різні шляхи передачі туберкульозу. Сам процес моделювання характеризується низкою ключових етапів, включаючи ініціалізацію міста, калібрування параметрів здоров'я, моделювання робочого дня, поширення інфекції, еволюцію траєкторій захворювання, суворі статистичні розрахунки та перехід на наступний день. Наведено вичерпний опис перебігу активного туберкульозу відповідно до офіційних даних Всесвітньої організації охорони здоров'я. Кожному агенту надається відповідна й узгоджена модель, яка включає відповідні атрибути здоров'я та необхідні правила для їх динамічної еволюції.

ВИСНОВКИ. Результати моделі демонструють стабільність і відсутність значних флуктуацій. Статистичні значення, отримані для інфікованих, латентних осіб і тих, які одужали, добре узгоджуються з відомими медичними даними, підтверджуючи адекватність моделі. Запропонована модель допомагає відстежувати й аналізувати життя та поведінку кожного окремого агента, що дає змогу ретельно оцінити поширення туберкульозної інфекції та розробити стратегії профілактики.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: епідеміологія, туберкульоз, моделювання, агент, профілактика, GeoCity.

Application of geospatial multi-agent system for simulation of different aspects of tuberculosis transmission

Part two

I.O. Semianiv¹, L.D. Todoriko¹, Ya.I. Vyklyuk², D.V. Nevinskyi²

1. Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

2. Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Conflict of interest: none

BACKGROUND. The paper presents epidemiological process modeling, with a focus on tuberculosis utilizing multi-agent system.

MATERIALS AND METHODS. This study involves the development of an algorithm that uses the potential of artificial intelligence to create a geospatial model that highlights the different routes of tuberculosis transmission. The simulation process itself is characterized by a number of key stages, including initialization of the city, calibration of health parameters, simulation of the working day, spread of infection, evolution of disease trajectories, rigorous statistical calculations and transition to the next day. A comprehensive description of the course of active tuberculosis according to official data of the World Health Organization is given. Each agent is provided with an appropriate and consistent model that includes relevant health attributes and necessary rules for their dynamic evolution.

CONCLUSIONS. The model's results exhibit stability and lack of significant fluctuations. The statistical values obtained for infected, latent, and recovered individuals align well with known medical data, confirming the model's adequacy. The proposed model allows for tracking and analyzing the life and behavior of each individual agent, enabling a thorough assessment of tuberculosis infection spread and the development of prevention strategies.

KEY WORDS: epidemiology, tuberculosis, modeling, agent, prevention, GeoCity.

Вступ

Штучний інтелект (ШІ) може бути дуже корисним інструментом для прогнозування епідеміологічних процесів і виконання різноманітних завдань у галузі охорони здоров'я. Проте варто зазначити, що ШІ не може замінити професійний, персоналізований людський досвід і знання, тому його слід використовувати з розумінням і уважним розглядом.

Прогнозування епідеміологічних процесів має величезне значення, оскільки дає змогу зрозуміти та передбачити майбутні захворювання й епідемічні тенденції. Використання потенціалу ШІ та багатоагентних систем є надзвичайно важливим, адже ці передові інструменти допомагають обробляти величезні обсяги даних і моделювати системи [7, 8].

У дослідженні [2] автори вивчають соціальні підходи до ліквідації туберкульозу (ТБ) відповідно до цілей Стратегії Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) щодо подолання ТБ (2016-2035) з особливим акцентом на Азійсько-Тихоокеанському регіоні. У документі висвітлюються основні чинники, що поширені в регіоні й зумовлюють передачу та прогресування ТБ, включаючи погіршення стійкості до ліків, нерегульований розвиток приватного сектора та високу щільність населення. В оглядовій статті стверджується, що стійке зниження глобальних показників ТБ потребує переоцінки та вдосконалення соціальних рішень. Для досягнення цього життєво важливою буде реалізація соціальних, екологічних і економічних заходів у поєднанні з біомедичними інноваціями та загальним охопленням медичними послугами. Однак успішна реалізація цих зусиль залежить від співпраці між секторами охорони здоров'я, державними секторами, громадянським суспільством і групами ризику, які старанно працюватимуть разом у наступні роки.

Розробка надійної аналітичної моделі має величезний потенціал, щоби бути дуже корисною в практичній охороні здоров'я, зокрема у формулюванні стратегій боротьби з передачею ТБ у країнах Європейського регіону ВООЗ, які зазнають значної міграції з регіонів високого ризику ТБ [10].

Метою цього дослідження є розроблення алгоритму, який використовує можливості ШІ та нейронних мереж для побудови геопросторової моделі передачі ТБ.

Матеріали та методи

Дослідження проводилося в період із жовтня 2022 року по жовтень 2023 року [6].

Формалізація моделі GeoCity. Отже, завданням цього дослідження було змоделювати поширення ТБ у межах міста. За основу було вибрано модель GeoCity [20], що дає змогу максимально реалістично змоделювати функціонування міста з погодинною розбивкою.

Формула 1

$$GeoCity = \{G, T, A, R, H, V\}_{city}, \text{ де:}$$

G – набір геооб'єктів, з яких складається місто (мапа міста, жилі будинки, робочі місця, публічні місця, магазини, супермаркети, дитячі садочки, школи, університети тощо).

T – транспорт, яким пересуваються агенти протягом симуляції, він включає в себе громадський транспорт і власні автомобілі. Також ця модель дає змогу враховувати людей, які пересуваються пішки та не використовують транспорт.

A – список агентів, які безпосередньо проживають у цьому місті та мають свої власні атрибути, як-от вік, стать, місце роботи, місце проживання тощо.

R – це набір правил, які виконують агенти, що проживають у місті, протягом робочого або вихідного дня. Фактично являють собою щоденний розклад. Цей розклад містить список об'єктів, де перебуває агент протягом певного інтервалу часу, зазвичай 1 годину.

H – атрибути здоров'я кожного агента, що залежать від типу інфекції, яка моделюється.

V – правила поширення інфекції, що визначають, як інфекція передається від інфікованих людей до здорових, а також процес перебігу хвороби.

Процес ініціалізації параметрів моделі та симуляції щоденного розкладу описано в роботі. Візуально процес моделювання поширення інфекції представлено на рисунку 1.

Процес моделювання складається з таких етапів:

- Ініціалізація міста. На цьому етапі відбуваються ініціалізація всіх об'єктів міста, генерація агентів, визначаються місце їх проживання, склад сім'ї, професія, транспорт, яким вони дістаються до роботи. Враховуються вік та особливості агентів, досягається максимально реалістична внутрішня структура міста. Відтак для кожного агента генерується власний та унікальний щоденний розклад з урахуванням робочих і вихідних днів.
- Ініціалізація параметрів здоров'я. На цьому етапі кожному агенту присвоюються власні унікальні атрибути, які стосуються конкретно взятого захворювання або захворювань.
- Симуляція робочого дня. Імітується робочий день для всіх агентів системи. Тобто те, коли та яким транспортом агент дістається робочого місця, перебування на робочому місці, обідня перерва, повернення додому громадським транспортом чи автомобілем, відвідування супермаркету й інших публічних місць.
- Симуляція поширення інфекції. Ця симуляція відбувається для кожної години щоденного розкладу. На цьому етапі визначаються об'єкти, в яких перебувають інфіковані агенти, та симулюється процес інфікування.
- Симуляція перебігу хвороби. Цей етап відбувається наприкінці кожного робочого дня, в якому перелічуються зміни стану здоров'я всіх агентів. Наприклад, зміна стану імунітету, процес видужання або отримання вакцини тощо.
- Розрахунок статистики. Підбиваються підсумки робочого дня, розраховується різного роду статистика, зокрема кількість хворих, латентних осіб і тих, які одужали, тощо. Також на цьому етапі можна отримувати геопросторову інформацію щодо поширення інфекції.
- Перехід на новий день. Тут приймається рішення щодо продовження симуляції або її зупинення (наприклад, коли всі хворі одужали).

На рисунку 2 представлено схему перебігу хвороби згідно з даними ВООЗ [3, 9].

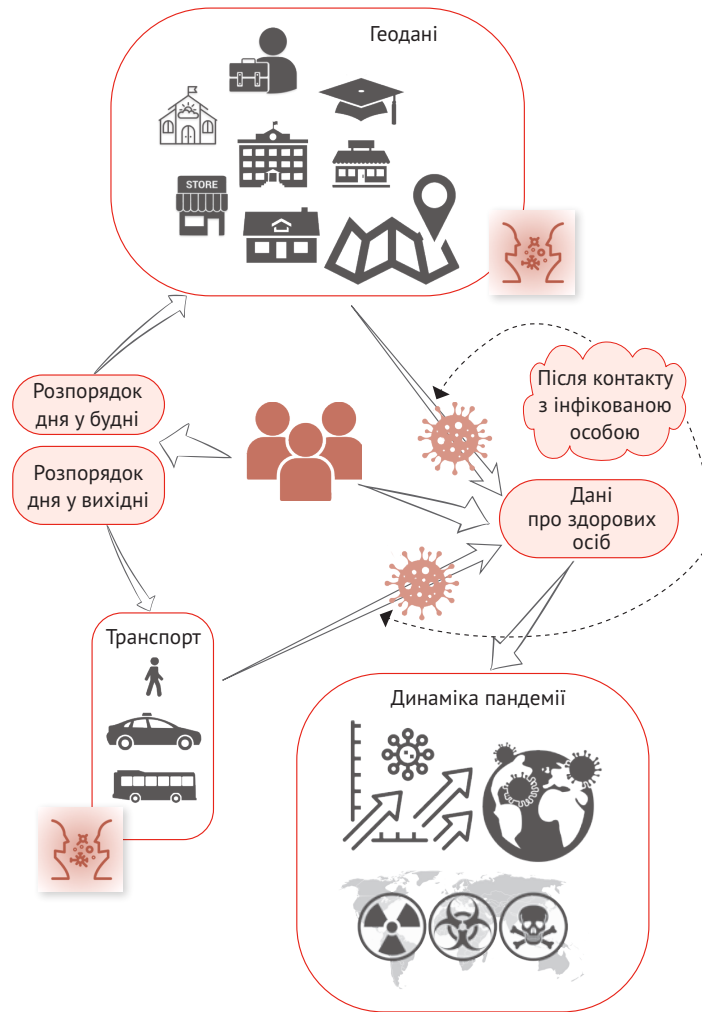


Рис. 1. Формалізація функціонування моделі GeoCity

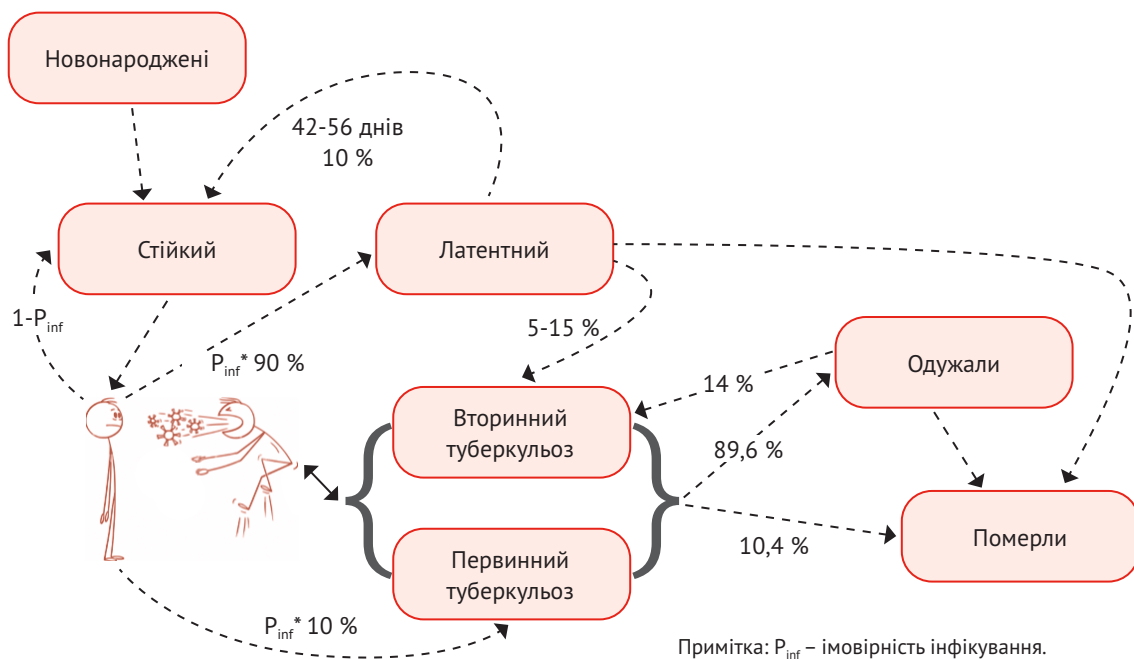


Рис. 2. Перебіг ТБ у разі інфікування людини, за даними ВООЗ

У разі контакту з хворою людиною з певною ймовірністю P_{inf} здорова людина (позначимо цей стан S – сталий) може інфікуватися. На відміну від вірусів у разі інфікування 90 % людей переходять у латентний стан (L – латентний). Тобто є носіями бактерій, але не хворіють, не інфікують інших і можуть вільно перебувати поруч з інфікованими. Інші 10 % захворюють на ТБ (I – інфікований), тобто хворіють самі та можуть інфікувати інших. Слід зазначити, що смертність від ТБ є досить високою та становить 10,4 %. Тому після перенесеної хвороби відповідна кількість людей помирає (D – смерть), інша переходить у статус осіб, що перехворіли (R – вилікуваний), який ідентичний латентному стану. Тобто позитивно залишаються носіями бактеріальної інфекції, проте не інфікують інших.

Докладніша інформація стосовно матеріалів і методів дослідження наведена в частині першій цієї статті, що опублікована в минулому номері журналу «Інфузія & Хіміотерапія».

Результати та їх обговорення

Симуляція поширення ТБ. Метою цієї симуляції було дослідити, як пошириться ТБ в абсолютно здоровому середовищі за відсутності будь-яких заходів щодо його профілактики та лікування. Тим самим дослідити максимально можливі масштаби пандемії ТБ у такому місті. Це також дасть змогу дослідити адекватність моделі.

Як було зазначено раніше, моделювання поширення ТБ відбувалося на симуляції в межах міста, що має структуру Львова та населення 100 тис. агентів. Кількість геооб'єктів була зменшена пропорційно до реальної кількості населення, тобто в 7,2 раза.

Згідно з офіційною медичною статистикою в Україні (станом на кінець 2021 року) на 100 тис. населення припадає 44 хворих на ТБ [6]. Причому більш ніж 90 % населення перебуває в латентному стані.

Симуляція ТБ проводилася в місті, в якому проживають люди, що не мають вакцинації та нульовий імунітет до цього виду бактеріальної інфекції. Тобто імітувалася ситуація міграції людей із країни, в якій практикуються вакцинація та лікування ТБ, наприклад Україна, до країн, де рівень

захворюваності вкрай низький, як-от будь-яка країна Євросоюзу.

У симульованому місті вважалося, що всі мешканці мають стан S . Як стартове інфікування випадковим чином вибиралися 44 агенти, які були в стані I , а час перебування в цьому стані t_{st} вибирався випадковим чином у діапазоні від 0 до 60 днів. Тобто такий період часу, в якому рівень контагіозності інфікованих агентів іще дорівнює 0 (рис. 3).

Стан імунітету, здоров'я, особисті властивості агентів та інше не враховувалися. Тобто всі агенти мають однакову сприйнятливість до ТБ незалежно від їхніх особистих атрибутів. Тривалість симуляції становила 20 років. Вважалося також, що щоденний розклад популяції з плином років не змінюється, тобто не враховувалися поповнення популяції новими дітьми, зміни в професіях у зв'язку зі старінням агентів, наприклад вихід на пенсію чи перехід із дитячого садочка в школу, а також природна смертність через вік або інші хвороби. У разі підтвердження адекватності моделі всі ці параметри можуть бути легко враховані при подальших симуляціях.

Слід зазначити, що вікові зміни в професіях, найімовірніше, не матимуть вагомого впливу, адже середня кількість людей у школах, університетах, дитячих садочках залишатиметься на тому самому рівні, незважаючи на зміну професій в агентів. У разі підтвердження адекватності моделі врахування й аналіз усіх вищезазначених чинників буде метою наступного дослідження.

Для перевірки адекватності моделі та чутливості її до основних параметрів перебігу ТБ було проведено серію експериментів у трьох наближеннях.

1. Базова модель – не враховувалися смертність, спонтанне захворювання на ТБ і рецидиви ($P_{dvath} = 0, P_{pp} = 0, P_{rbc} = 0$).
2. Смертність – як на результати базової моделі вплине смертність ($P_{pp} = 0, P_{rbc} = 0$).
3. Повноцінна модель – ураховувалися всі чинники, включаючи спонтанне захворювання на ТБ і рецидиви.

Статистичними показниками, що характеризували поширення ТБ, були кількість інфікованих, латентних осіб і тих, які перехворіли, та кількість смертей. Динаміка цих показників для базової моделі представлена на рисунку 3.

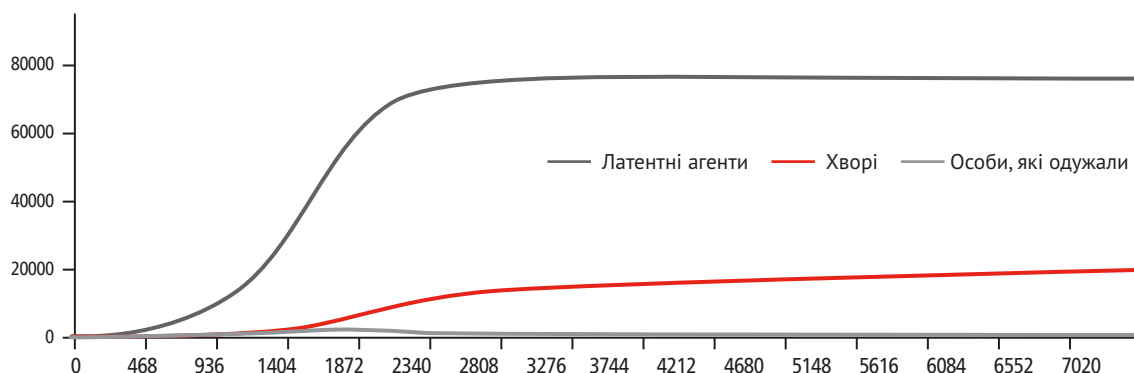


Рис. 3. Динаміка хворих, латентних агентів і тих, які одужали, в базовій моделі

Насамперед варто зауважити, що попри невелику кількість інфікованих людей на графіку повністю відсутні випадкові флуктуації та спостерігається стійкість до довготривалих розрахунків. Це підтверджує стабільність моделі. Час розрахунку становив приблизно 30 хвилин.

Як видно з рисунку 3, спостерігається зростання кількості хворих протягом перших 2 років. Потім епідемія поступово спадає. Крім того, стрімко зростає кількість латентних людей, які виходять на максимум приблизно на 5,5-6-й рік симуляції. Слід зауважити, що збільшується кількість людей, які перехворіли на ТБ. Їх чисельність постійно зростає та не виходить на насичення. Загалом після 20 років симуляції було встановлено, що кількість латентних людей становить 75 169, перехворіли на ТБ 19 852 особи, активними хворими є 163 людини. Тобто мають імунітет $75\,169 + 19\,852 = 95\,027$ осіб, що становить 95 % населення. З огляду на розрахунки через 20 років абсолютно «чисте» місто складатиметься з 95 % людей, які мають імунітет до ТБ, та 163 осіб, які активно хворіють. Це без врахування смертності й будь-яких засобів лікування та профілактики ТБ.

На рисунку 4 представлено порівняльний аналіз результатів динаміки хворих на ТБ у зазначених трьох експериментах. Як видно з рисунку, результати є приблизно однаковими. Урахування смертності майже не впливає на динаміку поширення ТБ. Водночас урахування спонтанного захворювання на ТБ і рецидивів призвело лише до зсуву максимуму епідемії на кілька місяців пізніше. Максимальна кількість хворих на ТБ не змінилася. Це може бути пов'язано зі стохастичними параметрами інфікування. Урахування чинників спонтанно вилікуваного ТБ і рецидивів призвело до того, що кількість хворих на ТБ наприкінці симуляції стабілізувалася в межах 240 агентів, що є на 80 людей (або 50 %) більше, ніж без урахування цих чинників. Окрім того, максимум інфікованих на ТБ становить у середньому 2800 агентів, що дорівнює близько 2,8 % популяції. Отже, особливості моделі передачі ТБ полягає в тому,

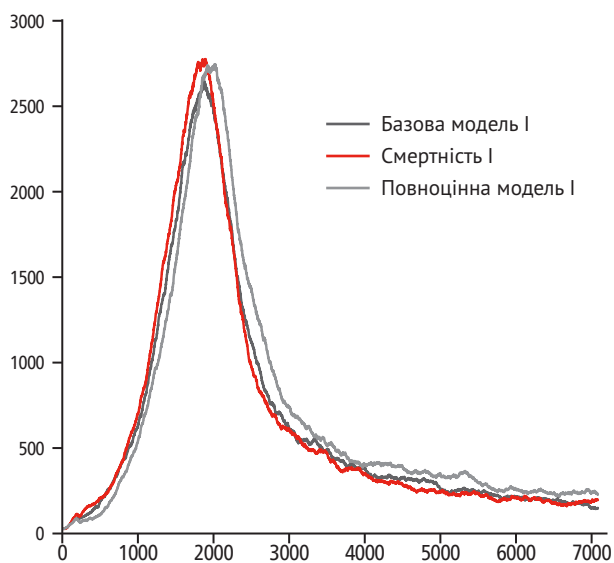


Рис. 4. Порівняльна динаміка хворих на ТБ у трьох наближеннях ВООЗ

що навіть за відсутності активного лікування максимальний рівень епідемії становитиме лише близько 3 % від загальної популяції. Це добре узгоджується з історичними даними поширення ТБ у світі [1, 4, 5].

На рисунку 5 представлено порівняльну динаміку латентних агентів і тих, які одужали, в трьох наближеннях симуляції. Як видно з рисунку, кількість латентних людей у всіх експериментах виходить на насичення на межі ~75 000. Кількість людей, які перебувають у стані R у 2-му та 3-му наближенні є дещо меншою, що пов'язано зі смертністю й можливістю переходу людини в стан I. Загалом наприкінці симуляції в 3-му наближенні сумарна кількість агентів, які перебувають у стані L та R, тобто мають імунітет, становить 93 494 – 93,5 % населення. З огляду на отримані дані без вакцинування та заходів профілактики й лікування ТБ через 20 років понад 90 % населення матимуть імунітет до ТБ і близько 240 людей зі 100 тис. населення активно хворітимуть.

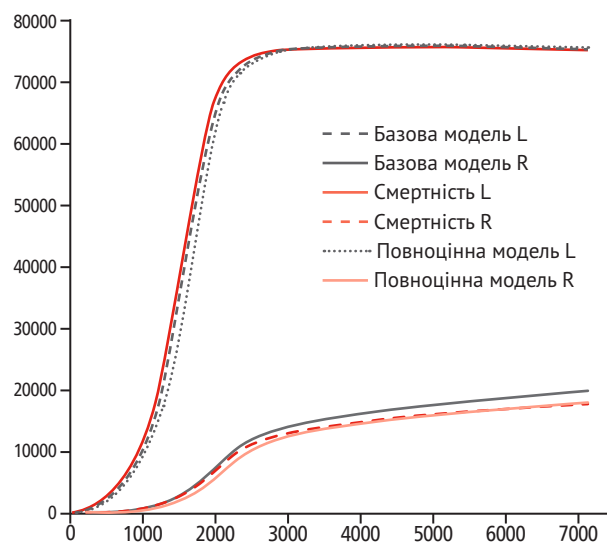


Рис. 5. Динаміка хворих, латентних агентів і тих, які одужали, в базовій моделі

Запропонована модель дає змогу не тільки отримати статистичні дані, а й проаналізувати особисту динаміку поширення ТБ конкретно визначеним агентом. Зокрема, в таблиці представлено зведену інформацію про кількість інфікованих людей і тих, кого вони інфікували. Наприклад, 80 858 інфікованих агентів не інфікували жодного іншого агента. Тобто це ті люди, які перебували в латентному стані. 2005 агентів у середньому інфікували 2 здорових агентів. Найактивніший хворий зміг інфікувати 83 здорових агентів. Загалом за 20 років було зафіксовано 162 107 випадків інфікування, тобто перехід людини зі стану S у стан L або I.

Крім цього, запропонована модель дає змогу простежувати динаміку стану здоров'я для конкретно взятого агента. Зокрема, як показав аналіз, 83 808 агентів інфікувалися лише 1 раз за симуляцію та здійснили зміну станів $S \rightarrow L$. Тобто 84 % популяції при контакті з хворим на ТБ перейшли в латентний стан, у якому вони перебували всі 20 років симуляції.

Таблиця. Кількість випадків інфікування («Інфіковані») при контакті з хворими агентами («Агенти») в останній симуляції

Інфіковані	Агенти	Інфіковані	Агенти	Інфіковані	Агенти	Інфіковані	Агенти
0	80 858	14	426	28	81	42	9
1	1771	15	378	29	65	43	8
2	2005	16	331	30	82	44	6
3	1901	17	304	31	59	45	1
4	1770	18	300	32	41	46	1
5	1438	19	280	33	38	47	2
6	1277	20	234	34	37	48	1
7	1059	21	226	35	25	49	1
8	927	22	205	36	24	50	2
9	801	23	164	37	22	52	1
10	721	24	120	38	20	54	1
11	636	25	133	39	14	58	1
12	518	26	99	40	12	68	1
13	471	27	81	41	8	83	1

«Найактивніші» агенти змінювали свій стан більш ніж 100 разів. Таких агентів є 4. У середньому люди змінювали свій стан 2-3 рази за життя. Людей, які змінювали свій стан двічі, налічується 3784. Тричі змінювали свій стан 758 агентів. Надалі їх кількість зменшується експоненційно (рис. 6).

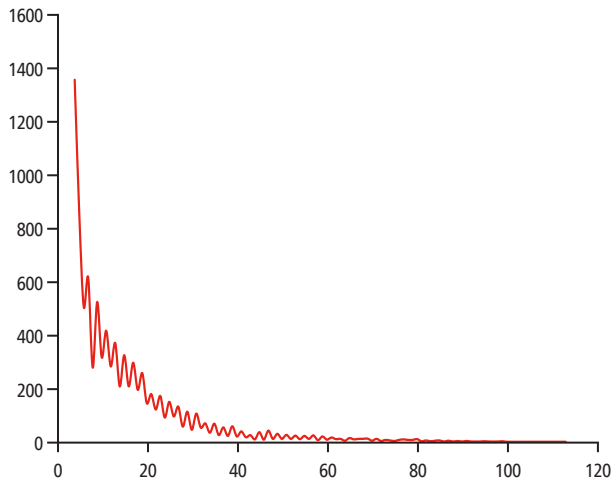


Рис. 6. Динаміка кількості людей залежно від зміни їхнього стану

Наприклад, динаміка зміни станів найактивнішого агента є такою: $S \rightarrow L, L \rightarrow S$ “Bacteria Eliminated” ... $S \rightarrow L, L \rightarrow S$ “Bacteria Eliminated” – так повторювалося 113 разів. Тобто до найактивніших агентів належать ті, які втрачають бактерії ТБ й інфікуються повторно велику кількість разів. Причому сама людина може не розуміти й не відчувати цих переходів.

Іншим прикладом може служити агент, який змінив свій стан 5 разів, а саме: $S \rightarrow L, L \rightarrow I$ “Post Primary”, $I \rightarrow R, R \rightarrow I$

“Recidive”, $I \rightarrow D$. Тобто спочатку він інфікувався та перейшов у латентний стан, далі захворів спонтанно на активний ТБ, після чого одужав і повторно захворів на ТБ через рецидив. Повторний ТБ виявився для агента летальним.

Окрім статистичної інформації, модель дає змогу детально відстежувати стан і здоров'я кожної людини: з ким вона контактувала, де проживала, де працювала, яким транспортом користувалася та які місця відвідувала, інші аспекти її життя.

Висновки

Отже, розрахунки показують стабільність результатів і відсутність великих флуктуацій. Отримані статистичні значення інфікованих, латентних осіб і тих, які одужали, корелюють із відомими медичними даними, а отже, підтверджують адекватність запропонованої моделі. Ця модель допомагає відстежувати й аналізувати життя та поведінку кожного агента, що дає змогу детально оцінити та проаналізувати поширення ТБ, а також розробити стратегію запобігання поширенню цієї інфекції.

Запропонована модель дає можливість розширюватися та враховувати інші фактори здоров'я й індивідуальні властивості агентів, їхній щоденний розклад, що допомагає реалістичніше змодельовати й оцінити різні групи населення й особливості перебігу ТБ у них.

Час симулювання моделі, що зі 100 тис. агентів становить приблизно 30 хвилин комп'ютерного часу, дає змогу розпаралелювати процеси при моделюванні декількох міст, регіонів чи країн. Завдяки цьому можна використовувати комп'ютерні кластери, а також методи оптимізації стратегії запобігання ТБ на основі нейронних мереж із підкріпленням.

Модель можна поділити на два компоненти: модель середовища, в якому поширюється інфекція, та модель самого поширення інфекції. У центрі уваги дослідження лежить розроблення точної й адекватної моделі симулятора,

яка фіксує життя, поведінку та взаємодію людей на рівні міста. Перший етап передбачає формалізацію компонентів моделі. Оскільки поширення ТБ починається з того, що інфіковані особи вступають у контакт з іншими людьми в місті, розуміння людських взаємодій має вирішальне значення. Об'єднання таких моделей на рівні міста в набір допоможе

моделювати поширення епідемії в регіональному, національному та глобальному масштабах. Використовуючи реальні об'єкти урбанізації, як-от графічні мапи та геопросторові дані про будівлі й пересування людей, дослідники можуть вивчати геопросторове поширення пандемії разом зі статистичними даними.

Література/References

1. Auld S.C., Shah N.S., Cohen T., Martinson N.A., Gandhi N.R. (2018). Where is tuberculosis transmission happening? Insights from the literature, new tools to study transmission and implications for the elimination of tuberculosis. *Respirology*. Vol. 10: 13333. doi: 10.1111/resp.13333.
2. John C.A. (2019). Realizing the World Health Organization's End TB strategy (2016–2035): how can social approaches to tuberculosis elimination contribute to progress in Asia and the Pacific? *Trop. Med. Infect. Dis.* Vol. 4 (1): 28. doi: 10.3390/tropicalmed4010028.
3. Latent tuberculosis infection. Updated and consolidated guidelines for programmatic management. World Health Organization (2018). Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260233/9789241550239-eng.pdf>.
4. MacNeil A., Glaziou P., Sismanidis C., Date A., Maloney S., Floyd K. (2020). Global epidemiology of tuberculosis and progress toward meeting global targets – worldwide, 2018. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep.* Vol. 69 (11): 281–285. doi: 10.15585/mmwr.mm6911a2.
5. Parvaresh L., Crighton T., Martinez E., Bustamante A., Chen S., Sintchenko V. (2018). Recurrence of tuberculosis in a low-incidence setting: a retrospective cross-sectional study augmented by whole genome sequencing. *BMC Infect. Dis.* Vol. 18 (1): 265. doi: 10.1186/s12879-018-3164-z.
6. Public Health Center of the Ministry of Health of Ukraine (2023). Available at: <https://www.phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvann/tuberkuloz/statistika-z-tb>.
7. Vyklyuk Y., Nevinskyi D., Chopyak V., Golubovska O., Hazdiuk K., Škoda M. (2023). Modeling the spatial distribution of different strains of the COVID-19 virus based on the GeoSER(D) model. *Preprints.org*; 2023070775. doi: 10.20944/preprints202307.0775.v1.
8. Vyklyuk Ya., Nevinskyi D., Boyko N. (2023). GeoCity: a new Dynamic-SPATIAL model of urban ecosystem. *J. Geogr. Inst. Cvijic*. 2023.
9. WHO consolidated guidelines on tuberculosis. Module 3: diagnosis – rapid diagnostics for tuberculosis detection (2021). Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/342331>.
10. World Health Organization (2022). Available at: <https://www.who.int>.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Сем'янів Ігор Олександрович

Доцент кафедри фтизіатрії та пульмонології Буковинського державного медичного університету.

Канд. мед. наук.

2, пл. Театральна, м. Чернівці, 58002, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-0340-0766

Тодоріко Лілія Дмитрівна

Завідувачка кафедри фтизіатрії та пульмонології Буковинського державного медичного університету.

Д-р мед. наук, професор.

2, пл. Театральна, м. Чернівці, 58002, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-9042-0073

Виклюк Ярослав Ігорович

Професор кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка».

Д-р тех. наук.

12, вул. С. Бандери, м. Львів, 79013, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-4766-4659

Невіньський Денис Володимирович

Доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету «Львівська політехніка».

Канд. техн. наук.

12, вул. С. Бандери, м. Львів, 79013, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0002-0962-072X

Semianiv Ihor Oleksandrovych

Associate professor of the department of phthysiology and pulmonology, Bukovinian state medical university.

PhD.

2, Theatralna sq., Chernivtsi, 58002, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-0340-0766

Todoriko Lilia Dmyrtivna

Head of the department of phthysiology and pulmonology, Bukovinian state medical university.

MD, professor.

2, Theatralna sq., Chernivtsi, 58002, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-9042-0073

Vyklyuk Yaroslav Ihorovich

Professor at artificial intelligence system department in Lviv polytechnic national university.

Doctor of technical sciences.

12, S. Bandery st., Lviv, 79013, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-4766-4659

Nevinskyi Denys Volodymyrovych

Associate professor of the department of electronic means of information and computer technologies of the institute of telecommunications, radio electronics and electronic engineering of the Lviv polytechnic national university.

Candidate of technical sciences.

12, S. Bandery st., Lviv, 79013, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0002-0962-072X

КОНТАКТНА ІНФОРМАЦІЯ / CORRESPONDENCE TO

Тодоріко Лілія Дмитрівна

2, пл. Театральна, м. Чернівці, 58002, Україна.

E-mail: pulmonology@bsmu.edu.ua

DOI: 10.32902/2663-0338-2024-2-12-18