

МОДЕЛЬ ТА ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВІРУСІВ ЛЮДИНИ

Епідемії з давніх часів створювали смертельну небезпеку для людства. Вивчення закономірностей виникнення та пошук шляхів запобігання епідемії завжди були пекучою проблемою.

Масштабність подій, які викликають епідемії, призвела до високого рівня системності дій лікарів. Невипадково математичні методи досліджень епідемії також використовують при вивченні закономірностей поширення неінфекційних хвороб. Сучасна епідеміологія в повній мірі базується на системному підході, тому приділяє велику увагу передбаченню можливих варіантів розвитку епідемії для вчасного проведення адекватних протиепідемічних заходів.

Актуальність роботи полягає в необхідності оперативної аналітичної обробки інформації та ефективної організації великих обсягів даних для аналізу та моделювання розповсюдження вірусних епідемії людини.

Основними чинниками, які зумовлюють складність вирішення задач оперативного аналізу і прогнозу розвитку епідемії (спалахів) ГРЗ, а також завдань протидії, є наступні: масовість і висока швидкість розповсюдження патогенів, коли за короткий період часу можлива поява великого числа хворих людей; збої в роботі медичних установ і органів охорони здоров'я, коли число уражених людей стає надзвичайно великим, а можливості наявних сил і засобів по протидії ГРІ обмежені; гострота або навіть криза в розвитку санітарно-епідеміологічної ситуації в осередках ураження через початкову невідповідність наявних можливостей і реальних потреб в засобах протидії ГРІ; необхідність швидкого (оперативного) аналізу і прогнозу обстановки з виробленням адекватного рішення по організації реалізації і управлінню силами і засобами протидії з єдиного центру з метою виявлення, локалізації і ліквідації епідемії при мінімальних соціальних і інших наслідках [1, 2].

В цих умовах особливого значення набувають випереджаючі наукові дослідження з аналізу і прогнозування вірогідних сценаріїв розвитку епідемії ГРЗ. Технології математичного і комп'ютерного моделювання епідемії (адекватний науковий інструментарій) дозволяють завчасно оцінювати масштаби і наслідки епідемії ГРЗ.

Розглянемо просту епідемічну модель, в якій припускається, що довільна частина популяції, яка складається із сталої кількості (N) осіб, може знаходитися лише в двох станах: вразливого (S) і інфікованому (I), $S+I=N$. Припустимо, що кожна інфікована особа є носієм вірусу, який випадковим чином вибирає в доступному просторі потенційну "жертву" із знову ж таки середньою сталою швидкістю β за одиницю часу (на пошук і зараження однієї особи в середньому затрачається $1/\beta$ одиниць часу).

На основі попереднього аналізу даних Тернопільської обласної СЕС та моделі (1) (в якій роль β відіграє параметр γ) бачимо, що на інфікування однієї особи в середньому затрачалося 2 доби, при цьому для дорослих цей час становив 1,67 доби, а осіб дитячого віку - 2,5 доби.

Ввівши змінні $i=I/N$ та $s=S/N$ отримаємо рівняння динаміки частки інфікованих осіб:

$$\frac{di}{dt} = \beta(1 - i)i \quad (1)$$

Фактори, що забезпечують згасання епідемії, можна оцінити на моделі, в якій особи популяції існують в трьох станах: вразливого (S), зараженому (I) та невразливого (R). $S + I+R = N$. Спочатку вважатимемо, що особи є невразливими лише після лікування від інфекції (за умови відсутності прошарку щеплених осіб). Введемо швидкість розповсюдження вірусу λ та сталу середню швидкість "імунізації" за одиницю часу відому також як середню швидкість одужання. Тобто середній період інфікування.

Отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = -\beta is \\ \frac{di}{dt} = \beta is - \gamma i \\ \frac{dr}{dt} = \gamma i \end{cases} \quad (2)$$

В реальних умовах імунітет шляхом вжиття протиепідемічних заходів набувають не лише інфіковані особи (I), але й вразливі (S). Припускаючи, що середня швидкість імунізації приблизно однакова для осіб обох типів і дорівнює (настільки ж малій) величині γ , отримуємо:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \beta i(1-r-i) - \gamma i \\ \frac{dr}{dt} = \nu(1-r) \end{cases} \quad (3)$$

Щоб вибрати оптимальну лінію поведінки, потрібно змодельовати різні сценарії розвитку подій в умовах, максимально наближених до реальних. Для цього група науковців створила в Лос-Аламоської національної наукової лабораторії епідеміологічну модель EpiSims, найдетальнішу з усіх існуючих раніше. Вона враховує будь-які особисті контакти між жителями, дозволяє оцінити можливу кількість заражених, а також простежити шляхи поширення інфекції. Патоген може передаватися по системам життєзабезпечення міста (водопровідних мереж, каналізації, транспортних шляхів), в місцях скупчення народу (на підприємствах, в медичних установах, магазинах) і т.д. Моделюючи розвиток ситуації, можна виробити план дій, який дозволив би запобігти поширенню інфекції і в той же час не паралізував життя міста.

Для створення докладної епідеміологічної моделі для мільйонних популяцій скористалися модельною системою TRANSIMS, розробленої раніше в Лос-Аламоської лабораторії для оцінки наслідків реорганізації транспортної інфраструктури міста. Система є джерелом цінної інформації про переміщення великих груп городян, що стало основою для моделювання контактів мільйонів людей.

Система TRANSIMS розроблялася для конкретного населеного пункту - міста Портленд в шт. Орегон. Віртуальна версія Портленда включає докладні карти міста, представлені в цифровому вигляді, із зазначенням трамвайних колій, автомобільних доріг, пішохідних переходів, світлофорів і т.д., а також враховує інтенсивність руху на вулицях і час, необхідний для переміщення з однієї точки міста в іншу. Аналізуючи офіційні дані, ми виділили на карті 180 тис. вузлових точок і склали справжню картину повсякденного життя 1,6 млн. Віртуальних жителів Портленда.

Включення цієї інформації в створену комп'ютерну модель EpiSims дозволяє створити адекватну картину фізичних контактів між людьми у великих населених пунктах. За допомогою EpiSims можна імітувати зараження віртуальним вірусом, моделювати його поширення та перевіряти ефективність різних протиепідемічних заходів. Але навіть сама модель дає абсолютно несподівану інформацію про соціальні мережі в популяціях, яка дуже важлива з точки зору епідеміології.

В якості основи при побудові EpiSims використовували модельну систему, створену раніше для Портленда. Однак потрібні були докладні дані про всі 1,6 млн. Жителів міста і їх повсякденній діяльності, а збір даних такого роду - завдання важке і сумнівна з етичної точки зору. Тому створили віртуальне співтовариство відповідно до реальних статистичними показниками і офіційними даними про переміщення людей.

Для вирішення поставленої задачі було вирішено використати ігровий рушій Unity3d. Unity — це інструмент для розробки двох- і тривимірних додатків та ігор. Створені за допомогою Unity програми працюють під операційними системами Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux, а також на ігрових приставках Wii, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One, та в браузерях за допомогою спеціального модуля Unity (Unity Web Player) і реалізацією технології WebGL.