

**Робоча група з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією  
коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні  
(базова установа - ІММС НАНУ)**

Створена Розпорядженням Президії НАН України від 3 квітня 2020 р. № 118

**Прогноз  
розвитку епідемії COVID-19 в Україні в період 28 квітня – 5 травня 2020 р. та  
аналіз можливих сценаріїв розвитку епідемії в період  
6 травня - 5 червня 2020 р.  
“Прогноз РГ-3”**

**27.04.2020**

- аналізується останні статистичні дані розвитку епідемії в Україні і кількох Європейських країнах;
- проводиться порівняльний аналіз результатів «Прогнозу РГ-2» з статистичними даними України за останній тиждень;
- представляється прогноз розвитку епідемії на наступний тиждень 27 квітня - 5 травня 2020 р. в умовах збереження карантину;
- проводиться аналіз можливих сценаріїв розвитку епідемії в період 6 травня - 5 червня 2020 р. в умовах збереження карантину і з урахуванням сценарію часткового послаблення карантину що попередньо планується Кабінетом Міністрів України на середину травня.

РГ продовжує роботи над вдосконаленням моделі SEIR–U, короткий опис якої надано в документі “Прогноз-1”, а більш детальний - в Звітах Робочої групи.

**1. Статистичні особливості розвитку пандемії COVID-19 в декількох країнах**

Головні тренди розвитку пандемії в 5-ти країнах представлені на рис. 1.

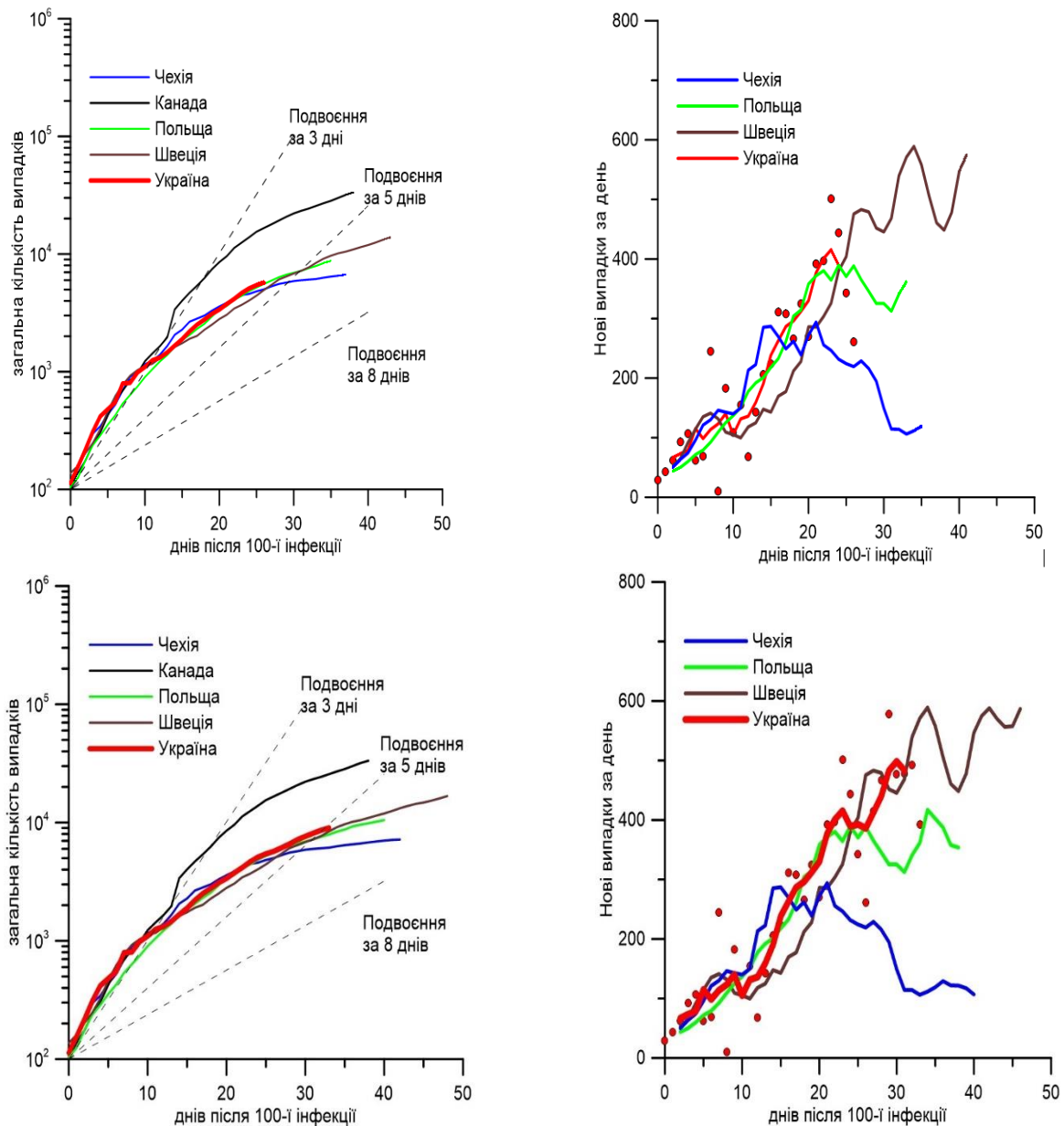


Рис. 1. Сумарна кількість виявлених випадків захворювання (ліворуч) та кількість захворювань, виявлених за день (праворуч). Щоденна кількість нових випадків подана згладженою з періодом осереднення 5 днів. Червоними точками показані не згладжені дані для України. Верхній ряд – результати обробки даних до 20.04.2020 з документу РГ-2, нижній нові дані до 26.02.21

В порівнянні на рис. 1 першим днем епідемії в кожній країні вважається день, коли сумарна кількість виявлених інфікованих перевищила 100 випадків виявлених захворювань у країні. Для України цією датою є 25 березня. Для порівняння обрані країни, в яких динаміка росту кількості інфікованих схожа на українську.

Виходячи з графіків рис. 1, можна припустити, що епідемія в Україна рухається близько по траєкторії Швеції та Польщі з деяким запізненням. При цьому за останній тиждень нахил кривої Польщі став більш пологим ніж у Швеції і в Україні. за останній тиждень період подвоєння (нахил кривої) зараз збільшився з 8 днів до біля 11 днів та має тенденцію до збільшення (більш полого крива). Хоча траєкторії руху країн близькі, але Україна раніше відносно початку епідемії ввела карантин, коли були

zareєстровані лише поодинокі випадки в окремих областях. Це вагомий стримуючий фактор зростання захворюваності на COVID-19. З порівняння динаміки інших країн, можна припустити, що період подвоєння загальної кількості випадків більше 10-ти днів свідчить про настання фази лінійного росту та наближення до максимуму кількості нових захворювань на день.

При цьому треба відмітити, що Польща проходить зараз близький до пікового період не одним яскраво вираженим піком, а декількома хвилями і дату проходження піку можна буде визначити лише статистичним осередненням цих щоденних даних після закінчення цього «біля-пікового періоду». В Швеції, в якій впровадженні дуже м'які обмежувальні заходи, судячи з представлених на Рис 1 даних пік захворювань проявиться дещо пізніше і на вищих рівнях ніж в Польщі.

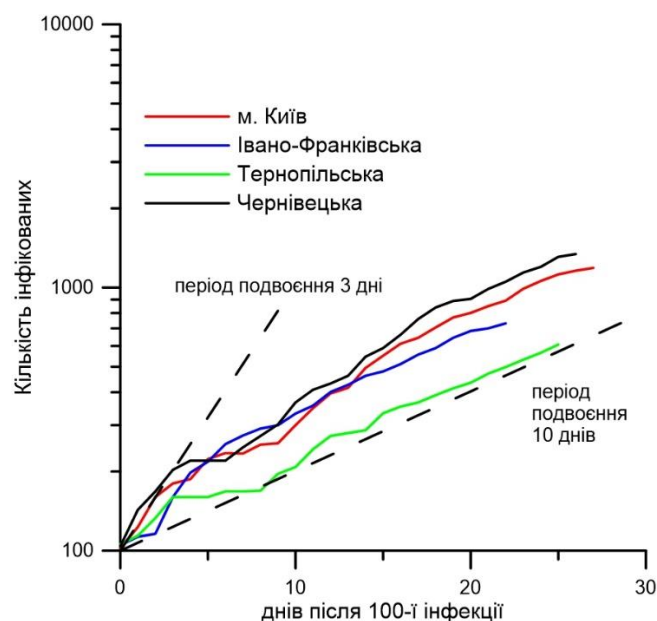


Рис. 2. Загальна кількість інфікованих по найбільш інфікованим регіонам України, дані приведені до дати виявленої 100-ї інфекції в кожному регіоні

Дані для чотирьох найбільш інфікованих регіонів України демонструють, що прикордонна Чернівецька область та м. Київ демонстрували найбільшу швидкість розвитку епідемії в країні, але нахил кривих в останні тижні знизився до приблизно періоду здвоєння в 10 днів, тобто до нахилу, з яким розвивалась епідемія і в Тернопільській області. Якщо вдасться запобігти утворенню нових локальних кластерів захворювань, що мали місце в цих регіонах, можна сподіватися в найближчий час на проходження в них піків захворюваності.

Зупинка епідемії (в країнах, що успішно зупинили першу хвилю) відбувається за рахунок обмеження соціальних контактів. При моделюванні кількість соціальних контактів можна відобразити через змінну в часі функцію  $R_{oeff}$ .  $R_{oeff}$  можна співставити з динамікою поширення (або затухання) епідемії та з датами впровадження певних обмежуваних заходів для країн, що пройшли пік

захворюваності. Але передбачення подальших змін в коефіцієнті репродукції має великий діапазон невизначеності .

Центр математичного моделювання інфекційних хвороб SMMID при London School of Hygiene and Tropical Medicine провів оцінку для епідеміологічних параметрів для багатьох країн світу. В тому числі для України та Польщі. (<https://epiforecasts.io/covid/reports.html#Europe>). Ці оцінки регулярно оновлюються.

Зокрема, оцінюються базові для нашої моделі параметри: ефективний репродуктивний коефіцієнт  $R_{eff}$  та період подвоєння. Ці оцінки були використані в моделі для формування сценаріїв розрахунків. Також нами використовувалась не пряма, але кількісна оцінка зниження міжособистісних контактів населення під час карантину в різних країнах в прив'язці до дат, за представленими компанією “Apple” інформацією про пішохідну мобільність користувачів “Айфон” в різних країнах (Рис.3 )

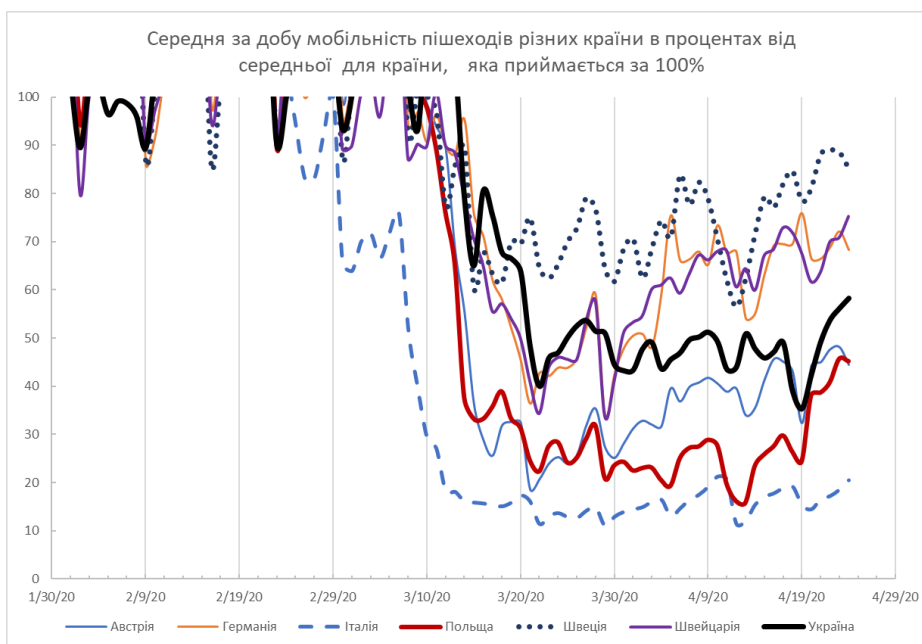


Рис. 3 Мобільність пішоходів, власників Айфонів, в деяких європейських країнах у лютому-квітні 2020 р (за результатами обробки “big data” <https://www.apple.com/covid19/mobility> )

В Україні різке зниження мобільності населення почалось з 15 березня з досягненням 22 березня рівня на 60% меншого ніж до карантину. Після цього стрімкого падіння рівень зниження мобільності населення України коливався в діапазоні 50-60 відсотків, з зниженням до 65% 19 квітня та з підвищенням 24.04 до 40%. В Австрії мобільність знизилась більш ніж на 80% від до-карантинного рівня, і за рахунок цього Австрія,

яка вже пройшла пік епідемії, почала поступово знижувати карантинні обмеження. В Польщі, в якій мобільність знизилась на 78%, в 20 числах березня поступово підвищила мобільність до рівня України. Дані демонструють як підвищується мобільність після пом'якшення обмежень в Німеччині і Швейцарії. Лише на 20-30 % знижувалась мобільність в Швеції, а в останні дні зниження становить лише 15%, наслідком чого є продовження зростання нових випадків інфекції, хоча вже пройшло більш 45 днів розвитку епідемії в цій країні (Рис.1). Для України ці дані дозволили (Рис. 2) оцінити динаміку ефективного репродуктивного коефіцієнту у часі та отримати приблизні кількісні оцінки його зниження за рахунок впроваджених карантинних заходів.

## 2. Порівняння прогнозу розвитку епідемії на 21-27 квітня 2020 р. в Україні із статистичними даними

На наступних рисунках наведені прогнозні криві “Прогнозу РГ-2” та накладені нові дані, що отримані протягом семи днів після надання прогнозу. Оскільки дані є дуже неоднорідними в часі, то наведена також згладжена крива, що відповідає періоду «running average» періоду ковзного осереднення 7 днів.

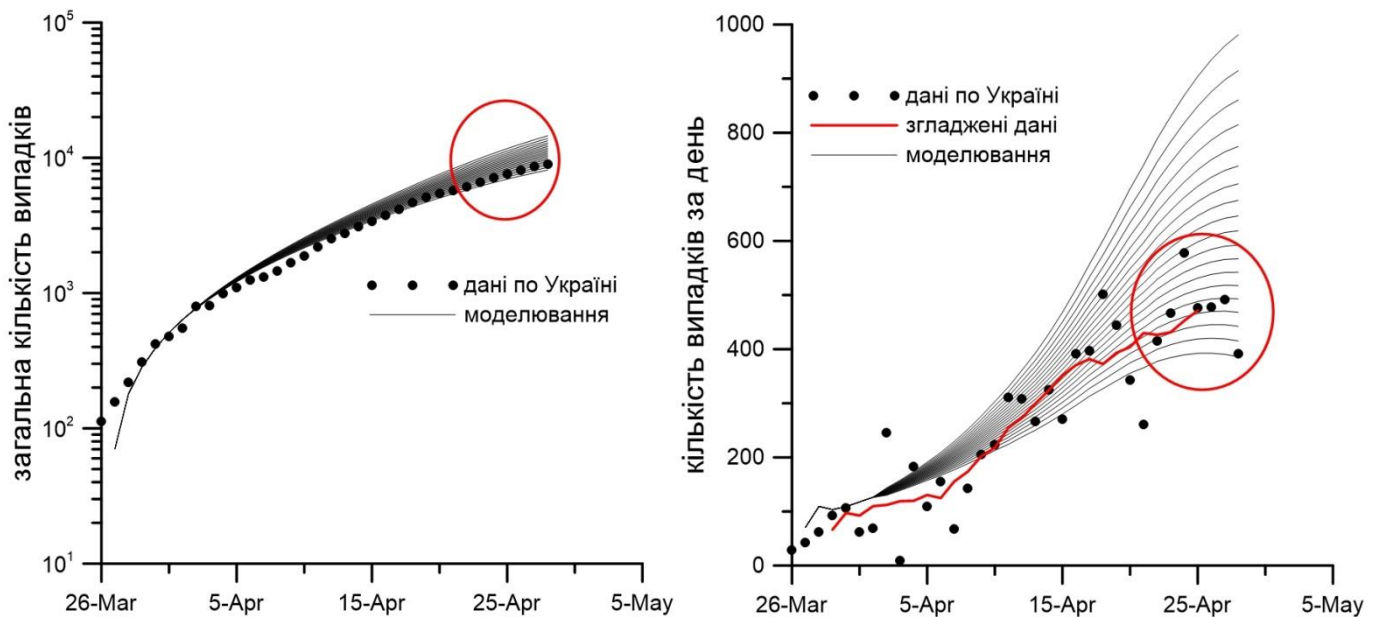


Рис. 3. Порівняння загальної кількості інфікованих з прогнозними кривими документу “Прогноз РГ-2”, червоним колом позначені дані, що отримані після прогнозу (ліворуч) та порівняння даних про нові випадки за день з прогнозними кривими, червоною лінією позначена згладжена крива даних (праворуч)

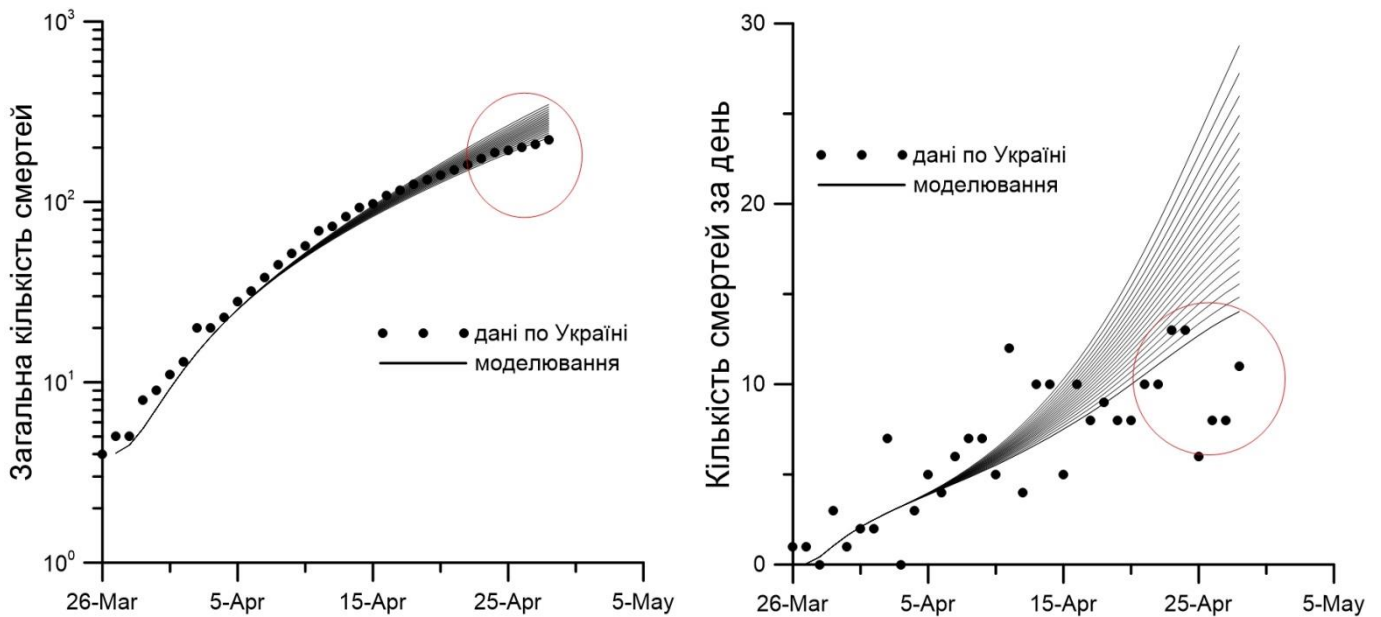


Рис. 4. Порівняння загальної кількості летальних випадків з прогнозними кривими документу “Прогноз РГ-2”, червоним колом позначені дані, що отримані після прогнозу (ліворуч) та порівняння даних про смерті випадки за день з прогнозними кривими (праворуч)

З порівняння прогнозних кривих та отриманих даних можна зробити висновок, що модель досить точно описала загальну кількість інфікованих, але переоцінила смертність у порівнянні з офіційною статистикою. Рівень смертності знижується другий тиждень поспіль. Це може означати збільшення відсотка виявлених хворих або покращення піклування за важкими хворими. В наступному прогнозі враховано зниження рівня смертності з часом.

### 3. Прогноз розвитку епідемії в Україні 27 квітня – 5 травня 2020 р.

Як вказано вище, змінний в часі ефективний коефіцієнт розвитку епідемії  $R_{oeff}$  (ключовий параметр моделі) розраховувався обробкою статистичних даних розвитку епідемії в Україні (нахилом кривої зростання випадків – періодами подвоєння з залученням також даних закордонних оцінок для України цитованих вище та прямих вимірів мобільності населення) (Рис.2). Параметри моделі уточнювались також за наведеними у попередньому розділі результатами порівняння прогнозів документу «Прогноз РГ-2» з виявленою кількістю нових інфікованих і померлих

Для оцінки можливого відхилення від заданого сценарію було запропоновано 15 різних сценаріїв, кожен з яких відрізняється від базового відхиленням від заданого  $R_{oeff}$ .

Розрахований за цих припущень прогноз на наступний тиждень представлено на рис. 6 та 7.

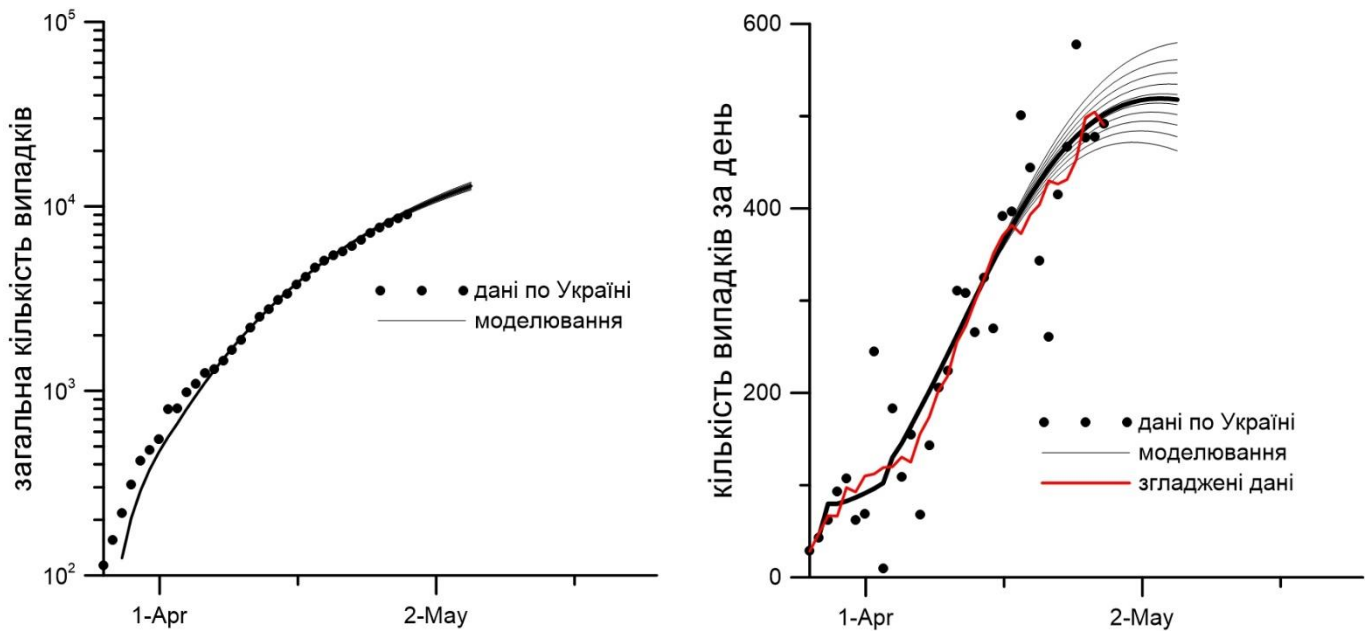


Рис. 6. Порівняння розрахунку загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) із даними МОЗ України 26.03-26.04.2020 та прогноз РГ-3, розрахований на період 27.04-5.05 2020р.

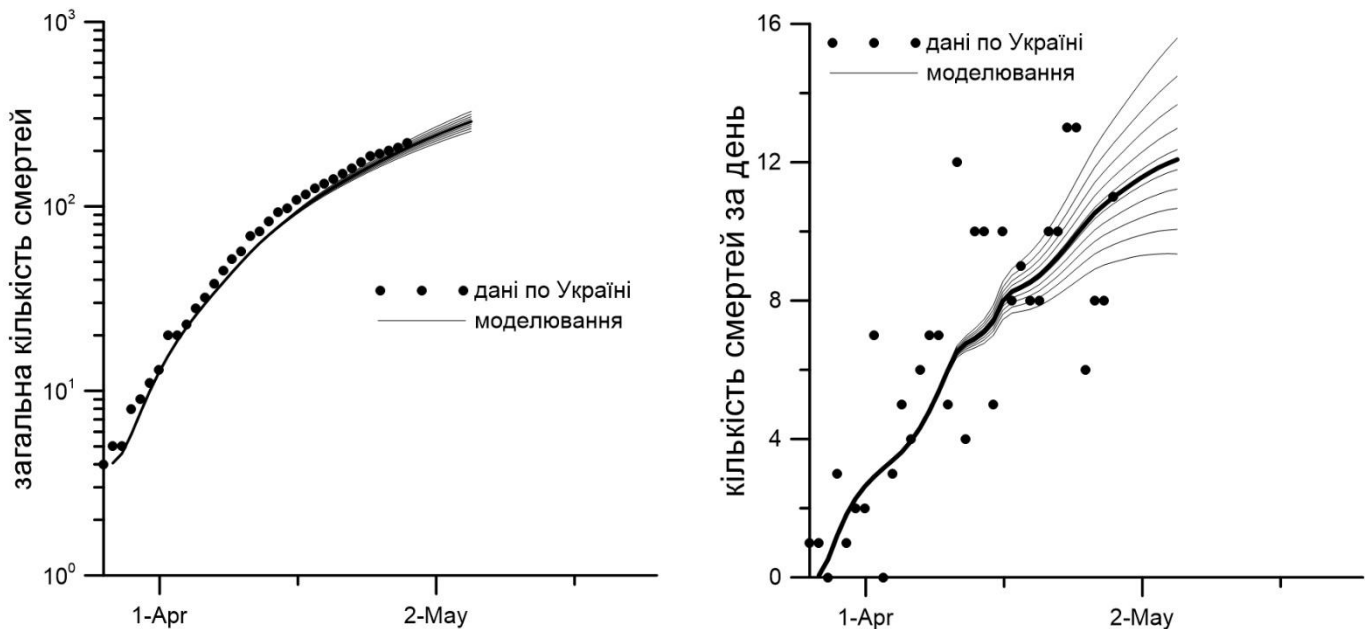


Рис. 7. Порівняння розрахунку загальної кількості померлих (ліворуч) і щоденних нових смертей (праворуч) із даними МОЗ України 26.03-26.04.2020 та прогноз РГ-3, розрахований на період 27.04-5.05 2020р.



Цей прогноз підтверджує результати попередніх двох прогнозів, що в перший тиждень травня кількість нових інфікованих в день вийде на пологий максимум.

- Число нових виявлених випадків в пікові дні 2-5 травня – медіанне значення 520 випадків за день при діапазоні значень від 450 до 580 випадків.
- Кількість летальних випадків за тиждень найбільше наприкінці тижня 5 травня - медіанне значення 11 при діапазоні від 9 до 15 смертей за день.

#### 4. Аналіз результатів розрахунків можливих сценаріїв розвитку епідемії в Україні в період 27 квітня – 5 червня при збереженні карантину

Кабінет Міністрів України нещодавно розповсюдив інформацію, що при виконанні низки умов після 11 травня може бути впроваджений план зняття карантинних обмежень в Україні в п'ять етапів. Оскільки є деяка ймовірність того, що в травні обмеження ще не будуть зняті, в якості першого сценарію розраховувався сценарій продовження карантинних обмежень до кінця прогностичного періоду 5 червня 2020 (Рис. 8 і 9).

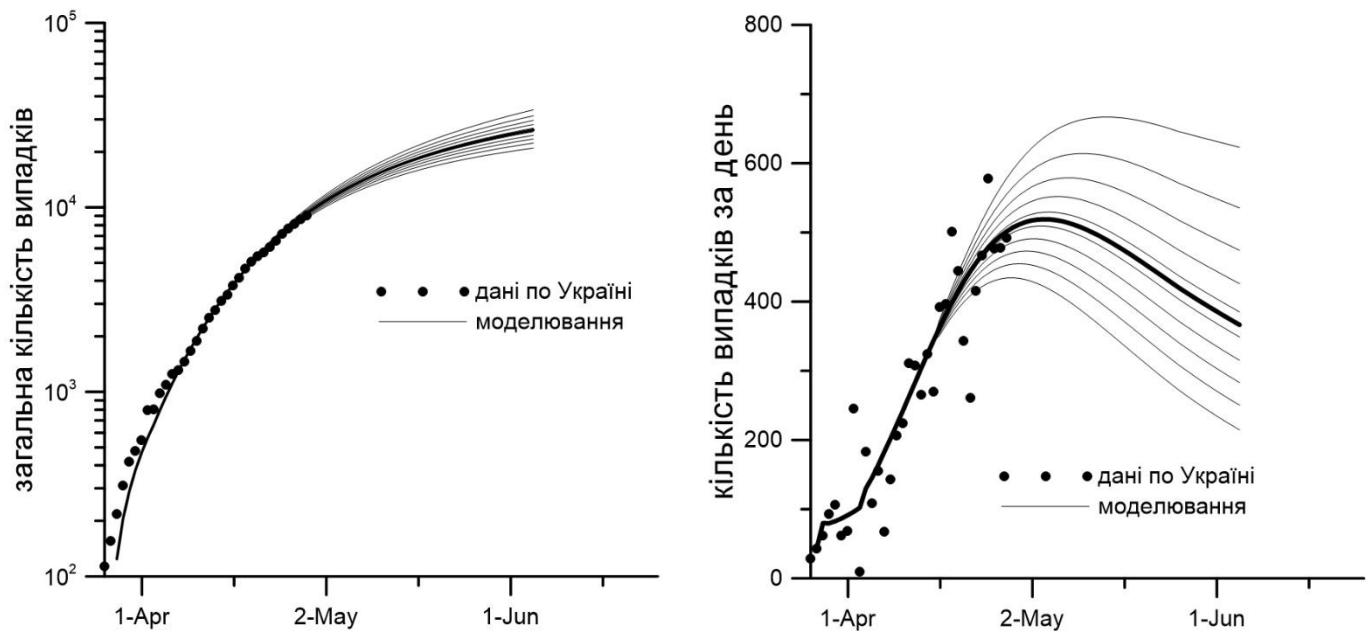


Рис. 8. Порівняння розрахунку загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) із даними МОЗ України 26.03- 26.04.2020 та сценарій розвитку епідемії, розрахований на період до початку червня при збереженні нинішніх умов карантину



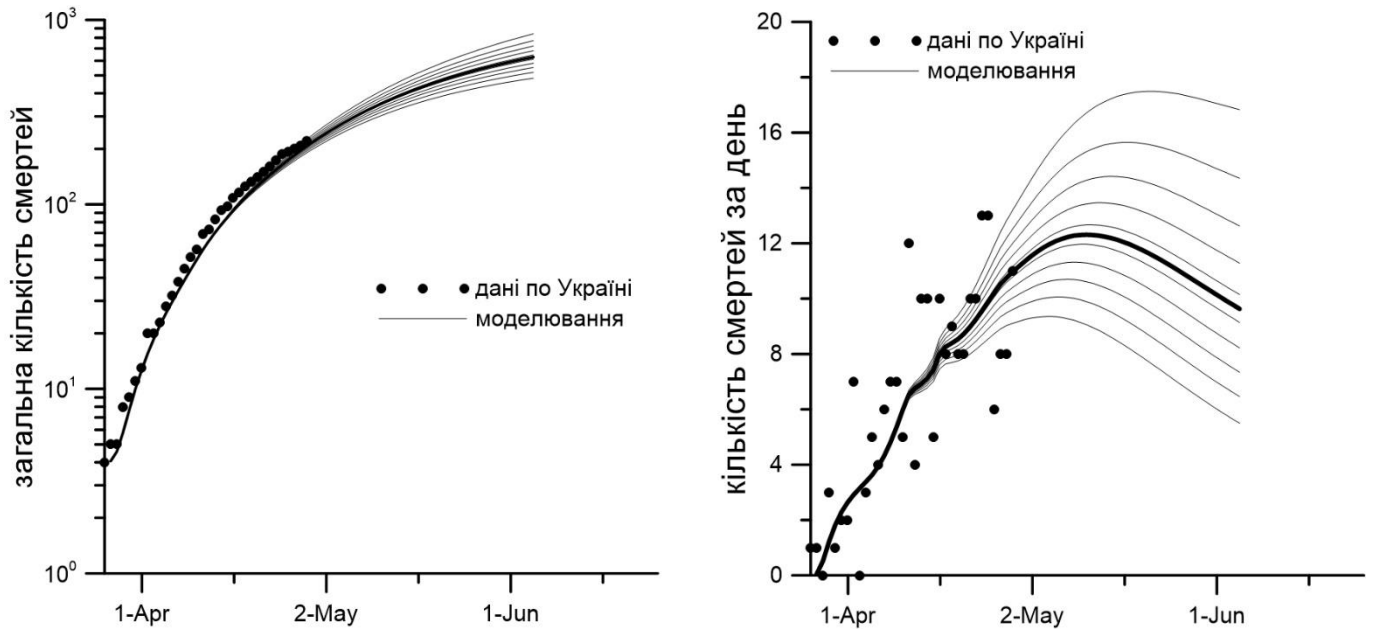


Рис. 9. Порівняння розрахунку загальної кількості померлих (ліворуч) і щоденних нових смертей (праворуч) із даним МОЗ України 26.03-26.04.2020 та сценарій розвитку епідемії, розрахований на період до початку червня при збереженні нинішніх умов карантину

З урахуванням можливості подальших уточнень прогнозу при надходженні нових даних цей прогностичний сценарій близький до представленого в попередніх прогнозах РГ-1 і РГ-2 сценаріїв розвитку епідемії до початку червня, якщо будуть продовжені карантинні заходи в тому ж обсязі, що і натепер:

- **Пік нових випадків COVID-19 в день орієнтовно буде припадати на 2-5 травня 2020 р., пік летальних випадків - на 3-10 травня 2020 р.**
- **Після досягнення піку захворюваності (медіанне значення 500 випадків) зниження нових випадків інфікованих буде спостерігатися до 5 червня 2020 р. до медіанного значення 380 випадків (діапазон прогнозованих значень 220-610).**
- **Після досягнення піку летальності медіанне значення 12 випадків зниження кількості нових летальних випадків буде відбуватися до 5 червня 2020 р. до медіанного значення 9 випадків (діапазон прогнозованих значень 6-17).**

У порівнянні з прогнозами на травень попередніх документів РГ-1 і РГ-2, цей проноз дає дещо меншу кількість інфікованих і летальних випадків при збереженні приблизно тих же дат пологих піків розподілу числа інфікованих і померлих.

## **ВИСНОВКИ**

1. Робоча група при Президії НАНУ продовжує роботи з подальшого розвитку моделі SEIR\_U на основі вивчення досвіду інших країн та статистичного аналізу доступних даних поширення захворюваності на COVID-19.
2. Порівняння результату “Прогноз РГ-2” з даними за період прогнозування в останній тиждень продемонструвало, що результати знаходяться в більшій мірі в діапазоні прогнозованих значень. За даними порівняння проведено коректування коефіцієнтів моделі на новий прогностичний період.
3. Для отримання більш достовірного прогнозу необхідні ряд додаткових даних, оскільки дотепер залишається значний діапазон невизначеностей в результатах прогнозування. Прохання з наданням цієї інформації подано до МОЗ України від ДУ «Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л.В. Громашевського НАМН України» (вих. №195 від 9.04.2020 р).
4. Розпочата робота з впровадження моделі типу SEIR-U може бути першим кроком для створення моделюючого інструментарію національного і регіонального рівнів (систем рівня областей і великих міст).