

**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 5 – 12 травня 2020 р. та аналіз  
можливих сценаріїв розвитку епідемії в період  
12 травня - 12 червня 2020 р. «Прогноз РГ-4»  
05.05.2020**

З початку квітня 2020 р. міжвідомчою Робочою групою (РГ) представників НАН України, КНУ імені Тараса Шевченка та НАМН України, з урахуванням світового досвіду математичного моделювання розвитку епідемії COVID-19, на основі статистичних даних про динаміку епідемії в Україні та країнах Європи створювалась і тестувалася математична модель SEIR–U. За результатами проведеного моделювання 13.04.2020 Робочою групою було підготовлений документи «Прогноз розвитку епідемії коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні»

РГ1 від 13 квітня 2020 р.

<http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=6346>

РГ2 від 21 квітня 2020 р.

РГ3 від 27 квітня 2020 р.

<http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=6391&fbclid=>

Прогнози були офіційно представлені й Президією НАНУ до державних органів. На ці прогнози надавав посилання Кабінет Міністрів України на брифінгах.

В новому документі «Прогноз РГ-4»:

- представлено аналіз останніх статистичних даних розвитку епідемії в Україні та кількох Європейських країнах;
- здійснено порівняльний аналіз результатів «Прогнозу РГ-3» зі статистичними даними України за останній тиждень;
- представлено прогноз розвитку епідемії на наступний тиждень 5 -12 травня 2020 р., в умовах збереження карантину;
- проаналізовано можливі сценарії розвитку епідемії в період 12 травня - 12 червня 2020 р. в умовах збереження карантину і з урахуванням сценарію часткового його послаблення, що попередньо планується Кабінетом Міністрів України на середину травня.

РГ продовжує роботи над вдосконаленням моделі SEIR–U, короткий опис якої надано в документі «Прогноз-РГ1», а більш детальний – у 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.

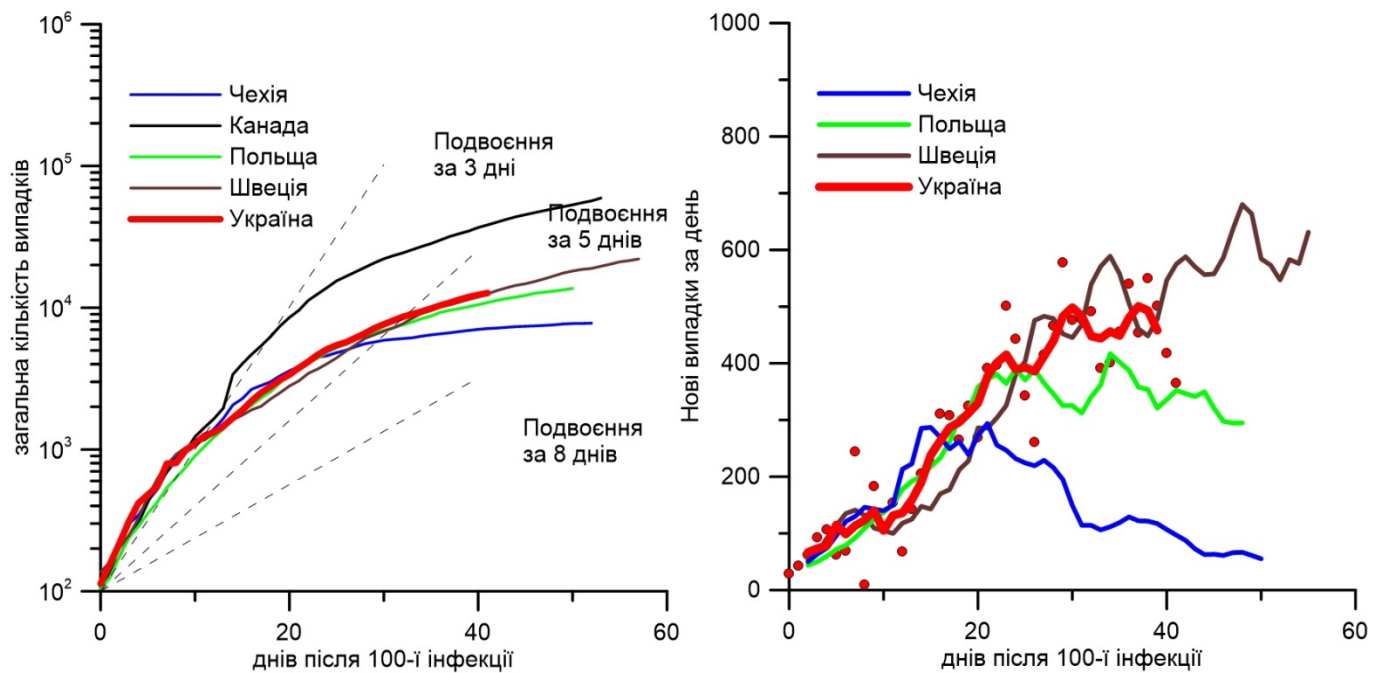


Рис. 1. Сумарна кількість виявлених випадків захворювання (ліворуч) та кількість захворювань, виявлених за день (праворуч). Щоденна кількість нових випадків подана згладженою з періодом осереднення 5 днів. Червоними точками показані не згладжені дані для України.

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 побачити, що за останній тиждень епідемія в Україні відхилилась від траєкторії Польщі і стала більш схожою до траєкторії Швеції 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) для України збільшився з 11 днів до близько 13 днів та має тенденцію до збільшення (більш пологою кривою). 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. В Україні є всі ознаки того, що вона проходить пологий піковий період і на наступному тижні слід очікувати незначного зменшення кількості захворювань на день.

При цьому треба відзначити, що як Польща, так і Швеція мають дуже тривалий період плато, який вже близький до завершення. Дату проходження піку можна буде визначити лише статистичним осередненням цих щоденних даних після закінчення цього навколо-пікового періоду.

Для оцінки впливу різних стратегій карантинних заходів на розвиток епідемії розглянемо календарний хід епідемії в Україні, Швеції, Польщі, Канаді як країни, близької до України за кількістю населення, та Республіки Білорусь, в якій не було оголошено режим національного карантину.

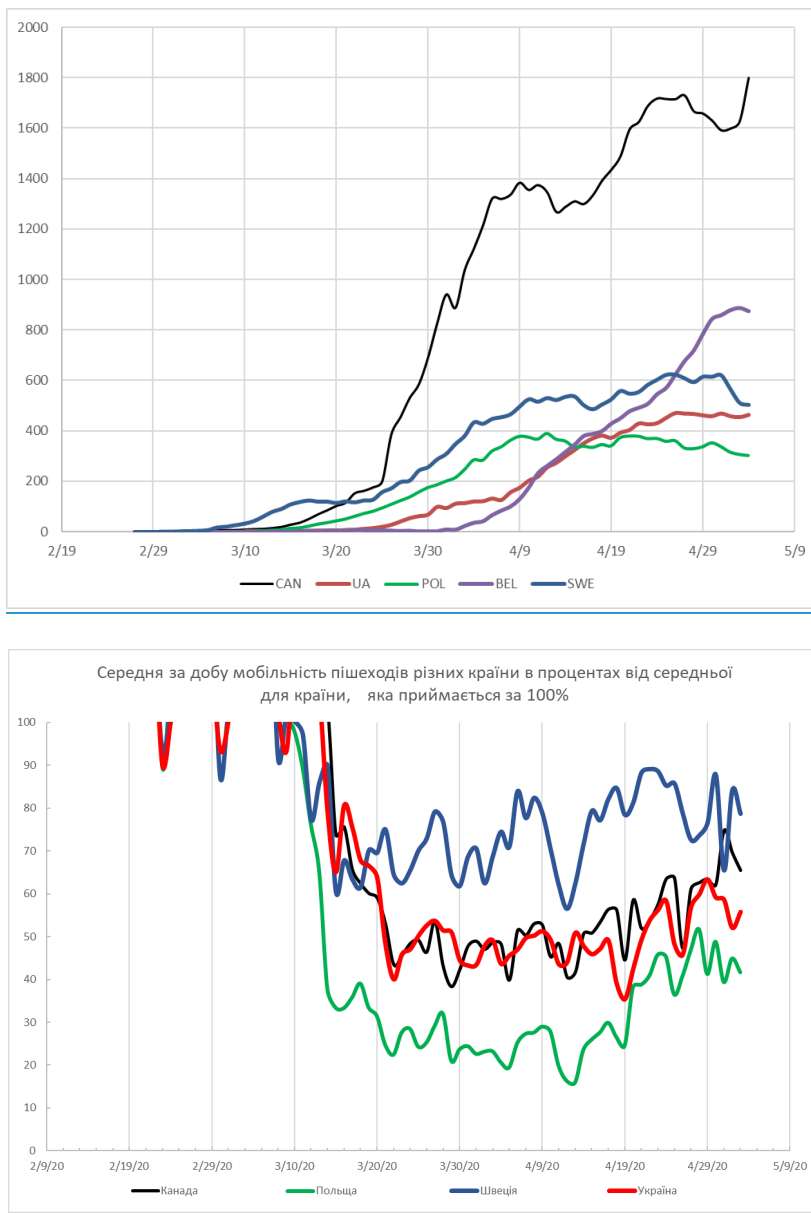


Рис. 2 Дані щодобових нових інфекцій в Україні, Польщі, Швеції і Канаді (верхній рисунок) в порівнянні з мобільністю пішоходів, <https://www.apple.com/covid19/mobility> (нижній рисунок)

Як і в попередніх документах Робочої групи, для оцінки календарної динаміки й інтенсивності карантинних заходів використовувались дані про мобільність населення в різних країнах за даними фірми Apple.

Результати, представлені на рис. 2, яскраво демонструють, що в Канаді, країні за кількістю населення приблизно рівній Україні (без окупованих тимчасово територій), зменшення мобільності за рахунок карантинних заходів розпочалось лише тоді, коли щоденна кількість нових захворювань стала більшою, ніж 100

випадків на день. Це призвело до пікової кількості нових інфікованих у Канаді і у 5-8 разів більшої, ніж в Україні і Польщі, в яких карантинні заходи різко зменшили мобільність населення, коли лише з'явилися перші випадки інфікованих в цих країнах.

Apple не надає інформації про мобільність населення в Республіці Білорусь. Відомо, що повний карантин у цій країні оголошено не було, і відповідно статистичні дані демонструють значно швидше наростання розповсюдження епідемії в Білорусі. У Швеції з «м'якими» карантинними заходами і значно меншим зниженням мобільності населення, ніж в Польщі і в Україні, кількість інфікованих на день у півтора - два рази більша (в максимумі), ніж в Україні і Польщі.

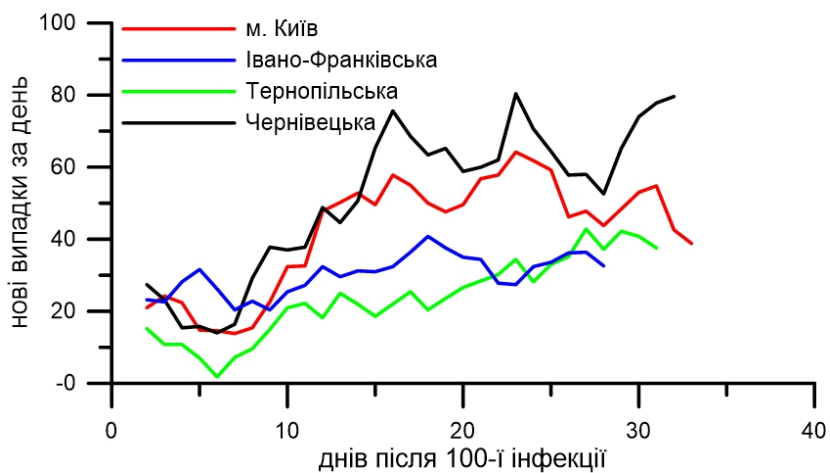
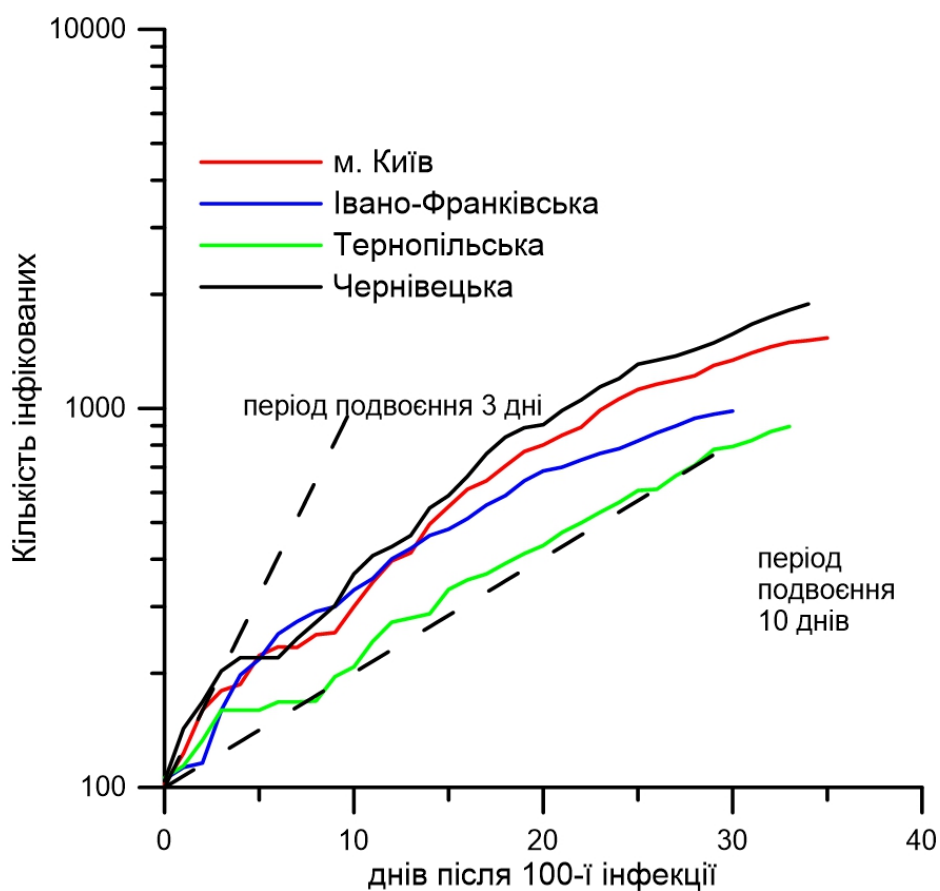


Рис. 3. Загальна кількість інфікованих по найбільш зараженим регіонам України (зверху), кількість нових зареєстрованих випадків за день, згладжені дані (знизу). Дані приведені до дати виявленої 100-ї інфекції в кожному регіоні

Дані для чотирьох найбільш інфікованих регіонів України демонструють, що швидкість розповсюдження епідемії продовжує знижуватися (рис. 3). Для м. Києва період подвоєння на поточний момент складає близько 15 днів, для Івано-Франківської області – 14 днів, для Чернівецької та Тернопільської – близько 13 днів. Графік кількості нових випадків за день демонструє, що в Києві почалося незначне зниження, Чернівецька та Івано-Франківська області знаходяться у тривалій фазі плато, а Тернопільська область демонструє незначну тенденцію до збільшення кількості нових випадків за день.

Зупинка епідемії (в країнах, що успішно зупинили першу її хвилю) відбувається за рахунок обмеження соціальних контактів. При моделюванні кількість цих контактів можна відобразити через змінну в часі функцію  $R_{eff}$  - ефективний коефіцієнт розвитку епідемії (коефіцієнт репродукції).  $R_{eff}$  можна співставити з динамікою поширення (або затухання) епідемії та з датами впровадження певних обмежувальних заходів для країн, що пройшли пік захворюваності. Але передбачення подальших змін у коефіцієнті репродукції має великий діапазон невизначеності.

## 2. Порівняння прогнозу розвитку епідемії на 27 квітня – 5 травня 2020 р. в Україні зі статистичними даними

На наступних малюнках наведені прогнозні криві «Прогнозу РГ-3» та накладені нові дані, що отримані протягом семи днів після надання прогнозу. Оскільки дані є дуже неоднорідними в часі, то наведено також згладжену криву, що відповідає періоду рухомого осереднення 5 днів.

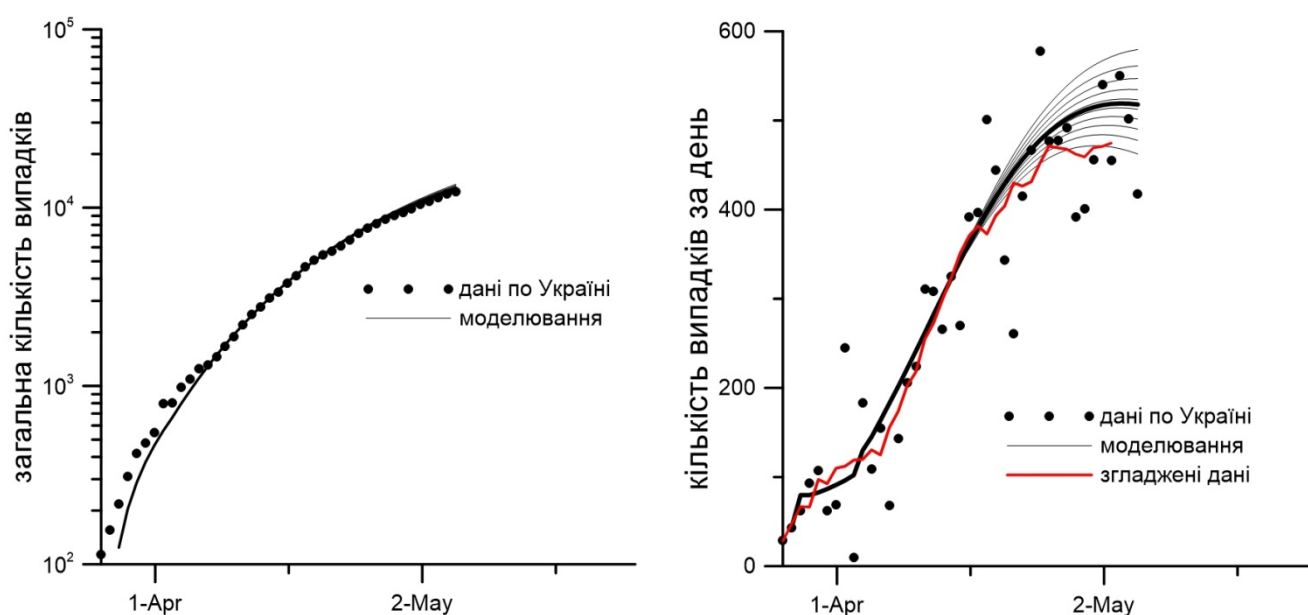


Рис. 4. Порівняння загальної кількості інфікованих з прогнозними кривими документу «Прогноз РГ-3» (ліворуч) та порівняння даних про нові випадки за день з прогнозними кривими, червоною лінією позначена згладжена крива даних (праворуч). Прогнозними є останні 7 точок статистичних даних.

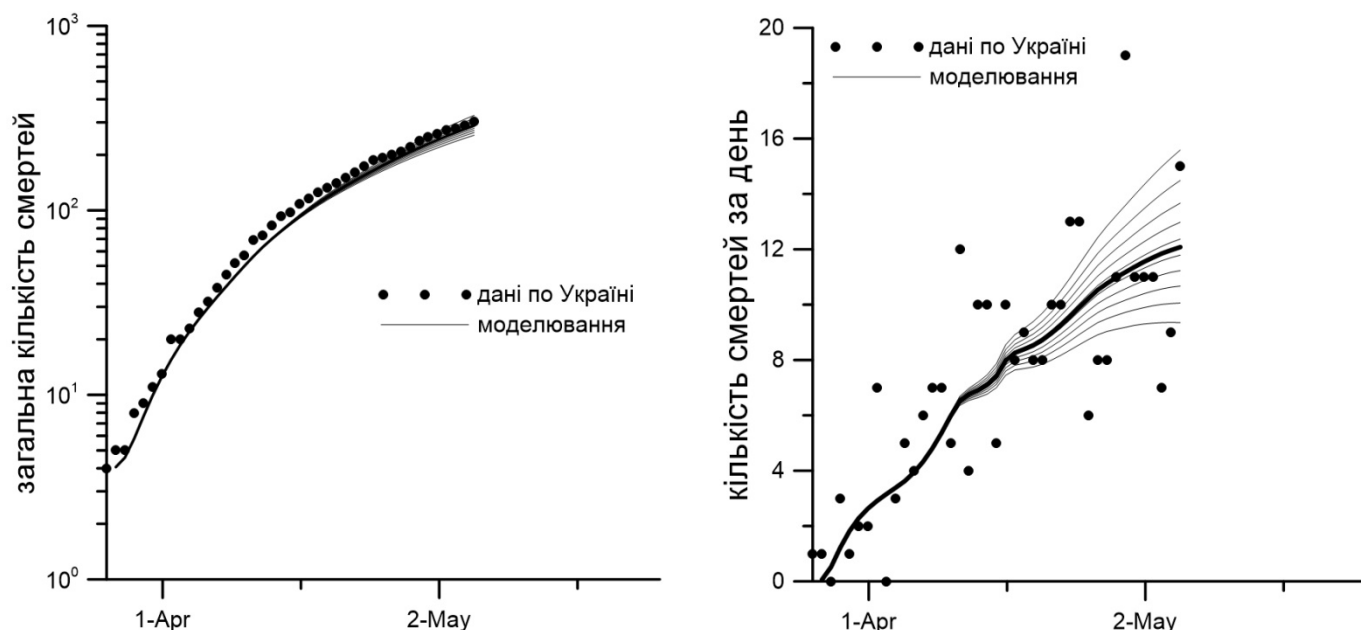


Рис. 5. Порівняння загальної кількості летальних випадків з прогнозними кривими документу «Прогноз РГ-3», (ліворуч) та порівняння даних про смерті випадки за день з прогнозними кривими (праворуч). Прогнозними є останні 7 точок статистичних даних.

З порівняння прогнозних кривих та отриманих даних можна зробити висновок, що статистичні дані відображають оптимістичний сценарій розвитку епідемії.

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

Як зазначено вище, змінний у часі ефективний коефіцієнт розвитку епідемії  $R_{oeff}$  розраховувався шляхом обробки статистичних даних розвитку епідемії в Україні (нахилом кривої зростання випадків, періодами подвоєння з залученням даних закордонних оцінок для України та прямих вимірів мобільності населення). У прогнозі РГ-4 був застосований алгоритм визначення ефективного коефіцієнту репродукції за статистичними даними та параметрами математичної моделі. Для оцінки параметрів моделі було використано статистичні дані, що було надано ЦГЗ МОЗ станом на 27 квітня 2020 року. Параметри моделі уточнювалися також за наведеними у попередньому розділі результатами порівняння прогнозів документу «Прогноз РГ-3» з виявленою кількістю нових інфікованих і померлих.

Розрахований в цих припущеннях прогноз на наступний тиждень представлено на рис. 6 і рис. 7.

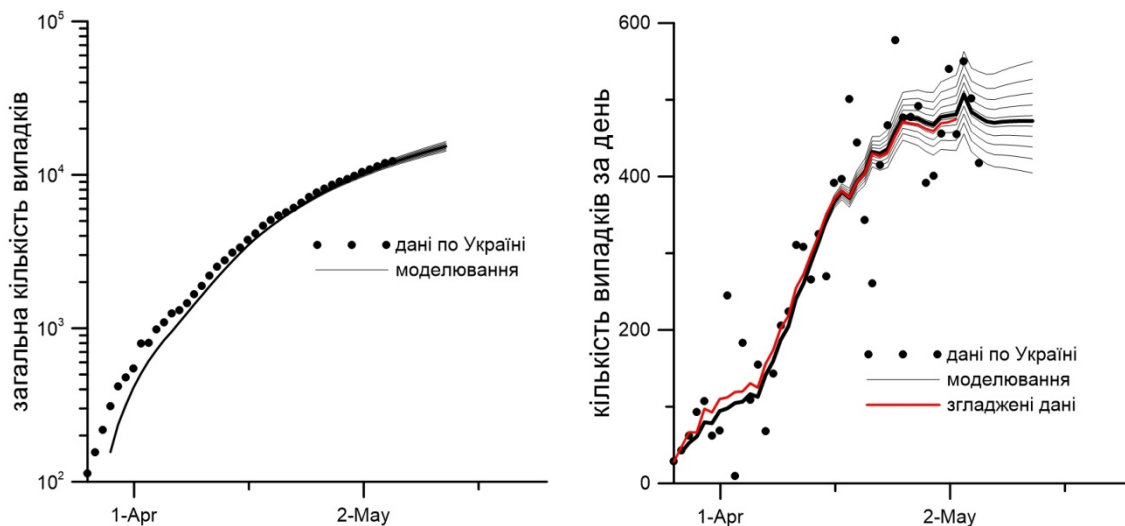


Рис. 6. Порівняння розрахунку загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) із даними МОЗ України 26.03-04.05.2020 та прогноз РГ-4, розрахований на період 05.05-12.05 2020р.

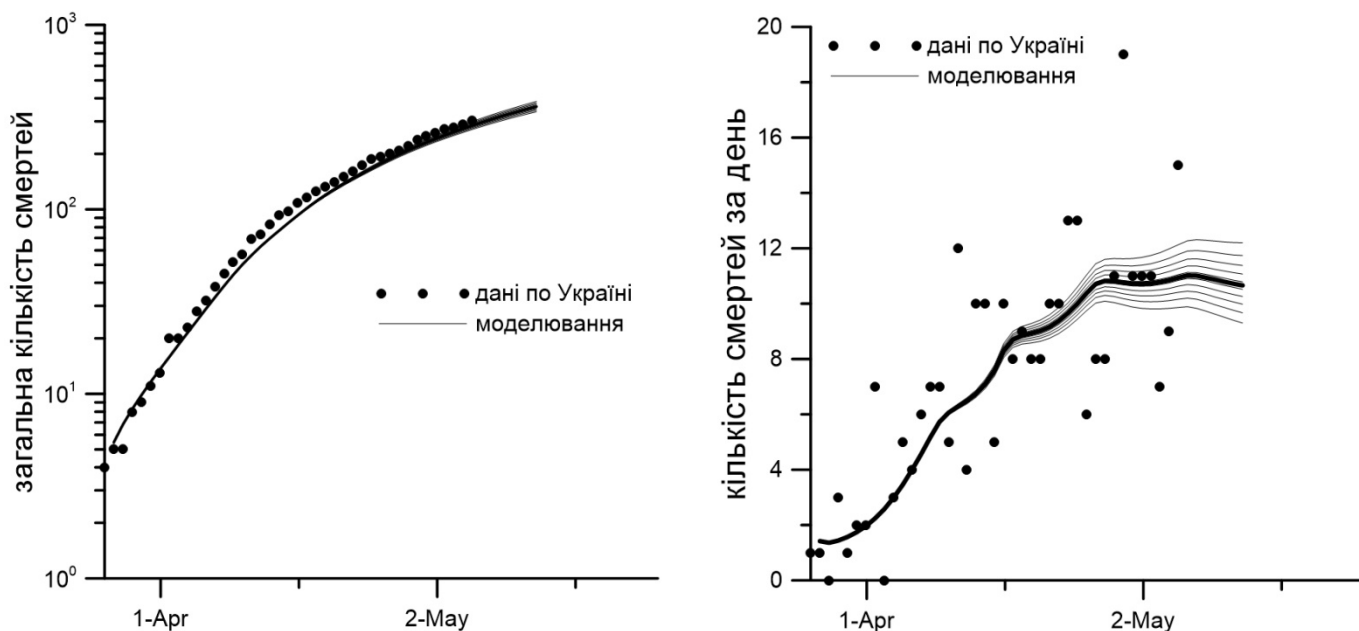


Рис. 7. Порівняння розрахунку загальної кількості померлих (ліворуч) і щоденних нових смертей (праворуч) із даними МОЗ України 26.03-04.05.2020 та прогноз РГ-4, розрахований на період 05.05-12.05 2020р.

Цей прогноз підтверджує результати попередніх прогнозів, що на поточний момент ми знаходимось у зоні пологого максимуму, в наступний тиждень можна очікувати початку незначного зниження. Найбільш непевним моментом при прогнозуванні залишається кількість смертей. Аналіз даних ЦГЗ МОЗ дає підстави зробити висновок, що зменшення рівня летальності відбувається за рахунок збільшення відсотку виявлення безсимптомних хворих, тобто хворих, які на момент звернення до лікаря не мали симптомів хвороби. Зазвичай перебіг хвороби у таких пацієнтів проходить більш легко, і тому відсоток смертей поступово знижується.

- **Число нових виявлених випадків у пікові дні 5-12 травня – медіанне значення 470 випадків за день при діапазоні значень від 400 до 560 випадків.**

- Кількість летальних випадків за тиждень найбільше наприкінці на 12 травня – медіанне значення 11 при діапазоні від 8 до 12 смертей за день.

#### 4. Аналіз результатів розрахунків можливих сценаріїв розвитку епідемії в Україні в період 27 квітня – 5 червня без урахування пом'якшення обмежень

Кабінет Міністрів України оголосив про те, що певні пом'якшення обмежувальних заходів відбудуться з 12 травня, при цьому основні обмеження продовжуються до 22 травня. З 12 травня планується відкриття парків, скверів, літніх майданчиків, перукарень, бібліотек та інших торгівельних і сервісних закладів. Виходячи з того, що при дотриманні належних заходів безпеки та організації праці можливо мінімізувати вплив пом'якшення обмежень, в якості першого сценарію розраховувався сценарій продовження поточного прогнозу до кінця прогностичного періоду 5 червня 2020 (рис. 8 і рис. 9).

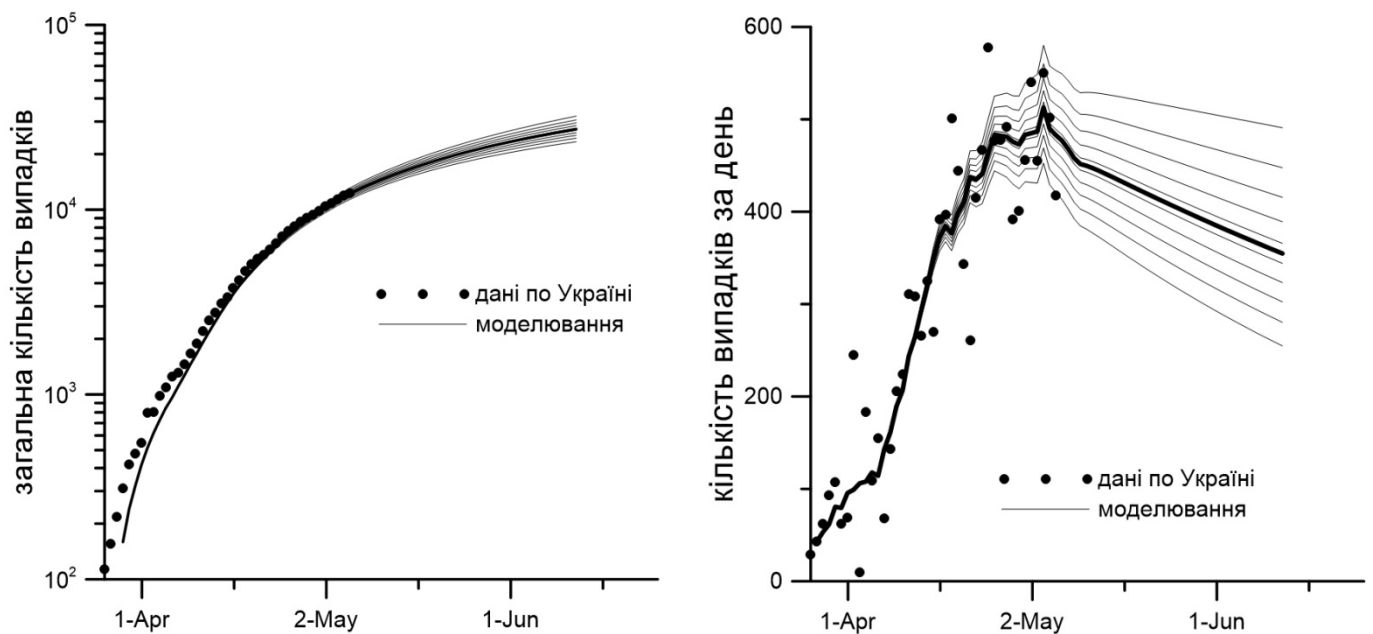


Рис. 8. Порівняння розрахунку загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) із даними МОЗ України 26.03- 04.05.2020 та сценарій розвитку епідемії, розрахований на період до початку червня.



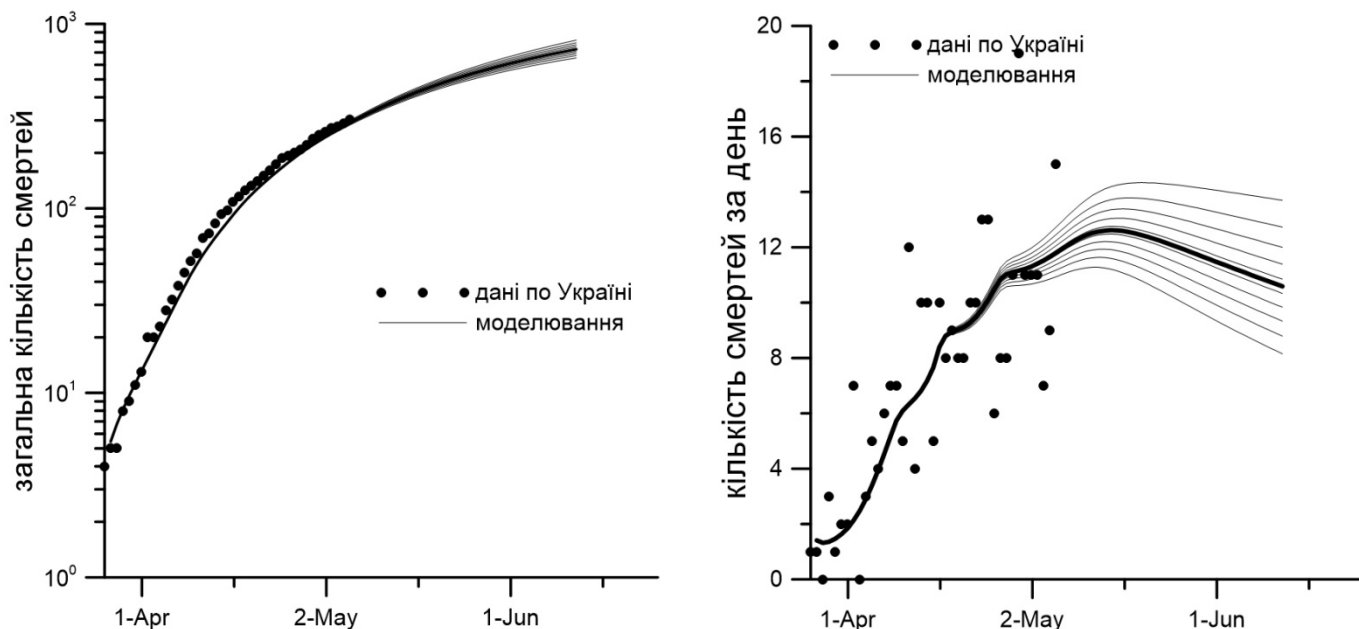


Рис. 9. Порівняння розрахунку загальної кількості померлих (ліворуч) і щоденних нових смертей (праворуч) із даним МОЗ України 26.03-04.05.2020 та сценарій розвитку епідемії, розрахований на період до початку червня.

З урахуванням можливості подальших уточнень прогнозу при надходженні нових даних цей прогностичний сценарій близький до представленого в попередніх прогнозах РГ-1 - РГ-3 сценаріїв розвитку епідемії до початку червня:

- Після досягнення піку захворюваності (медіанне значення 500 випадків) зниження нових випадків інфікованих буде спостерігатися до 5 червня 2020 р. до медіанного значення 350 випадків (діапазон прогнозованих значень 250-490).
- Після досягнення піку летальності (медіанне значення 12 випадків) зниження кількості нових летальних випадків буде відбуватися до 5 червня 2020 р. до медіанного значення 10 випадків (діапазон прогнозованих значень 8-13).

У порівнянні з прогнозами на травень попередніх документів РГ-1 - РГ-3 цей проноз дає дещо меншу кількість інфікованих і летальних випадків при збереженні приблизно тих самих дат пологих піків розподілу числа інфікованих і померлих.

## 5. Оцінка можливого ефекту пом'якшення обмежувальних заходів

Початок пом'якшення обмежувальних заходів оголошено на 12 травня. Буде дозволено відвідувати парки, сквери, зони відпочинку, прибережні зони, окрім дитячих майданчиків, буде відкрито частину об'єктів індустрії краси, дозволено тренування у командних видах спорту; оптову та роздрібну торгівлю непродовольчими товарами, дозволено літні майданчики, кав'ярні та ресторани з обслуговуванням на винос.

Для приблизної кількісної оцінки впливу різних обмежувальних заходів ми використали результати дослідження, що опублікував Boston Consulting Group:

<https://media-publications.bcg.com/BCG-COVID-19-BCG-Perspectives.pdf>

Щодо запланованого першого етапу зняття обмежень Кабінетом Міністрів України, що буде запроваджено з 12 травня, незважаючи на м'якість цих послаблень, ми використали консервативну «оцінку зверху», заклавши ідею, що впровадження цих заходів за кілька днів підніме коефіцієнт репродукції інфекції до значення більше одиниці (1.02), тобто близько 15% вище прогнозованого значення коефіцієнту репродукції. Враховуючи, що частину обмежень, таких як заборона прогулянок парками, населенням здебільшого вже деякий час ігнорується, а також, що в деяких областях пом'якшення обмежень вже відбулося, можна очікувати, що рішення уряду не суттєво змінить поточну ситуацію після 12-го травня при належній організації роботи в закладах, що відкриваються. Згідно з аналізом статистичних даних, затримка відображення фактичної ситуації в Україні в даних офіційної статистики становить приблизно 10-12 днів, тому ефект пом'якшення обмежень може відобразитися на офіційній статистиці в двадцятих числах травня.

Медіанний результат такого розрахунку представлено на рис. 10 для кількості випадків захворювань у порівнянні з результатами сценарію «без впливу пом'якшення обмежень».

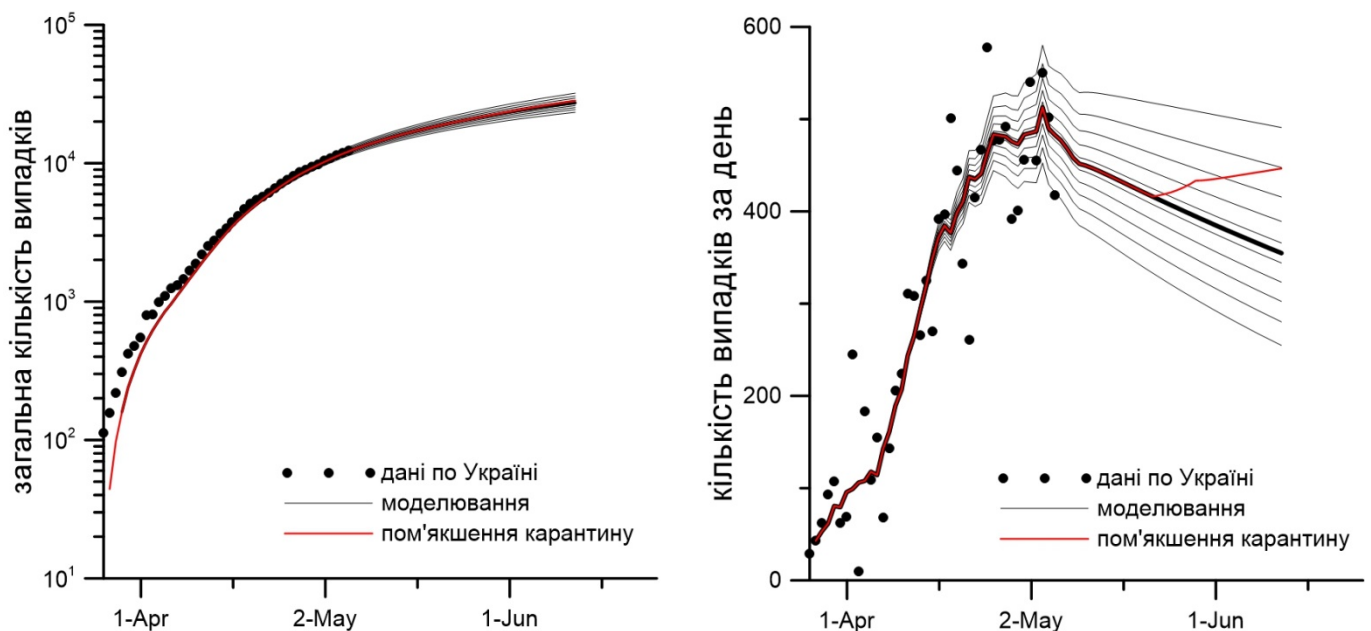


Рис. 10. Порівняння розрахунку медіанних кривих ( червоні) загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) сценарію впровадження з 12.05 першої фази пом'якшуючих карантин заходів з траєкторіями реалізації сценарію (чорні) Розділу 4.

З урахуванням необхідності уточнень цих сценарних розрахунків при надходженні нових даних, за результатами моделювання сценарію впровадження першого етапу заходів з пом'якшення карантинних обмежень можна зробити такі висновки:

**Часткове зняття обмежень першого етапу (оцінене в 15% підвищення характеристики контактності населення) може призвести до підвищення медіанного значення числа нових інфікованих 5 червня до 450 випадків на день, що дещо нижче за медіанне значення в піковий період на початку травня (500 випадків), але це збільшення нових випадків, як і загальної кількості випадків, не вийде за діапазон прогнозованих значень сценарію «без впливу пом'якшення карантинних обмежень».**

## **ВИСНОВКИ**

1. Порівняння результату «Прогноз РГ-3» з даними за період прогнозування в останній тиждень продемонстрували, що динаміка поширення епідемії в Україні відбувається за більш оптимістичним сценарем.
2. Порівняння динаміки кількості захворювань та мобільності населення на прикладі України, Польщі, Швеції, Канади та Білорусі показало ефективність введення обмежувальних заходів на ранніх стадіях епідемії.
3. Крім прогнозів на наступний тиждень і оціночних прогнозів на період до початку червня, методами моделювання продемонстровано, що часткове зняття карантину у відповідності до першого етапу плану КМ України може призвести до хвилі малого підвищення захворюваності, але при обмеженості заходів першого етапу, для яких була використана консервативна «оцінка зверху» 15%, ці збільшені значення будуть знаходитись у діапазоні прогнозованих значень сценарію «без пом'якшень карантину».
4. Аналіз даних ЦГЗ МОЗ станом на 27.04.2020 виявив стабільне збільшення відсотку безсимптомних інфікованих в офіційній статистиці. Це дає підстави для більш оптимістичних прогнозів щодо загальної летальності. Для уточнення прогнозів необхідне регулярне оновлення даних.
5. Оскільки статистичні дані не можна розглядати як абсолютно достовірні, то і результати моделювання можуть бути лише наближеними до реальної картини, і то за умов постійності дії визначених параметрів при прогнозуванні. Прогноз повинен періодично переглядатися у часі з урахуванням нових факторів впливу. Доцільним є посилення виявлення безсимптомних форм та форм з легким перебігом COVID-19 шляхом розширення тестування ПЛР, ІФА.