

Національна академія наук України

Робоча група з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні

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

Прогноз розвитку епідемії COVID-19 в Україні в період 20-27 квітня 2020 р. та аналіз можливих сценаріїв розвитку епідемії в період 27 квітня-30 травня 2020 р. “Прогноз РГ-2”

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

1. Статистичні особливості розвитку пандемії COVID-19 в декількох країнах та калібрування моделі на цих даних

Головні тренди розвитку пандемії в 5-ти європейських країнах представлені на рис. 1, на якому першим днем пандемії 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.

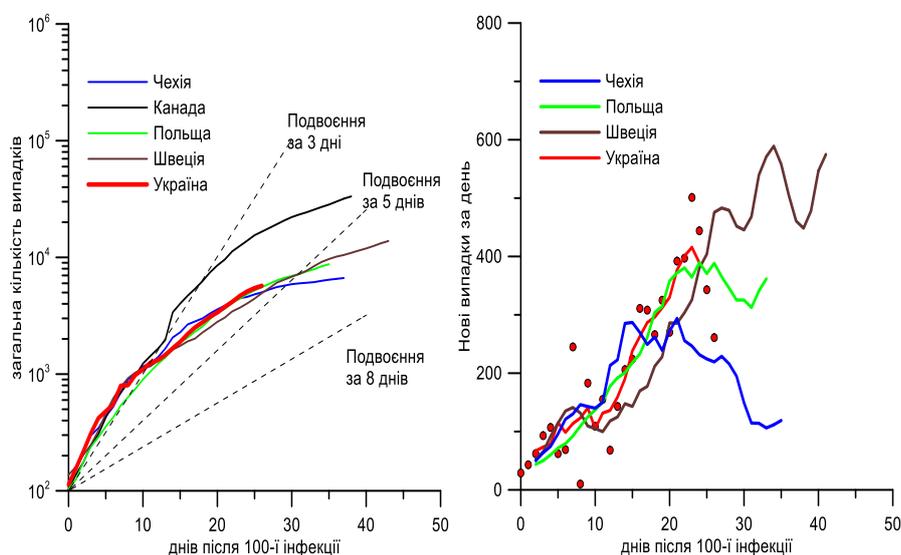


Рис. 1. Сумарна кількість виявлених випадків захворювання (ліворуч) та кількість захворювань, виявлених за день (праворуч). Щоденна кількість нових випадків подана згладженою з періодом осереднення 5 днів. Червоними точками показані незгладжені дані для України

Виходячи з графіків на рис. 1, можна припустити, що Україна на поточний момент рухається приблизно по траєкторії Швеції та Польщі. Період подвоєння (нахил кривої) зараз становить близько 8 днів та має тенденцію до збільшення (більш полого крива).

Хоча траєкторії руху країн близькі, але Україна набагато раніше увела карантин, коли були зареєстровані лише поодинокі випадки в окремих областях. Це вагомий стримуючий фактор зростання захворюваності на COVID-19. З порівняння з динамікою 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.

Застосовність моделі було перевірено шляхом калібрування параметрів для деяких країн з різною динамікою поширення інфекції. Шляхом аналізу офіційних дат уведення карантинних обмежень в країнах та підбору відповідного значення коефіцієнту репродукції було проведено моделювання для Китаю, Німеччини, Італії, Швейцарії, Польщі та інших країн. На рис. 2-6 представлені деякі результати калібрування моделі.

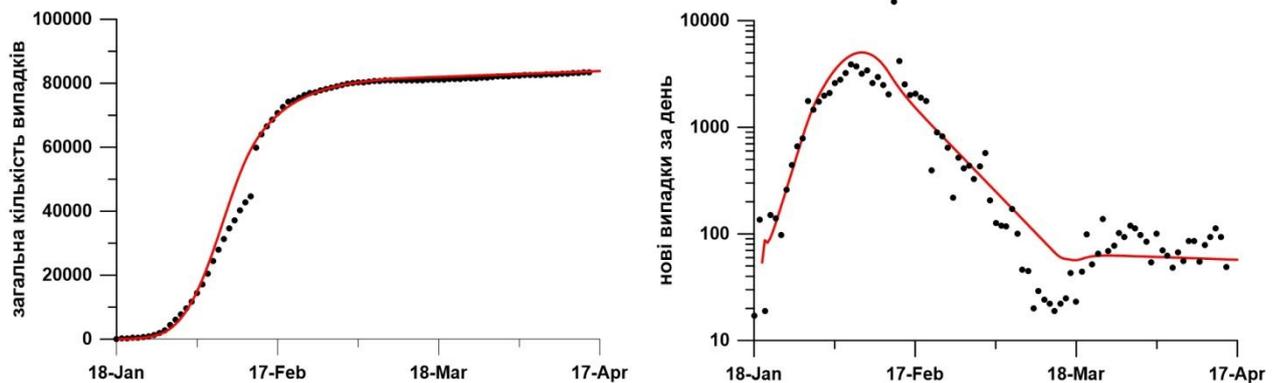


Рис. 2. Розрахунки сумарної кількості нових виявлених захворювань (ліворуч) та нових випадків за день (праворуч) для Китаю

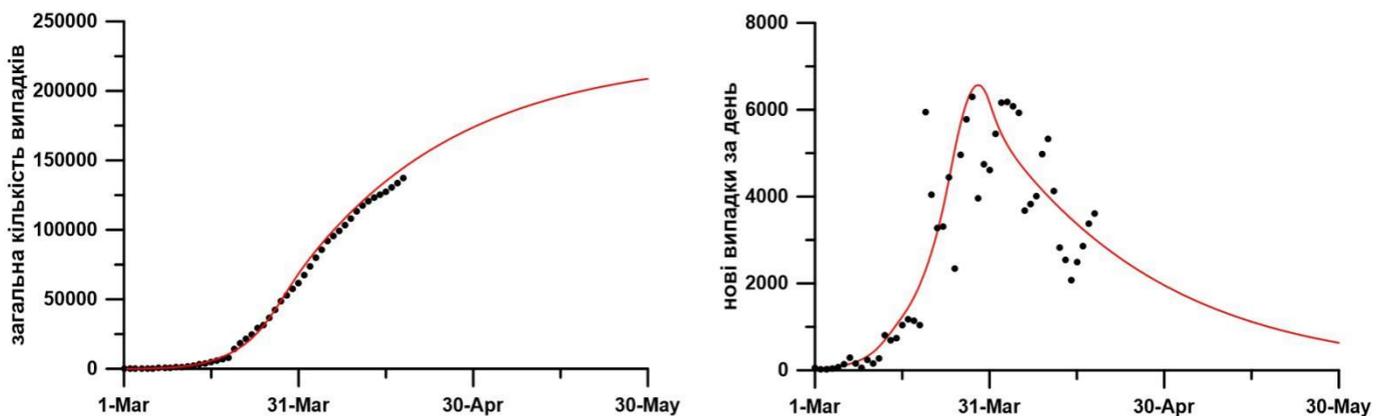


Рис. 3. Розрахунки сумарної кількості нових виявлених захворювань (ліворуч) та нових випадків за день (праворуч) для Німеччини

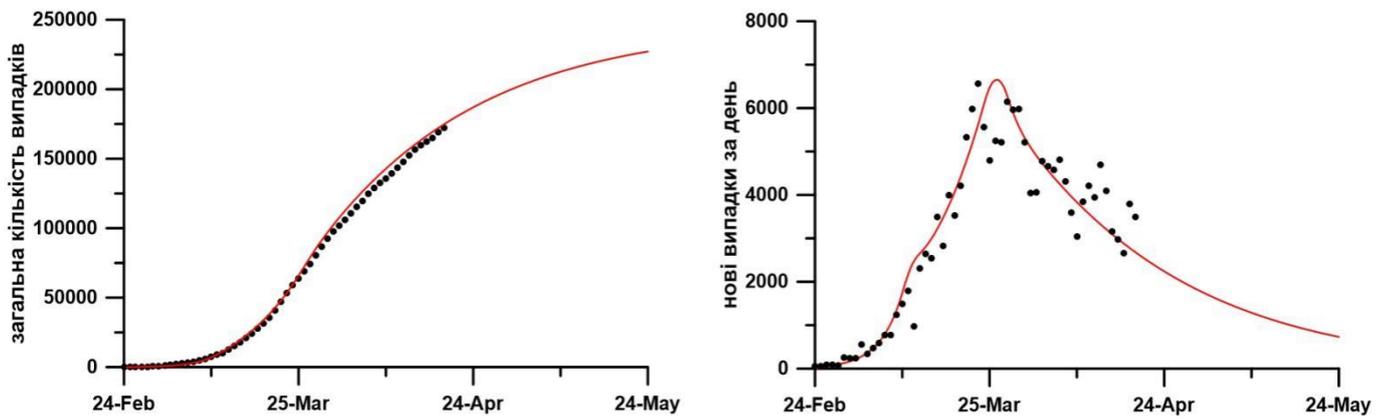


Рис. 4. Розрахунки сумарної кількості нових виявлених захворювань (ліворуч) та нових випадків за день (праворуч) для Італії

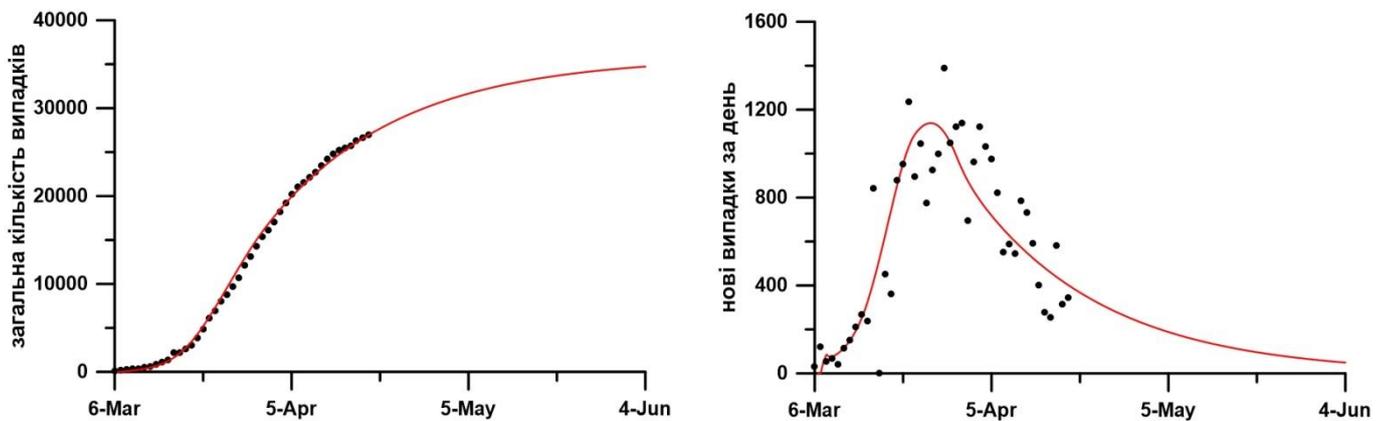


Рис. 5. Розрахунки сумарної кількості нових виявлених захворювань (ліворуч) та нових випадків за день (праворуч) для Швейцарії

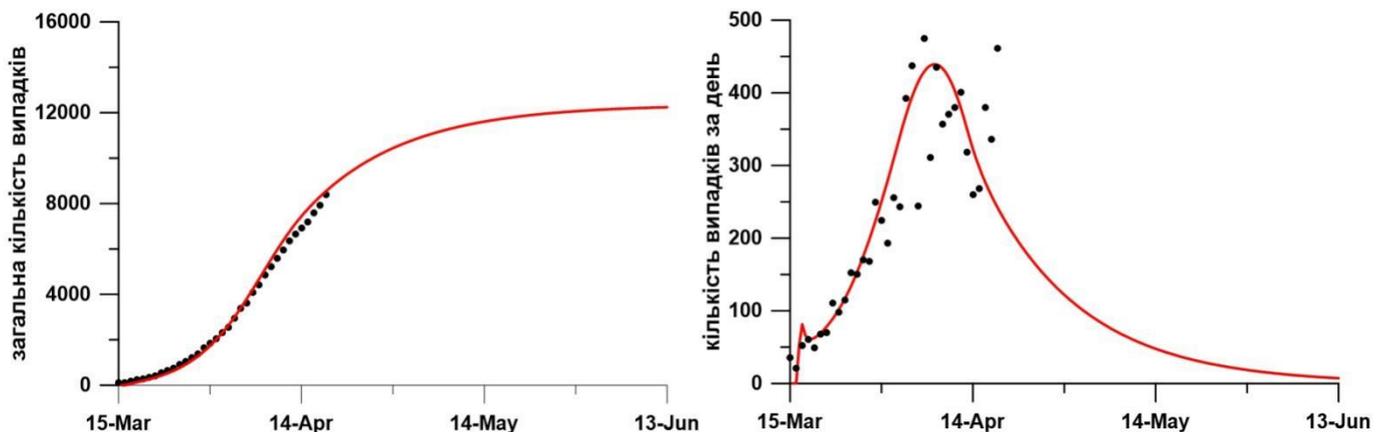


Рис. 6. Розрахунки сумарної кількості нових виявлених захворювань (ліворуч) та нових випадків за день (праворуч) для Польщі

В Україні різке зниження контактності населення (меншої мобільності) почалось з 15 березня з досягненням 22 березня рівня на 60% меншого ніж до карантину. Після цього стрімкого падіння рівень зниження контактності населення коливається в діапазоні 50-60 відсотків, зі зниженням до 60% в останні вихідні. В Австрії і Польщі

контактність знизилась на 80% від докарантинного рівня, і за рахунок цього Австрія, яка вже пройшла пік епідемії, почала поступово знижувати карантинні обмеження, що призвело до підвищення мобільності до 50% від докарантинного рівня в останній тиждень. Графіки демонструють, як підвищується мобільність після пом'якшення обмежень в Німеччині і Швейцарії. Лише на 20-30 % знижувалась мобільність в Швеції, наслідком чого є продовження зростання нових випадків інфекції у період з початку епідемії, коли в більшості інших європейських країнах спостерігався вже початок зниження захворюваності. Для України ці дані дозволили оцінити динамку ефективного репродуктивного коефіцієнту у часі та отримати приблизні кількісні оцінки його зниження за рахунок впроваджених карантинних заходів.

2. Порівняння прогнозу розвитку епідемії на 13-20 квітня 2020 р. в Україні із статистичними даними

На наступних рисунках наведені прогнозні криві “Прогнозу РГ-1” та накладені нові дані, що отримані протягом семи днів після надання прогнозу. Оскільки дані дуже неоднорідні в часі, то наведена також згладжена крива, що відповідає періоду «running average» періоду ковзного осереднення 5 днів.

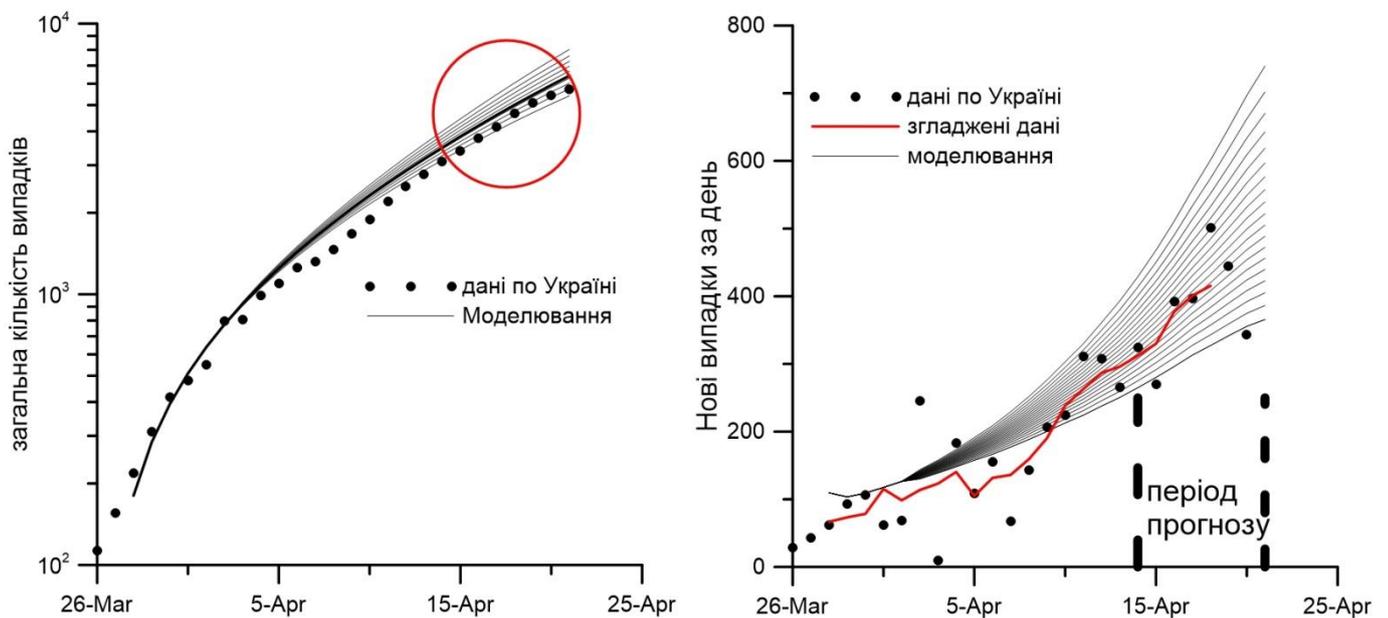


Рис. 8. Порівняння загальної кількості інфікованих з прогнозними кривими документу “Прогноз РГ-1”. Червоним колом позначені дані, що отримані після прогнозу (ліворуч) та порівняння даних про нові випадки за день з прогнозними кривими; червоною лінією позначена згладжена крива даних; пунктирними лініями позначений період прогнозу (праворуч)

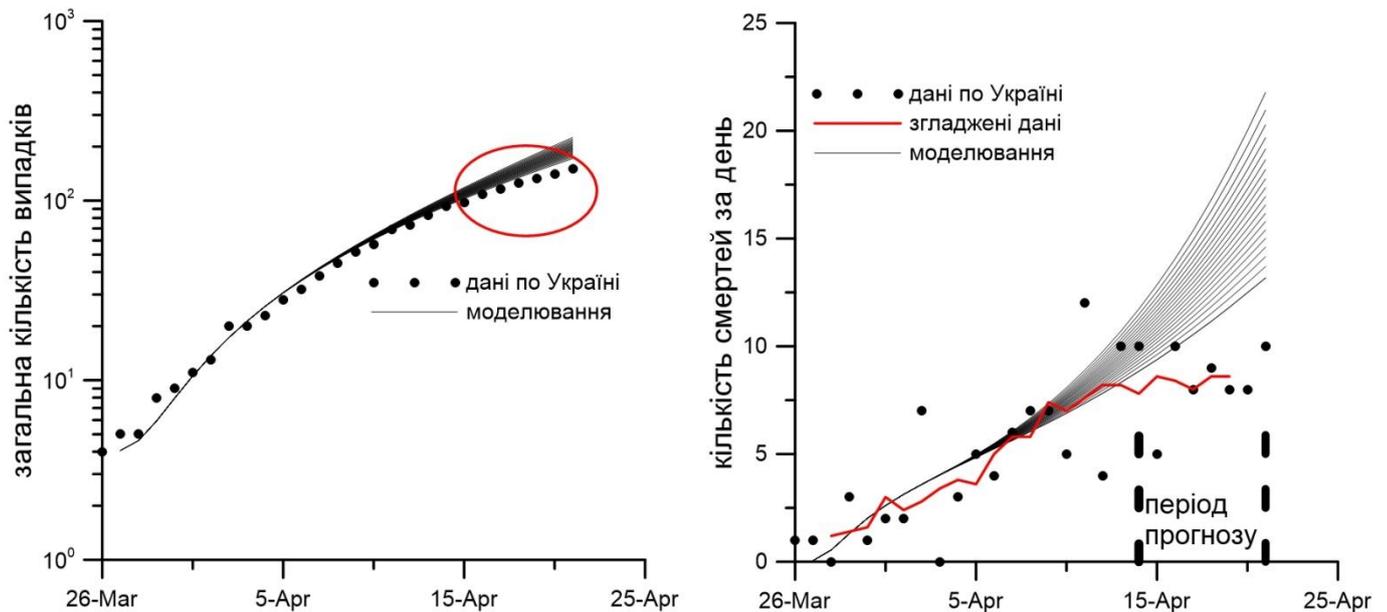


Рис. 9. Порівняння загальної кількості летальних випадків з прогнозними кривими документу “Прогноз РГ-1”. Червоним колом позначені дані, що отримані після прогнозу (ліворуч) та порівняння даних про смерті випадки за день з прогнозними кривими; червоною лінією позначена згладжена крива даних; пунктирними лініями позначений період прогнозу (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. З одного боку можна оптимістично припустити, що рівень смертності знижується, але, ймовірніше, статистика пов’язана зі зменшенням інтенсивності збору інформації у зв’язку із Великодніми святами, і слід очікувати зростання зареєстрованих випадків протягом наступного тижня.

3. Прогноз розвитку епідемії на наступний тиждень 20-27 квітня 2020 р. в Україні

Після реєстрації 100-го інфікованого хворого, яке відбулося 25 березня, пройшло близько трьох тижнів. Це закороткий період для надійних висновків, тим більше, що статистика по Україні досить неоднорідна в часі.

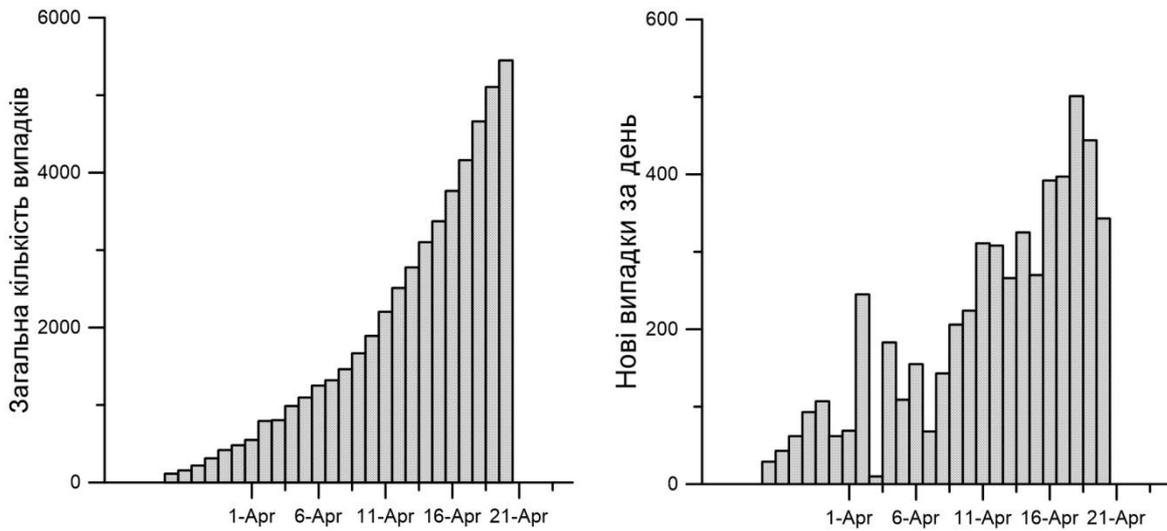


Рис. 10. Загальна кількість інфікованих в Україні (ліворуч) і кількість нових випадків за день (праворуч) згідно зі статистичними даними

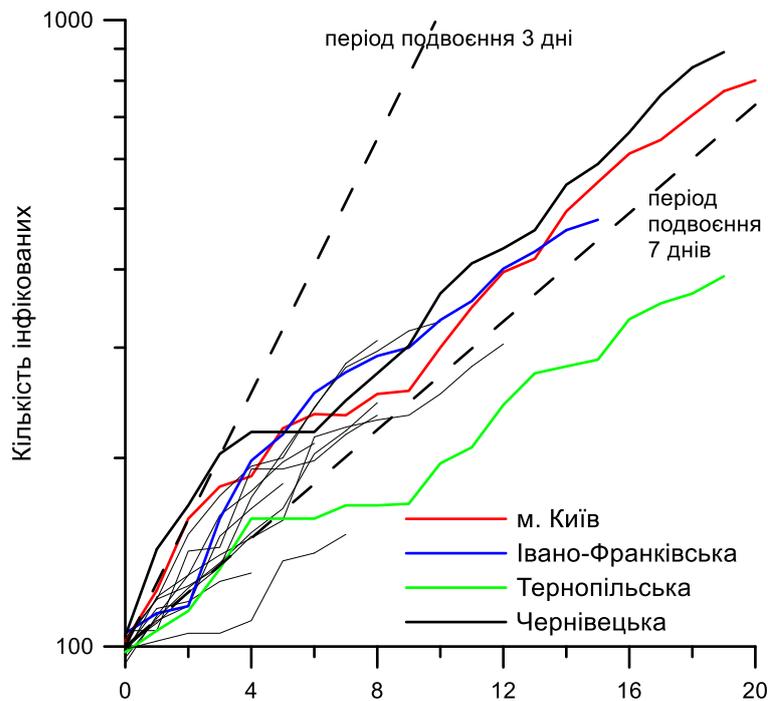


Рис. 11. Загальна кількість інфікованих в Україні по областях країни; дані приведені до дати настання 100-ї інфекції

Аналіз відкритих даних для України та інших країн дозволив дійти таких висновків або припущень:

1. На початковій стадії розвитку епідемії динаміка поширення інфекції є подібною до даних по Польщі.
2. У країнах, які запровадили жорсткі карантинні обмеження, пік захворюваності (згідно зі статистикою) відбувся приблизно через 14-19 днів. Близько половини

цього періоду – це запізнення статистичної інформації від реальної динаміки (час на прояв симптомів, самолікування, звернення до лікаря, очікування результатів тестів). І близько одного тижня – це відтермінований ефект карантину, який складається з інерційності введення заходів та періодів протікання хвороби.

3. Останнім заходом щодо уведення карантину в Україні вважається 6 квітня: заборона прогулянок, відвідування дитячих майданчиків та перебування більше двох осіб разом.
4. На поточний момент аналіз періоду подвоєння кількості хворих дає оцінку для ефективного коефіцієнту репродукції $R_{oeff} = 1.25$, що узгоджується з дослідженнями London School of Hygiene and Tropical Medicine. <https://epiforecasts.io/covid/reports.html#Europe>
5. З високою ймовірністю можна очікувати зменшення R_{oeff} в наступні кілька тижнів за умов збереження карантину, повинна проявитися тенденція до збільшення періоду подвоєння кількості інфікованих.

Для оцінки можливого відхилення від заданого сценарію було запропоновано 15 різних сценаріїв, кожен з яких відрізняється від базового відхиленням від заданого R_{oeff} . Припускаючи, що відхилення від обраного R_{oeff} має нормальний розподіл та сеньоквадратичне відхилення 0.05, отримаємо ансамбль сценаріїв для R_{oeff} :

Виходячи з припущення, що локальне падіння кількості нових випадків пов'язане зі святами і буде надолужене наступного тижня, розраховано такий прогноз:

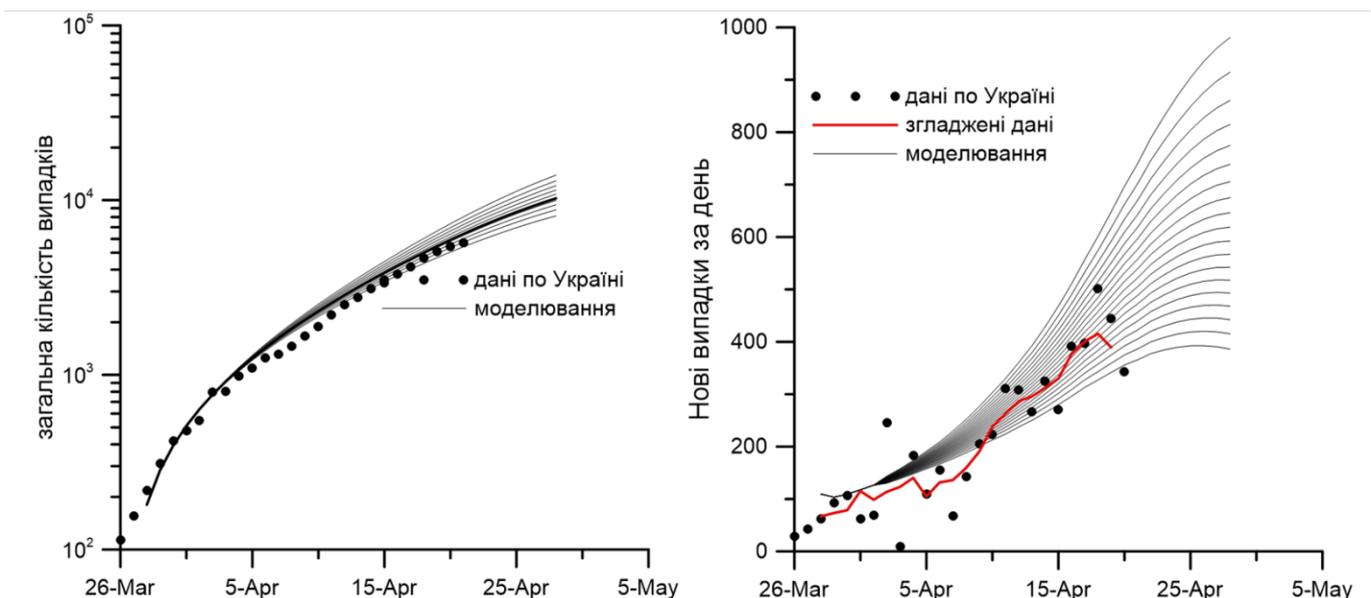


Рис. 12. Порівняння розрахунку загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) із даними МОЗ України 26.03-20.04.2020 та прогноз РГ-2, розрахований на період 20.04-27.04 2020 р.

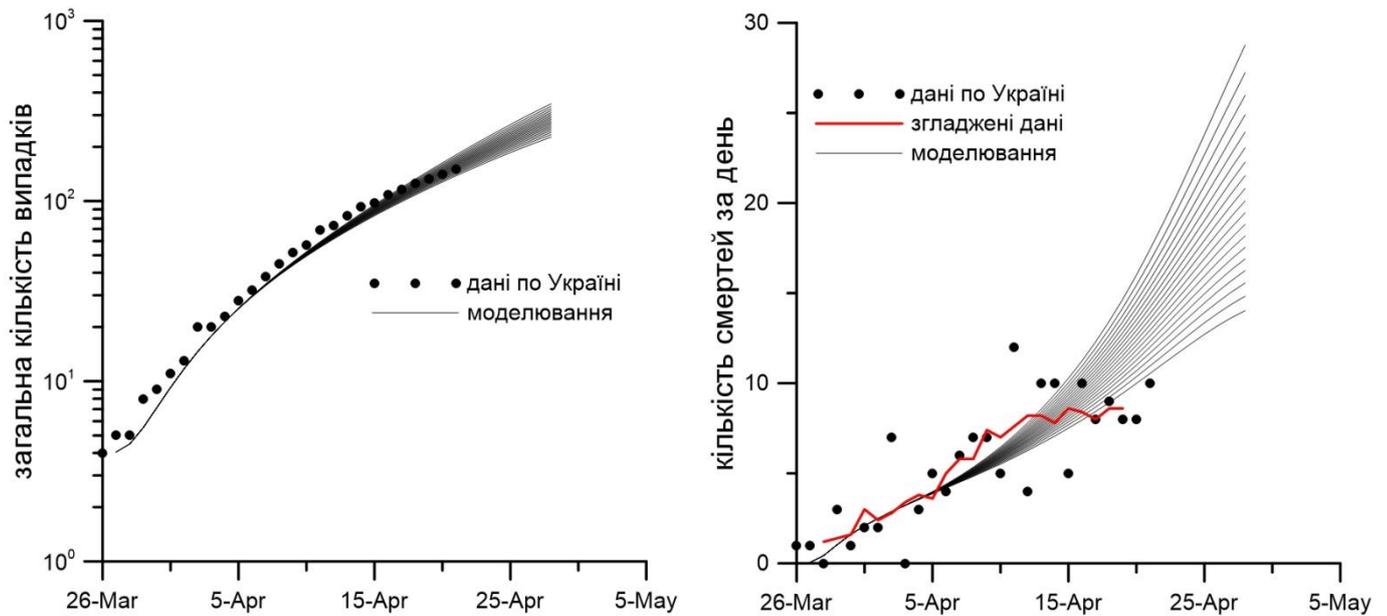


Рис. 13. Порівняння розрахунку загальної кількості померлих (ліворуч) і щоденних нових смертей (праворуч) із даними МОЗ України 26.03-20.04.2020 та прогноз РГ-2, розрахований на період 20.04-27.04 2020 р.

Зростання кількості виявлених захворювань за день буде продовжувати збільшуватись протягом наступного тижня.

- Число нових виявлених випадків інфікування 27 квітня – медіанне значення 600 випадків за день при діапазоні значень від 380 до 980 випадків.
- Кількість летальних випадків за день 27 квітня - медіанне значення 20 при діапазоні від 14 до 28 смертей за день.

4. Аналіз результатів розрахунків можливих сценаріїв розвитку епідемії в Україні в період 20 квітня – 31 травня 2020 р. при збереженні карантину

Виходячи з сильної неоднорідності даних, пов'язаної з Великодніми святами, прогноз до кінця травня залишається без суттєвих змін у порівнянні з Прогнозом РГ-1. Єдина зміна – незначне зменшення коефіцієнту смертності.

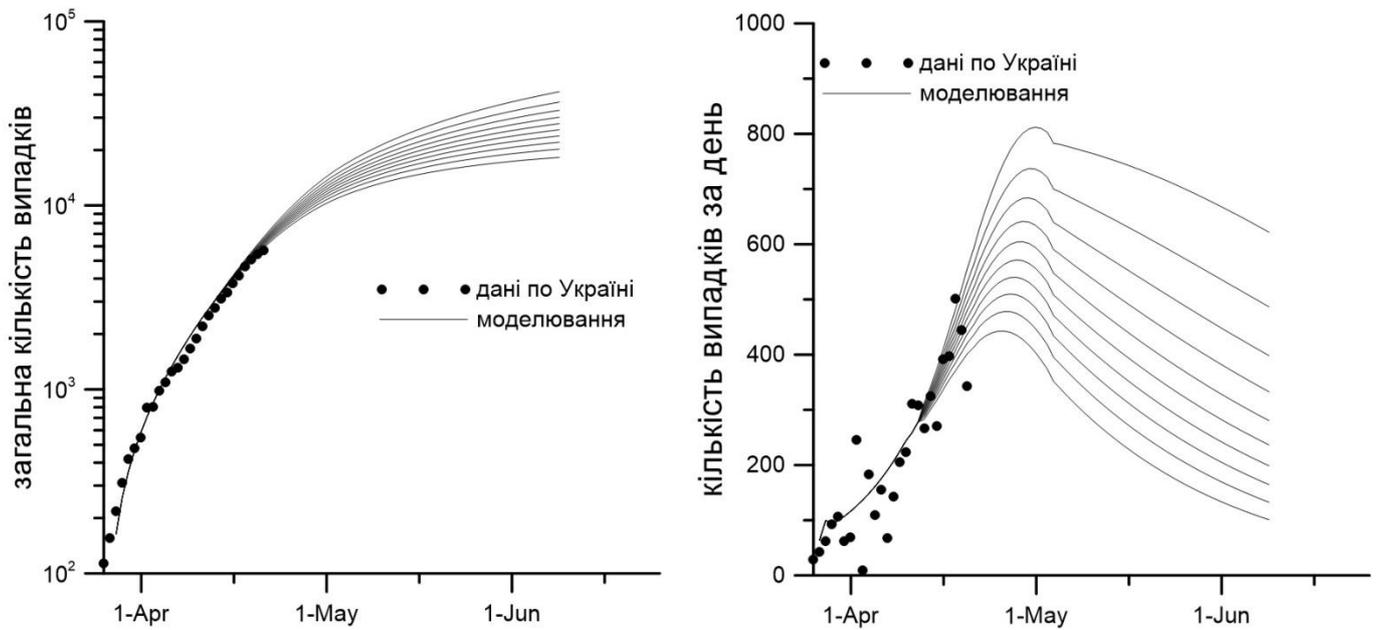


Рис. 14. Порівняння розрахунку загальної кількості виявлених інфікованих (ліворуч) і щоденних нових виявлених випадків (праворуч) із даними МОЗ України 26.03- 20.04.2020 та сценарій розвитку епідемії, розрахований на період до початку червня

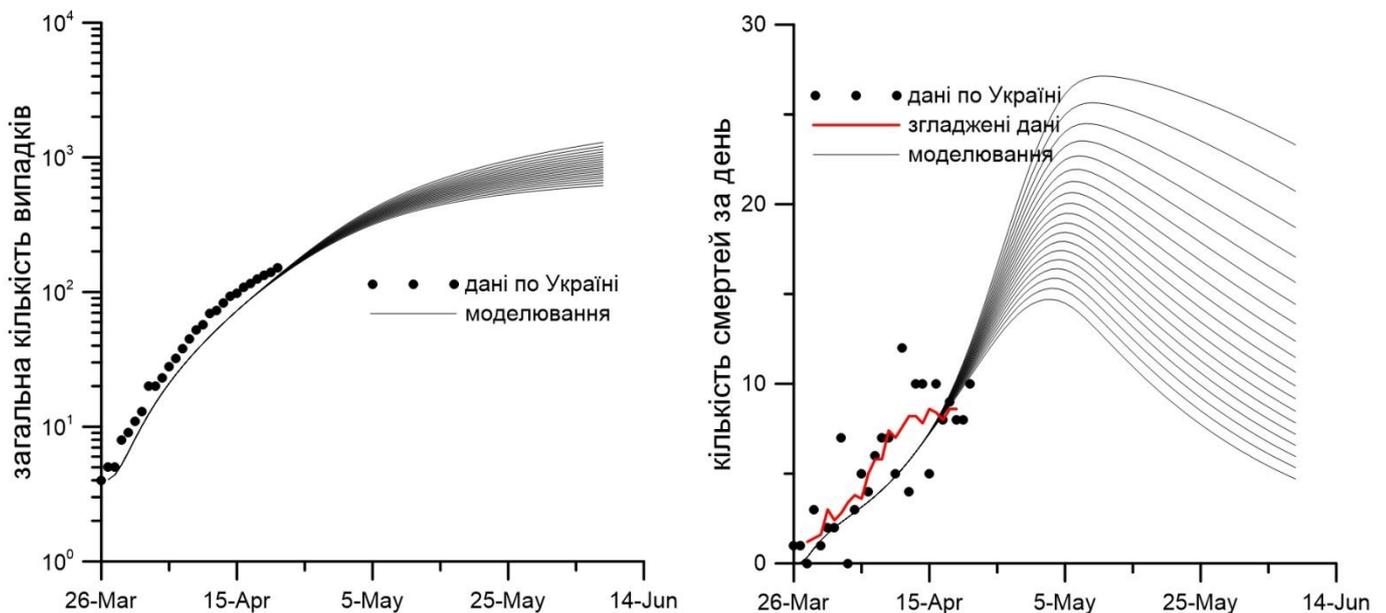


Рис. 15. Порівняння розрахунку загальної кількості померлих (ліворуч) і щоденних нових смертей (праворуч) із даним МОЗ України 26.03-20.04.2020 та сценарій розвитку епідемії, розрахований на період до початку червня

У зв'язку з тим, що Робоча група не володіє даними щодо числа захворілих, що прибули з-за кордону в кожній області з датами виявлення в них захворювань та іншими даними, прогностична оцінка моделлю ситуації більш ніж на тиждень може мати значні похибки.

З урахуванням цих застережень вважаємо важливим представити розрахований сценарій розвитку епідемії до початку червня, якщо будуть продовжені карантинні заходи в тому ж обсязі, що і натеper:

- Пік нових випадків COVID-19 в день орієнтовно буде припадати на 2-5 травня 2020 р., пік летальних випадків - на 3-8 травня 2020 р.
- Після досягнення піку захворюваності (медіанне значення 600 випадків) зниження нових випадків інфікованих буде спостерігатися до кінця травня 2020 р. до медіанного значення 400 випадків (діапазон прогнозованих значень 200-700).
- Після досягнення піку летальності (медіанне значення 25 випадків) зниження нових летальних випадків буде відбуватися до кінця травня 2020 р. до медіанного значення 18 випадків (діапазон прогнозованих значень 10-30).

При обчисленнях вважалося, що карантинні заходи не порушувались на час святкування Великодня в Україні (17-22.04.2020 р.), а свята вплинули лише на затримку та неоднорідність надходження статистики.

ВИСНОВКИ

1. Порівняння результату “Прогноз РГ-1” з даними за період прогнозування в останній тиждень продемонстрували, що результати знаходяться переважно в діапазоні прогнозованих значень. За даними порівняння проведено коректування коефіцієнту смертності на новий прогностичний період.
2. Для отримання більш достовірного прогнозу необхідні ряд додаткових даних з тим, щоб зменшити діапазон невизначеностей в результатах прогнозування. Прохання щодо надання 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).
3. Робоча група розпочала моделювання можливих наслідків пом'якшення карантинних заходів на основі досліджень Boston Consulting Group. Отримання надійного прогнозу потребує урахування додаткової статистичної інформації.
4. Розпочата робота з впровадження моделі типу SEIR може бути першим кроком для створення моделювального інструментарію національного і регіонального рівнів (систем рівня областей і великих міст).