

**Робоча група з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією
коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні,
базова установа – Інститут проблем математичних машин і систем НАН
України**

Створена Розпорядженням Президії НАН України від 3 квітня 2020 р. № 198

Зміст

Вступ

1. Загальнонаціональна епідемічна динаміка
 - 1.1. Динаміка захворюваності, летальних випадків і тестування
 - 1.2. Показники навантаження на лікарні
 - 1.3. Госпіталізації серед вакцинованих
 - 1.4. Спостережувана летальність, одужання та вікова структура інфікованих
2. Огляд демографічних даних
3. Аналіз груп регіонів
4. Регіональна епідемічна динаміка
5. Аналіз затримок оприлюднення даних
6. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використанням статистичної моделі часових рядів

Facebook Prophet

7. Порівняння з прогнозом від **26.01.2022** року
(<https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8633>)
8. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використанням компартментної моделі

Висновки

Прогноз

**розвитку епідемії COVID-19 в Україні на 9 – 22 лютого 2022 р.
«Прогноз РГ-61»**

08.02.2022

З початку квітня 2020 р. міжвідомча Робоча група (РГ) представників Національної академії наук України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Вінницького національного технічного університету та Національної академії медичних наук України – з урахуванням світового досвіду математичного моделювання розвитку епідемії COVID-19, на основі статистичних даних про динаміку епідемії в Україні та країнах Європи – створювала і тестувала математичну модель SEIR–U. За результатами проведеного моделювання Робоча група підготувала документи [«Прогноз розвитку епідемії коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні»](#).

Президія НАН України офіційно представила прогнози до державних органів. На ці прогнози надавав посилення Кабінет Міністрів України під час брифінгів.

У новому документі «Прогноз РГ-61»:

- здійснено аналіз первинних статистичних даних розвитку епідемії в Україні;
- порівняно статистичні дані з попереднім прогнозом «Прогноз РГ-60»;
- представлено прогноз розвитку епідемії на наступний період 9 – 22 лютого 2022 року;
- проаналізовано динаміку поширення епідемії в регіонах України.

Робоча група використовує для аналізу такі джерела даних:

1. Дані щоденних звітів Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України. Дані про кількість нових виявлень, одужань, летальних випадків і підозр для кожної області України оприлюднюються на щоденних брифінгах МОЗ України, а також [на сайті Ради національної безпеки і оборони \(РНБО\) України](#).
2. Первинні дані Центру громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я (ЦГЗ МОЗ) України. Опис структури даних та їх інтерпретацію наведено у документі «Прогноз РГ-9» від 26.06.2020 р.
3. Дані щодо обсягів ПЛР- Антиген- та ІФА-тестування у кожній лабораторії України. [Дані](#) надає ЦГЗ МОЗ України, вони містять інформацію про загальну кількість проведених тестів, кількість позитивних тестів і ретестувань.
4. Дані про загальну смертність з усіх причин і дані щодо мобільності населення з ресурсу «[Економіка карантину](#)».
5. Статистичні дані щодо країн світу: [Worldometer](#), [Financial Times](#), [Ourworldindata](#).

1. Загальнонаціональна епідемічна динаміка

На початку поточного тижня показники, що характеризують епідемічний стан в країні, істотно сповільнили зростання. Два тижні тому темпи зростання позитивних результатів тестів (як на антиген, так і методом ПЛР) та нових випадків хвороби відповідали щотижневому подвоєнню (рис. 4). Наразі усі три показники – кількість позитивних результатів тестів, нових випадків хвороби та госпіталізацій – зростають з темпом у 15-25% у тиждень з тенденцією до його зниження. При цьому, перехід цих показників у від'ємну зону, а, отже, і проходження пікових значень 7-денними середніми трьох згаданих епідемічних показників можна очікувати протягом тижня. Варто також відзначити, що 7-денне середнє кількості позитивних результатів ПЛР-тестів перейшло до зниження на заході країни, а у столиці та області спостерігається ймовірне проходження через пікові значення (рис. 23).

За офіційною статистикою, станом на 8 лютого 2022 року середня кількість осіб, що одужують, склала **9244** осіб на день. Середня за тиждень кількість нових інфікованих на 8.02.2022 р. становить **35218** на день для України (збільшення майже в 2 рази за два тижні). Середня за тиждень кількість нових летальних випадків становить **179** на добу (збільшення на 40% за 2 тижні). Кількість нових госпіталізацій становить у середньому **3683** осіб на день (збільшення на 60% за 2 тижні).

1.1. Динаміка захворюваності, летальних випадків і тестування

Тижнева позитивність ПЛР-тестів сягнула 54,6% проти значення 49,8% тиждень тому та 39,7% два тижні тому з істотним уповільненням у останні три дні (рис. 2).

Кількість проведених тестів ПЛР істотно уповільнила темпи зростання у останній тиждень, хоча загальна довжина черг продовжує оновлювати локальні максимуми (рис. 3).

Стрімко почала зростати кількість летальних випадків, що, разом з тим, лишається у кілька разів меншою, ніж можна було б очікувати для даної кількості хворих за попередніх хвиль (рис. 1, аналіз летальності проведено у п. 1.4).

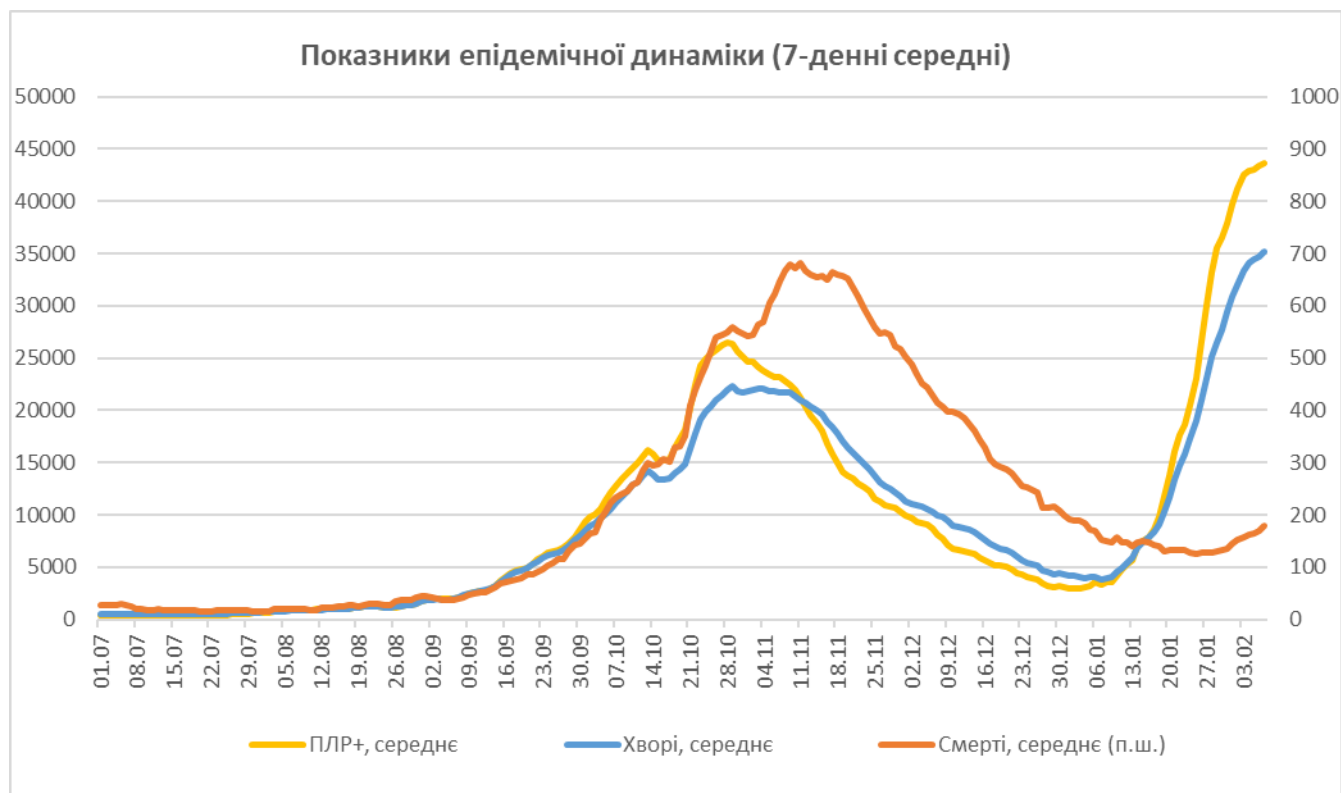


Рис.1. Основні епідемічні показники та їх 7-денні усереднення. Летальні випадки позначено за правою шкалою

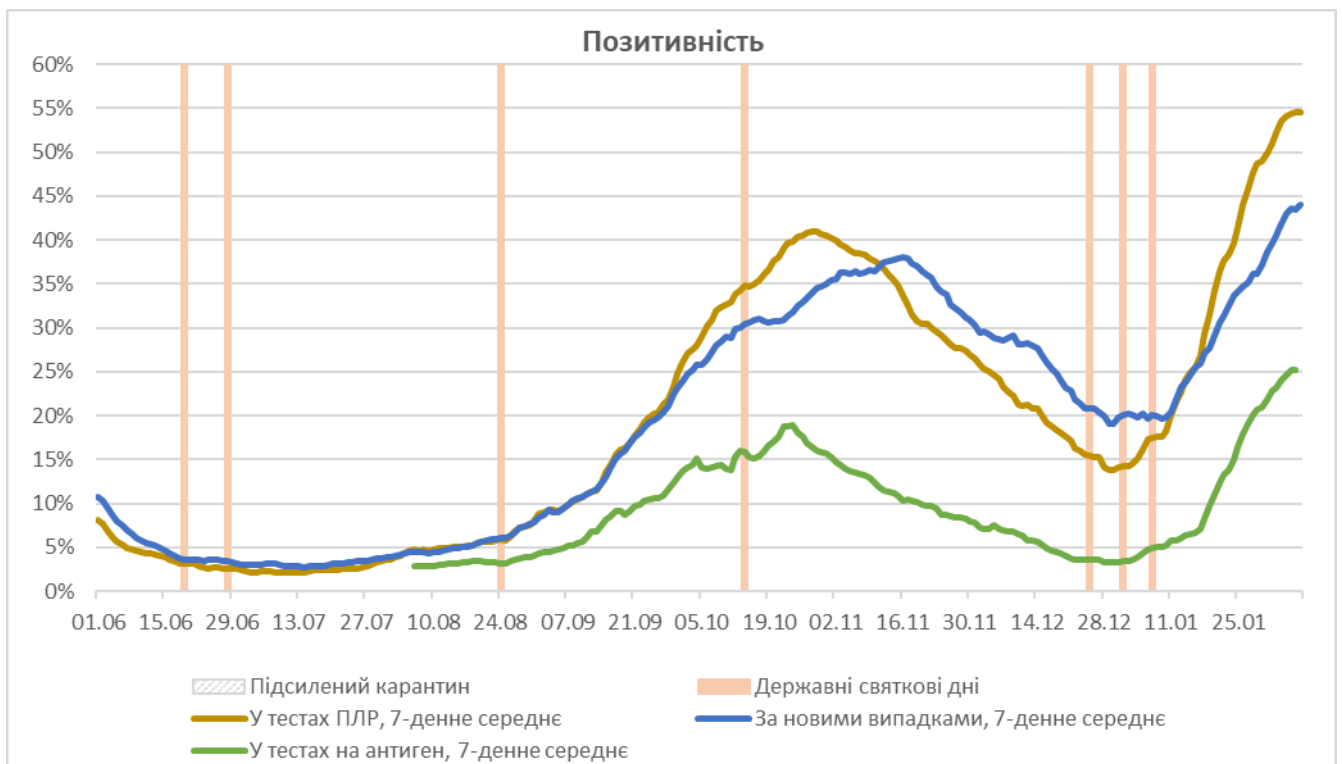


Рис.2. Відношення числа нових хворих і числа позитивних тестів до числа всіх тестів та їх 7-денні усереднення. Блідими тонами позначено державні свята і періоди посилених карантинних обмежень

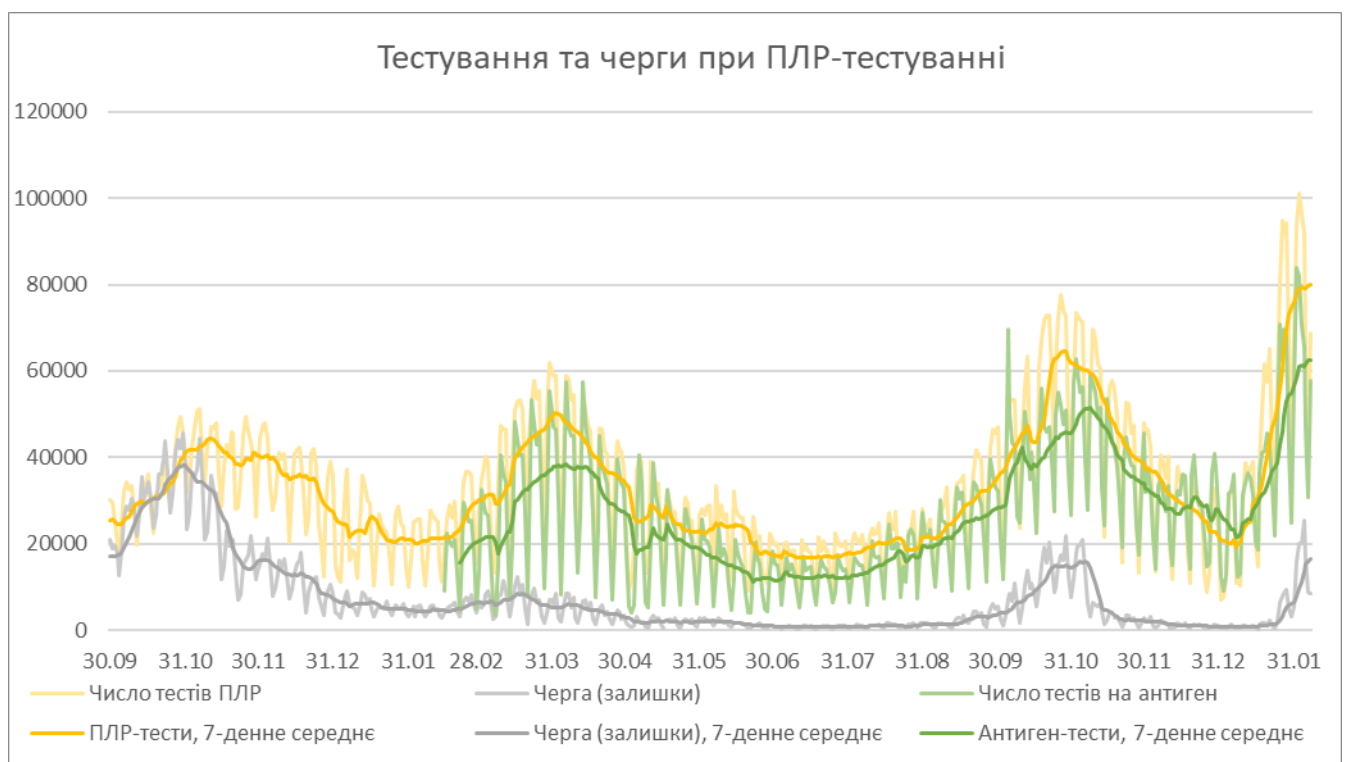


Рис.3. Обсяги тестування. Щоденні обсяги проведених ПЛР-тестів та тестів на антиген, і сумарна кількість залишків непротестованих зразків для ПЛР у лабораторіях

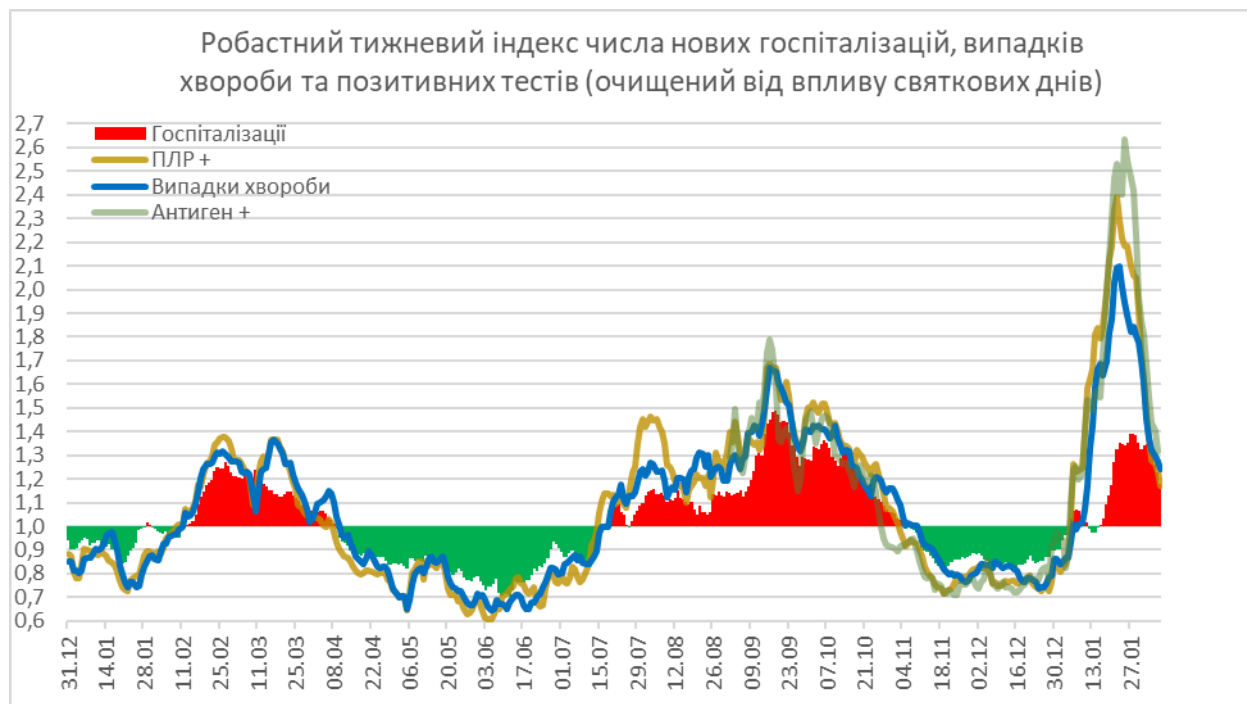


Рис.4. Тижнева зміна числа нових госпіталізацій, позитивних тестів та нових випадків хвороби без урахування даних під впливом святкових днів (робастний тижневий індекс)

1.2. Показники навантаження на лікарні

Кількість нових госпіталізацій на даний момент зростає на 18% за тиждень, при чому темпи такого зростання втратили 17 в.п. за чотири дні (рис. 4, 8). Збереження такої тенденції означатиме перехід числа госпіталізацій до зниження вже наприкінці поточного тижня. Зокрема, таке зниження вже почалось загалом на заході країни (рис. 24).

Кількість пацієнтів у лікарнях зросла на 24% за останній тиждень та становить близько 60% від максимуму «дельта»-хвилі (рис. 5, 6). Регіональна динаміка показана на рис. 27.

На рис. 7 показано завантаженість дитячих лікарень та відділень. Первинні дані свідчать, що з початком «омікрон»-хвилі частка пацієнтів-дітей, які лікуються в умовах переповнених лікарень, вища, ніж частка дорослих пацієнтів, що вказує на труднощі при їх госпіталізації, які почали спостерігатись ще з середини січня. Порівняно з піком хвилі «дельта», кількість дітей у лікарнях зросла у 2,5 рази. Варто також відмітити високу регіональну неоднорідність у кількості дитячих ліжок, виділених під COVID-19 (рис. 28).

Використання ШВЛ госпіталізованими лишається зниженим, порівняно з попередніми хвилями в їх аналогічну фазу.

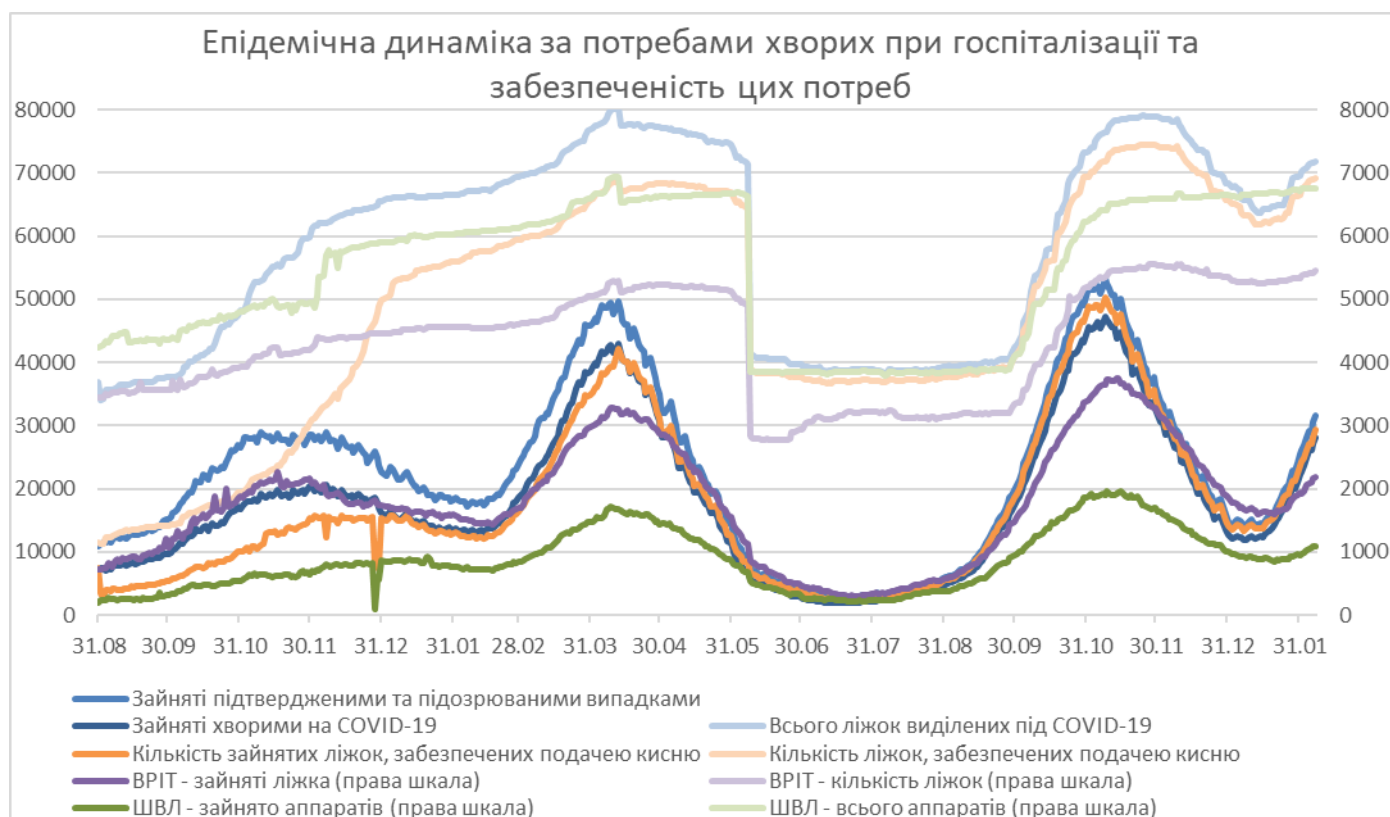


Рис. 5. Зайняті та наявні місця в лікарнях за даними Meddata

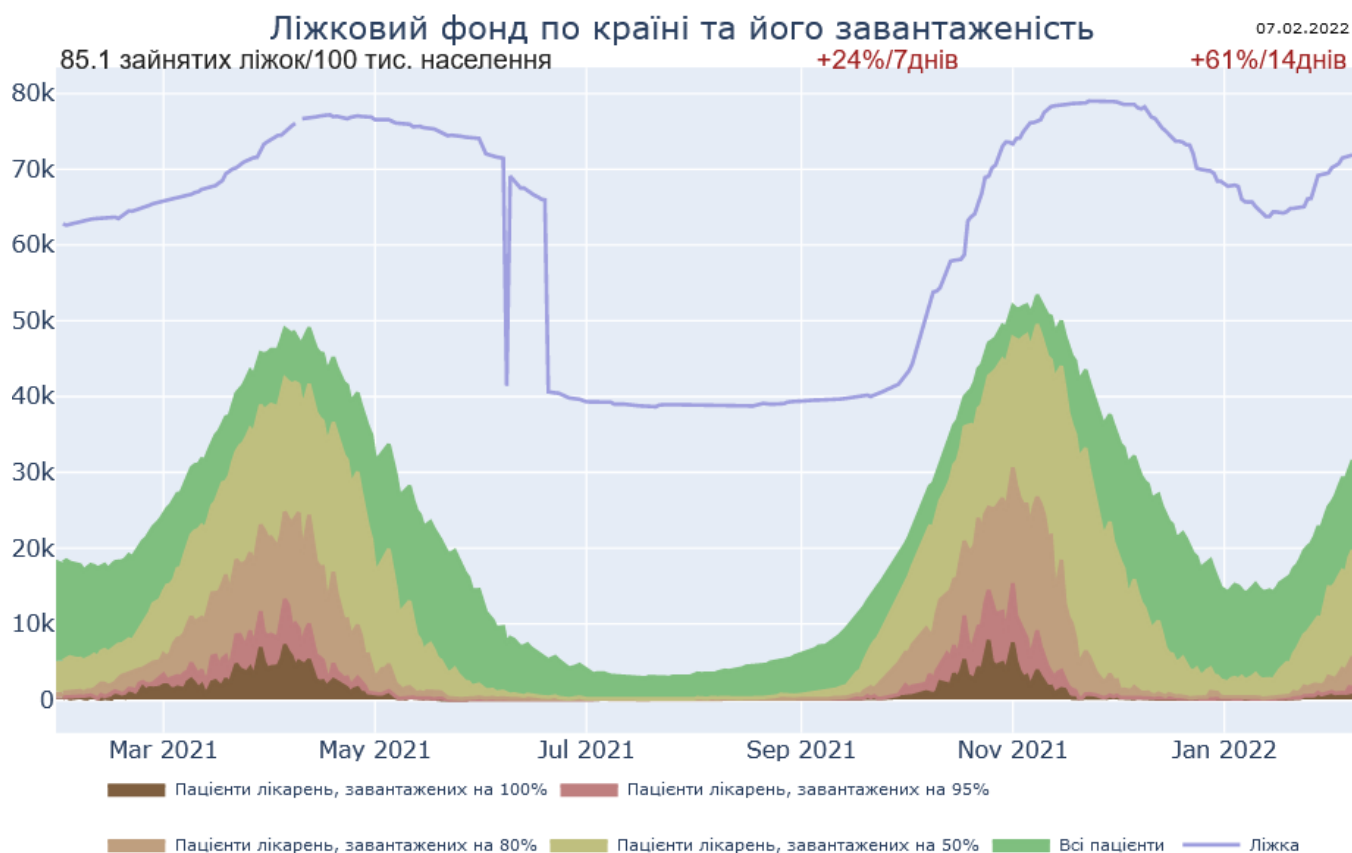


Рис. 6. Ліжковий фонд під COVID-19 та його зайнятість пацієнтами за рівнем завантаженості лікарень перебування цих пацієнтів (Meddata)

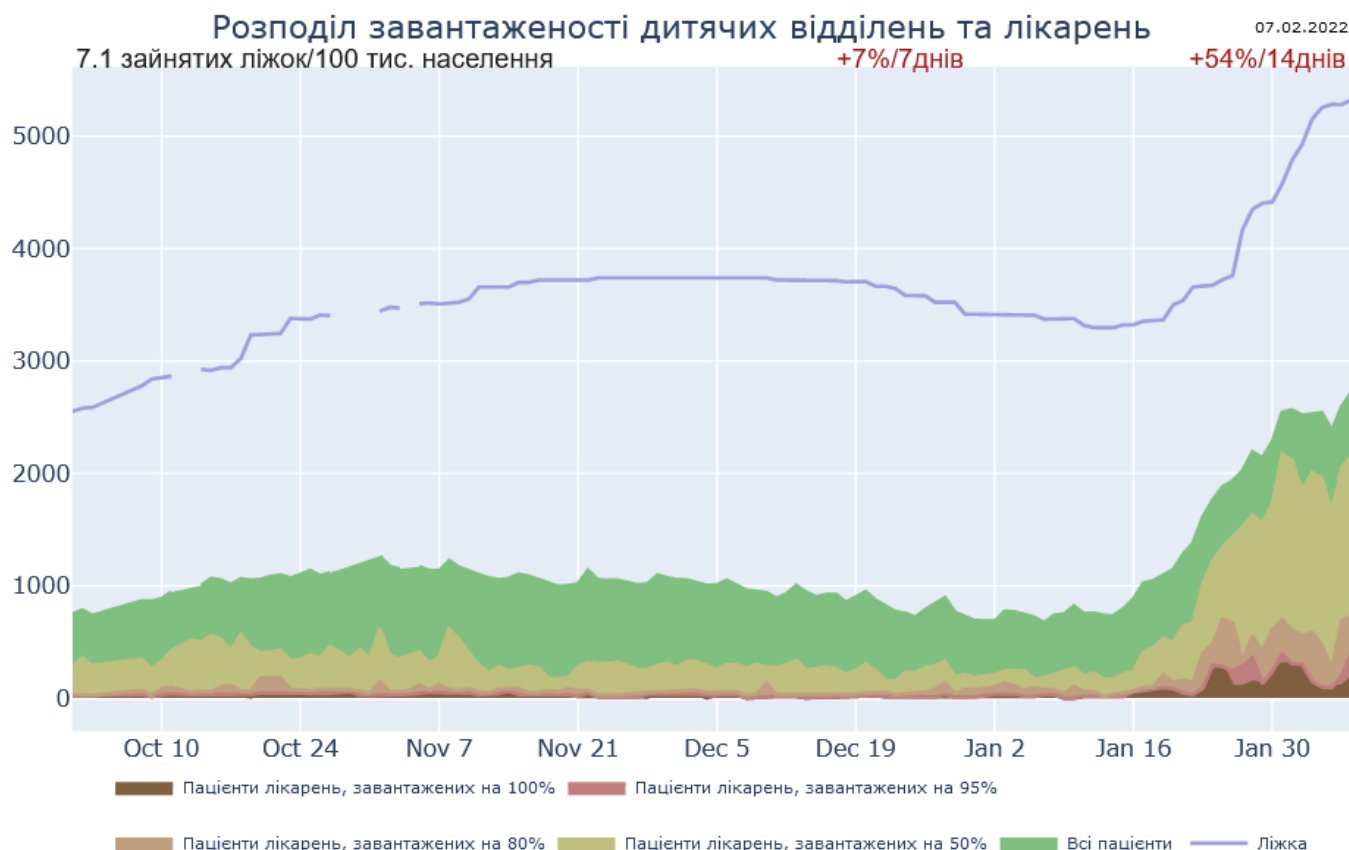


Рис. 7. Дитячий ліжковий фонд під COVID-19 та його зайнятість пацієнтами за рівнем завантаженості лікарень перебування цих пацієнтів (Meddata)

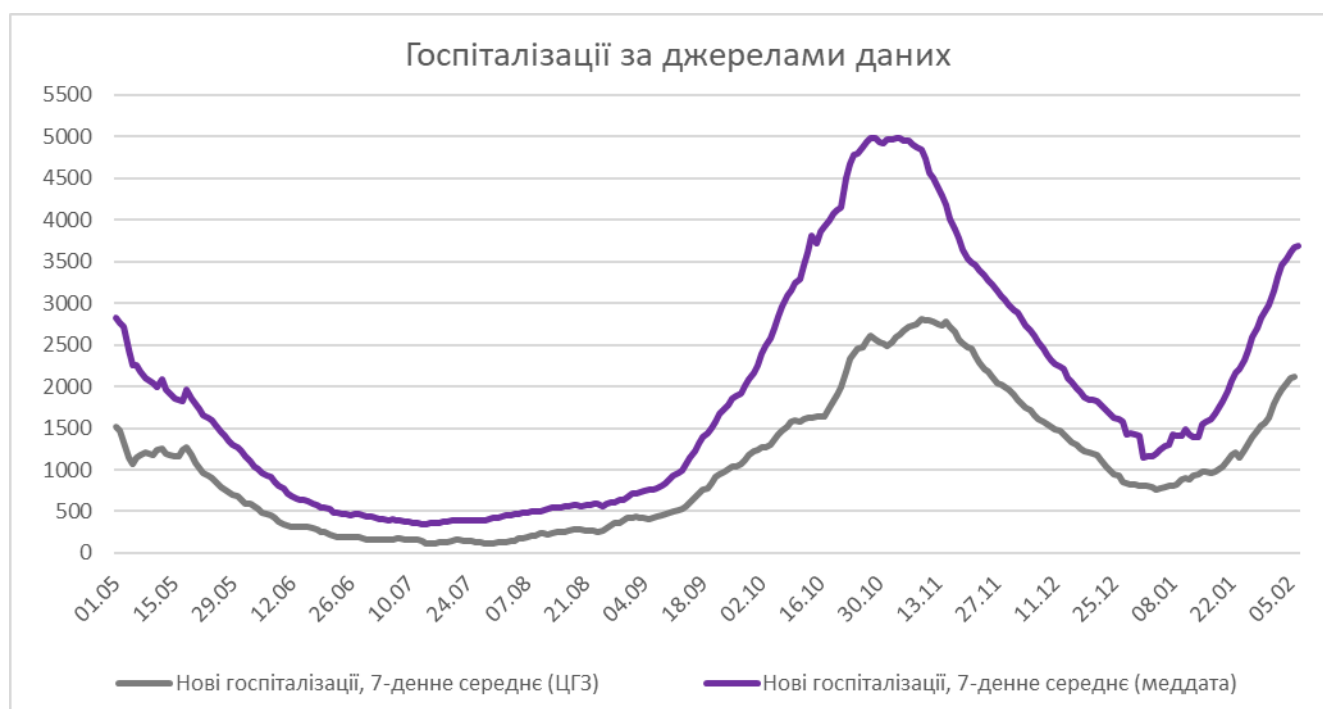


Рис.8. Нові госпіталізації за двома джерелами даних

1.3 Госпіталізації серед вакцинованих

На рис. 9 показано інцидентність госпіталізацій серед населення залежно від його статусу вакцинації без розподілу на вікові групи.

На рис. 10 показано динаміку розрахункової ефективності вакцин у вікових категоріях. Ефективність вакцини знайдено як відсоток, на який є зниженою інцидентність госпіталізацій серед повністю вакцинованого населення (людей, що пройшли повний курс вакцинації та, можливо, отримали бустер), порівняно з невакцинованим.

Тривожність викликає те, що на тлі «омікрон»-хвилі найбільше знизилась ефективність вакцинації серед населення найстаршої вікової категорії, ~~детермінується~~ – до позначки 50%, що вказує на можливу потребу в активізації кампанії зі введення додаткової дози вакцини. Відомо також, що вакцина «Коронавак» у віковій категорії 70+ використовувалась вдвічі частіше, ніж серед усього загалу населення, і частка введених вакцин цього типу з-поміж всіх вакцин, застосованих щодо даної категорії населення, становить близько до 60%.

Методологія. Оцінка кількості дорослого населення побудована на основі даних ДССУ про населення підконтрольних територій. Джерела інформації про стан вакцинації населення – інформаційна панель РНБО.

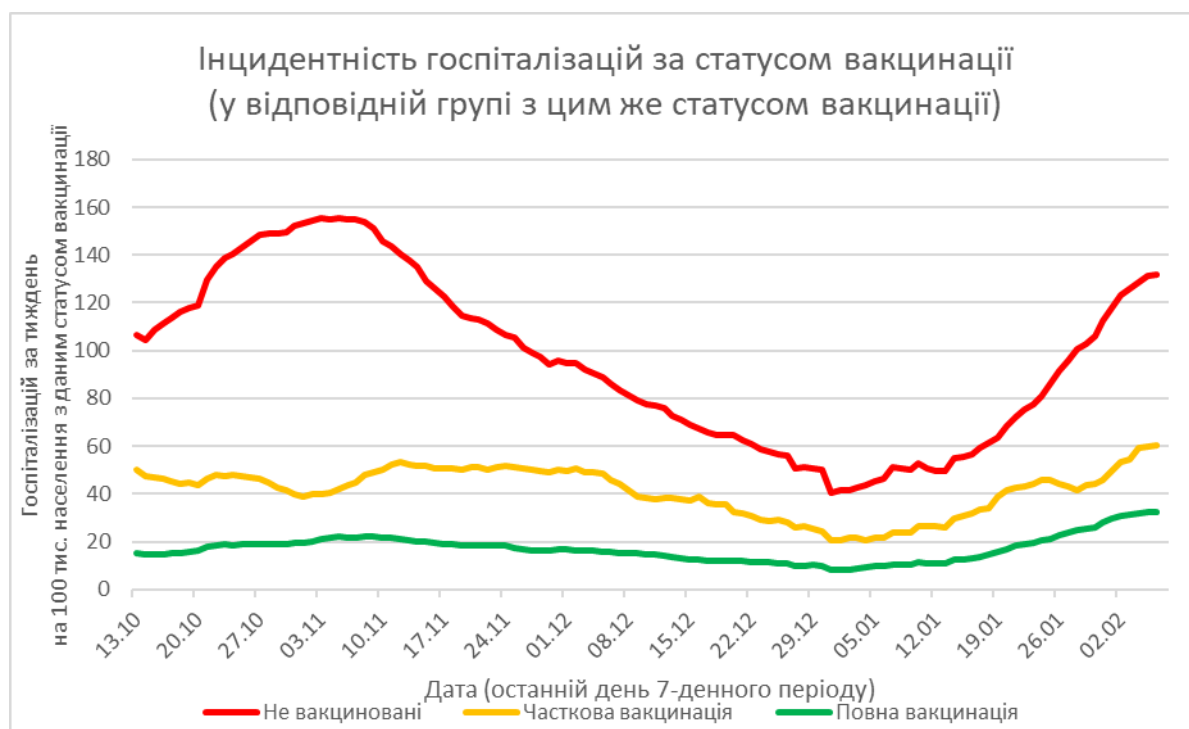


Рис.9. Інцидентність добових госпіталізацій за статусом вакцинації (випадків за тиждень на 100 тис. населення відповідної групи)

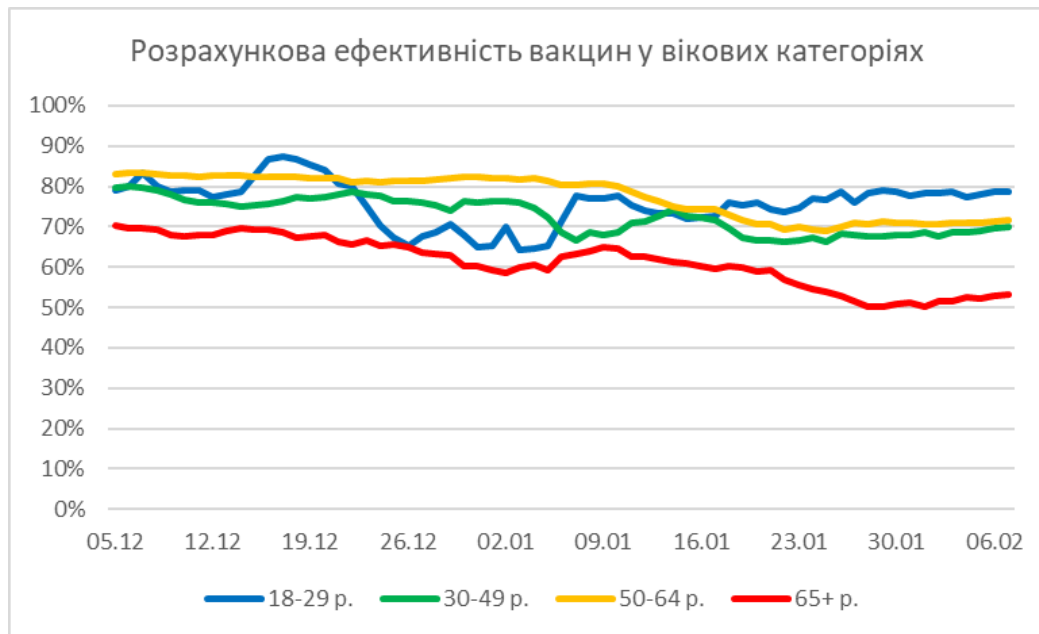


Рис.10. Відносне скорочення інцидентності за статусом вакцинації стосовно інцидентності серед невакцинованих у вікових категоріях

1.4 Спостережувана летальність, одужання та вікова структура інфікованих

Спостережувана летальність для дат реєстрації хвороби 4-5-тижневої давнини була близькою до 1,6-2,9%, знизившись зі значень, близько 3,7% для дат реєстрації хвороби 4-5-тижневої давнини (рис. 11, 12, табл. 1).

Водночас, оперативна оцінка летальності вказує на продовження стрімкого зниження спостережуваної летальності, яка тиждень тому була приблизно вдвічі нижчою за середню спостережувану летальність 2020 року та втричі нижчою за летальність при штамі «дельта». Таке зниження може тривати ще деякий час. Водночас, подібно до попередніх хвиль, з наближенням до піку зростає частка хворих похилого віку, які часто потрапляють до лікарень (рис. 15-17), що, як очікується, має підвищити показники спостережуваної летальності.

На рис. 18 показано коефіцієнти спостережуваної летальності у вікових категоріях.

На рис. 19 показано частку госпіталізованих (за даними бази ЦГЗ) серед випадків хвороби. Частка госпіталізованих серед хворих дітей віком до 9 років включно продовжила перевищувати відповідну частку для людей вікової категорії 60-69 років.

Залученість дітей до епідемічного процесу відійшла від максимумів (рис. 16, 17, табл. 1)

Методологія. Пурпуровий графік на рис. 8 показує очікувану спостережувану летальність з урахуванням статеві-вікових коефіцієнтів летальності, що мали місце в середньому у 2020 році. Значення спостережуваної летальності вище очікуваної на основі коефіцієнтів 2020 року в середньому означає, що спостережувана летальність у статеві-вікових категоріях зросла, порівняно з 2020 роком. Коливання пурпурового графіку відбувається виключно за рахунок зміни статеві-вікової структури виявлених хворих: якщо виявляють більше хворих похилого віку, графік зростає, а якщо більше молоді – спадає.

Синій графік на рис. 10, етапи оновлення якого показані на рис. 11, наведено у датах смертельних результатів та показують їх сумарну частку від випадків хвороби тих днів, коли ці

померлі хворі були зареєстровані. Синій графік на рис. 10, розглядається як оперативна оцінка спостережуваної летальності у її початковому визначенні, оскільки інформація про нього швидше заповнюється. Водночас, наприклад, коли перебіг хвороби від реєстрації випадку до смертельної події скорочується, така оцінка дає збільшені значення.

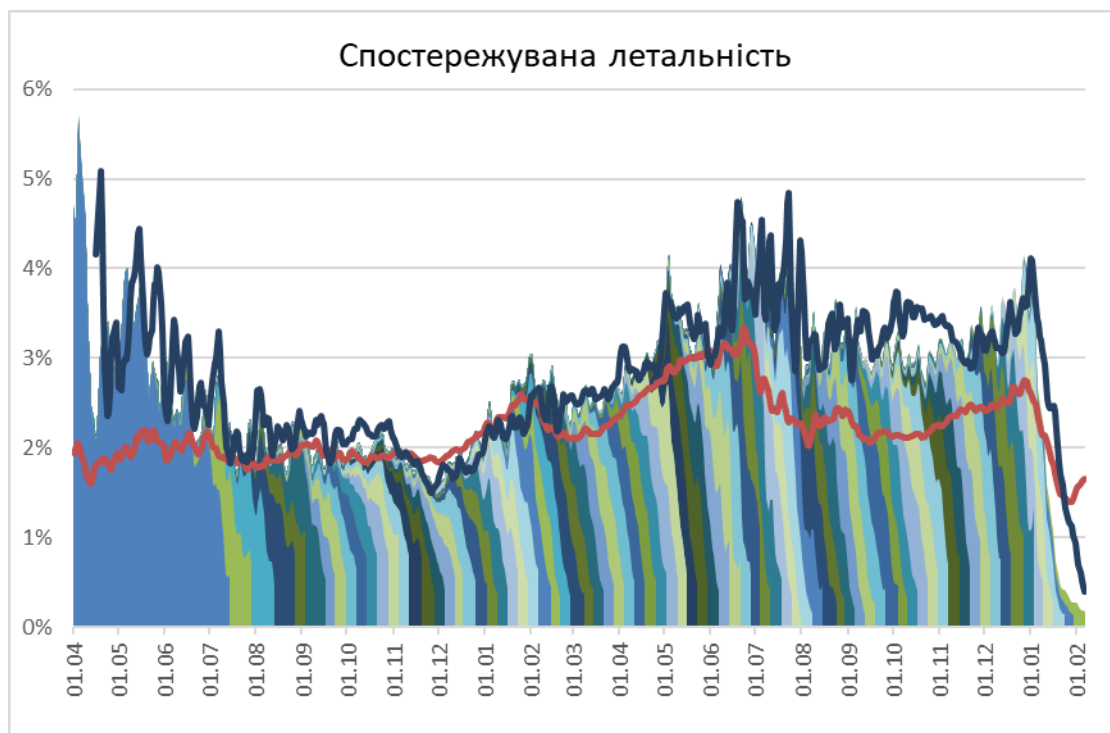


Рис.11. Частка нових хворих, для яких хвороба мала летальні наслідки, динаміка наповнення даних про неї, її оперативна оцінка (див. методологію у тексті), а також очікувана спостережувана летальність для заданої статеві-вікової структури хворих на основі середніх у 2020 році коефіцієнтів летальності для статеві-вікових категорій (пурпуровий графік)

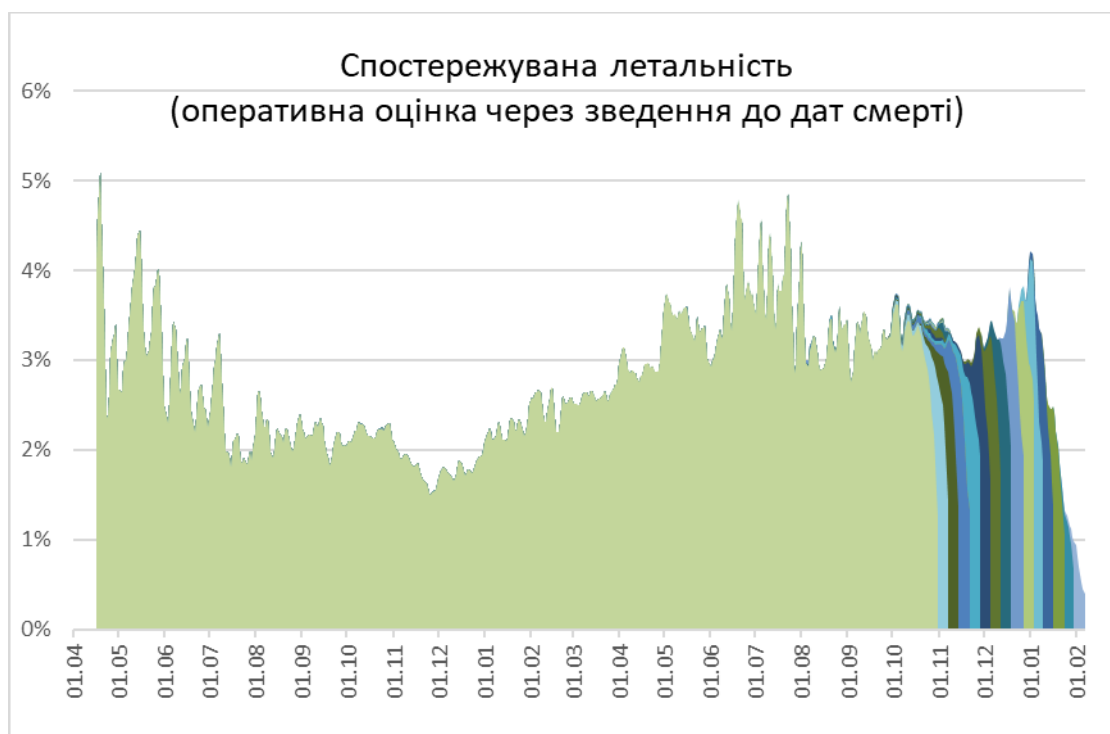


Рис.12. Оперативна оцінка спостережуваної летальності, визначеної на рис. 10, наведена у датах смерті

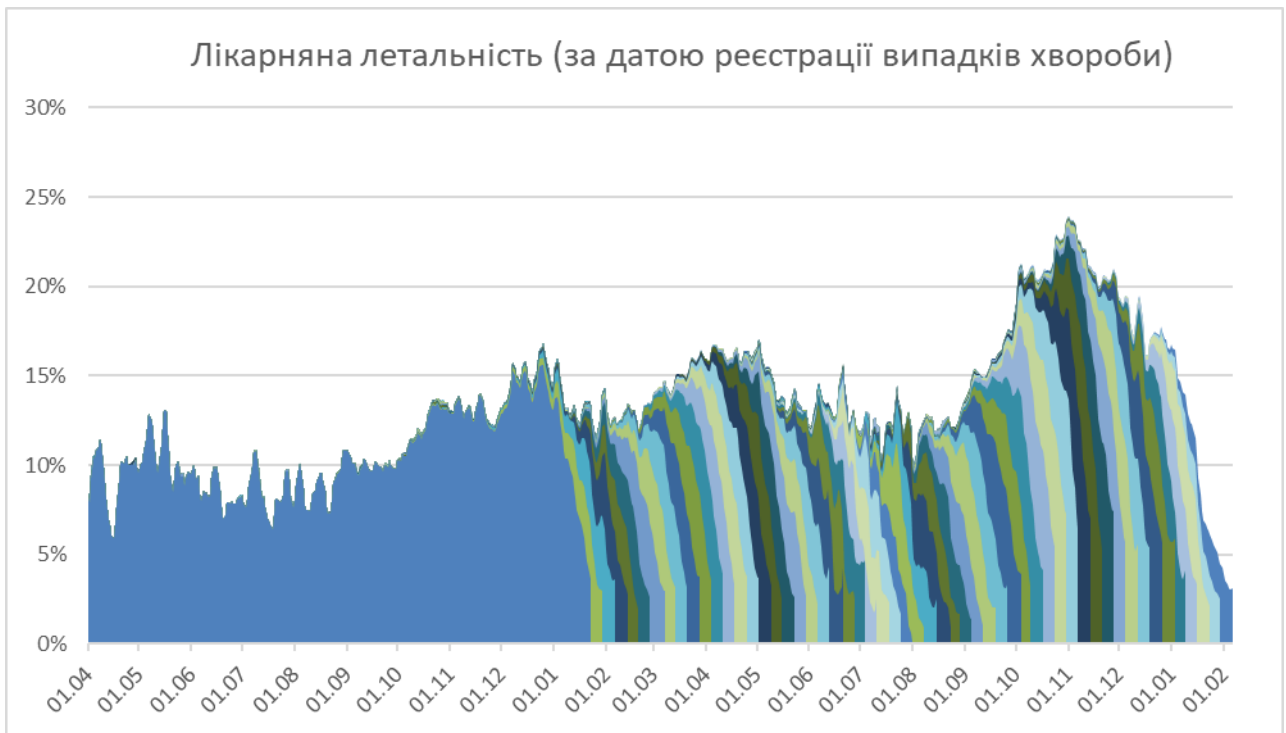


Рис.13. Частка нових хворих, що були на госпіталізації, для яких хвороба мала летальні наслідки, та динаміка наповнення даних про неї

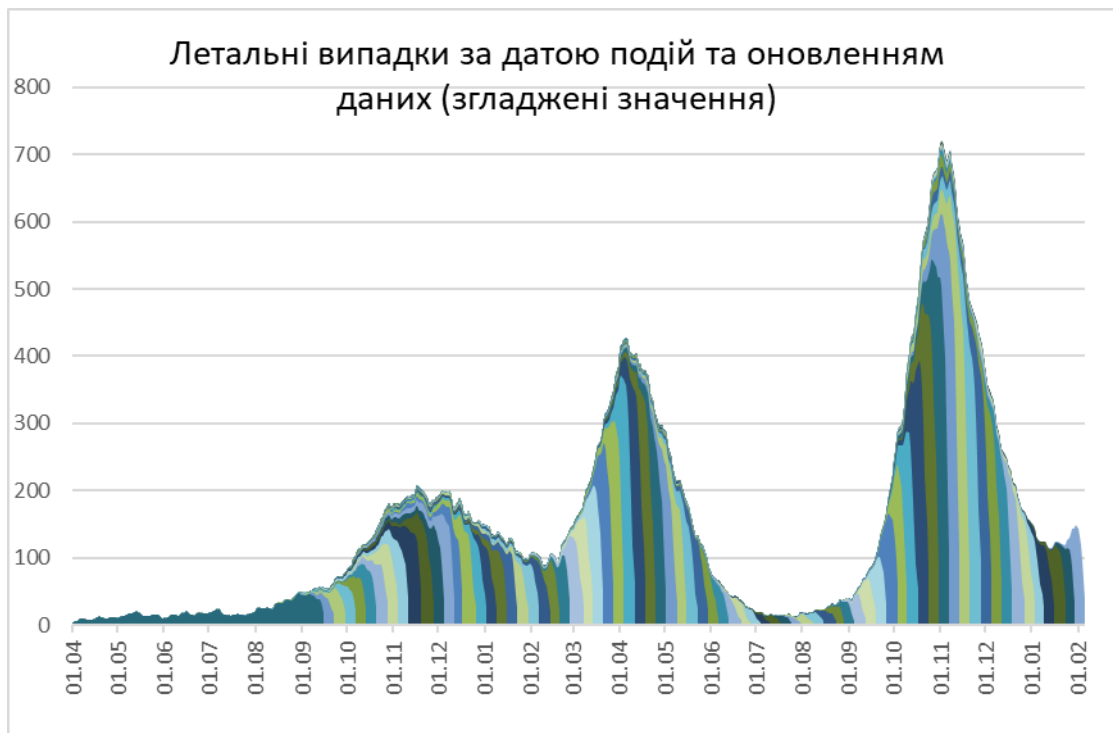


Рис.14. Підтверджені летальні випадки за датами подій

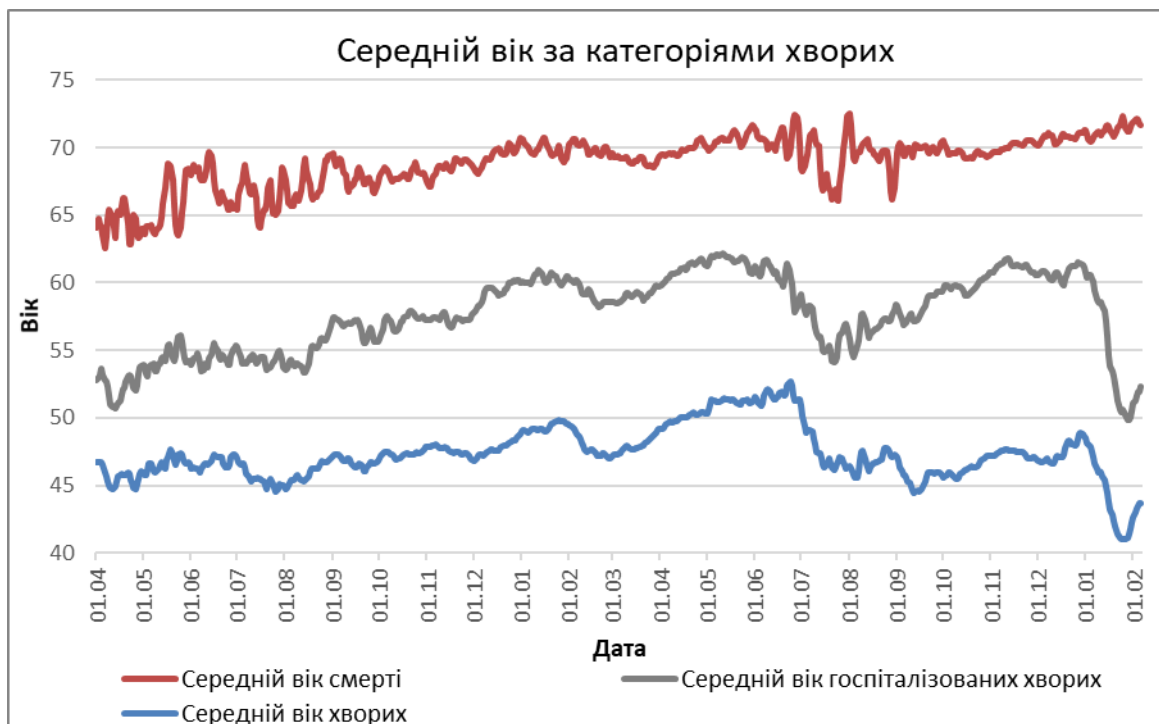


Рис.15. Середній вік за категоріями інфікованих. До даних застосовано зважене 7-денне середнє



Рис.16. Вікові категорії хворих і частка летальних випадків (застосовано 7-денне усереднення)

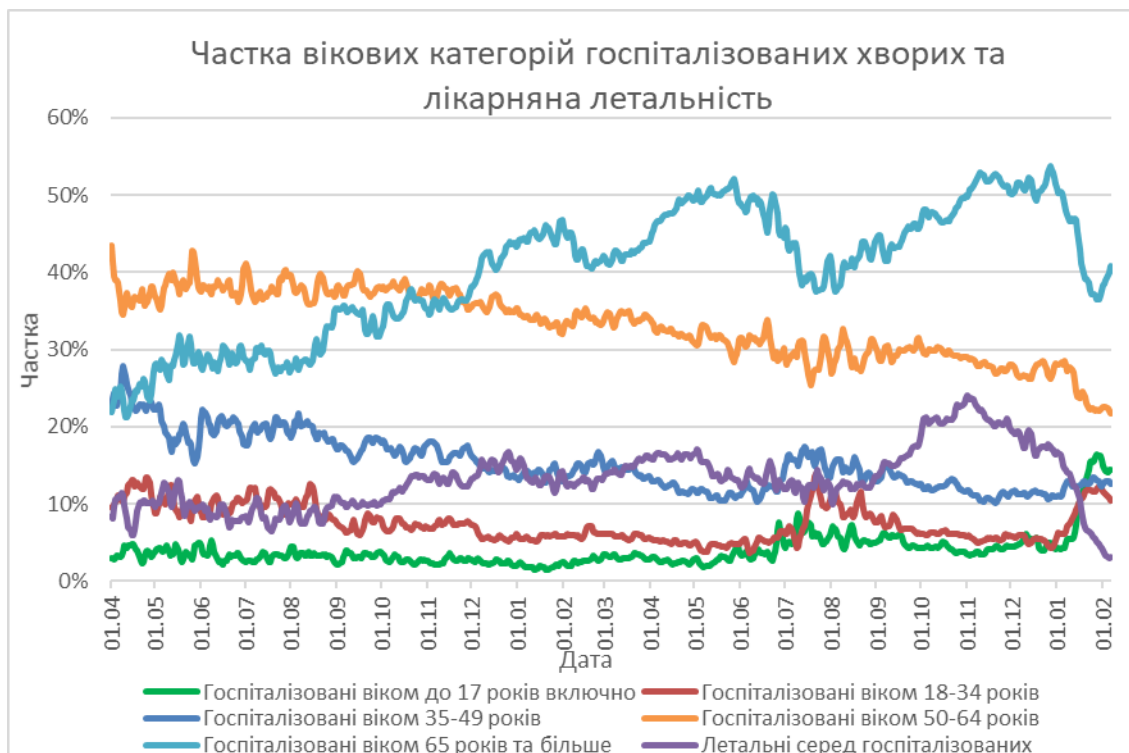


Рис. 17. Вікові категорії хворих, що потребували госпіталізації, та лікарняна летальність за даними ЦГЗ МОЗ України (застосовано 7-денне усереднення)

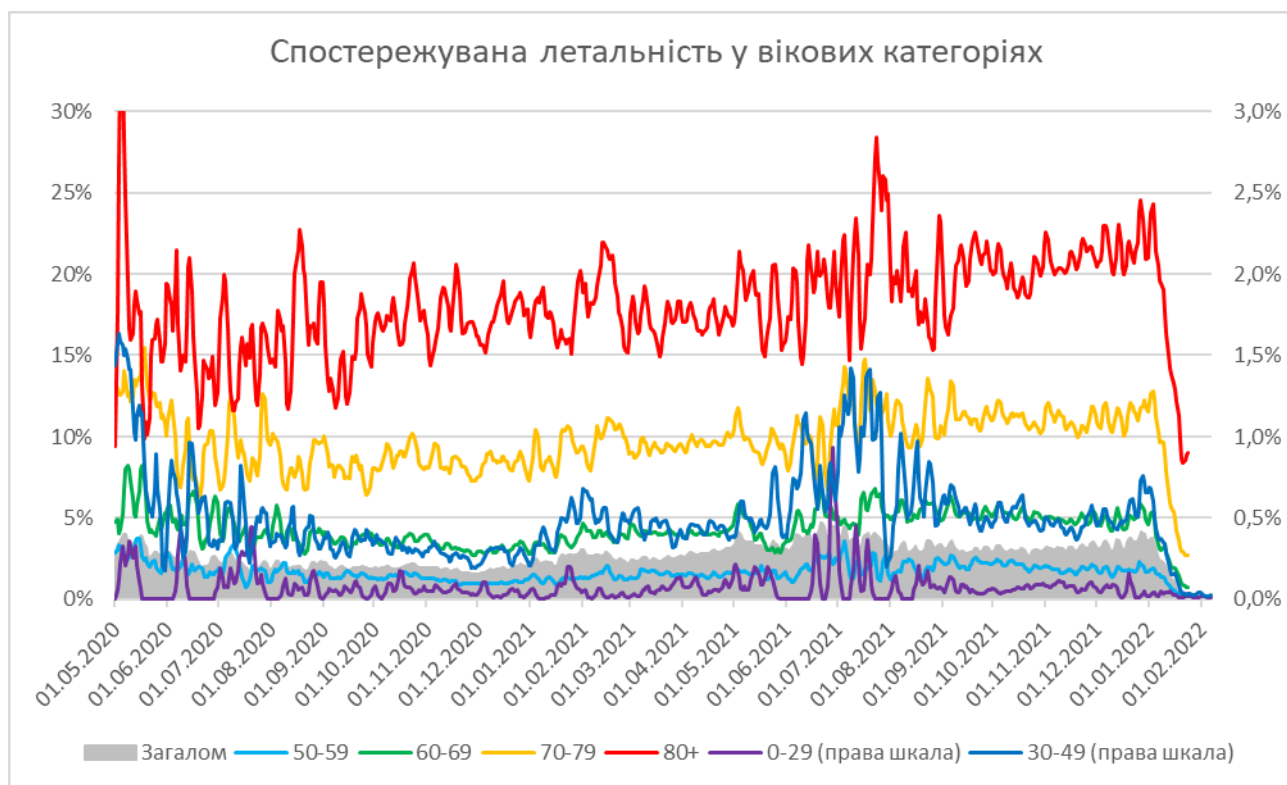


Рис. 18. Частка нових хворих, для яких хвороба мала летальні наслідки, у вікових категоріях та загалом.

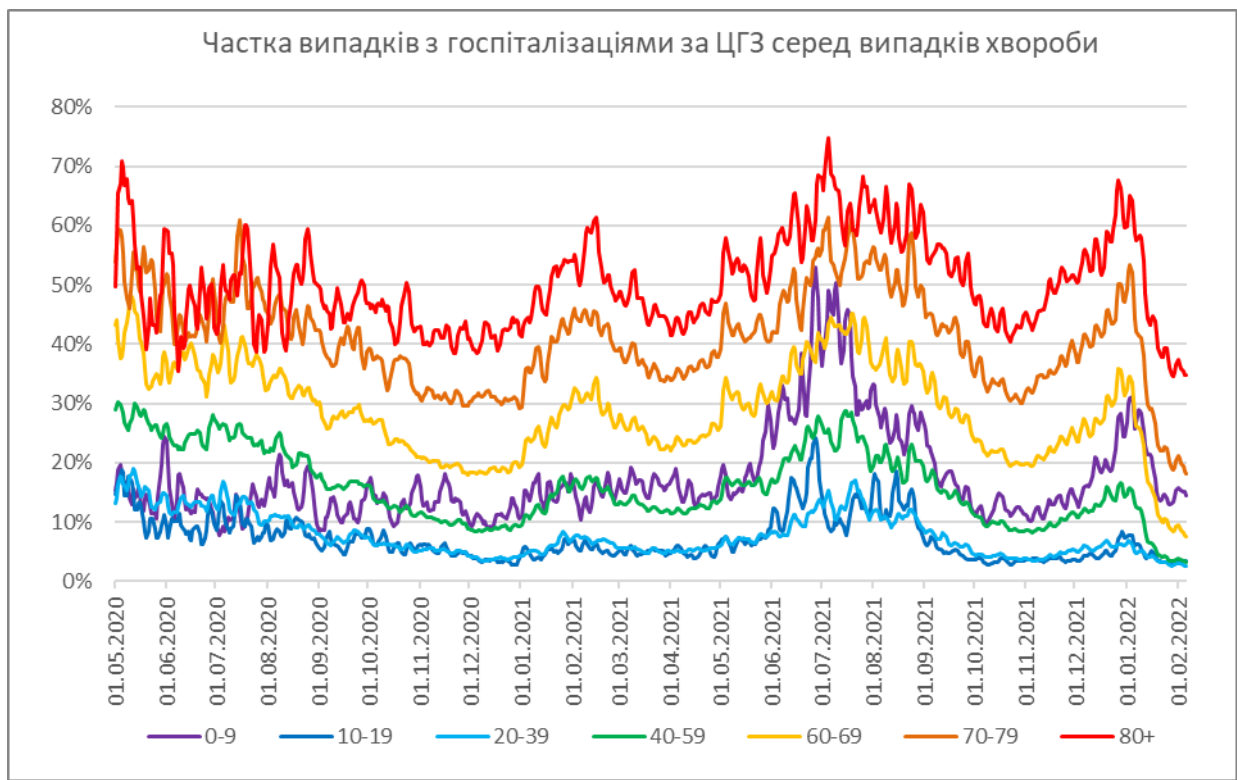


Рис. 19. Частка хворих за віковими категоріями, що потребували госпіталізації (мають відомості про госпіталізацію у базі даних ЦГЗ). Для останніх 1-2 тижнів дані неповні, що приводить до знижених показників

Таблиця 1. Вікова структура випадків хвороби та госпіталізацій за тиждень у розрахунку на 100 тис. населення відповідної вікової категорії (перші два блоки таблиці) та зважена на середні показники осінньої хвилі 2020 року (середні показники тижнів w45-w53 взяті за 100). Примітка: *госпіталізації за даними ЦГЗ, куди переважно потрапляють тільки випадки госпіталізації, що відбуваються з одночасним оформленням випадку хвороби, а не після нього

Тижні	2020													2021													Середнє
	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень		
Випадки	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	
Госпіталізації	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	
Відсоток	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	

2. Огляд демографічних даних

На початку поточного місяця надійшло оновлення даних Міністерства юстиції України щодо загальної смертності (ці дані доступні на сайті [«Економіка карантину»](#)), які дають відносно повну картину про число смертей до 25 січня (рис. 20). Динаміка оновлення цих даних показана на рис. 24.

Отримані дані попередньо свідчать про те, що смертність у січні приблизно відповідає очікуванням на основі тренду 2015-2019 років.

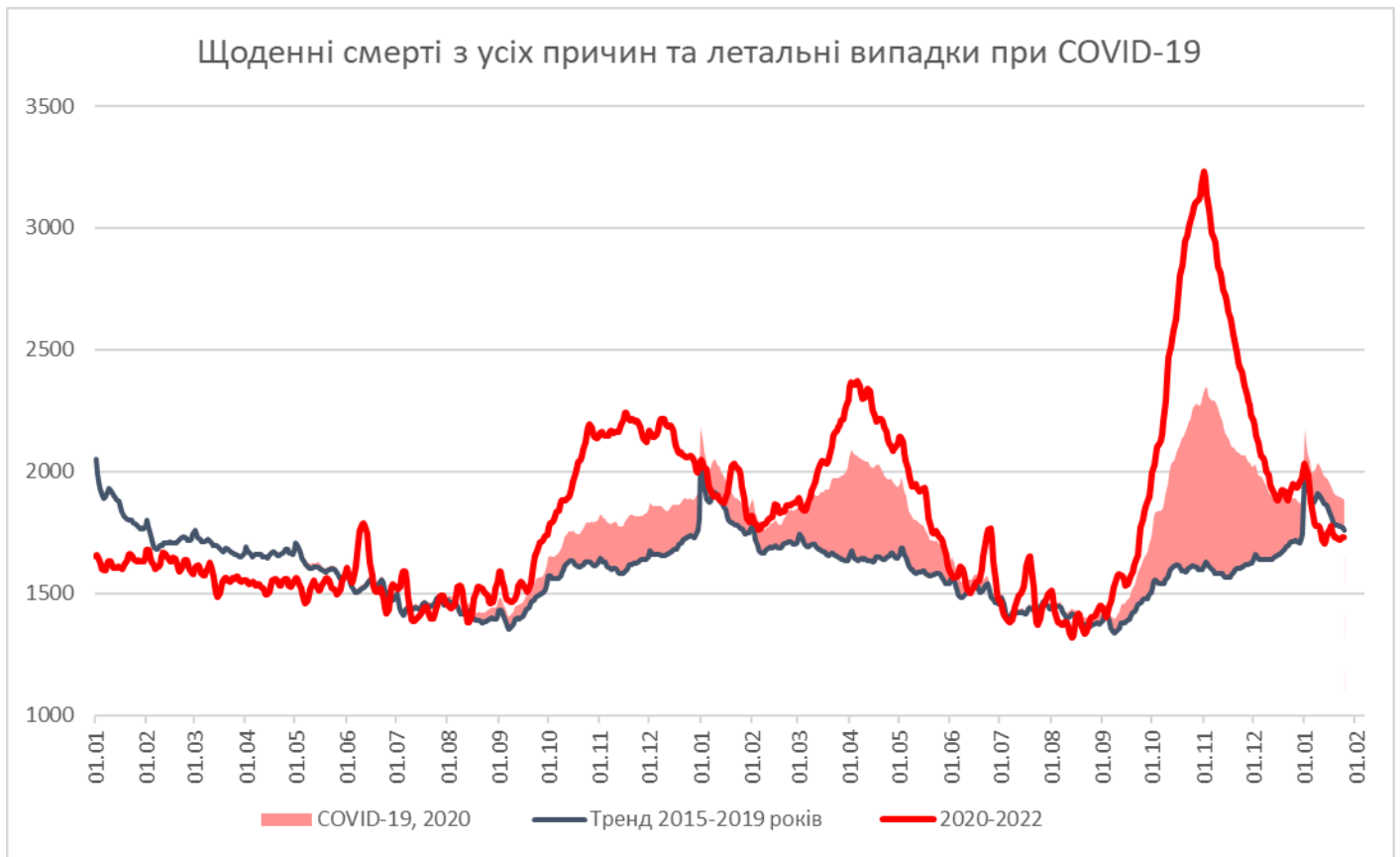


Рис. 20. Динаміка смертності з усіх причин за тижнями років (Мін'юст) та число летальних випадків при COVID-19 за датою подій (МОЗ)

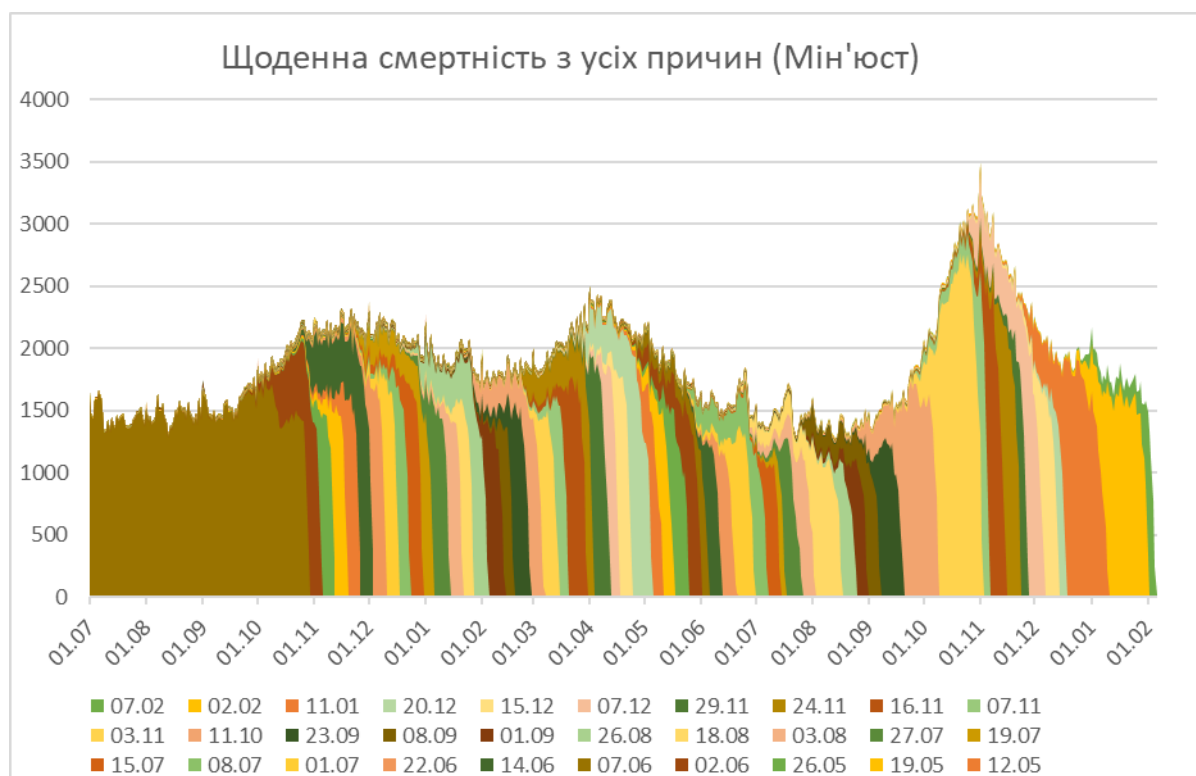


Рис. 21. Щоденна смертність з усіх причин (Мін'юст) та динаміка оновлення даних про неї

3. Аналіз груп регіонів

На рис.25 показано частку груп регіонів серед захворюваності, кольорову гаму яких задано на рис.26 (докладніше про групи регіонів див. у «[Прогнозі РГ-38](#)»).

На рис.22, 23 і 24 показано кількість нових хворих, позитивних тестів та госпіталізацій за тиждень на 100 тис. населення.

У вимірі кількості позитивних тестів та випадків хвороби істотне спадання епідемії вже почалось на заході країни (рис. 22, 23), де госпіталізації все ще показують динаміку, близьку до нейтральної. Через, ймовірно, пікові значення кількості позитивних результатів ПЛР-тестування проходить «Столичний регіон», де 7-денне середнє знизилось вперше з середини січня, й одразу на 3%. Як і раніше, динаміка випадків хвороби у столиці не відповідає реальній епідемічній динаміці (рис. 40), а отже не дозволяє оцінити реальність проходження її пікового значення.

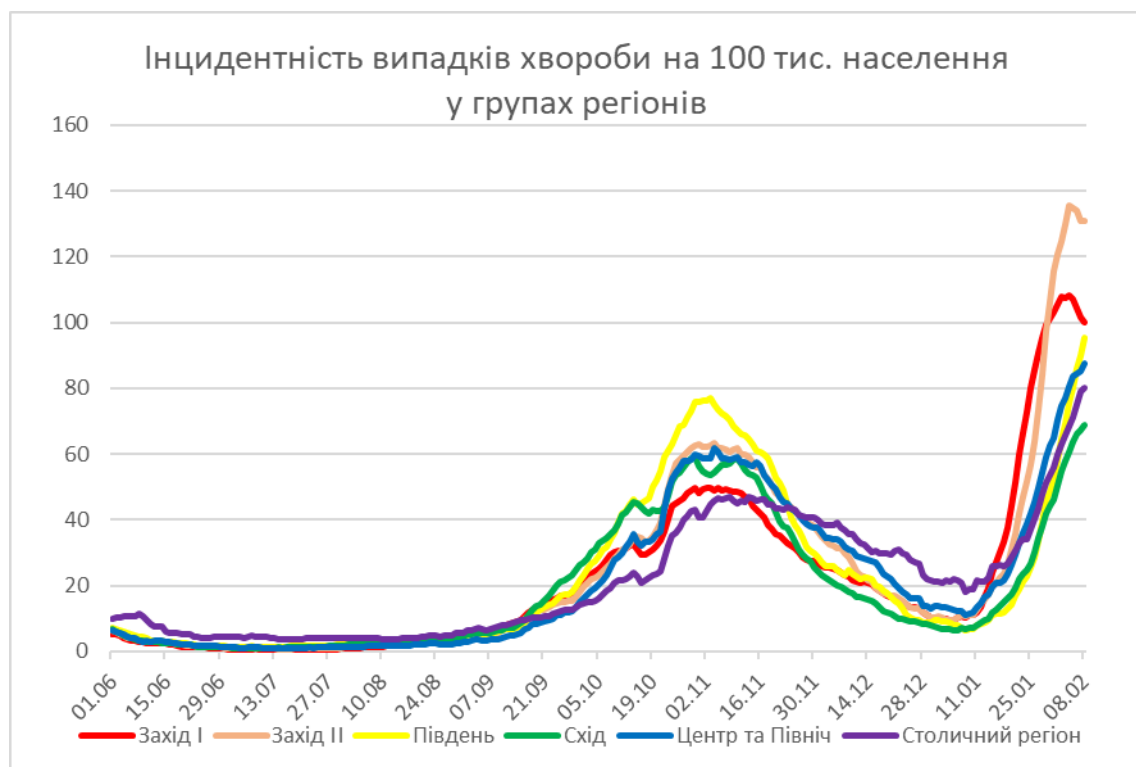


Рис.22. Число нових випадків хвороби у групах регіонів на 100 тис. населення

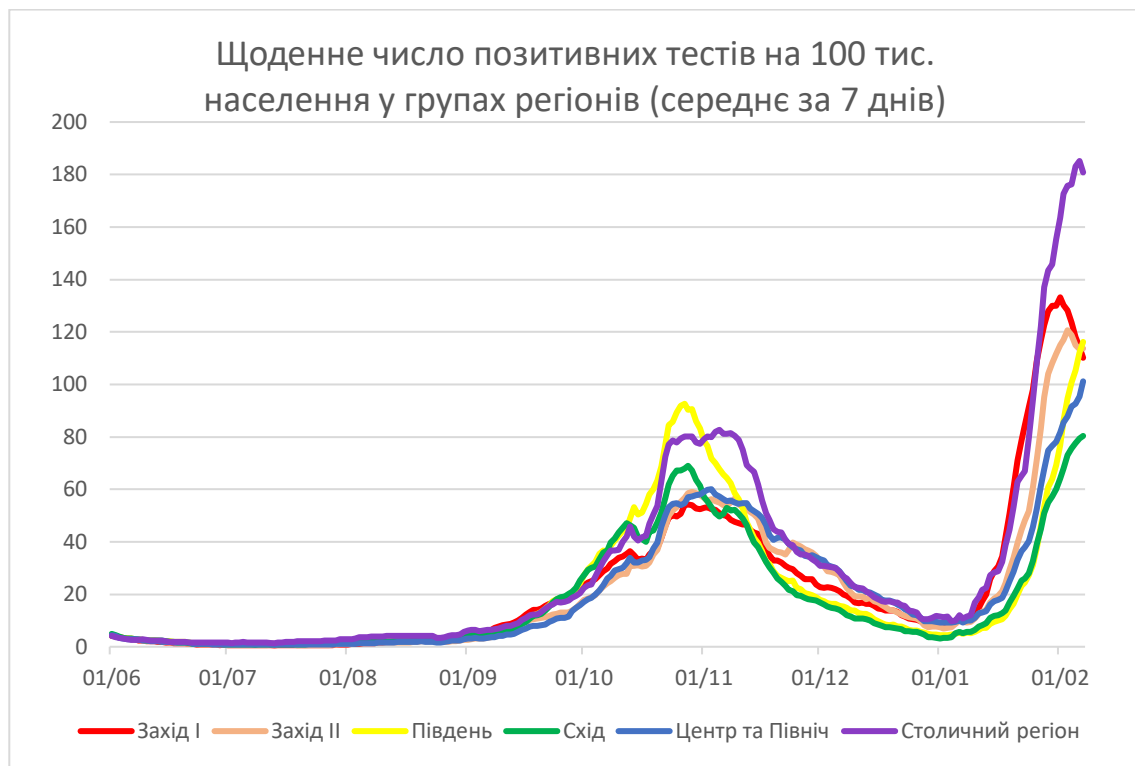


Рис.23. Число нових позитивних тестів у групах регіонів на 100 тис. населення

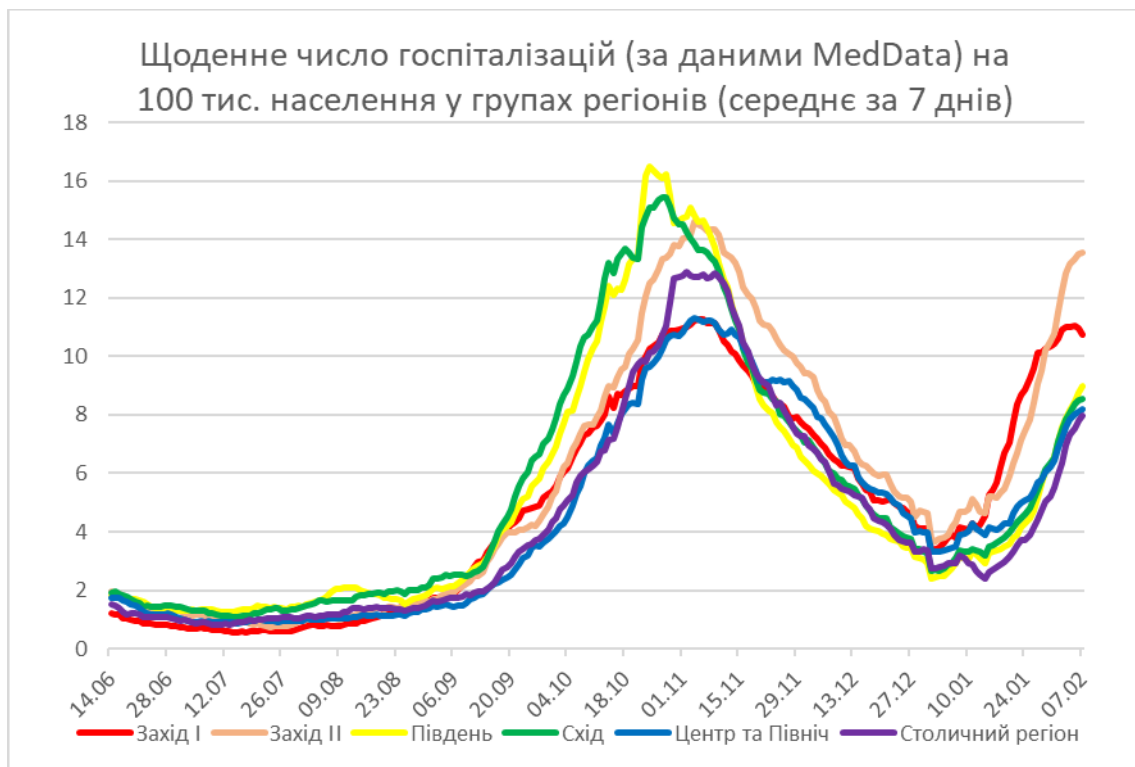


Рис.24. Число нових госпіталізацій у групах регіонів на 100 тис. населення

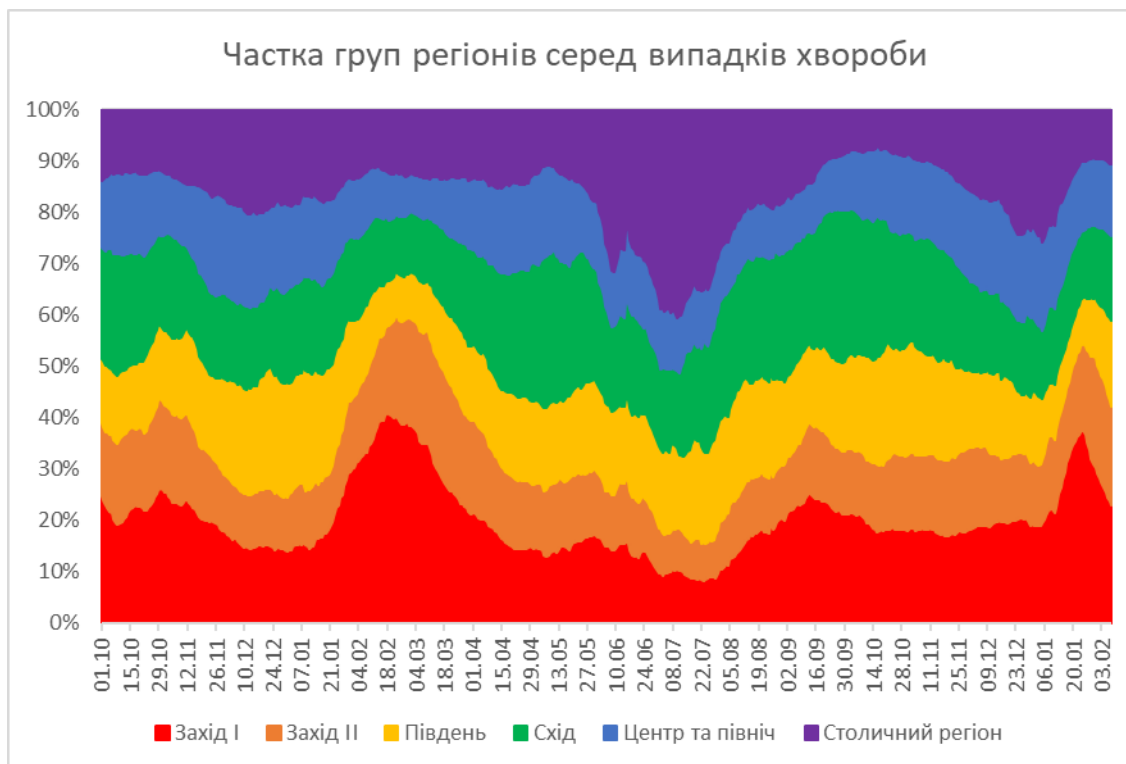


Рис.25. Частка нових хворих у групах регіонів

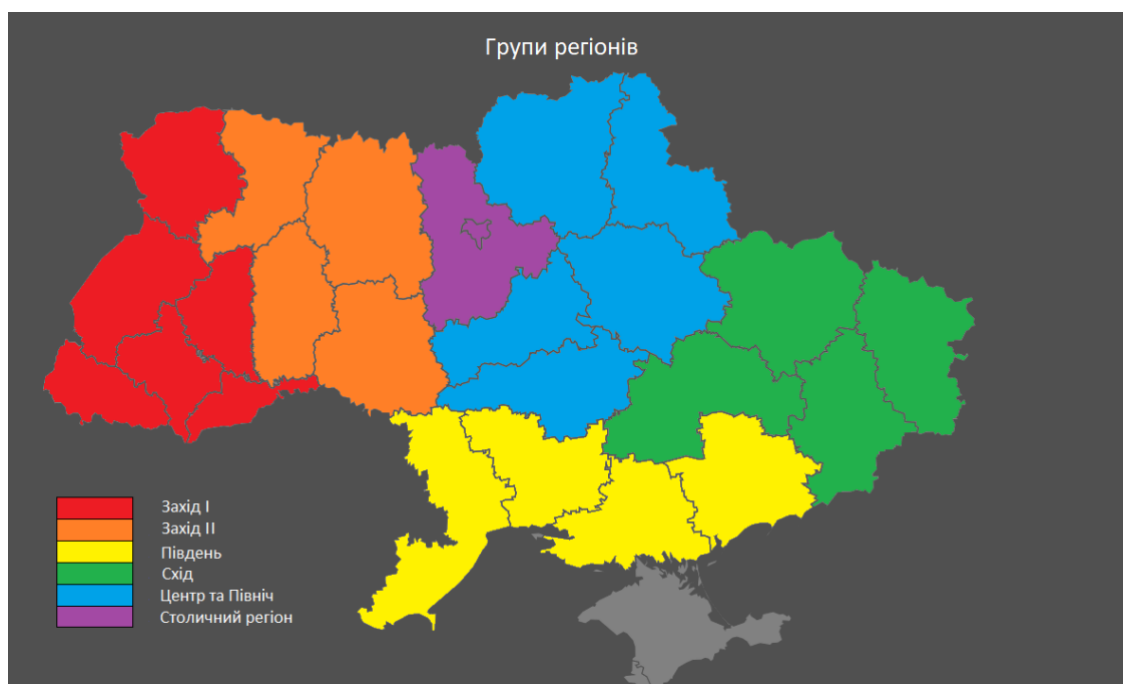


Рис.26. Надрегіональні групи

4. Регіональна епідемічна динаміка

На рис. 27 показано кількість ліжок лікарень у регіонах, виділених під COVID-19, та розподіл пацієнтів, що займають ці ліжка, за завантаженістю лікарень їх перебування. Рис. 28 надає аналогічну інформацію щодо дитячих ліжок.

На картах на рис. 32-34 цифрами для регіонів відмічено інцидентність, а також її робастна (очищена від шумових коливань) тижнева та двотижнева динаміка.

Івано-Франківська область – єдина, де за 7 днів кількість пацієнтів у лікарнях скоротилась (рис. 27). У цій області також знизилась кількість випадків хвороби, позитивних ПЛР-тестів та нових госпіталізацій, а кількість летальних випадків – зросла на чверть.

У той час як на заході країни епідемічні показники, загалом, спадають, або, принаймні, не зростають швидко, на півдні та сході епідемія і досі поширюється швидко. Зокрема, у Запорізькій обл. кількість позитивних результатів ПЛР за останній тиждень подвоїлась, а за останні два тижні зросла в п'ятеро. Стрімка динаміка також спостерігається у Херсонській, Миколаївській, Донецькій, Чернігівській та Кіровоградській областях (в останній на тлі низької бази порівняння). Крім того, за останній тиждень Запорізька обл. була першою за кількістю оприлюднених летальних випадків на 100 тис. населення.

Хоча динаміка кількості зайнятих дитячих лікарняних ліжок на даний момент близька до нейтральної, ситуація протягом останнього місяця була напруженою: 19 з 25 підконтрольних регіонів були вимушені розширювати ліжковий фонд.

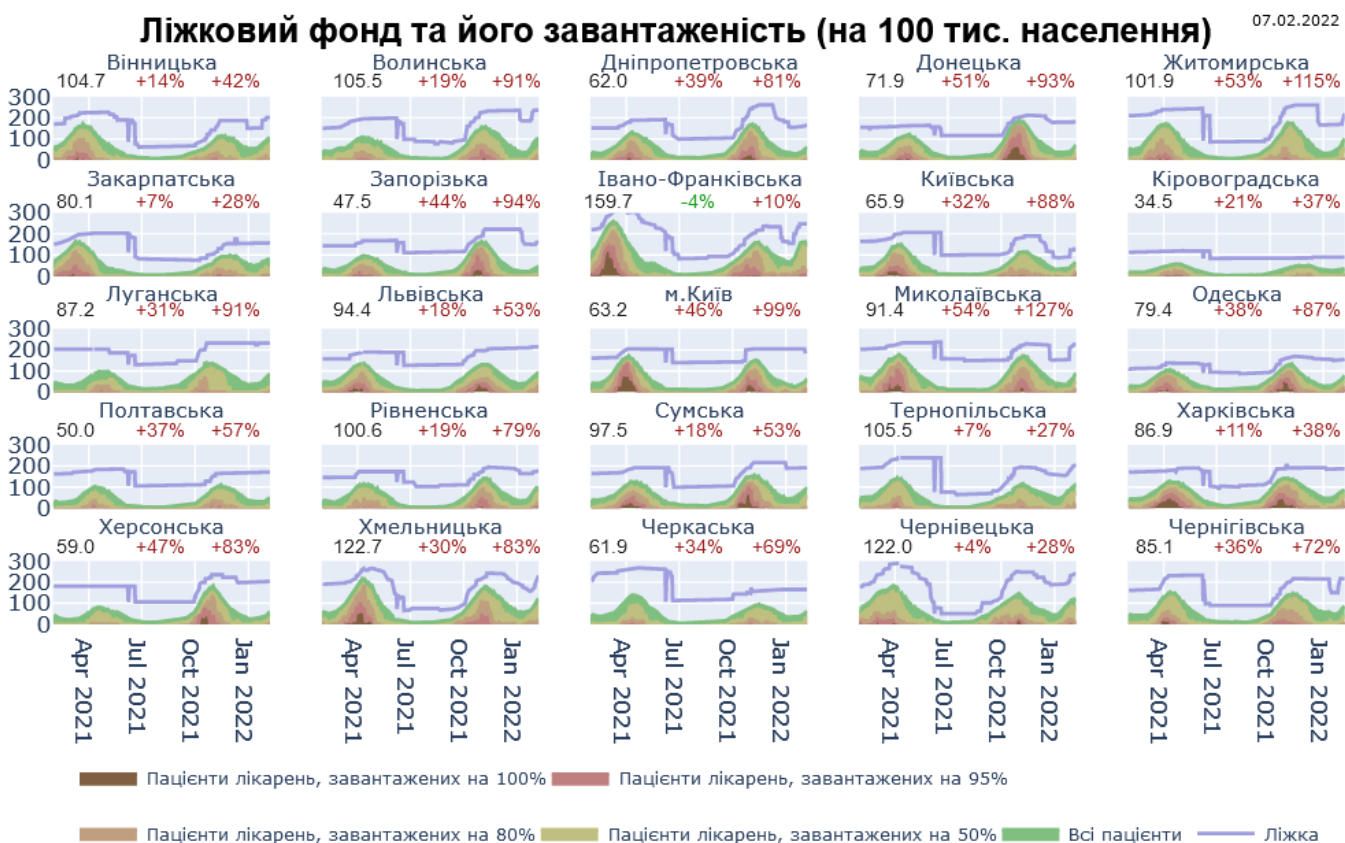


Рис.27. Ліжковий фонд під COVID-19 та його зайнятість пацієнтами за рівнем завантаженості лікарень перебування цих пацієнтів (Meddata)

Пацієнти дитячих відділень та лікарень (на 100 тис. населення)

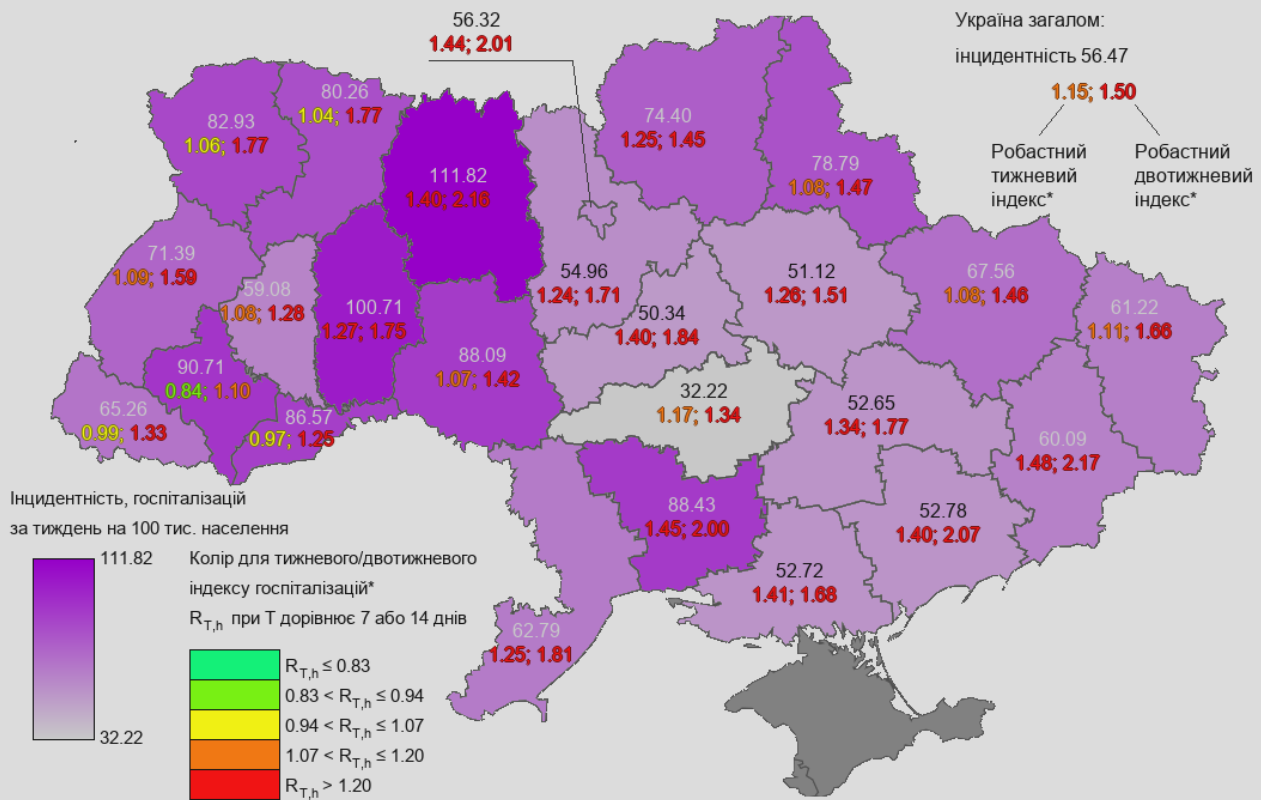
07.02.2022



Рис.28. Дитячий ліжковий фонд під COVID-19 та його зайнятість пацієнтами за рівнем завантаженості лікарень перебування цих пацієнтів (Meddata)

Інтенсивність госпіталізацій, пов'язаних з COVID-19, та її динаміка (джерело: MedData, РНБО)

07.02.2022

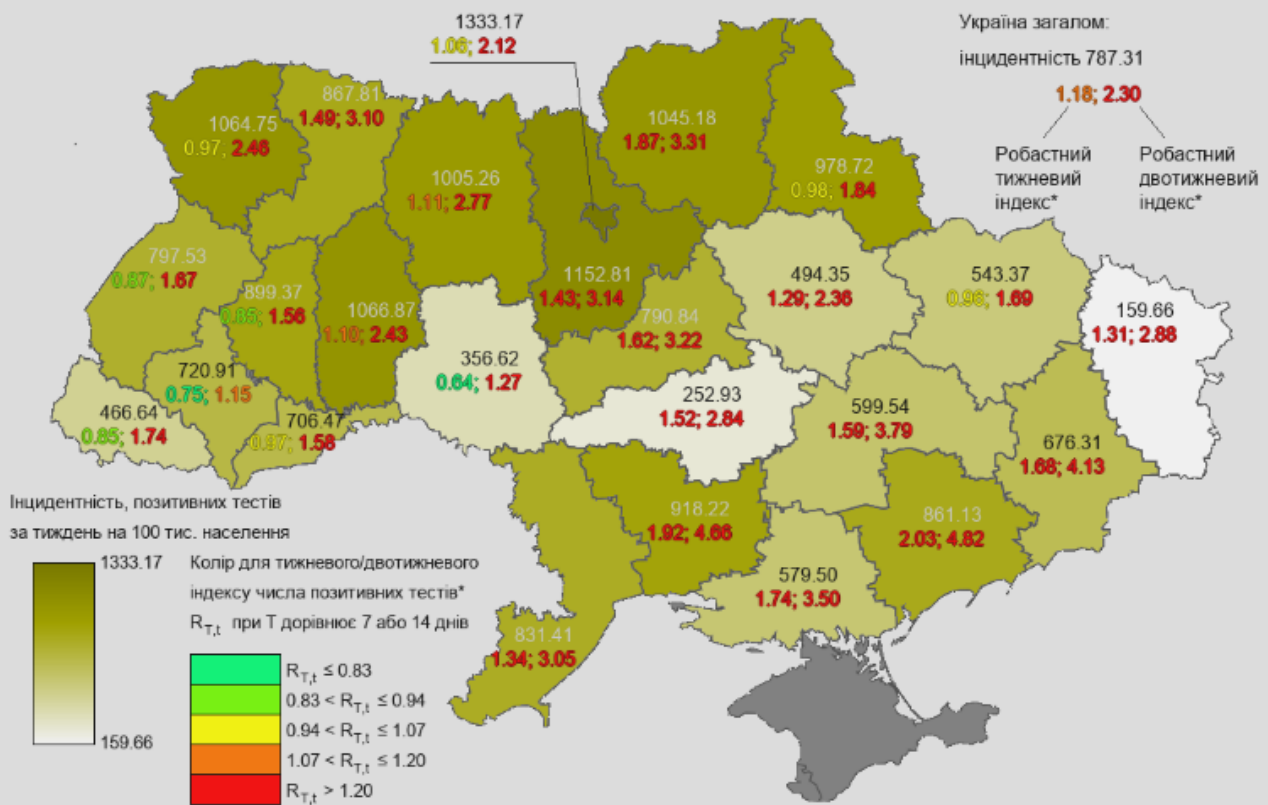


*Відповідає відношенню числа нових госпіталізацій за останні, відповідно, 7 та 14 днів до значення за попередні (скригано на святкові дні)

Рис.29. Інцидентність за госпіталізаціями та її динаміка. Наведені у кожному регіоні коефіцієнти динаміки є робастними тижневими індексами та відповідають відношенню числа випадків за останній тиждень до числа за попередній тиждень

Кількість позитивних результатів ПЛР-тестів та її динаміка (джерело: ЦГЗ МОЗ)

07.02.2022

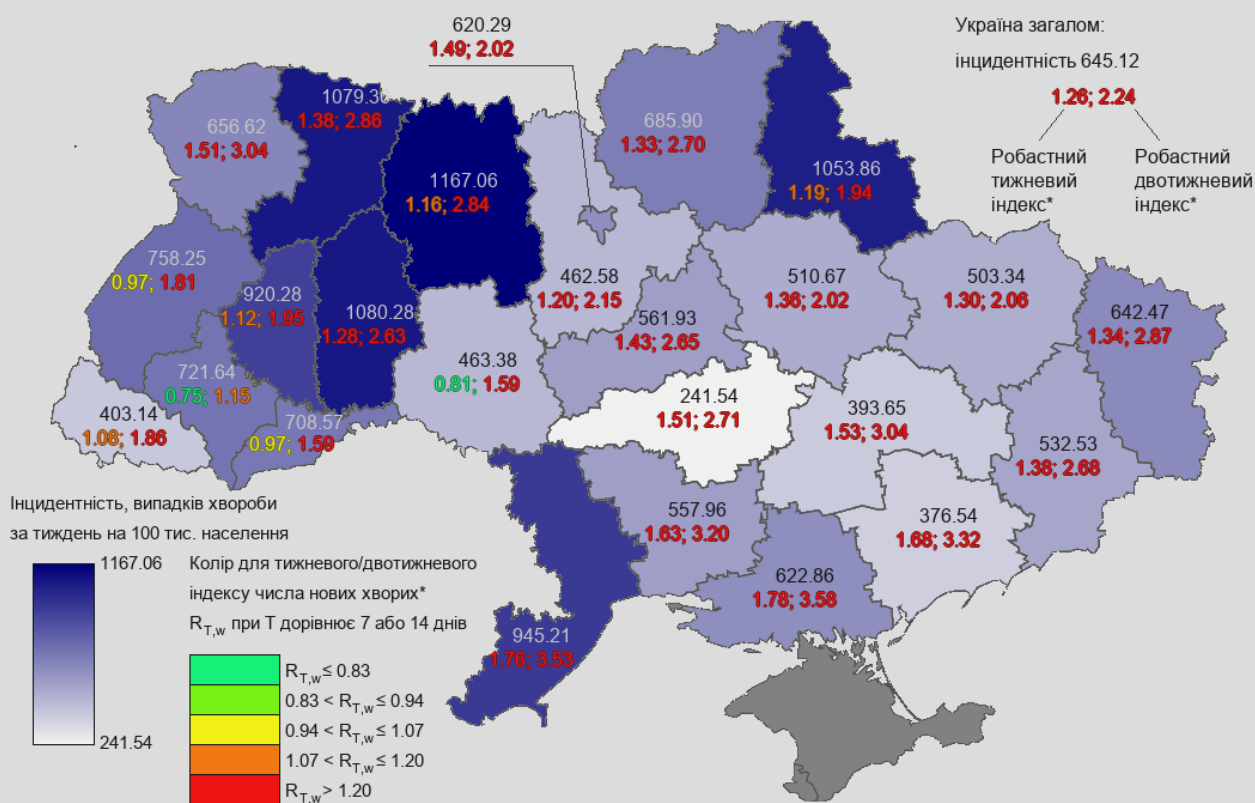


*Відповідає відношенню числа нових позитивних тестів за останній, відповідно, 7 та 14 днів до значення за попередній (скригено на святкові дні)

Рис.30. Інцидентність за числом позитивних тестів та її динаміка. Наведені у кожному регіоні коефіцієнти динаміки є робастними тижневими індексами та відповідають відношенню числа випадків за останній тиждень до числа за попередній тиждень

Захворюваність на COVID-19 та її динаміка (джерело: МОЗ)

08.02.2022



*Відповідає відношенню числа нових хворих за останні, відповідно, 7 та 14 днів до значення за попередні (скригено на святкові дні)

Рис.31. Інцидентність за випадками хвороби та її динаміка. Наведені у кожному регіоні коефіцієнти динаміки є робастними тижневими індексами та відповідають відношенню числа випадків за останній тиждень до числа за попередній тиждень



Рис.32. Захворюваність у регіонах (відносні значення)



Рис.33. Летальні випадки у регіонах (відносні значення)

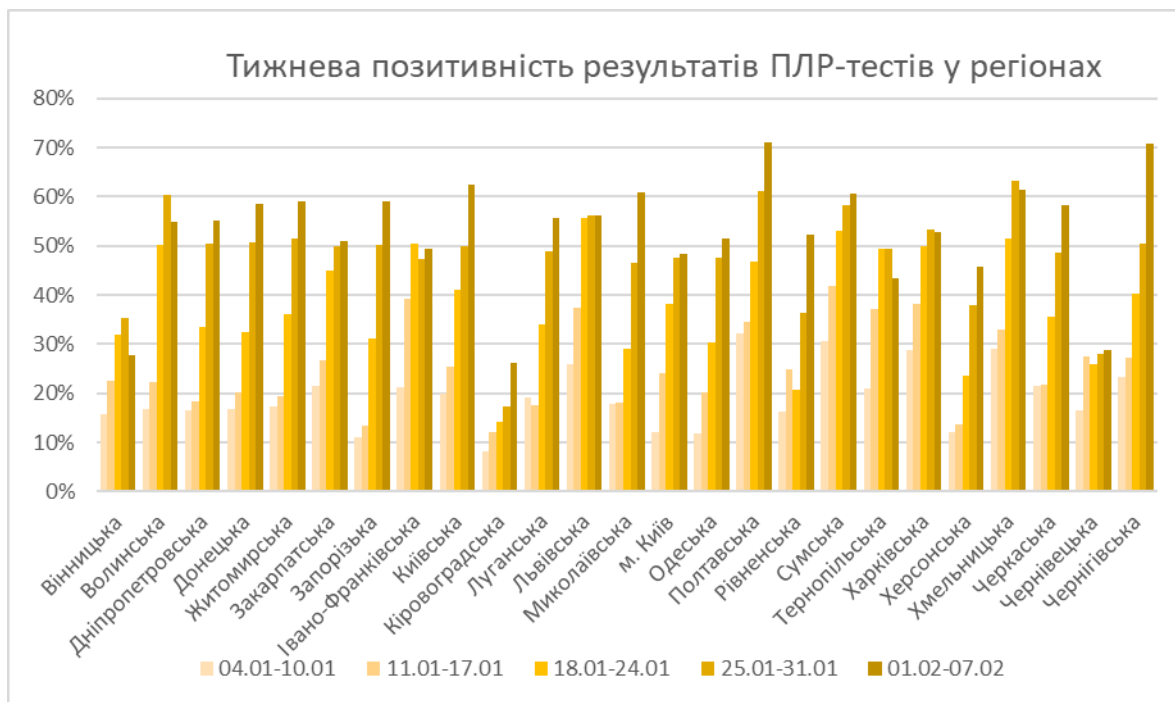


Рис.34. Частка позитивних результатів тестування методом ПЛР у регіонах

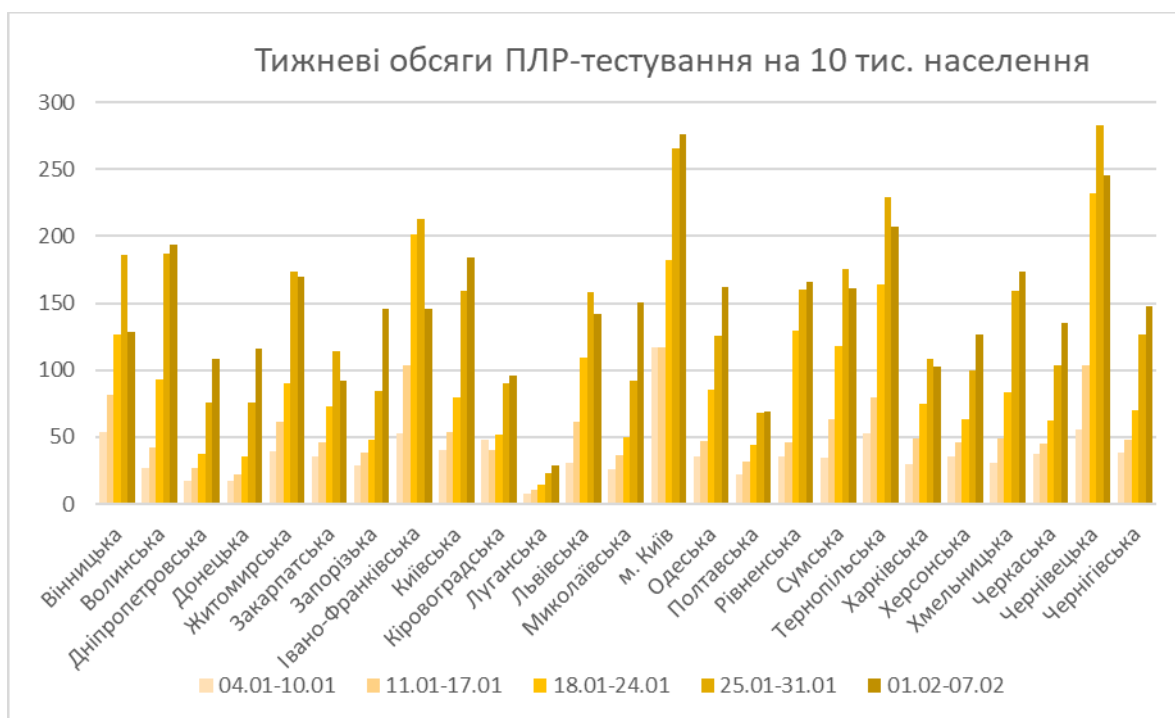


Рис.35. Обсяги тестування методом ПЛР у регіонах

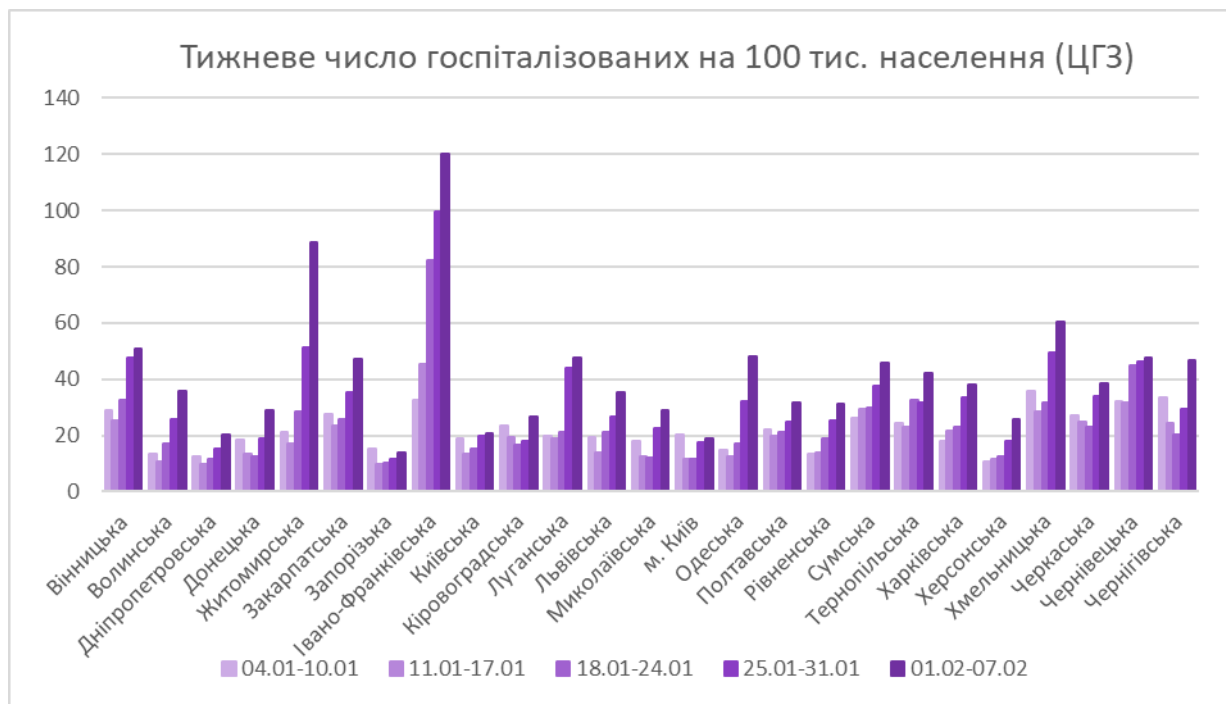


Рис.36. Обсяги госпіталізацій (за даними ЦГЗ) у регіонах, відносні значення

5. Аналіз затримок оприлюднення даних

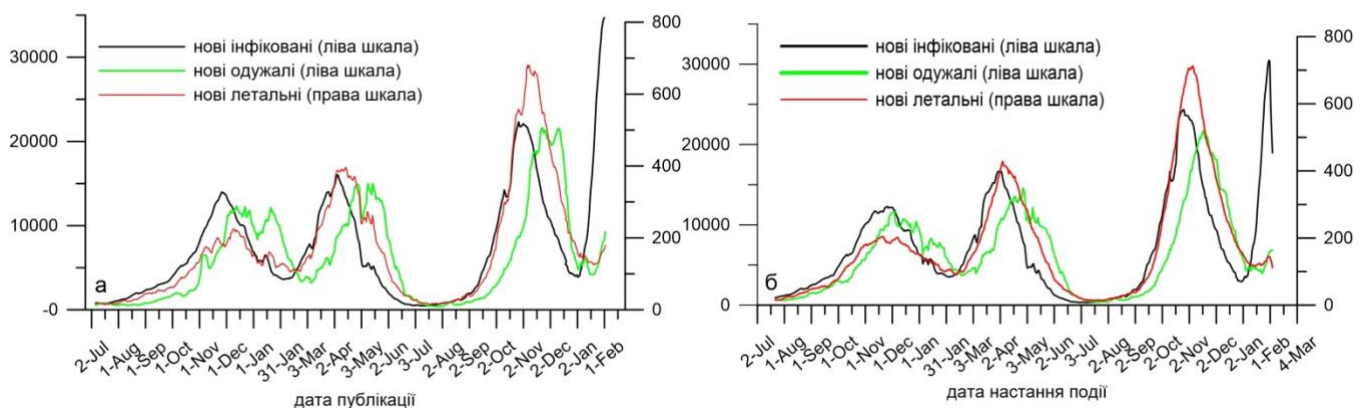


Рис.37. Кількість нових зареєстрованих випадків за день із даними на момент публікації (ліворуч) і на момент настання події (дати тестування, дати одужання/виписки та дати смерті) (праворуч). Для відображення використовувалося рухоме середнє з вікном 7 днів

Рис.37 демонструє зміну кількості нових інфікованих, нових одужалих і нових летальних випадків за день згідно зі щоденними звітами МОЗ України для України загалом, що показані на момент публікації інформації (лівий графік), та ці ж дані, зведені до дат настання події (правий графік). Рис.37 (правий графік) демонструє нові випадки, показані на дати проведеного тестування, нові одужання, показані на дати одужання/виписки, та нові летальні випадки, показані на дату настання смерті. Дані на дату настання події є коректнішими і не мають нерегулярних стрибків, пов'язаних із затримками внесення даних до реєстру. Але дані на момент події змінюються ретроспективно, через це значення на кінцях інтервалу зазнаватимуть змін у майбутньому.



**Рис.38. Кількість нових летальних випадків на дату публікації та на дату настання смерті.
Для відображення використовувалося рухоме середнє з вікном 7 днів**

Офіційні оприлюднені статистичні дані можна почасти пояснити на основі аналізу затримок оприлюднення інформації. Відомо, що оголошувані щодня нові випадки інфікування, нові смерті й нові одужання насправді не всі настають у попередній день. В окремих випадках можуть траплятися значні затримки між датою фактичного настання події (тестування, виписки, госпіталізації, смерті) і датою внесення цієї інформації до бази та її оприлюднення.

Хорошим індикатором реальної кількості нових виявлень на момент тестування може слугувати кількість ПЛР-тестів із позитивним результатом. Загальна кількість позитивних тестів стає відомою раніше, ніж інформацію про кожен випадок окремо буде внесено до реєстру. Графік на рис.39 показує співвідношення між кількістю позитивних тестів і кількістю нових виявлень на дату тестування.

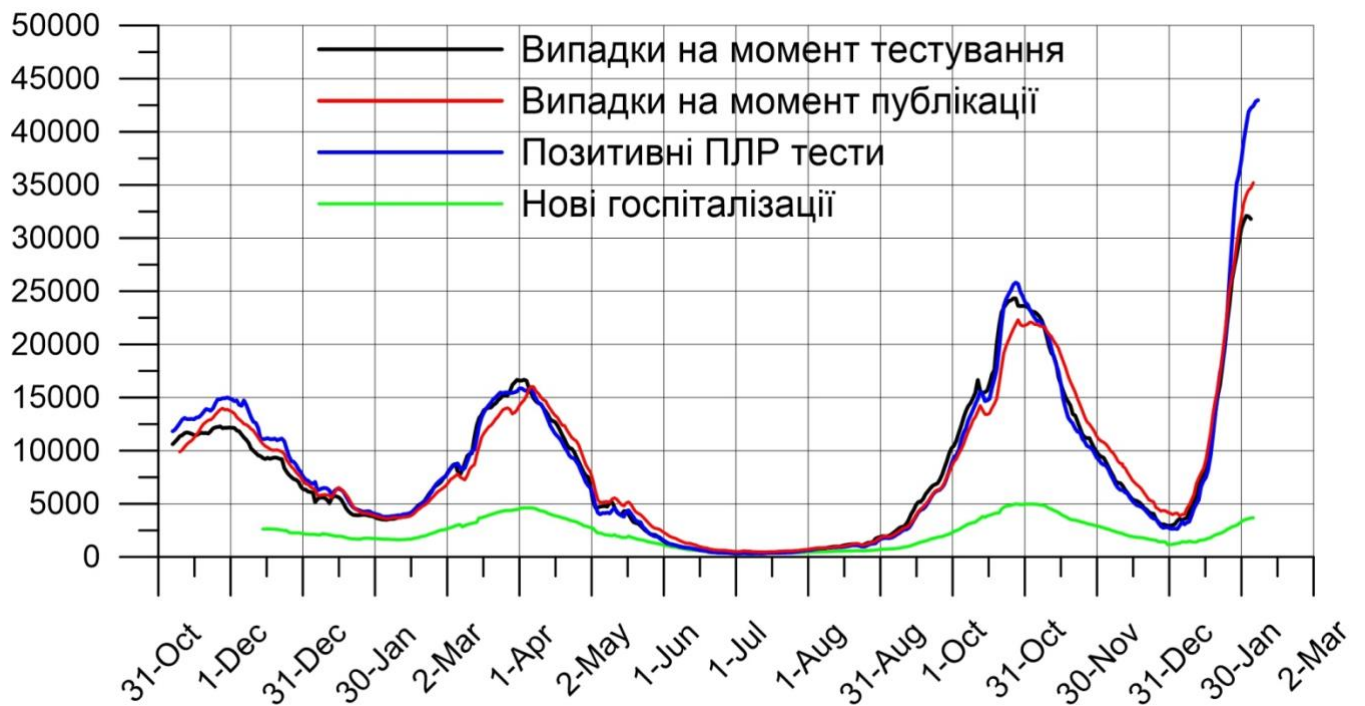


Рис.39. Порівняння кількості нових виявлень на момент публікації та на момент тестування із кількістю позитивних тестів

Кількість позитивних ПЛР-тестів демонструє зменшення темпів зростання і наближення до максимуму (рис.39, синя крива). Кількість нових офіційно зареєстрованих випадків (червона крива) має затримку в часі та в пікові періоди може суттєво відрізнятися від кількості позитивних тестів через затримки в обробці та оголошенні результатів тестування.



Рис.40. Порівняння кількості нових виявлень на момент публікації та на момент тестування з кількістю позитивних тестів для м. Київ

І хоча загалом в Україні кількість позитивних ПЛР-тестів і нових виявлень добре узгоджується, то в Києві ситуація сильно відрізняється. Рис.40 показує динаміку позитивних тестів і нових виявлень у Києві. Офіційні виявлення публікуються з великою затримкою. Це призводить до того, що на офіційній статистиці (червона крива) динаміка нових виявлень не

відповідає динаміці нових позитивних ПЛР тестів. Кількість щоденних позитивних тестів вже демонструє проходження піку, в той час за офіційними виявленнями ще триває фаза стрімкого зростання.

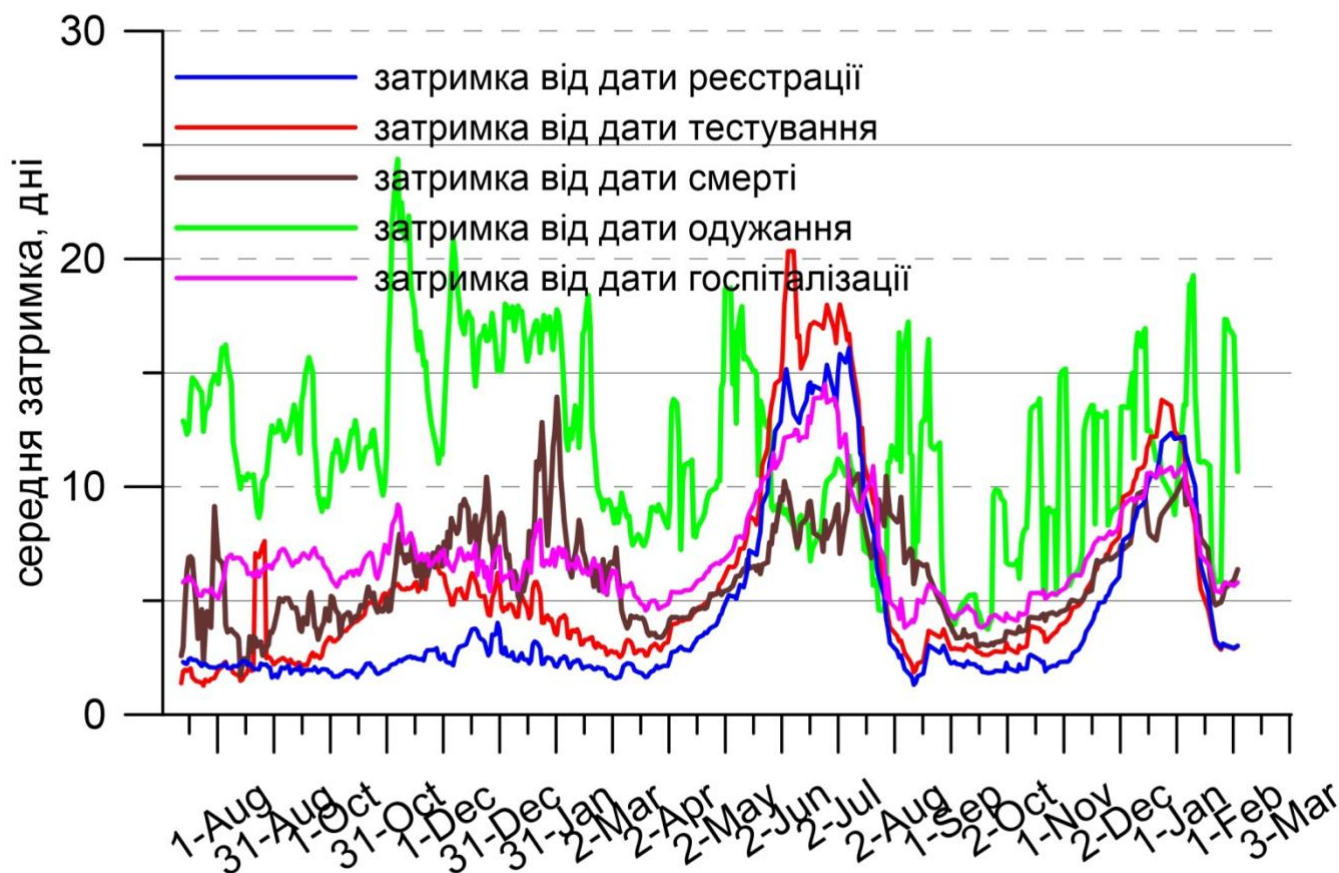


Рис.41. Середні затримки оприлюднення в часі даних про нові виявлення, летальні випадки, госпіталізації та одужання/виписки. Затримки обчислювались як різниця між датою оприлюднення (внесення відповідної інформації до бази даних) і датою фактичного настання події

Середні затримки оприлюднення статистичної інформації почали зменшуватися на фоні стрімкого збільшення кількості нових випадків (рис.41). Зараз середня затримка в часі майже всіх показників становить 3-7 днів. Структуру затримки в оприлюдненні нових випадків хвороби та нових летальних випадків показано на рис.42–45. У Києві ситуація із затримками результатів тестування залишається значно гіршою, ніж у середньому в країні (рис.44).

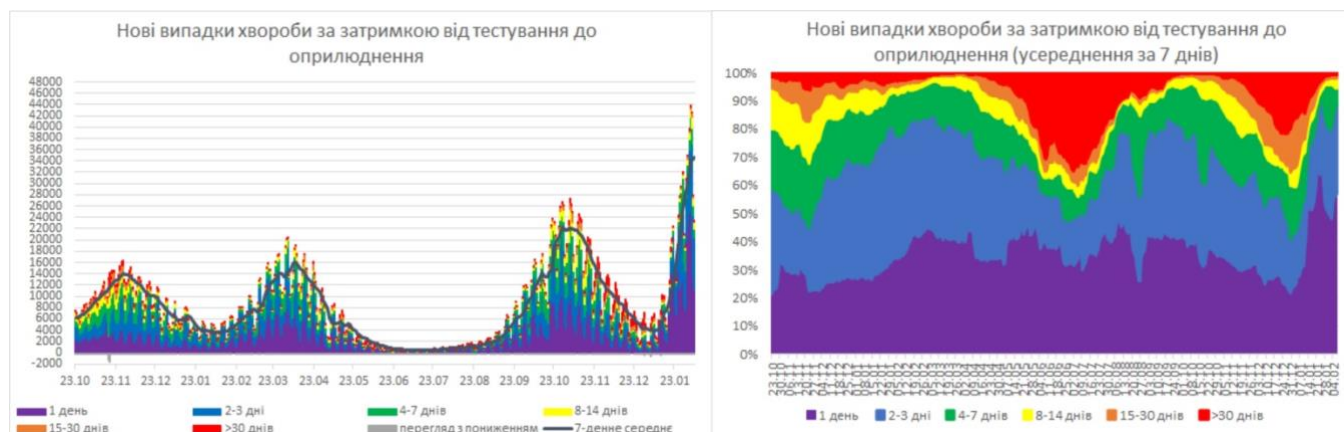


Рис.42. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових випадків. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

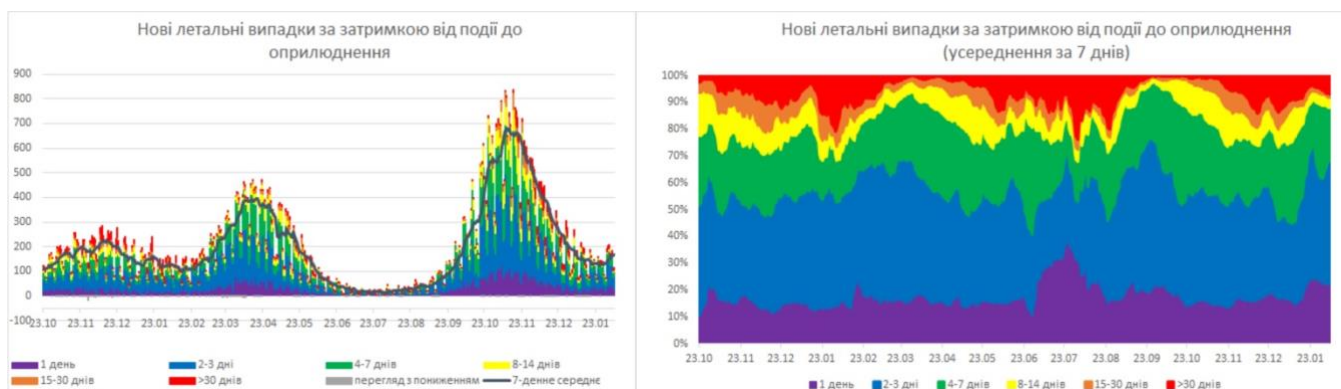


Рис.43. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових летальних випадків. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами



Рис.44. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових випадків у Києві. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

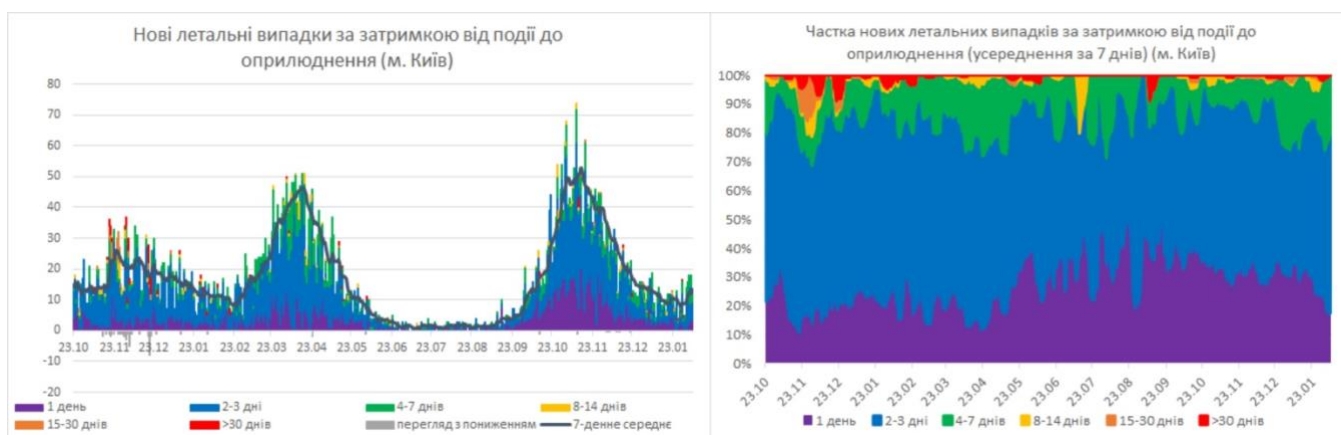


Рис.45. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових летальних випадків у Києві. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

6. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використанням статистичної моделі часових рядів Facebook Prophet

За допомогою методів статистичного аналізу та моделі часових рядів Facebook Prophet було досліджено динаміку щоденної кількості нових хворих для виявлення закономірностей поширення епідемії, для дослідження впливу свят і псевдосвят (аномальних дат на кшталт державних свят, теплих днів без опадів тощо), впливу тижневої та інших видів сезонної мінливості і виявлення їхнього характеру.

Як і у попередньому звіті, було побудовано дві моделі, котрі, як і раніше, враховували усі свята і псевдосвята (аномальні дати на кшталт державних свят і перенесених вихідних днів, теплих днів без опадів, усі дати зміни карантинних умов тощо):

1. Модель для сценарію 1, який мав би місце, якби наростання нової хвилі здійснювалось за тими ж закономірностями, як це мало місце й раніше – модель, яка враховує дані з першої великої хвилі, які розпочалась 6 липня 2020 року.

2. Модель для сценарію 2, який мав би місце, якби поточна хвиля необмежено зростала у такий же спосіб як вона почала зростати з січня 2022 року, коли очікувалось зменшення приростів кількості нових хворих після попередньої хвилі – модель, яка враховує дані лише з 3 січня 2022 року.

Отже, [модель для сценарію 1](#) за даними 06.07.2020 р. – 25.01.2022 р. дала прогноз на 09.02.2022 р. – 22.02.2022 р. із сумарною відносною похибкою за тестовими даними 26.01.2022 р. – 08.02.2022 р. – 12,51%. Похибка – значна, але не така велика, як була 2 тижні тому (рис. 46, 47, таблиця 2).

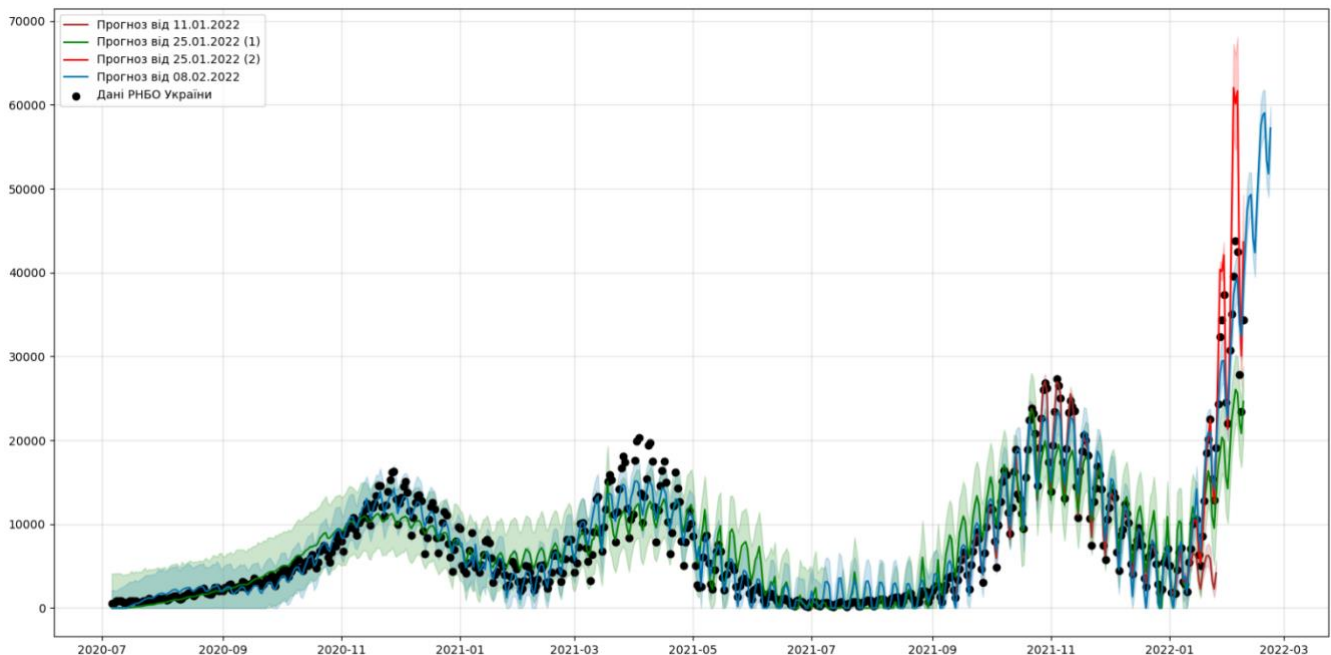


Рис.46. Дані за 2020-2022 роки щодо кількості нових хворих в Україні (чорні крапки) та 2 тижні прогнозу за сценарієм 1 і попередній прогноз (сценарії 1 і 2) за моделями, побудованими з використанням Facebook Prophet (06.07.2020 р. – 22.02.2022 р.)

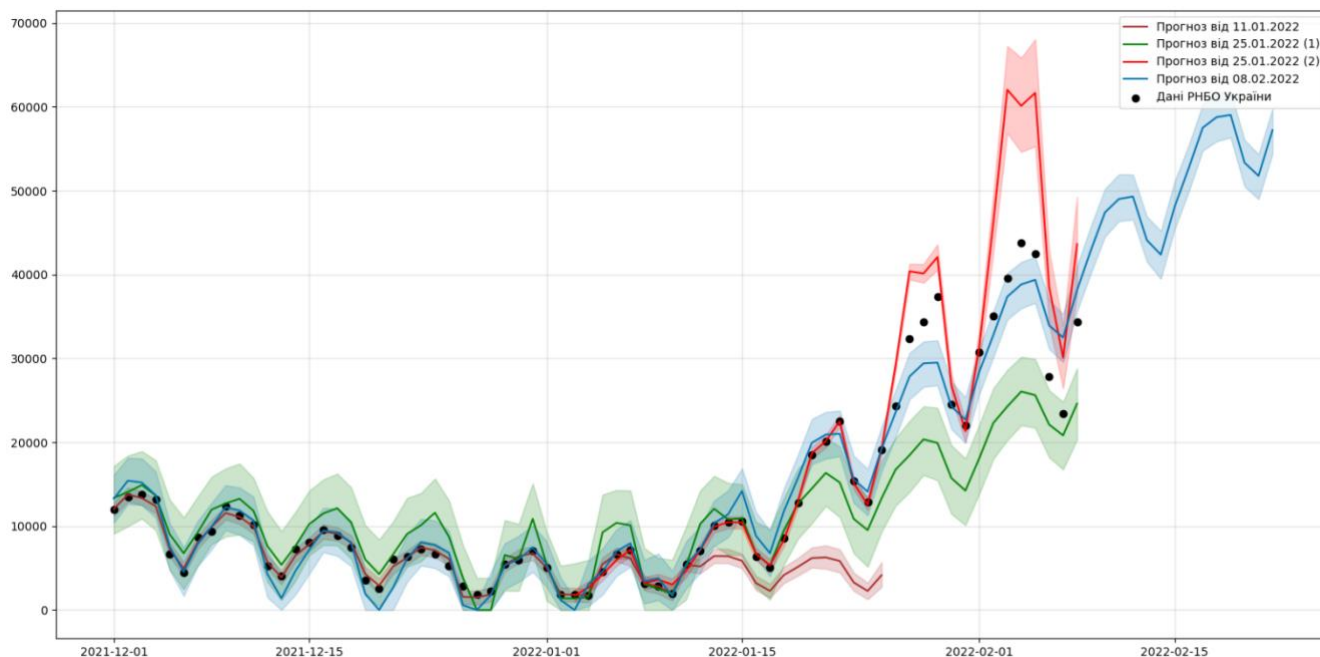


Рис.47. Дані за 10 тижнів щодо кількості нових хворих в Україні (чорні крапки) та 2 тижні прогнозу за сценарієм 1 і попередній прогноз (сценарії 1 і 2) за моделями, побудованими з використанням Facebook Prophet (01.12.2021 р. – 22.02.2022 р.)

Таблиця 2. Прогноз кількості нових підтверджених випадків хворих на COVID-19 в Україні за сценарієм 1

Дата	Нижня межа довірчого інтервалу, кількість випадків	Прогнозоване значення, кількість випадків	Верхня межа довірчого інтервалу, кількість випадків
09.02.2022	40200	42959	45835
10.02.2022	44533	47425	50235
11.02.2022	46371	49022	51965
12.02.2022	46577	49313	51931
13.02.2022	41547	44113	46938
14.02.2022	39497	42379	45200
15.02.2022	45466	48153	51176
16.02.2022	49894	52704	55444
17.02.2022	54788	57511	60276
18.02.2022	55892	58786	61706
19.02.2022	56350	59048	61776
20.02.2022	50502	53345	56061
21.02.2022	48997	51783	54345
22.02.2022	54395	57232	59792

[Модель для сценарію 2](#) за даними 03.01.2022 р. – 01.02.2022 р. дала прогноз на 09.02.2022 р. – 22.02.2022 р. із сумарною відносною похибкою за тестовими даними 02.02-08.02.2022 р. – 1,81% (рис. 48, таблиця 3). Похибка – дуже мала, що доводить правильність вибраного підходу та адекватність побудованої моделі, отже, можна її взяти за основу, якщо припустити, що пік поточної хвилі не буде пройдено до 22.02.2022 року. Оскільки ряд спостережень – дуже короткий, то тестовий датасет, на якому рахувалась похибка і який не враховувався під час побудови моделі, містив лише 7, а не 14 днів.

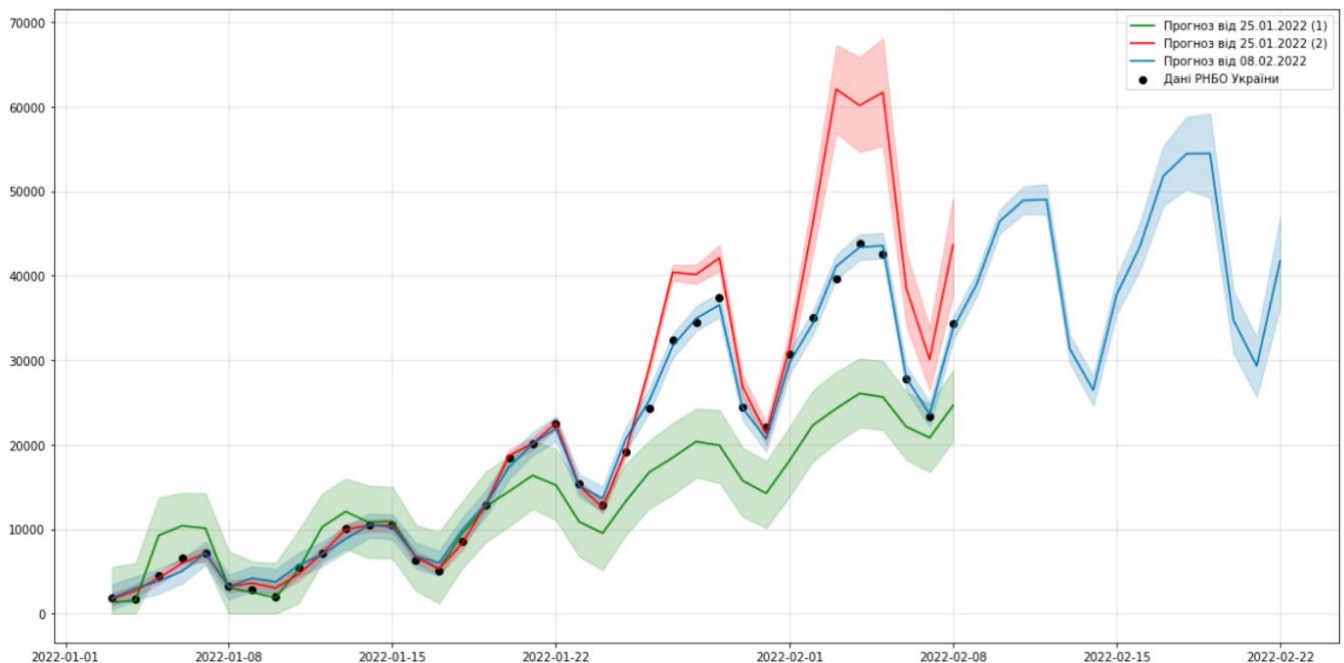


Рис.48. Дані 2022 року щодо кількості нових хворих в Україні (чорні крапки) та 2 тижні прогнозу за сценарієм 2 і попередній прогноз (сценарії 1 і 2) за моделями, побудованими з використанням Facebook Prophet (03.01.2022 р. – 22.02.2022 р.)

Таблиця 3. Прогноз кількості нових підтверджених випадків хворих на COVID-19 в Україні за сценарієм 2

Дата	Нижня межа довірчого інтервалу, кількість випадків	Прогнозоване значення, кількість випадків	Верхня межа довірчого інтервалу, кількість випадків
09.02.2022	37432	38893	40331
10.02.2022	44974	46425	47844
11.02.2022	47251	48889	50537
12.02.2022	47212	49001	50842
13.02.2022	29640	31324	33010
14.02.2022	24575	26459	28144
15.02.2022	35435	37730	39928
16.02.2022	40643	43442	46300
17.02.2022	48269	51766	55401
18.02.2022	50225	54423	58807
19.02.2022	49217	54459	59172
20.02.2022	30826	34758	38256
21.02.2022	25660	29315	32665
22.02.2022	36206	41741	46976

Аналіз результатів моделювання приросту кількості нових підтверджених випадків захворювань показав таке:

- як і очікувалось, зроблений у попередньому звіті прогноз за сценарієм 1 (оптимістичний) виявився надто оптимістичним, а за сценарієм 2 (песимістичний) – надто песимістичним, що й очікувалось. Усі реальні значення, окрім значення 26.01.2022 р., опинились між цими двома сценаріями прогнозу розвитку ситуації. Очікувано більш реалістичним виявився песимістичний сценарій, оскільки у нього була

значно менша похибка. Його «песимізм» проявився у прогнозуванні пікових тижневих значень – добова відносна похибка складала до 37% (02.04.2022 р.), а решта – була досить схожа, особливо точно вдалось спрогнозувати мінімальні тижневі значення;

- прогноз за сценарієм 1, зроблений за моделлю, побудованою за даними 2020-2022 рр., на наступні 2 тижні виявився більш песимістичним, ніж прогноз за сценарієм 2, зроблений за моделлю, побудованою за даними тільки 2022 рр., що ще раз підтверджує значну аномальність поточної «омікрон-хвилі», але, за таких умов, доцільно обидва сценарії називати песимістичними;
- аномальність динаміки даних, використаних для побудови моделей для обох песимістичних сценаріїв 1 і 2 та неврахування цими моделями інших факторів, окрім значень приростів кількості підтверджених нових хворих, на жаль, не дають великої впевненості у зроблених висновках, тому рекомендується використовувати їх обережно.

Обчислення за допомогою моделі Facebook Prophet і аналіз отриманих результатів виконали завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій (САІТ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), доктор технічних наук, професор В.Б. Мокін і аспірант кафедри САІТ ВНТУ А.В. Лосенко.

7. Порівняння з прогнозом від 26.01.2022 року

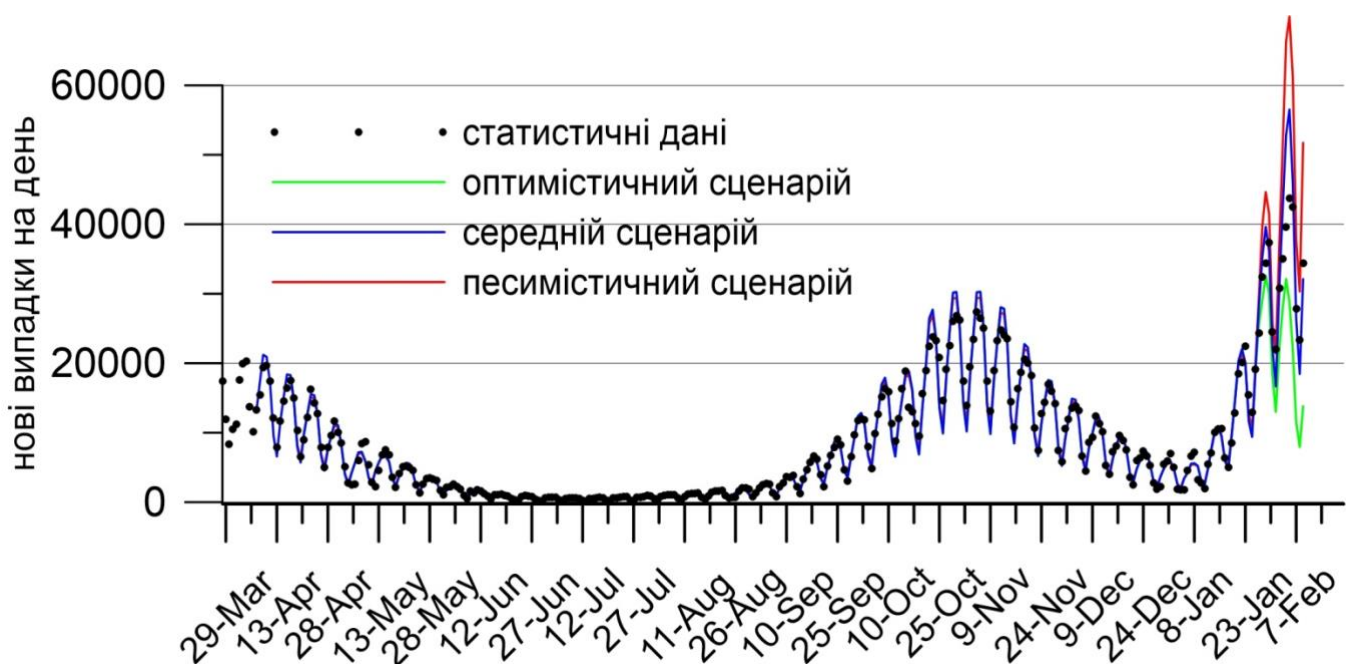


Рис.49. Порівняння прогнозу від 26.01.2022 р. зі статистичними даними

Із рис.49 видно, що кількість нових виявлень загалом добре відповідало середньому сценарію прогнозу.

8. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використанням компартментної моделі

У зв'язку з тим, що поточна хвиля відбувається дуже швидко і гіпотеза сталості параметрів моделі протягом прогностного періоду не працює, то математичну модель було перебудовано для розгляду трьох сценаріїв настання піку. У попередніх звітах діапазон значень результатів моделі отримувався зміною сталого репродуктивного числа на $\pm 25\%$. Так як, найімовірніше, репродуктивне число буде суттєво змінюватися протягом наступних тижнів, то було вирішено (з огляду на досвід країн, що вже пройшли піковий період) розглянути три сценарії настання піку. Оптимістичний: пік протягом пів тижня, середній – пік через тиждень, песимістичний – пік через півтора тижні. У кожному сценарії прогнозоване ефективне репродуктивне число змінювалося від поточного значення до одиниці протягом вказаного періоду.

Для України в цілому отримаємо такі прогностні числові показники:

Репродуктивне число – **1.2** (поточне значення, має стійку тенденцію до зменшення)

Середня кількість нових інфекцій за день на 15.02.22: [32687-41297] при середньому значенні **35861**.

Середня кількість нових летальних випадків за день на 01.02.22: [205-264] при середньому значенні **237**.

Середня кількість нових інфекцій за день на 22.02.22: [21465-40119] при середньому значенні **32419**.

Середня кількість нових летальних випадків за день на 08.02.22: [201-315] при середньому значенні **261**.

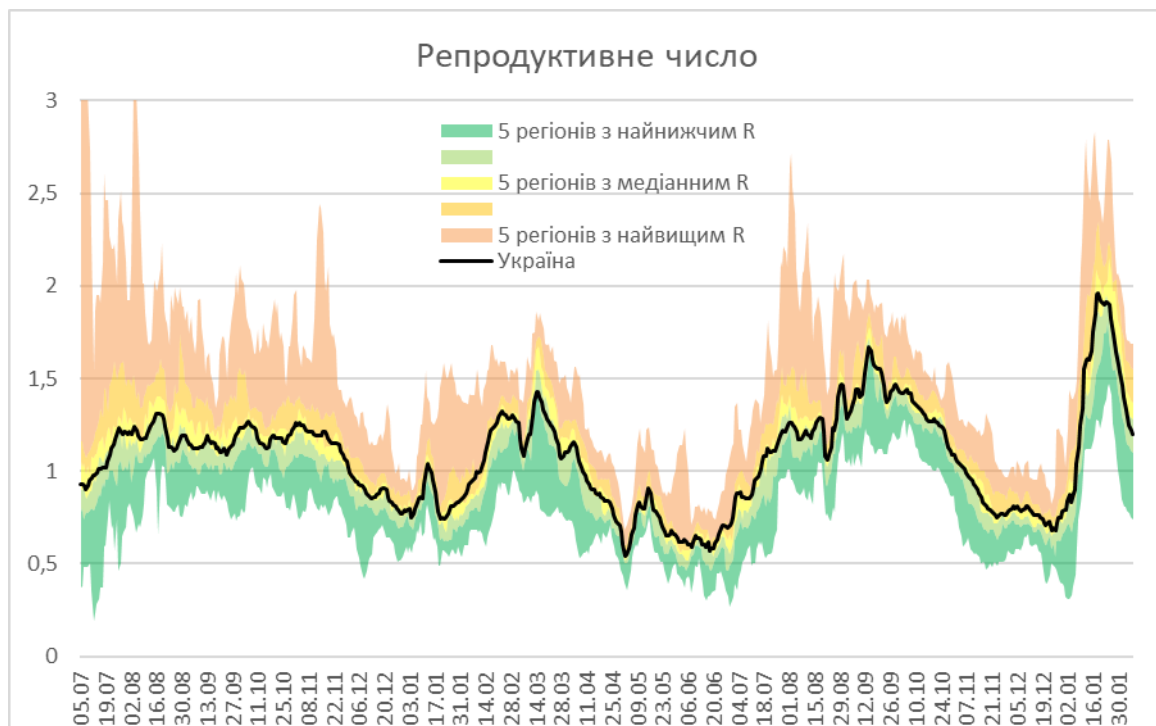


Рис.50. Зміна в часі репродуктивного числа згідно з калібруванням математичної моделі SEIR-U

На рис.50 показано зміну в часі репродуктивного числа для України загалом, отриману в результаті калібрування математичної моделі на статистичних даних. Відтінками позначено

оцінки репродуктивного числа для різних областей. На цей момент значення склало 1.2 та має тенденцію до зниження. З огляду на досвід інших країн, а також західних регіонів України, очікується поступове зменшення репродуктивного числа.

Таблиця 4. Прогнозні значення кількості нових випадків за результатами обчислень статистичною моделлю Prophet і компартментною моделлю SEIR-U

Дата	Середні прогнозні значення компартментної моделі SEIR-U та діапазон зміни
09.02.2022	38891 (36850 – 429438)
10.02.2022	48780 (42460 – 53175)
11.02.2022	47991 (43852 – 55619)
12.02.2022	42299 (39218 – 49282)
13.02.2022	26638 (23967 – 31217)
14.02.2022	17888 (16312 – 23342)
15.02.2022	28542 (25153 – 33503)
16.02.2022	37861 (31228 – 44833)
17.02.2022	45860 (35679 – 55759)
18.02.2022	45398 (32772 – 56385)
19.02.2022	36960 (24324 – 46630)
20.02.2022	20733 (13172 – 27171)
21.02.2022	15620 (9009 – 19158)
22.02.2022	24499 (14076 – 30896)

Таблиця 4 демонструє середні прогнозні значення нових виявлень компартментної моделі на період до 22-го лютого 2022 року.

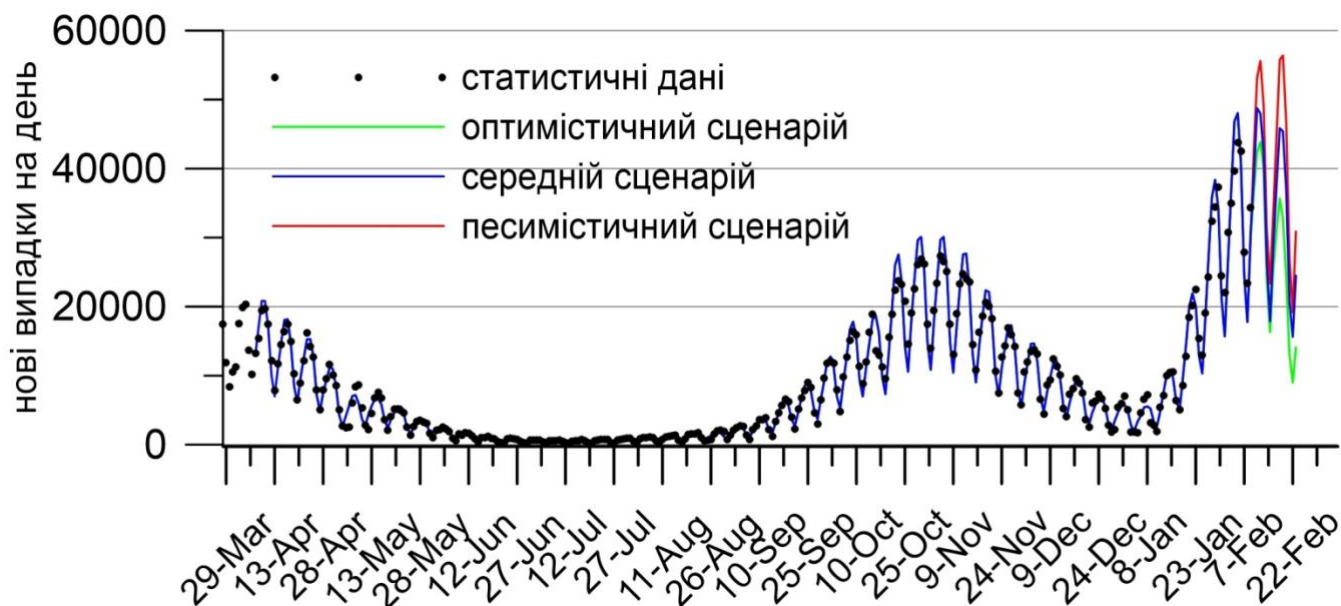


Рис.51. Прогнозні значення кількості нових випадків для України з урахуванням тижневої мінливості. Крапками позначено дані спостережень станом на 8.02.2022 р., лінією – модельні обчислення для періоду калібрування (25.03–8.02.2022 р.) та для прогнозного періоду

ВИСНОВКИ

1. В Україні завершується фаза зростання кількості нових інфікованих та починається піковий період, що буде тривати близько тижня. З наступного тижня можна очікувати поступове зниження кількості нових інфекцій. Більшість західних регіонів України вже пройшли піковий період, також почалося зниження захворюваності в західних країнах-сусідах. Хоч початок зниження захворюваності очікується вже наступного тижня, найімовірніше, смертність ще буде зростати кілька тижнів.
2. Середня кількість нових виявлень в Україні склала до **35218** осіб на день, середня кількість летальних випадків становить **179** смертей на день у середньому за останній тиждень. Згідно з прогнозними обчисленнями компартментної моделі, середня кількість нових випадків дорівнюватиме 35861 (32687-41297), протягом тижня 9 – 15 лютого 2022 року та 32419 (21465-40119) – протягом тижня 16 – 22 лютого 2022 року. Докладніше прогноз представлено у таблиці 4 і на рис.51. Моделювання за допомогою статистичної моделі FB Prophet представлено в розділі 6. Реальні показники захворюваності будуть сильно залежати від можливостей системи тестування, ознаки перевантаження якої спостерігаються.
3. У Києві кількість нових позитивних ПЛР тестів демонструє досягнення піку, в той час на кількості нових виявлень триває фаза стрімкого зростання (рис. 40).
4. Спостережувана летальність за попередньої оцінкою знизилась втричі, порівняно з "дельта"-хвилею, та вдвічі, порівняно з середнім значенням у 2020 році.
5. Залученість дітей в епідемічний процес істотно зменшилась відносно досягнутих максимумів, але і досі лишається високою.
6. Ефективність вакцин у віковій категорії "65+" проти госпіталізацій знизилась до 50% на тлі поширення варіанту коронавірусу "омікрон". Відомо також, що близько 60% щеплених серед людей віком 70+ отримали вакцину "Коронавак"