

**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
 - 2.1. Дані Держстату
 - 2.2. Дані Мін'юсту
 - 2.3. Розрахунок очікуваної тривалості життя
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 11.01.2022 року

(<https://www.facebook.com/NAsofUkraine/posts/292374472919611>)

8. Прогноз розвитку епідемії в Україні з використанням компартментної моделі

Висновки

Прогноз

розвитку епідемії COVID-19 в Україні на

27 січня – 8 лютого 2022 р.

«Прогноз РГ-60»

26.01.2022

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 посилання Кабінет Міністрів України під час брифінгів.

У новому документі «Прогноз РГ-60»:

- здійснено аналіз первинних статистичних даних розвитку епідемії в Україні;
- порівняно статистичні дані з попереднім прогнозом «Прогноз РГ-59»;
- представлено прогноз розвитку епідемії на наступний період з 27 січня по 8 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 [Національної служби здоров'я України \(НСЗУ\)](#) оновлюються щодня та містять дані про госпіталізації у кожній лікарні України.
5. Дані про загальну смертність з усіх причин і дані щодо мобільності населення з ресурсу «[Економіка карантину](#)».
6. Статистичні дані щодо країн світу: [Worldometer](#), [Financial Times](#), [Ourworldindata](#).

1. Загальнонаціональна епідемічна динаміка

Протягом останніх двох тижнів більшість епідемічних показників зростали з темпами, найвищими за весь час пандемії: кількість позитивних результатів тестів ПЛР збільшується у 2,18 рази за тиждень та збільшувалась у 1,99 рази тижнем раніше, кількість нових випадків хвороби зростає у 1,94 рази за тиждень (у 1,70 рази тижнем раніше), кількість госпіталізацій зростає на 34% (на 9% тижнем раніше), а кількість позитивних результатів при тестуванні на антиген зростає у 2,63 рази (тижнем раніше у 2,00 рази) (рис. 4). Частка позитивних результатів при ПЛР-тестуванні зросла до 41,4% в середньому за 7 днів, перевершивши попередній максимум 41,0%, досягнутий під час хвилі, спричиненої штамом «дельта» (рис. 2). Водночас, щоденна кількість летальних випадків до видимого зростання все ще не перейшла.

За офіційною статистикою, станом на 26 січня 2022 року середня кількість осіб, що одужують, склала **407** осіб на день. Середня за тиждень кількість нових інфікованих на 26.01.2022 р. становить **18987** на день для України (збільшення майже в 4 рази за два тижні). Середня за тиждень кількість нових летальних випадків становить **125** на добу (зменшення на 15%

за 2 тижні). Кількість нових госпіталізацій становить у середньому **2301** осіб на день (збільшення на 60% за 2 тижні).

1.1. Динаміка захворюваності, летальних випадків і тестування

Тижнева позитивність ПЛР-тестів сягнула 41,4% проти значення 29,2% тиждень тому та 20,1% два тижні тому (рис. 2). Отже, за двотижневий період частка позитивних тестів зростала в середньому на 1,5 відсоткових пункти щодня, не демонструючи видимої тенденції до уповільнення темпів такого зростання.

Кількість тестів ПЛР, проведених у вівторок, виявилась максимальною за весь час пандемії (рис. 3). При цьому, брутто-кількість позитивних результатів у вівторок також була максимальною за всю історію спостережень. На тлі цього до істотного зростання перейшли черги при ПЛР-тестуванні: їх загальна величина збільшилась у вівторок у 4 рази, порівняно з вівторком тиждень тому, сягнувши 6535 необроблених зразків.

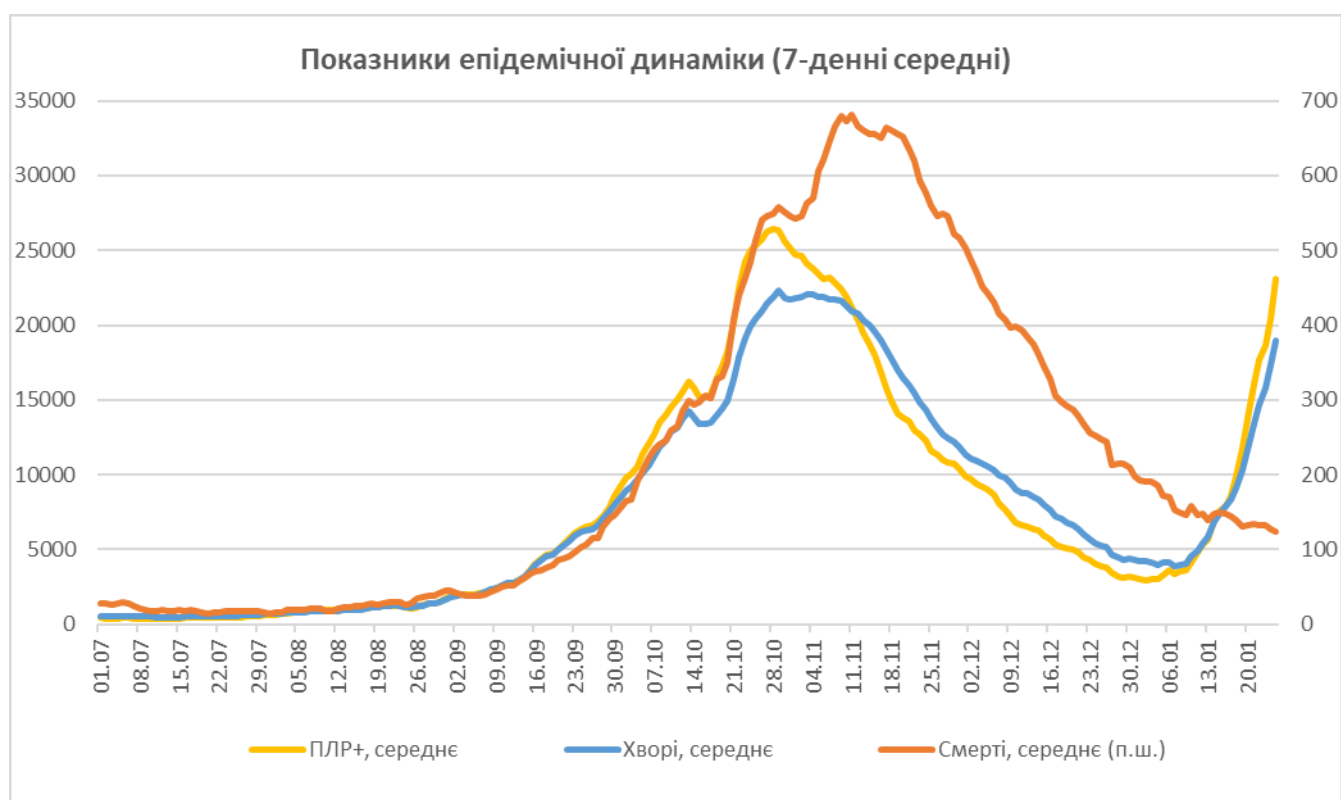


Рис.1. Основні епідемічні показники та їх 7-денні усереднення. Летальні випадки позначено за правою шкалою

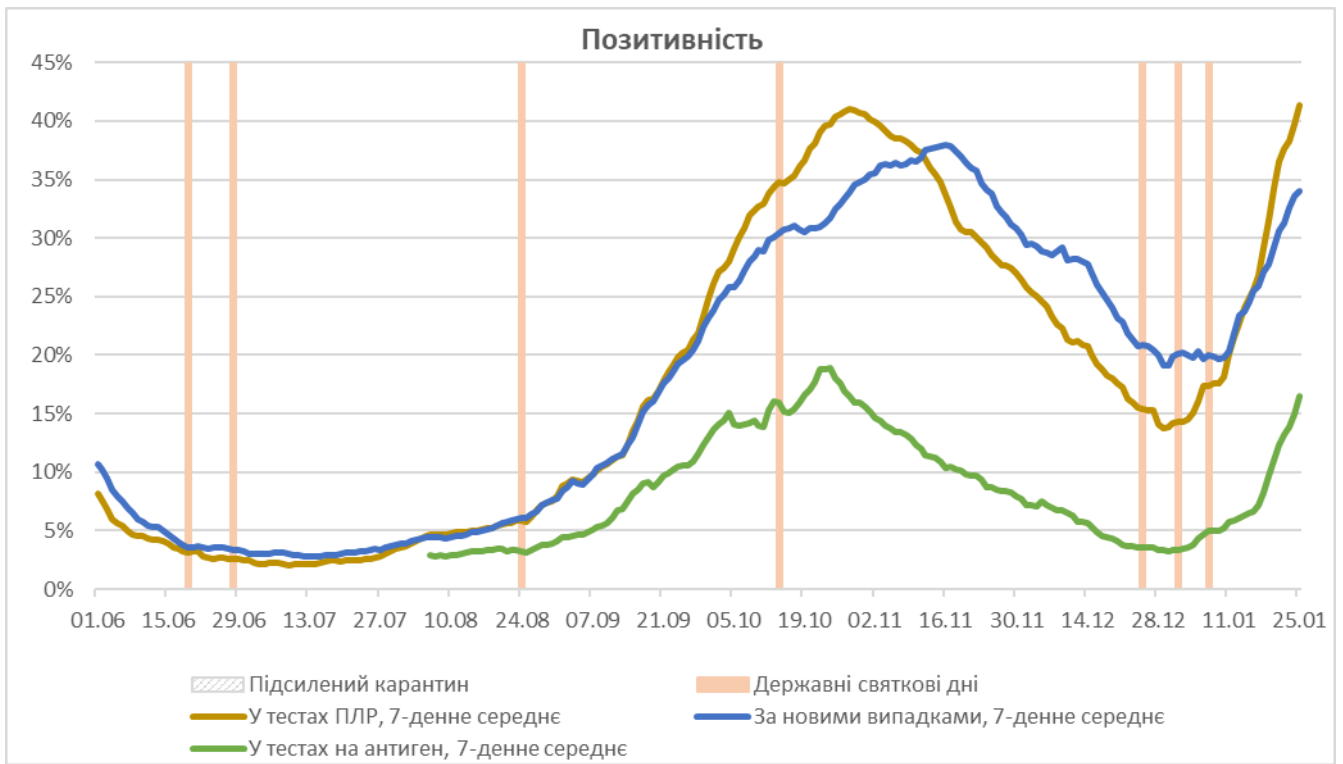


Рис.2. Відношення числа нових хворих і числа позитивних тестів до числа всіх тестів та їх 7-денні усереднення. Блідими тонами позначено державні свята і періоди посиленних карантинних обмежень

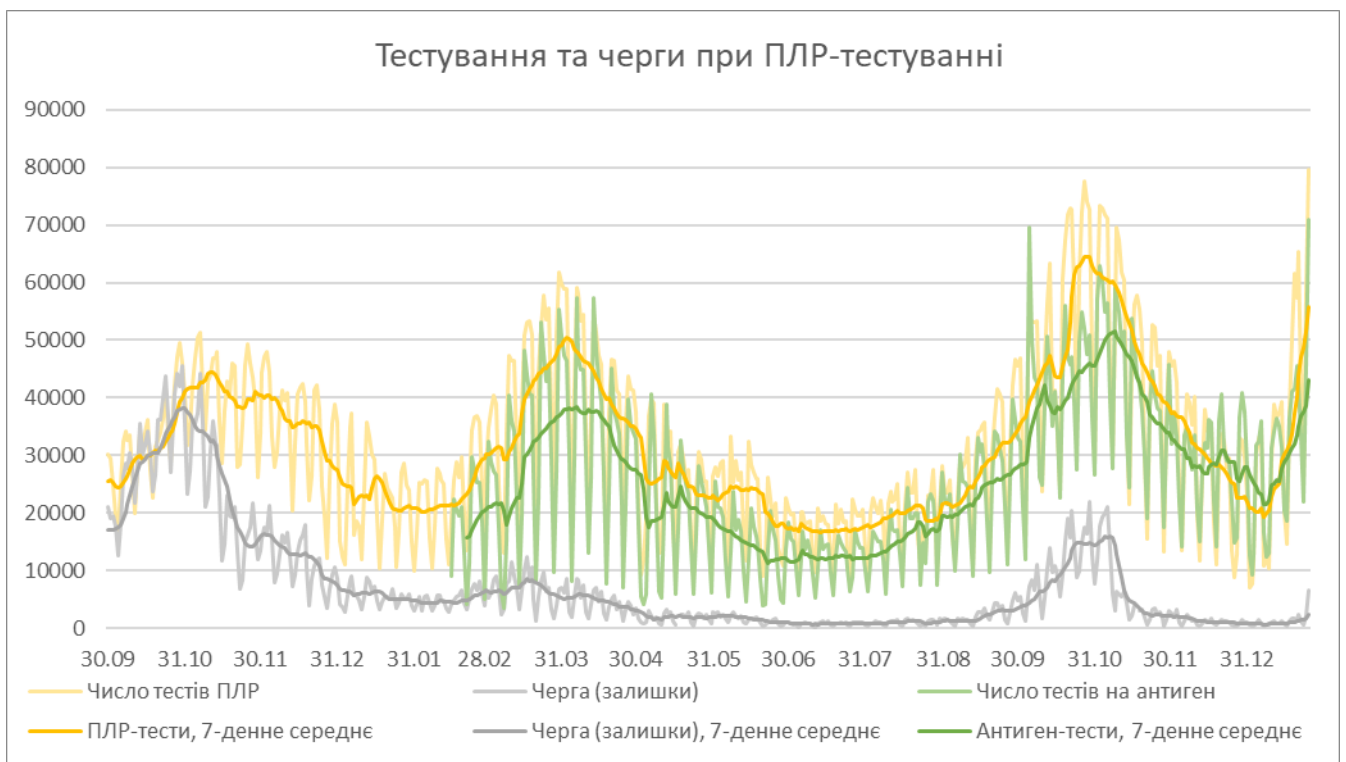


Рис.3. Обсяги тестування. Щоденні обсяги проведених ПЛР-тестів та тестів на антиген, і сумарна кількість залишків протестованих зразків для ПЛР у лабораторіях

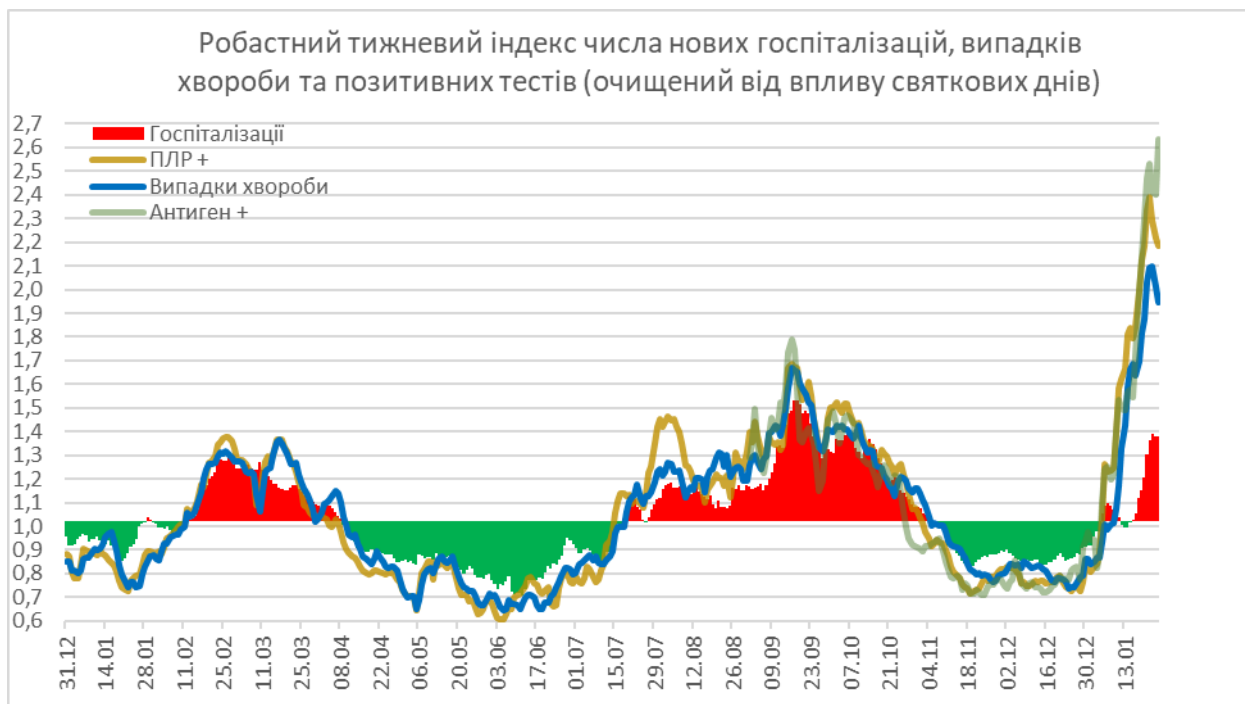


Рис.4. Тижнева зміна числа нових госпіталізацій, позитивних тестів та нових випадків хвороби без урахування даних під впливом святкових днів (робастний тижневий індекс)

1.2. Показники навантаження на лікарні

Кількість пацієнтів у лікарнях зросла на 29% за останній тиждень та становить близько 40% від максимуму «дельта»-хвилі (рис. 5, 6). Зростання кількості зайнятих реанімацій відбувалось повільніше.

Регіональна динаміка показана на рис. 31.

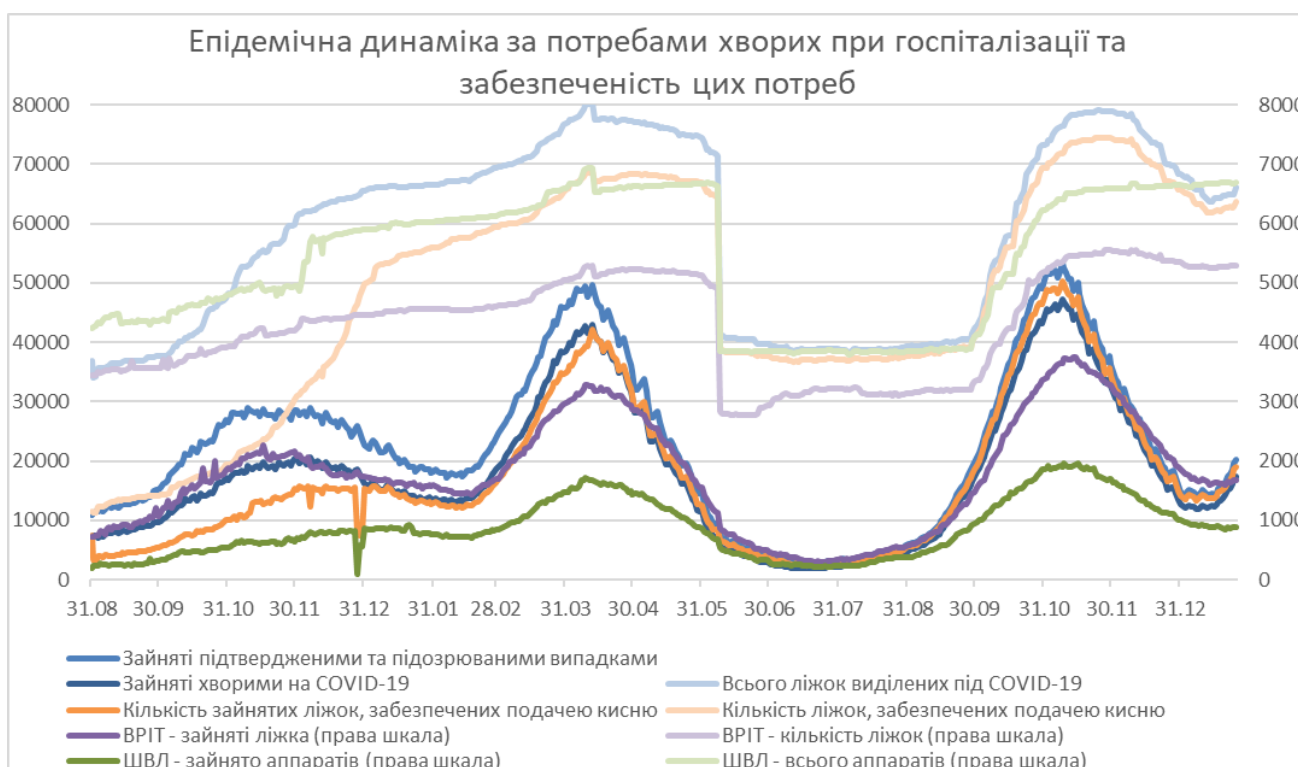


Рис. 5. Зайняті та наявні місця в лікарнях за даними Meddata

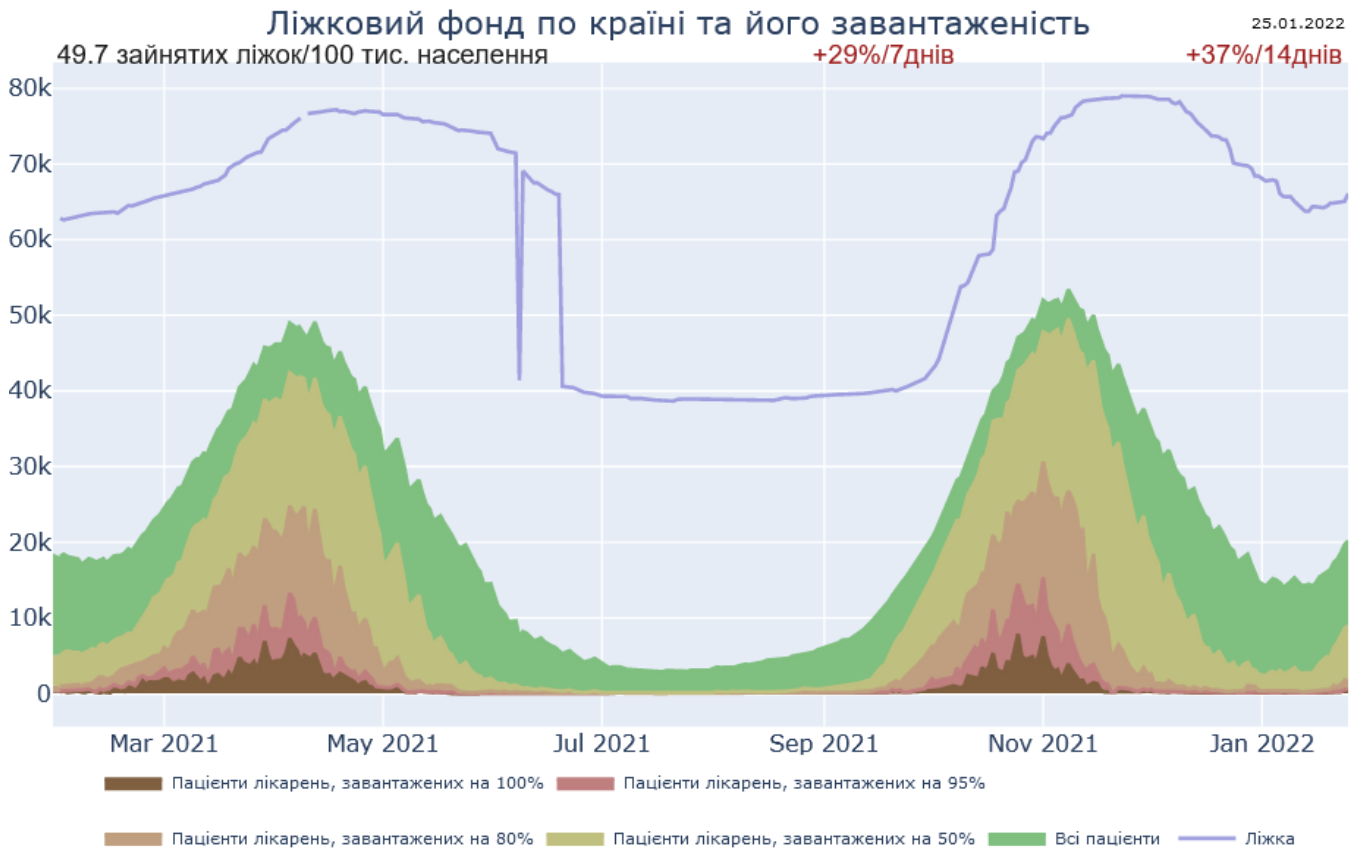


Рис. 6. Ліжковий фонд під COVID-19 та його зайнятість пацієнтами за рівнем завантаженості лікарень перебування цих пацієнтів (Meddata)

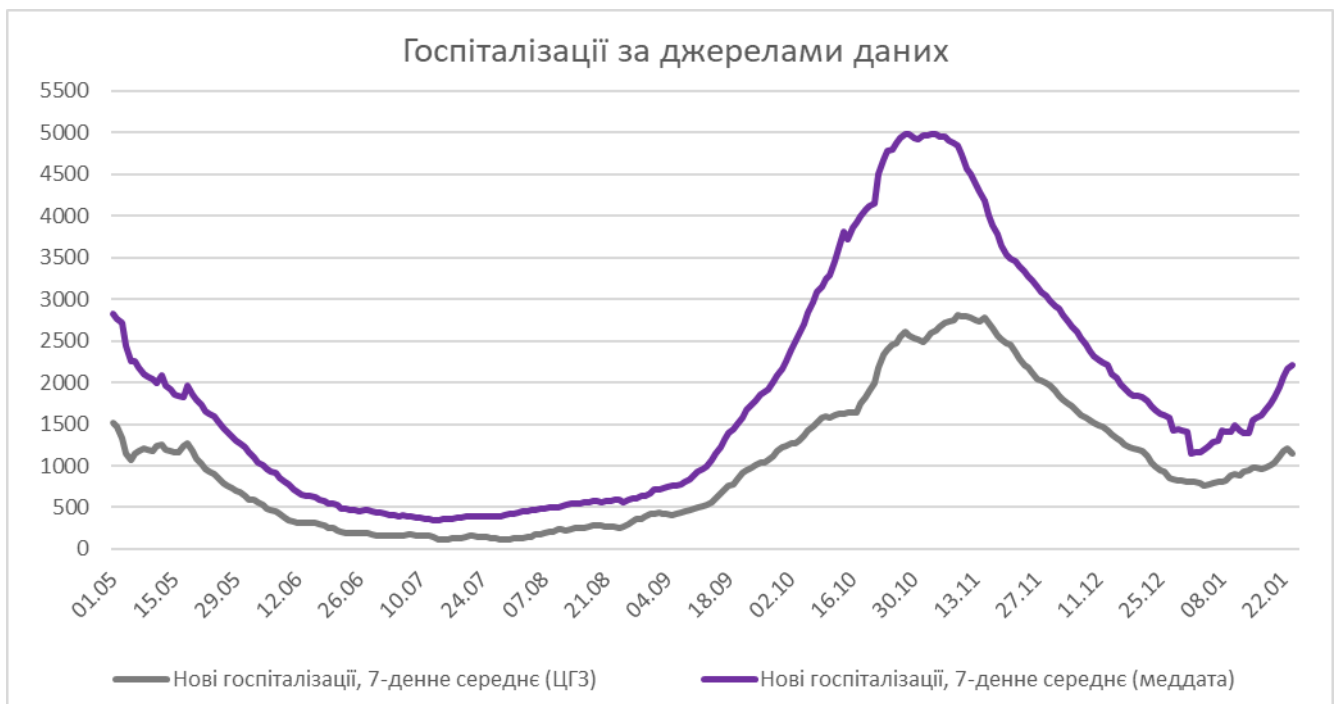


Рис.7. Нові госпіталізації за двома джерелами даних

1.3 Госпіталізації серед вакцинованих

На рис. 8 показано інцидентність госпіталізацій серед населення залежно від його статусу вакцинації. На рис. 9 наведено динаміку розрахункової ефективності часткової (при отриманні однієї дози дводозної вакцини) та повної вакцинації проти госпіталізацій, без врахування вікової структури хворих.

Зниження розрахункової ефективності двох доз вакцин до 75% за останній тиждень, ймовірно, слід пов'язувати зі збільшенням частки штаму «омікрон» серед госпіталізованих хворих.

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

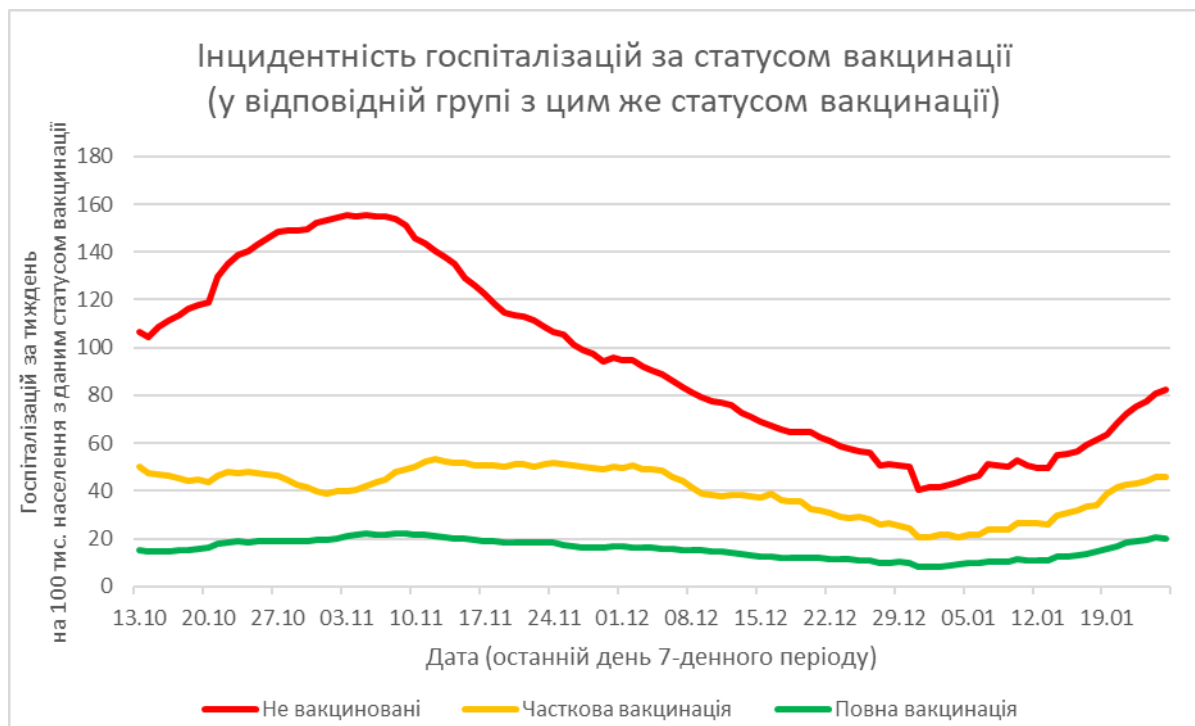


Рис.8. Інцидентність добових госпіталізацій за статусом вакцинації (випадків за тиждень на 100 тис. населення відповідної групи)

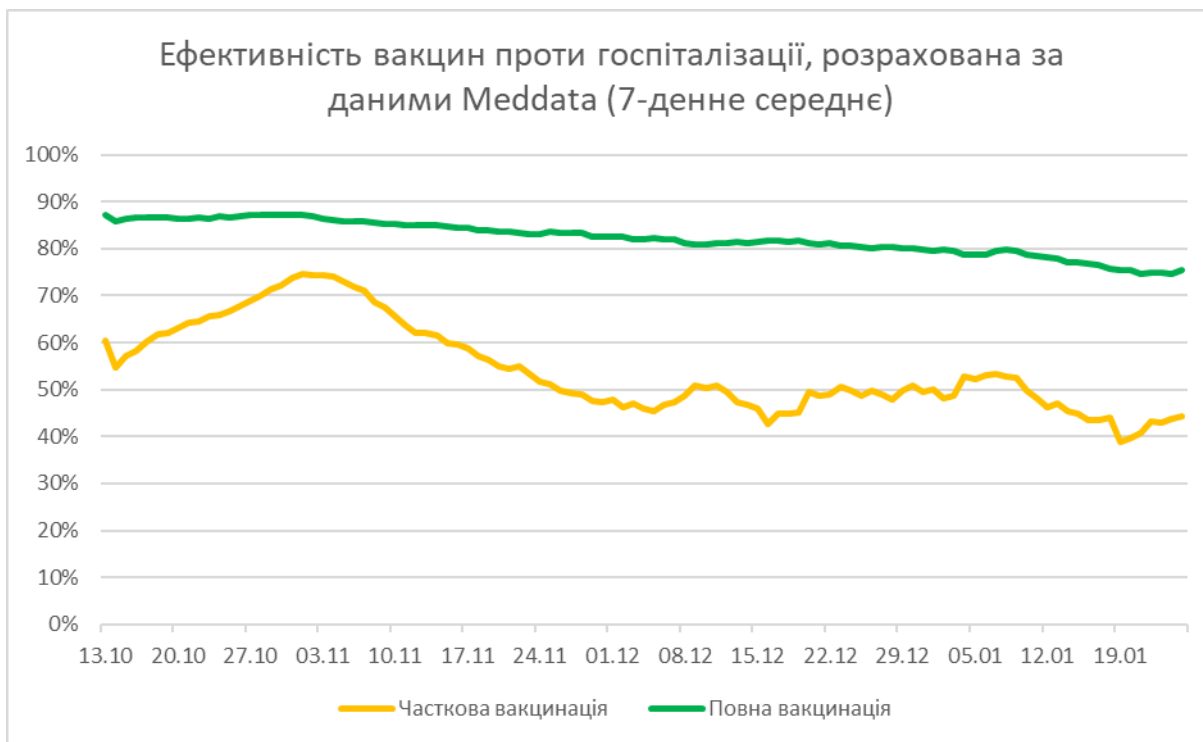


Рис.9. Відносне скорочення інцидентності за статусом вакцинації стосовно інцидентності серед невакцинованих (ефективність вакцинації)

1.4 Спостережувана летальність, одужання та вікова структура інфікованих

Спостережувана летальність для дат реєстрації хвороби 4-5-тижневої давнини була близькою до 3,7%, продемонструвавши зростання зі значень 3,2-3,3% для дат реєстрації хвороби 4-5-тижневої давнини у базі двотижневої давнини на тлі збільшення частки хворих похилого протягом того періоду часу (рис. 10, 11, табл. 1). Як видно на рис. 17, де показано динаміку коефіцієнтів спостережуваної летальності у вікових категоріях, таке зростання переважно не було спричиненим зміною останніх.

Водночас, оперативна оцінка летальності вказує на стрімке її зниження за останні 1-2 тижні. Зокрема, у останній тиждень вона, ймовірно, перебувала у діапазоні 2-3% з тенденцією до зниження, яке у значній мірі супроводжувалось зниженням частки хворих похилого віку серед випадків хвороби.

На рис. 18 показано частку госпіталізованих (за даними бази ЦГЗ) серед випадків хвороби. Варто відмітити зростання частки госпіталізованих серед хворих дітей віком до 9 років включно, яка перевищила відповідну частку для людей віковою категорії 60-69 років.

Крім того, різко зросла залученість дітей до епідемічного процесу: їх частка серед всіх випадків хвороби сягнула 15%, а серед всіх випадків госпіталізації – 18%. Обидва значення є максимальними за весь час спостережень.

Методологія. Пурпуровий графік на рис. 10 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.

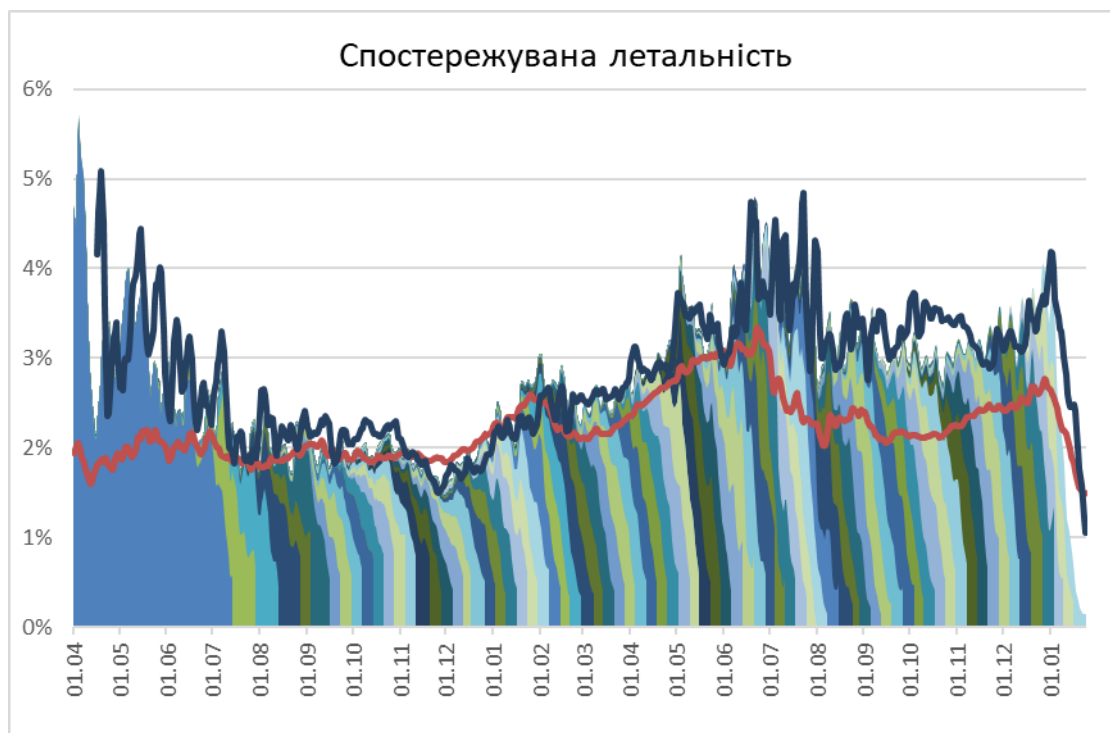


Рис.10. Частка нових хворих, для яких хвороба мала летальні наслідки, динаміка наповнення даних про неї, її оперативна оцінка (див. методологію у тексті), а також очікувана спостережувана летальність для заданої статеві-вікової структури хворих на основі середніх у 2020 році коефіцієнтів летальності для статеві-вікових категорій (пурпуровий графік)

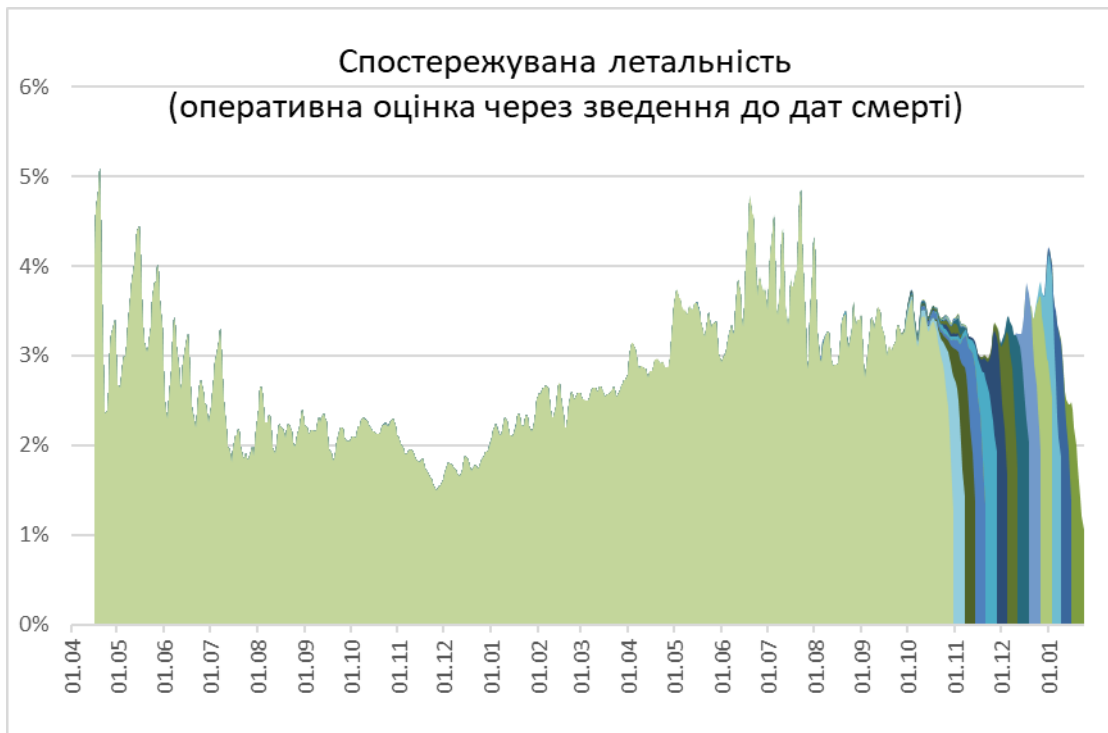


Рис.11. Оперативна оцінка спостережуваної летальності, визначеної на рис. 10, наведена у датах смерті

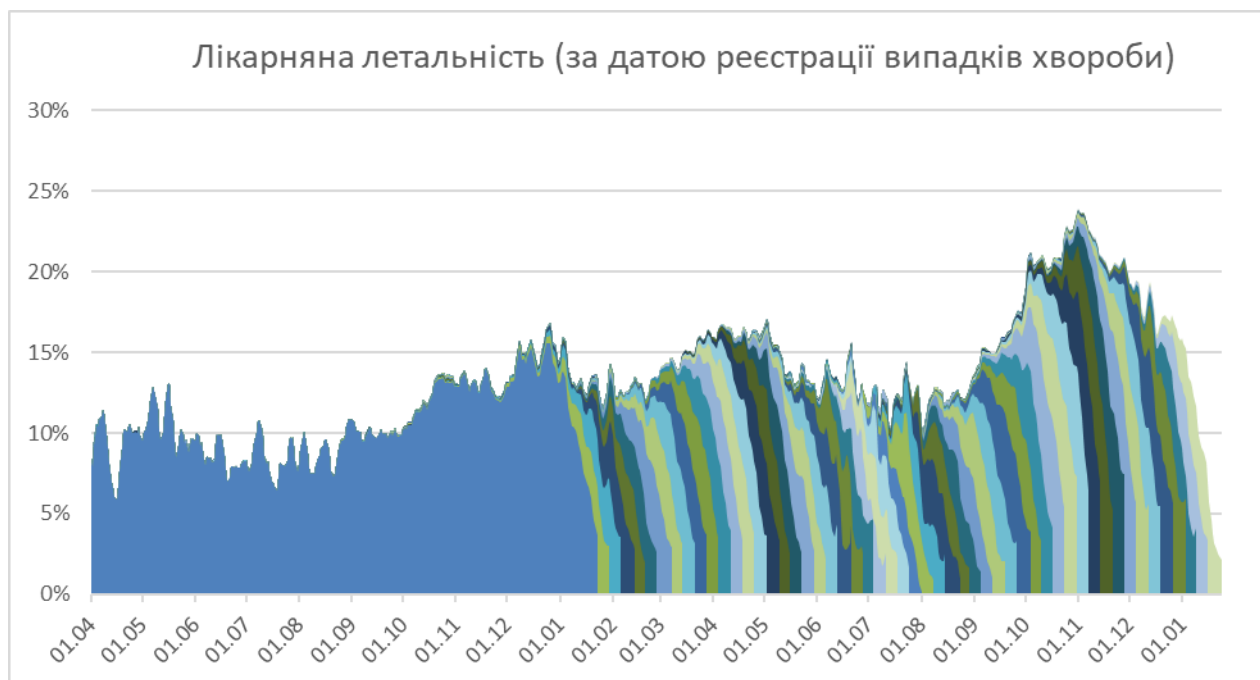


Рис.12. Частка нових хворих, що були на госпіталізації, для яких хвороба мала летальні наслідки, та динаміка наповнення даних про неї

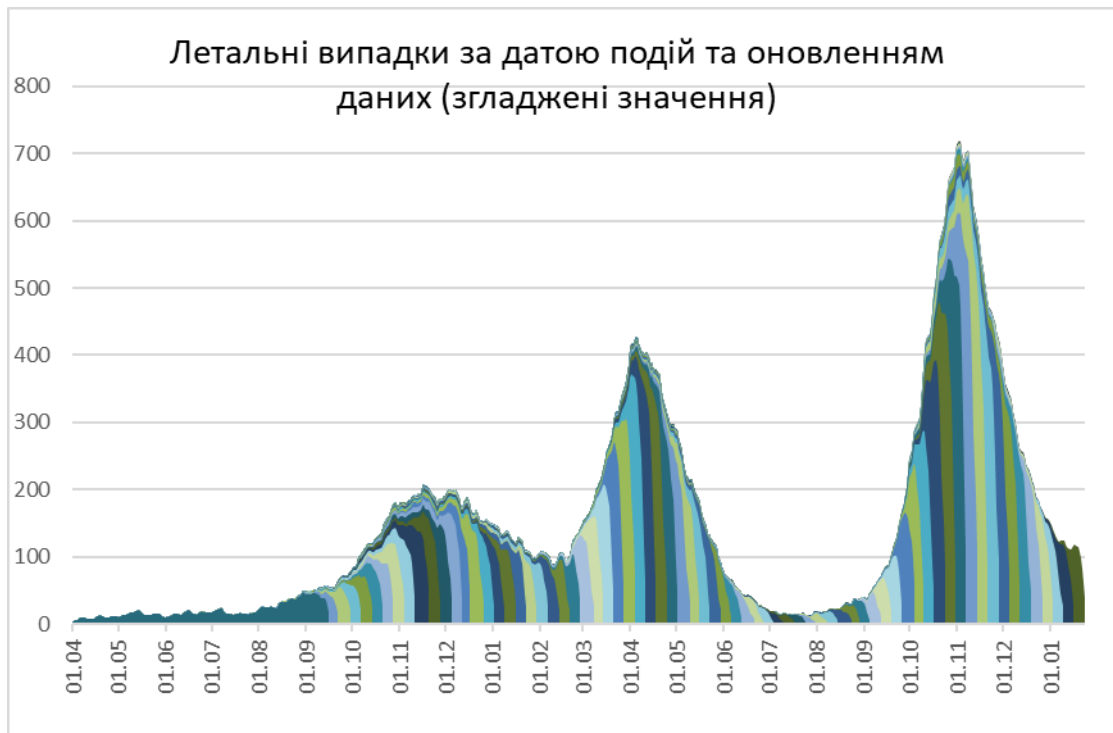


Рис.13. Підтвержені летальні випадки за датами подій

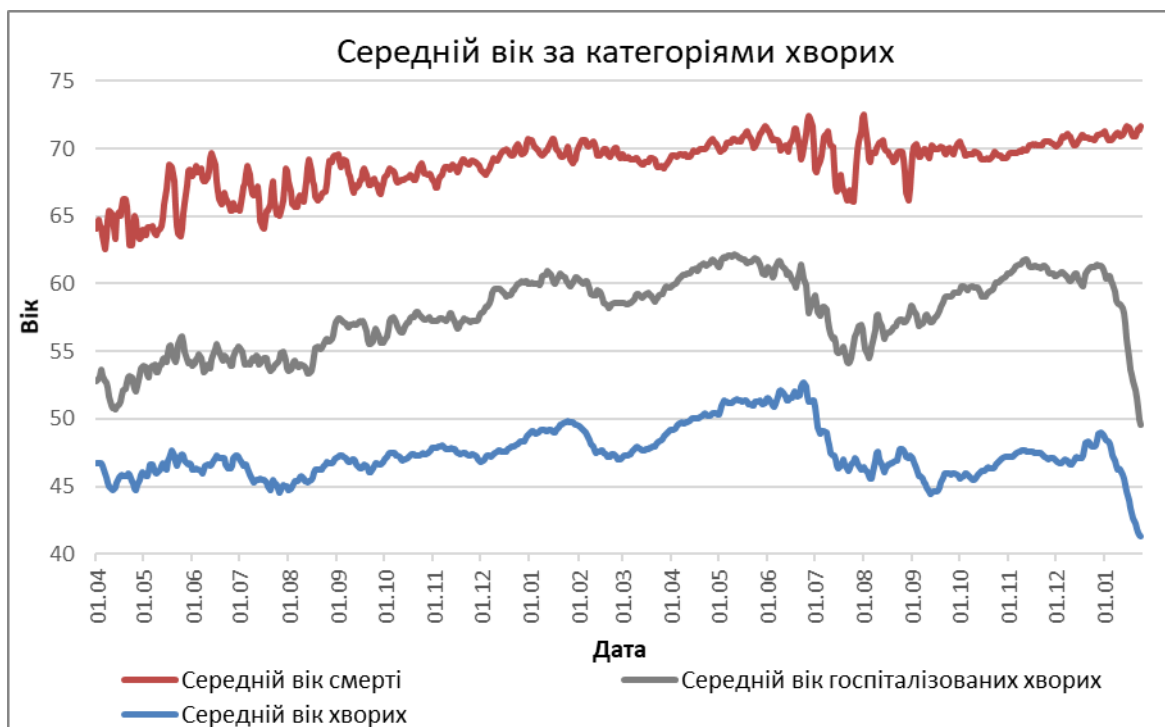


Рис.14. Середній вік за категоріями інфікованих. До даних застосовано зважене 7-денне середнє



Рис.15. Вікові категорії хворих і частка летальних випадків (застосовано 7-денне усереднення)

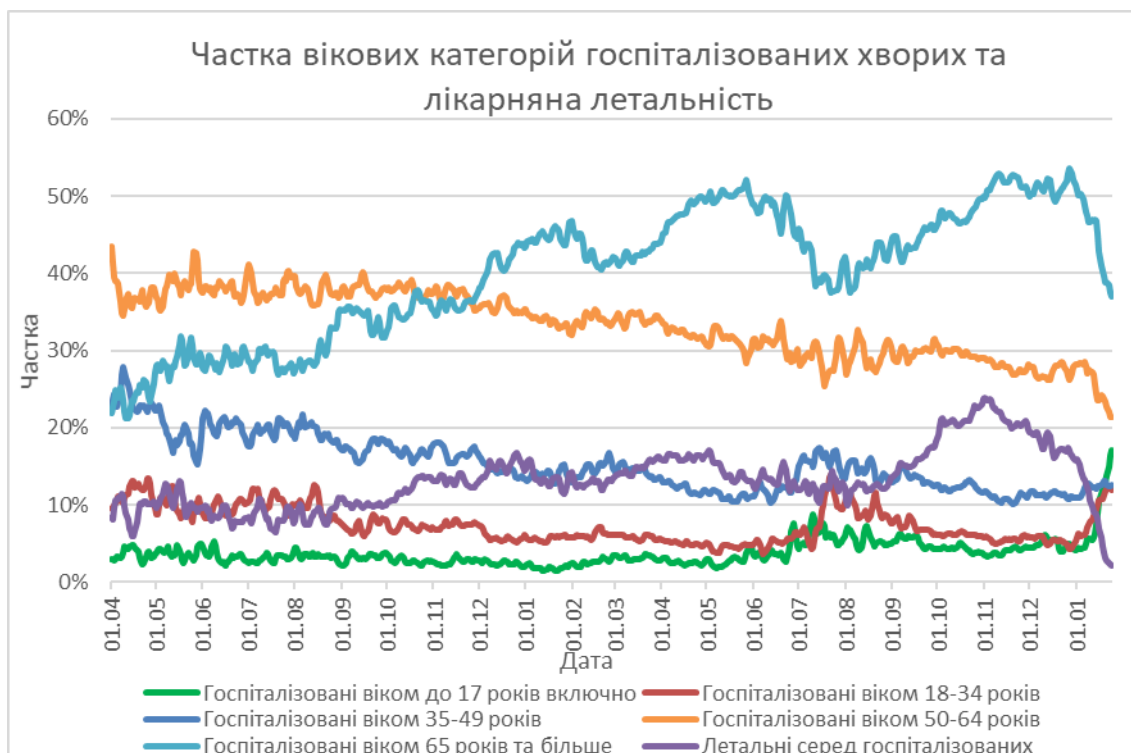


Рис. 16. Вікові категорії хворих, що потребували госпіталізації, та лікарняна летальність за даними ЦГЗ МОЗ України (застосовано 7-денне усереднення)

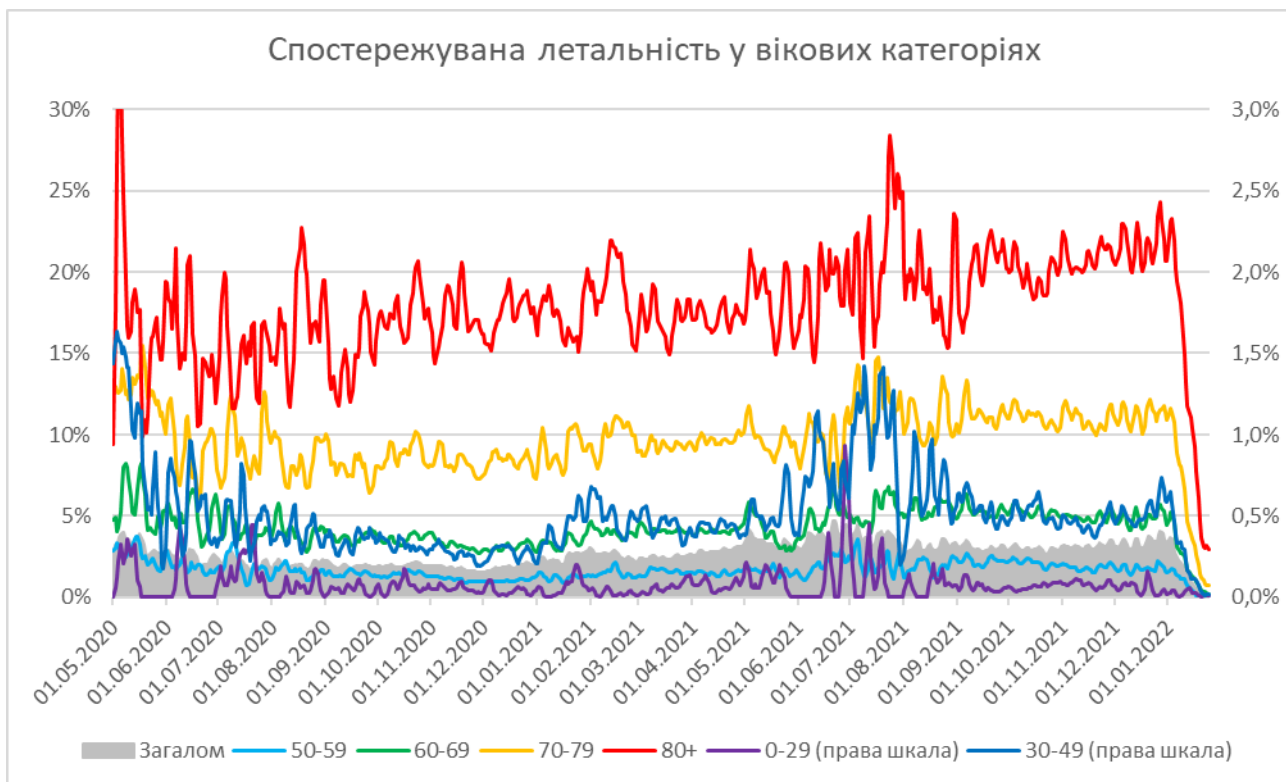


Рис. 17. Частка нових хворих, для яких хвороба мала летальні наслідки, у вікових категоріях та загалом.

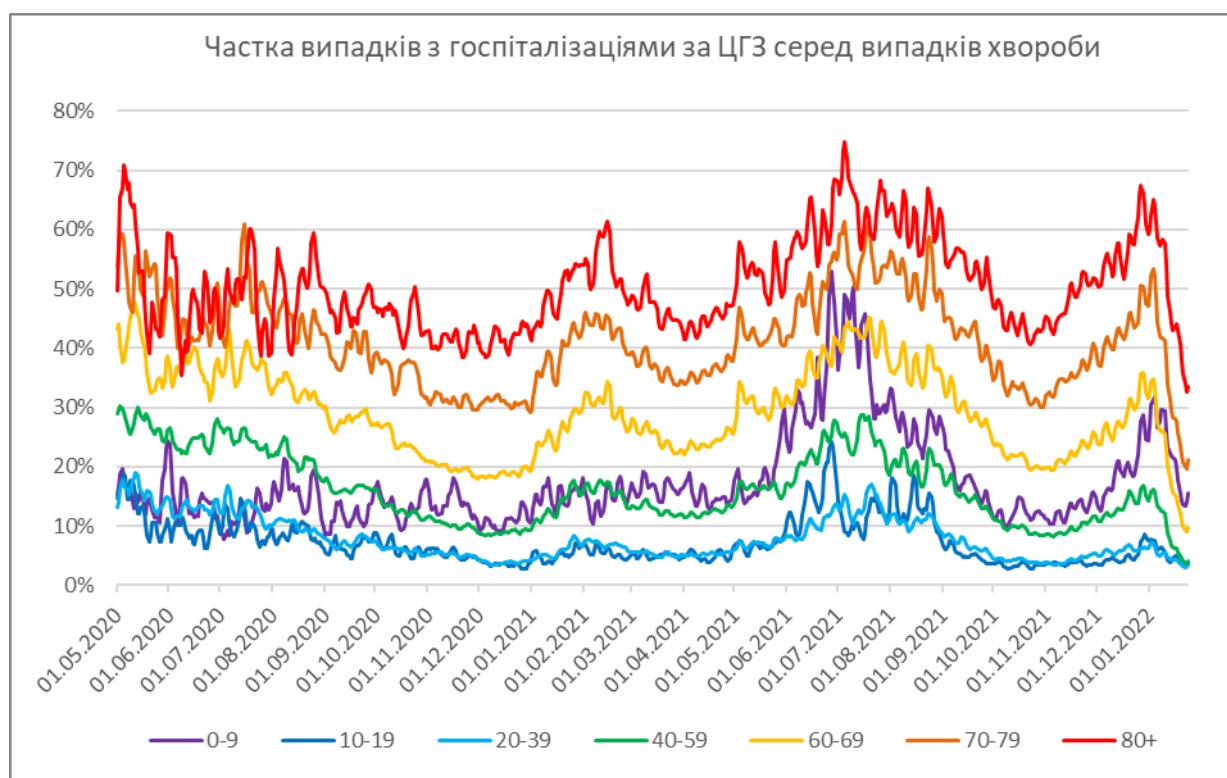


Рис. 18. Частка хворих за віковими категоріями, що потребували госпіталізації (мають відомості про госпіталізацію у базі даних ЦГЗ). Для останніх 1-2 тижнів дані неповні, що призводить до знижених показників

Таблиця 1. Вікова структура випадків хвороби та госпіталізації 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

Показник	2020												2021																							
	липень			серпень			вересень			жовтень			листопад			липень			серпень			вересень			листопад											
	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього	чоловіки	жінки	усього									
Випадки	1,2	1,9	1,5	2,1	3,2	2,6	4,4	5,9	5,1	8,4	10,9	9,6	10,8	14,3	12,5	13,2	17,5	15,3	15,2	20,1	17,6	22,2	29,7	25,9	30,7	40,5	35,6	44,1	58,4	51,2	64,8	84,9	74,6	91,8	120,2	105,9
Госпіталізації	0,8	1,2	1,0	1,4	2,1	1,7	2,8	3,8	3,3	5,2	7,0	6,1	7,8	10,5	9,1	10,5	14,0	12,2	12,5	16,5	14,5	19,5	26,0	22,7	27,5	36,0	31,5	39,0	51,0	44,0	54,0	70,0	61,0	84,0	108,0	96,0
Всего	2,0	3,1	2,5	3,5	5,3	4,3	7,2	9,7	8,4	13,6	18,2	15,7	20,7	27,6	24,6	23,7	31,6	27,5	27,7	36,6	29,0	41,7	55,7	48,4	58,2	76,5	66,7	83,0	109,4	95,2	135,8	182,1	160,5	175,8	228,2	201,9
Відсоток	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2. Огляд демографічних даних

2.1. Дані Держстату

За демографічними даними Державної служби статистики, у листопаді 2021 року смертність з усіх причин була на 76% вище прогнозу смертності, побудованої на основі тренду 2015-2019 (рис. 19).

Регіональні дані показано на рис. 20-22. Найбільше перевищення кількості смертей над прогнозним рівнем спостерігалось у Запорізькій (у 2,27 рази) та Харківській (у 2,24 рази) обл. (рис. 20).

Діаграму розсіювання для смертності з усіх причин та кількості летальних випадків при COVID-19 показано на рис. 21 та 22. Регіони у верхній частині діаграми мають найвищу відносну надлишкову смертність, у правій частині – найвищу відносну кількість летальних випадків (обидві величини приведені стосовно прогнозного рівня смертності для листопада).

Щоденні смерті та летальні випадки при COVID-19 в Україні

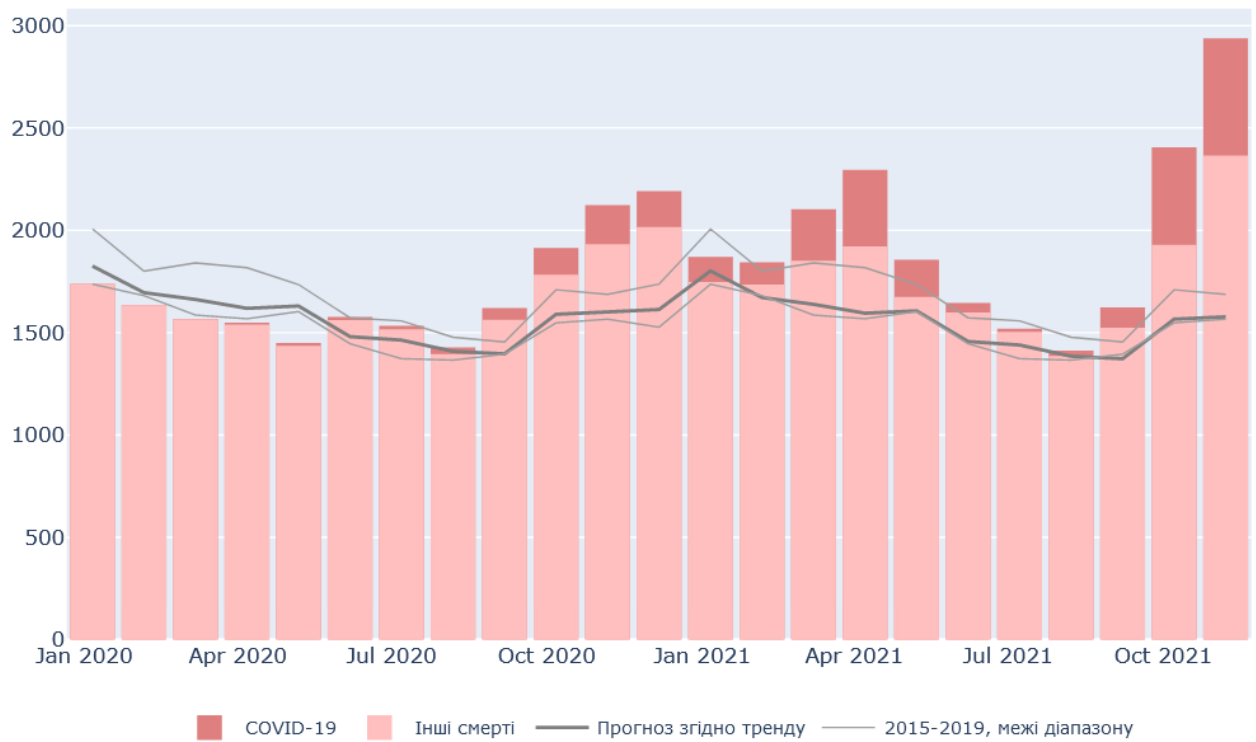


Рис. 19. Щоденне число смертей в Україні за даними ДССУ та МОЗ. Перетин блакитного та рожевого зафарбування позначено пурпуровим зафарбуванням.

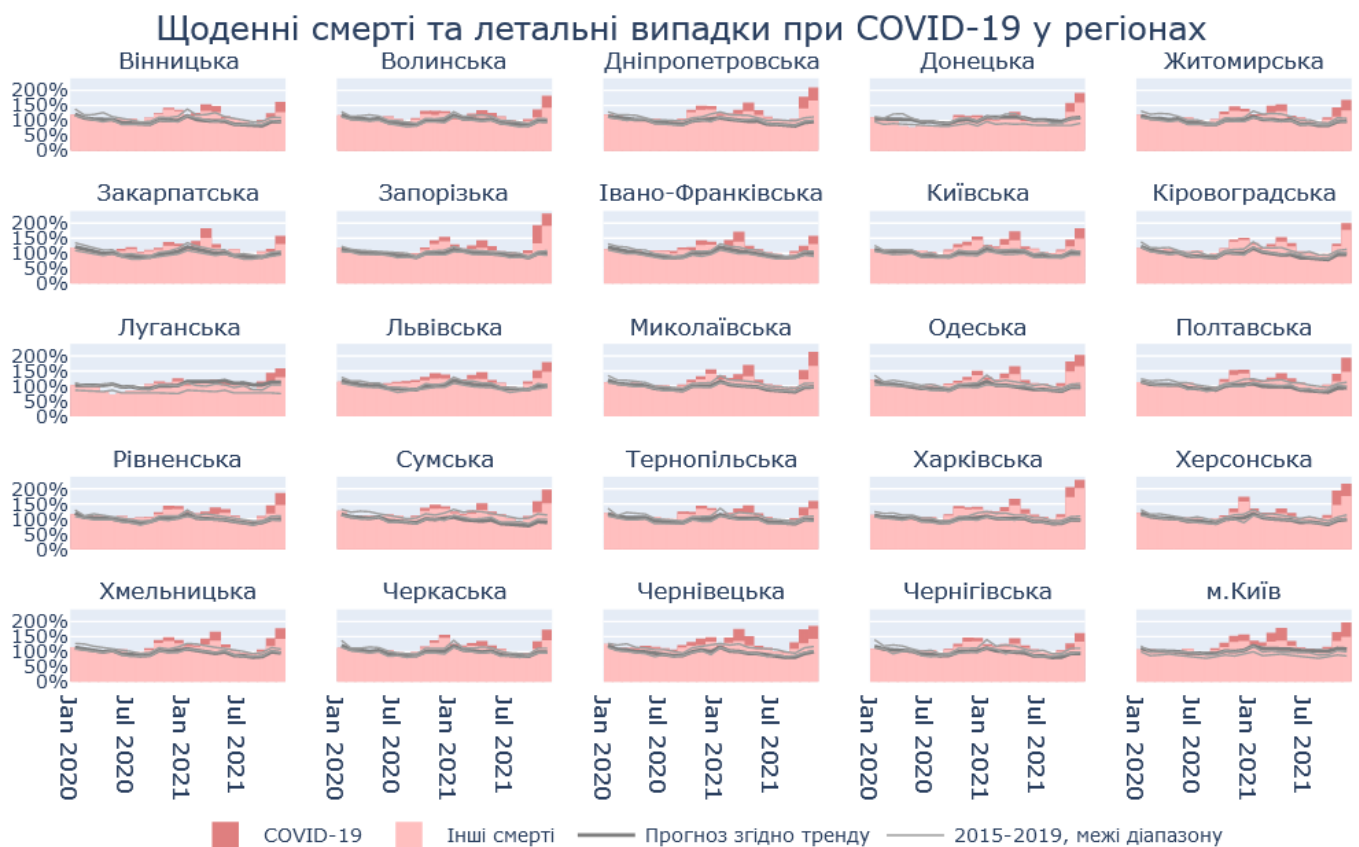


Рис. 20. Регіональне число смертей за даними ДССУ та летальні випадки при COVID-19, за 100% взято середнє значення у 2015-2019 роках. Перетин блакитного та рожевого зафарбування позначено пурпуровим зафарбуванням.

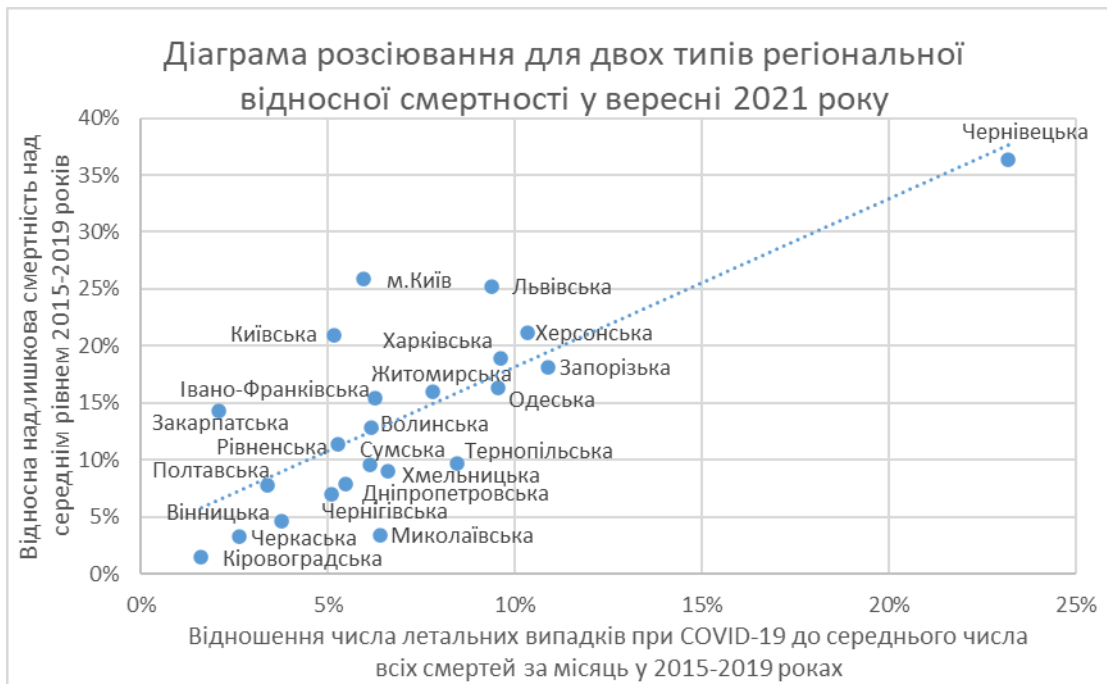


Рис. 21. Регіони України за надлишковою смертністю та числом летальних випадків при COVID-19 у серпні 2021 року

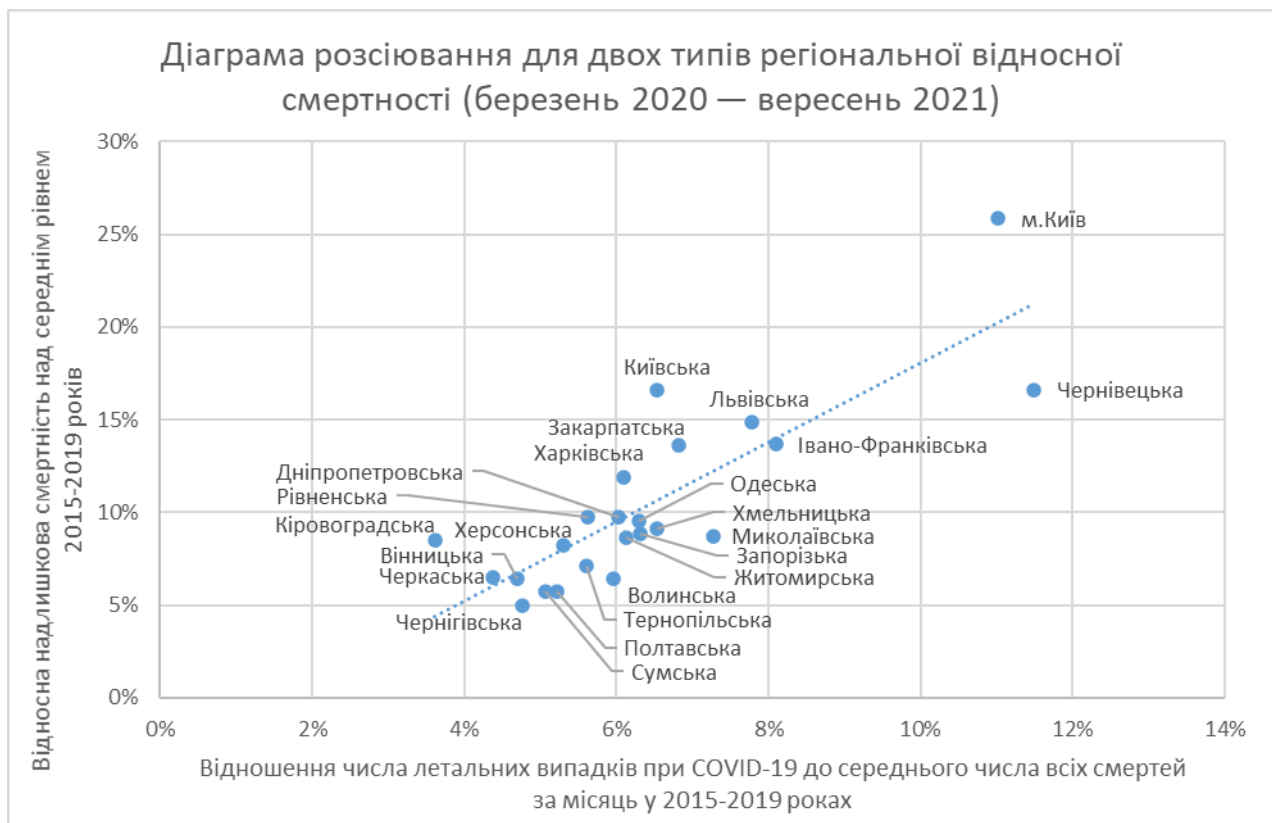


Рис. 22. Регіони України за надлишковою смертністю та числом летальних випадків при COVID-19 за весь період пандемії в Україні

2.2. Дані Міністерства юстиції України

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 грудня (рис. 23). Динаміка оновлення цих даних показана на рис. 24.

Отримані дані свідчать про збереження приблизно дворазового перевищення рівня надлишкової смертності (над середнім рівнем 2015-2019 років), порівняно зі смертністю з підтвердженим COVID-19.

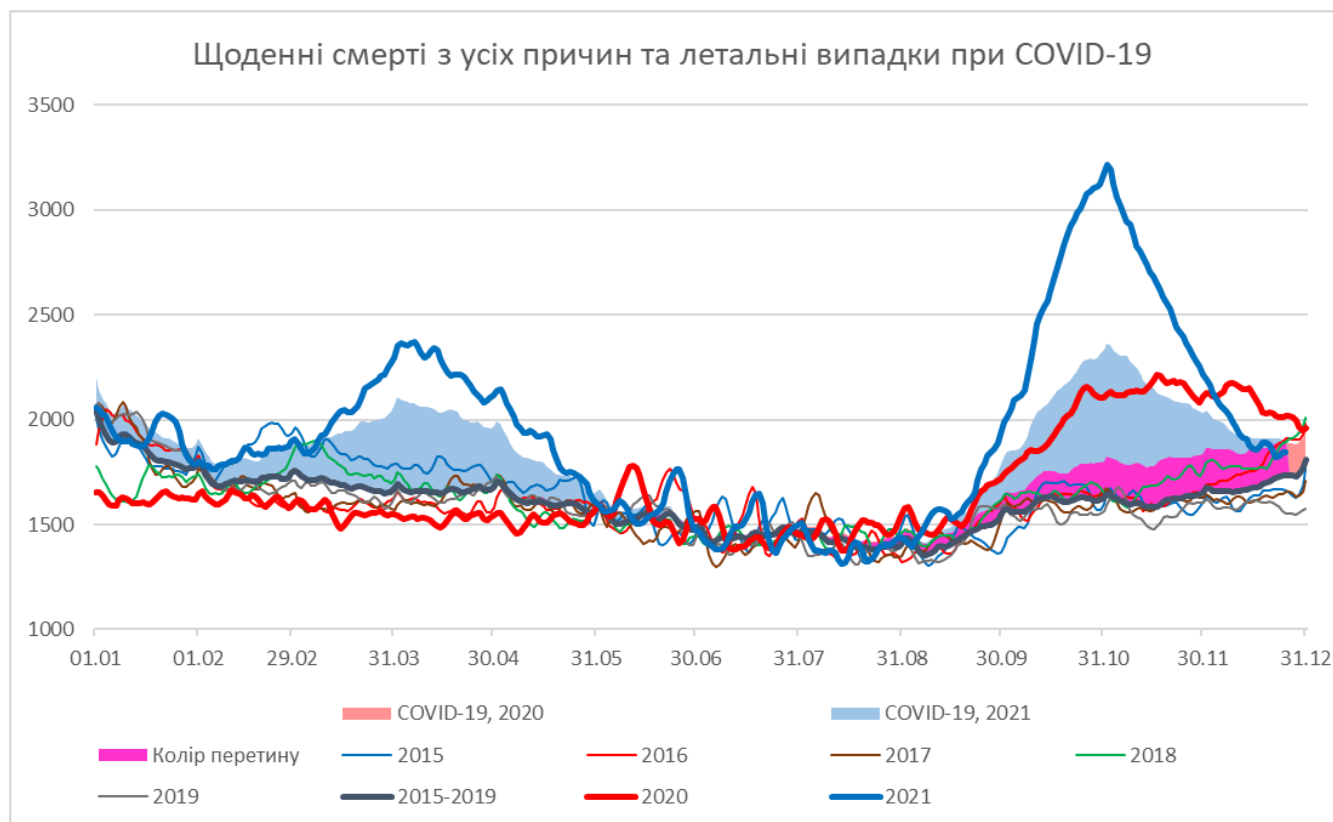


Рис. 23. Динаміка смертності з усіх причин за тижнями років (Мін'юст) та число летальних випадків при COVID-19 за датою подій (МОЗ)

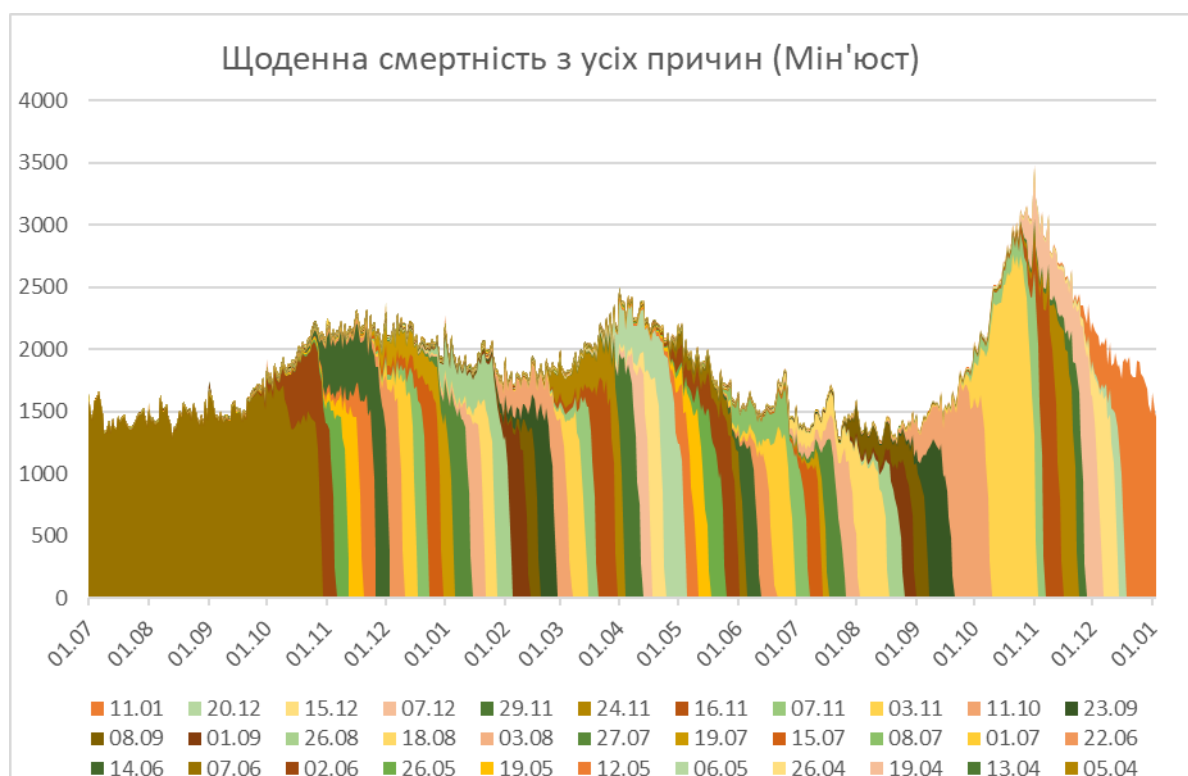


Рис. 24. Щоденна смертність з усіх причин (Мін'юст) та динаміка оновлення даних про неї

2.3. Розрахунок очікуваної тривалості життя

Отримані дані Держстату за листопад дають змогу оцінити динаміку очікуваної тривалості життя (ОТЖ) при народженні окремо для чоловіків та жінок. Варто відзначити, що вікова структура летальних випадків при COVID-19 близька до вікової структури смертей з усіх причин, і розрахунки, проведені при екстраполяції вікової структури попередніх років за наявної інформації лише про кількість та стать померлих людей з усіх причин, дають непогану точність. При екстраполяції вікової структури смертей 2020 року на 2021 рік отримаємо ОТЖ при народженні, що на рис. 25 (для розрахунків використовуються дані за останні 12 місяців).

Отримані результати свідчать, що під час «дельта»-хвилі ОТЖ при народженні знизилось у жінок більше, ніж у чоловіків, скоротивши різницю між цими показниками. Сумарно з урахуванням жовтня та листопада очікувана тривалість жінок втратила 0,79 року, а чоловіків 0,51 року. Досягнувши, відповідно, 74,5 та 65,2 років, ці показники загалом з 2019 року втратили 2,5 та 1,8 роки, якщо порівнювати з даними Держстату, і 2,8 та 2,4 роки, порівняно з максимумом, досягнутим у червні 2020 року, згідно з нашими розрахунками.

Варто окремо відзначити, що під час хвилі «дельта» (у жовтні та листопаді) серед померлих з усіх причин було приблизно на 12 тис. більше жінок, ніж чоловіків, та на жінок доводилось майже 55% від всіх смертей.

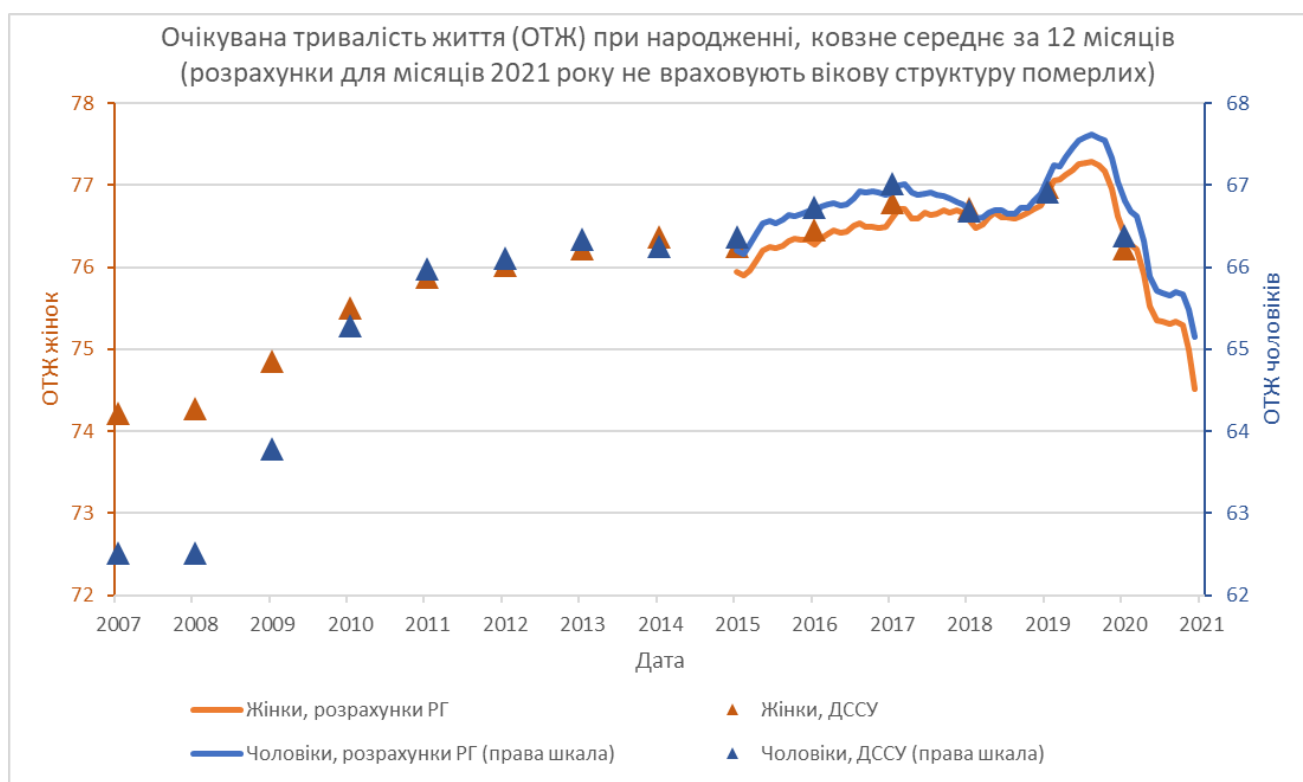


Рис. 25. ОТЖ залежно від статі. Чоловіки відмічені за шкалою праворуч. Розрахунки для місяців 2021 року проведено з урахуванням інформації лише про кількість та стать померлих

3. Аналіз груп регіонів

На рис.29 показано частку груп регіонів серед захворюваності, кольорову гаму яких задано на рис.30 (докладніше про групи регіонів див. у [«Прогнозі РГ-38»](#)).

На рис.26, 27 і 28 показано кількість нових хворих, позитивних тестів та госпіталізацій за тиждень на 100 тис. населення.

Найскладнішою була ситуація на заході країни. Групи регіонів «Захід І» та «Захід ІІ» продемонстрували найвищі показники кількості госпіталізацій, випадків хвороби, а за кількістю позитивних тестів були у трійці лідерів разом зі «Столичним регіоном», де, втім, традиційно багато тестують. При цьому, за госпіталізаціями «Столичний регіон» займає останню позицію, а за кількістю випадків хвороби займає проміжне положення.

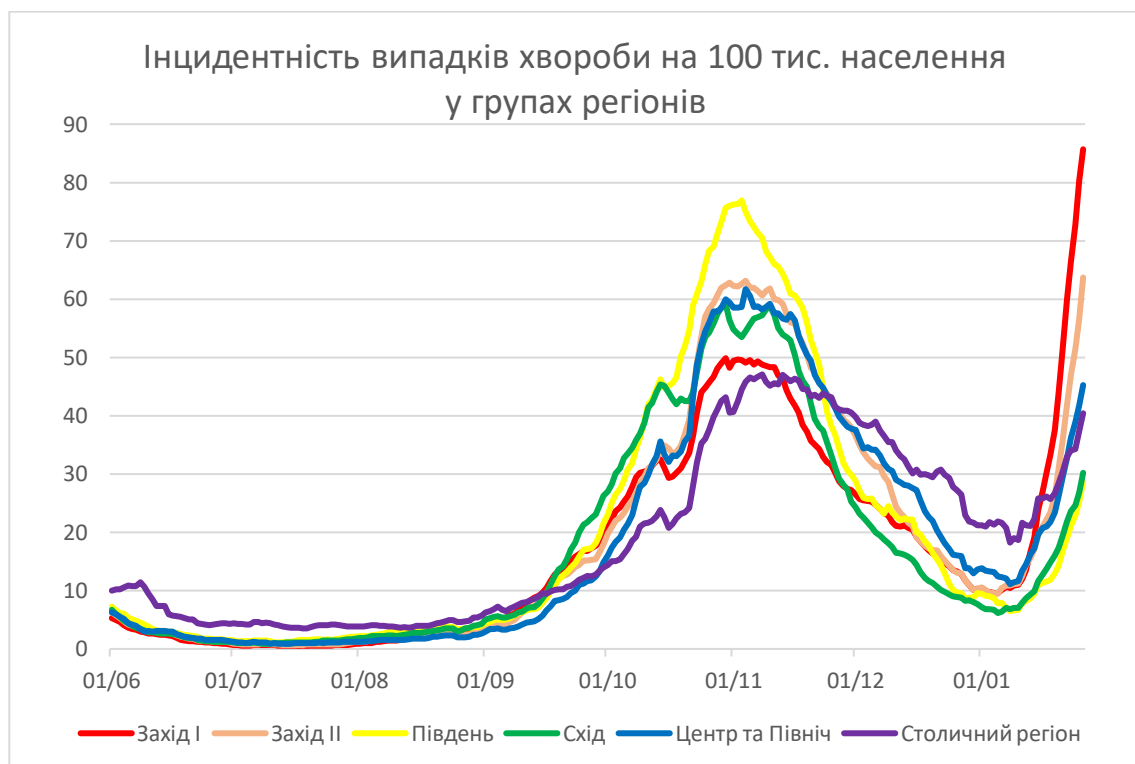


Рис.26. Число нових випадків хвороби у групах регіонів на 100 тис. населення

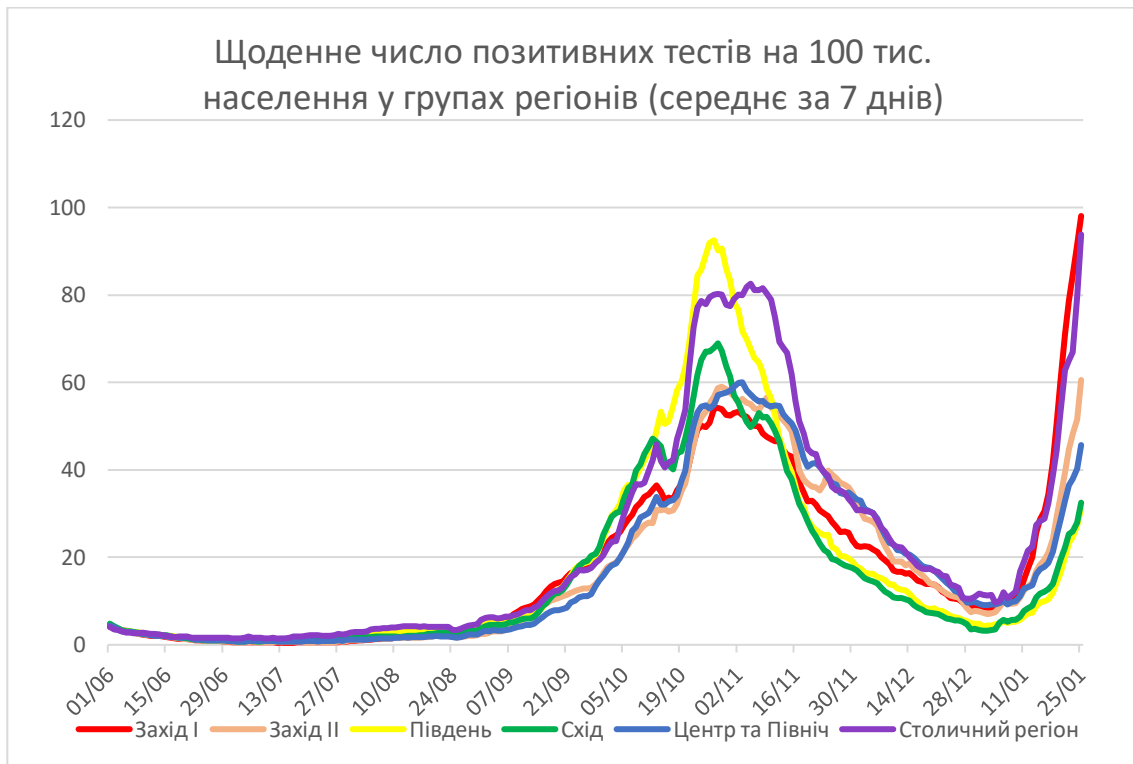


Рис.27. Число нових позитивних тестів у групах регіонів на 100 тис. населення

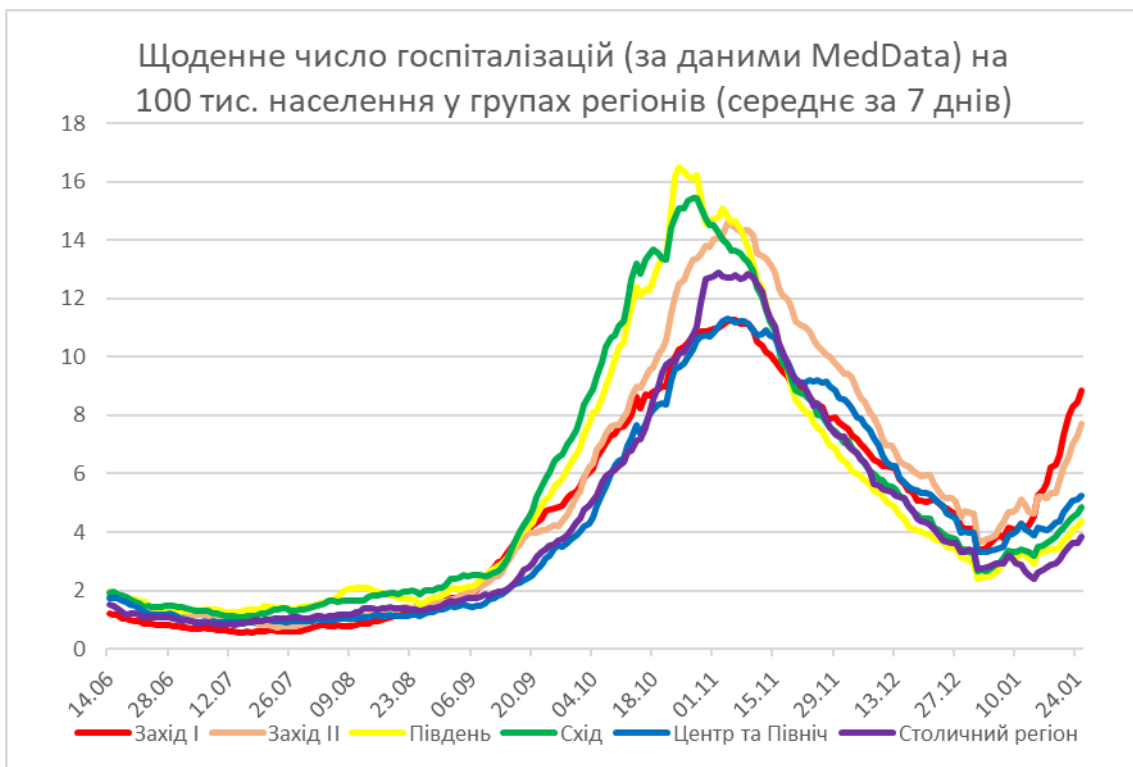


Рис.28. Число нових госпіталізацій у групах регіонів на 100 тис. населення

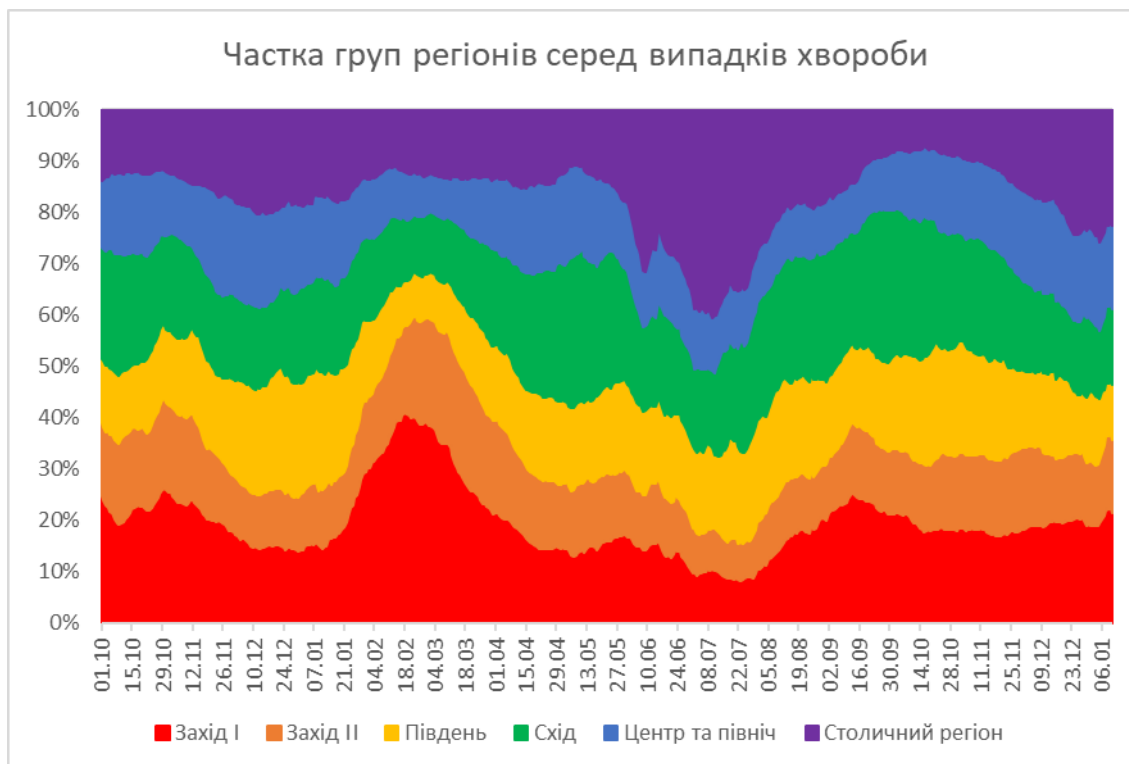


Рис.29. Частка нових хворих у групах регіонів

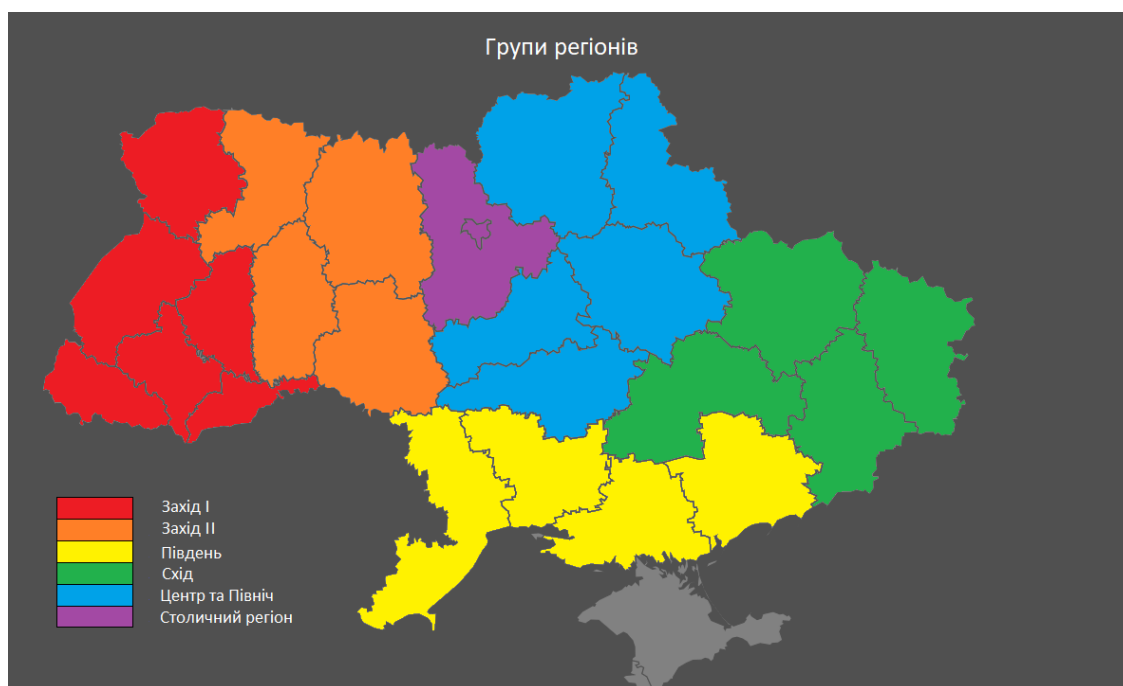


Рис.30. Надрегіональні групи

4. Регіональна епідемічна динаміка

На рис. 31 показано кількість ліжок лікарень у регіонах, виділених під COVID-19, та розподіл пацієнтів, що займають ці ліжка, за завантаженістю лікарень їх перебування.

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

З точки зору кількості пацієнтів у лікарнях найбільші ризики зосереджені у Івано-Франківській та Вінницькій областях. При чому, на Івано-Франківщині перевищення піку попередньої хвилі вже станеться у найближчі 3-5 днів, хоча пік весняної хвилі в області був ще у 1,5 рази вищим.

Найбільше госпіталізацій проводять у західних регіонах країни, при тому, що зростання кількості госпіталізацій характерне майже для всіх регіонів (рис. 32).

Івано-Франківська область займає провідне положення за усіма наявними епідемічними показниками, окрім кількості летальних випадків, попри те, що вона вже перейшла до зростання.

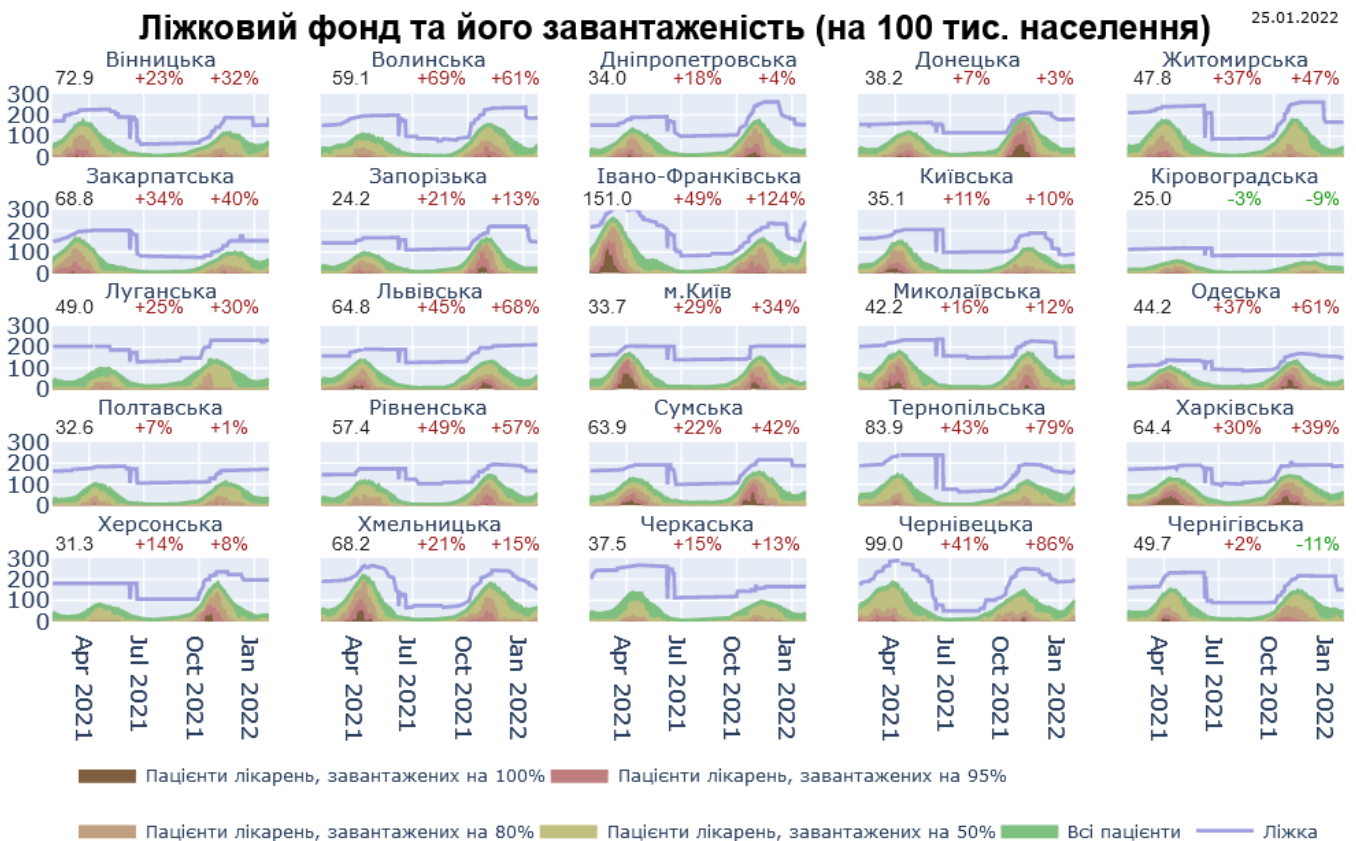


Рис.31. Ліжковий фонд під COVID-19 та його зайнятість пацієнтами за рівнем завантаженості лікарень перебування цих пацієнтів (Meddata)

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

25.01.2022

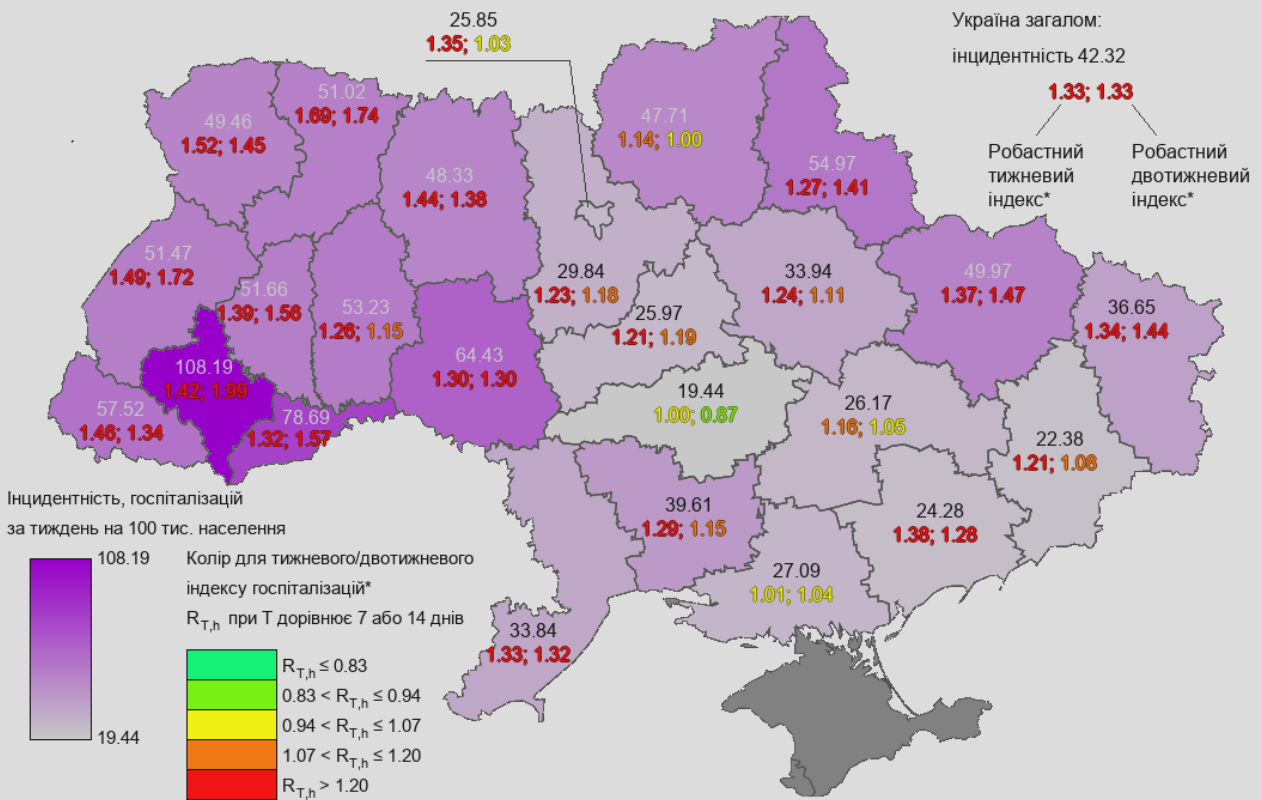


Рис.32. Інцидентність за госпіталізаціями та її динаміка. Наведені у кожному регіоні коефіцієнти динаміки є робастними тижневими індексами та відповідають відношенню числа випадків за останній тиждень до числа за попередній тиждень

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

25.01.2022

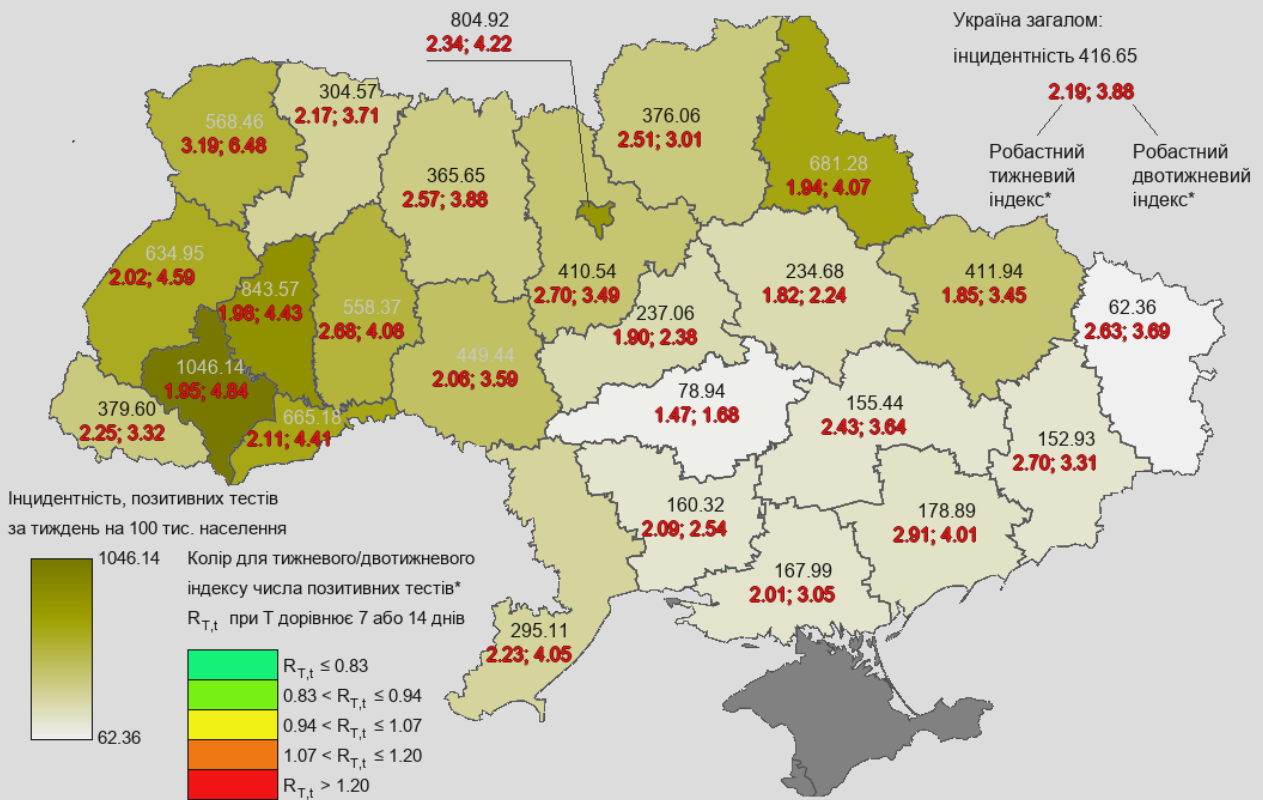


Рис.33. Інцидентність за числом позитивних тестів та її динаміка. Наведені у кожному регіоні коефіцієнти динаміки є робастними тижневими індексами та відповідають відношенню числа випадків за останній тиждень до числа за попередній тиждень

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

26.01.2022

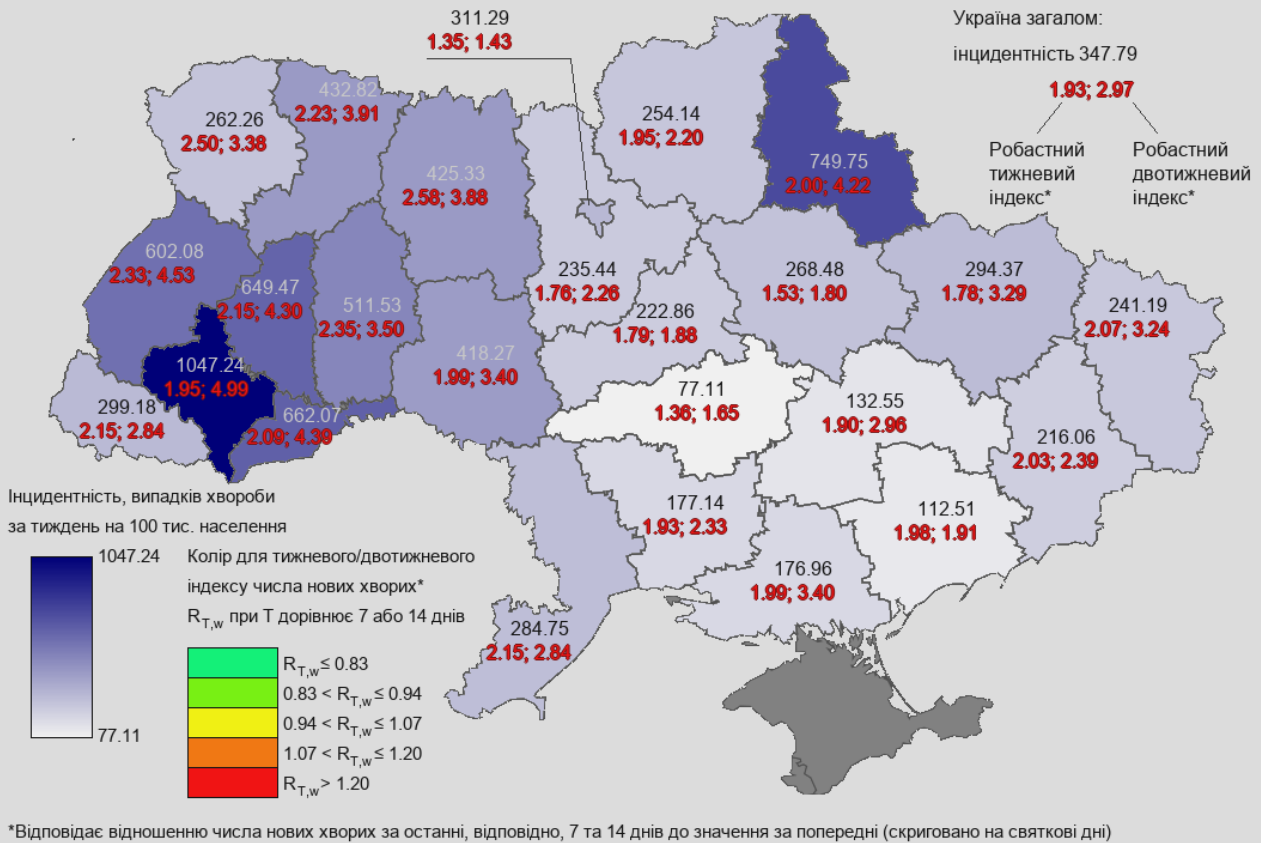


Рис.34. Інцидентність за випадками хвороби та її динаміка. Наведені у кожному регіоні коефіцієнти динаміки є робастними тижневими індексами та відповідають відношенню числа випадків за останній тиждень до числа за попередній тиждень



Рис.35. Захворюваність у регіонах (відносні значення)



Рис.36. Летальні випадки у регіонах (відносні значення)



Рис.37. Частка позитивних зразків у регіонах

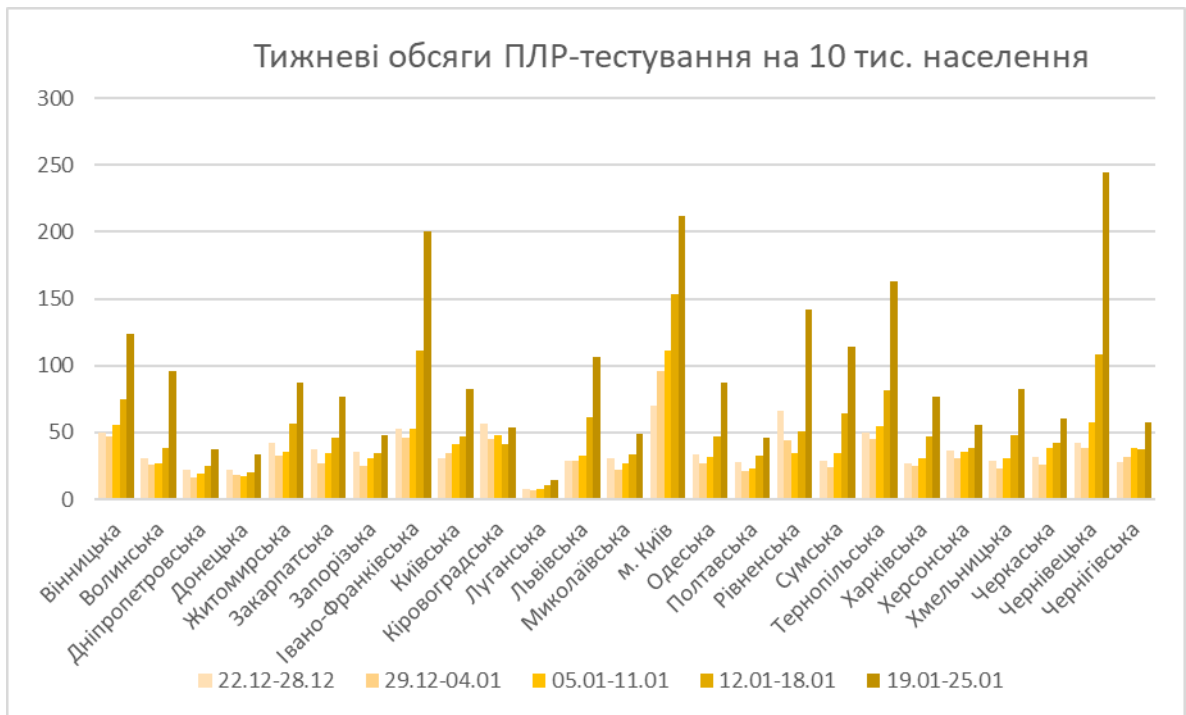


Рис.38. Обсяги тестування у регіонах

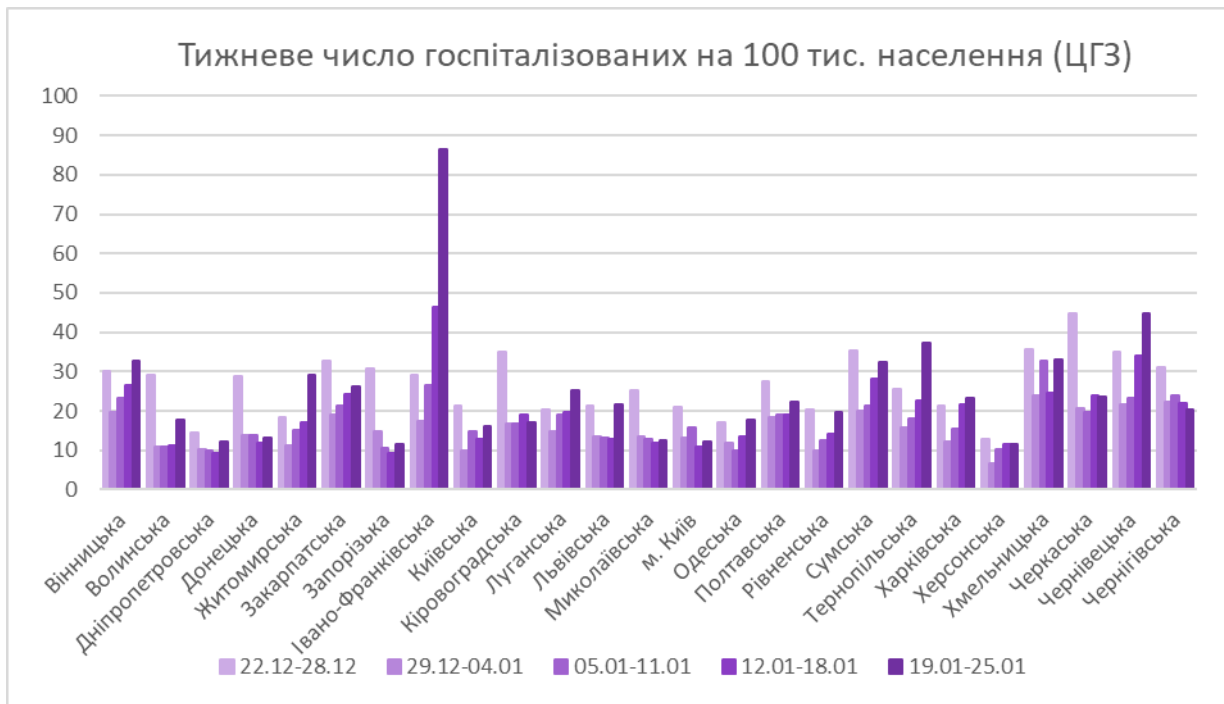


Рис.39. Обсяги госпіталізацій (за даними ЦГЗ) у регіонах, відносні значення

5. Аналіз затримок оприлюднення даних

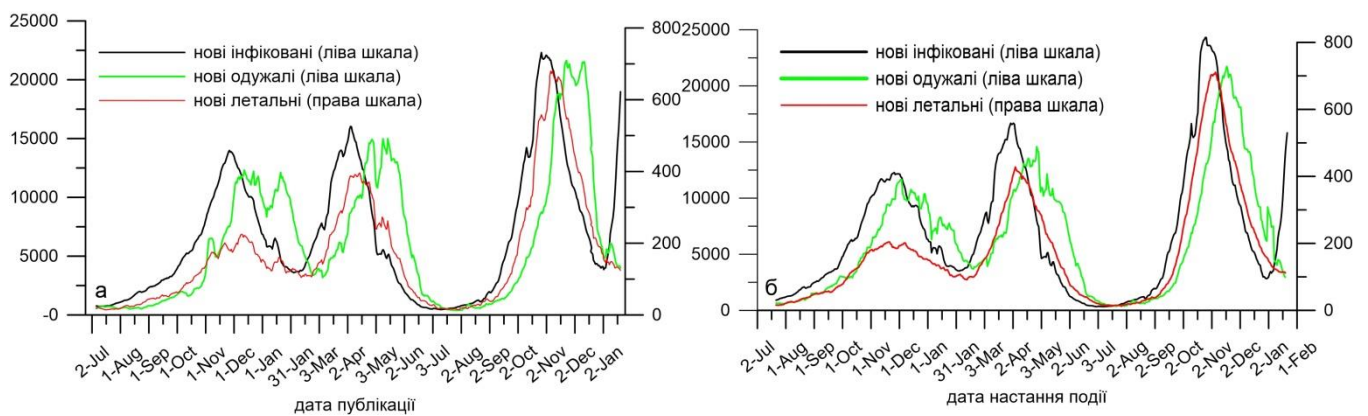


Рис.40. Кількість нових зареєстрованих випадків за день із даними на момент публікації (ліворуч) і на момент настання події (дати тестування, дати одужання/виписки та дати смерті) (праворуч). Для відображення використовувалося рухоме середнє з вікном 7 днів

Рис.40 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.40 (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.41. 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.42 показує співвідношення між кількістю позитивних тестів і кількістю нових виявлень на дату тестування.

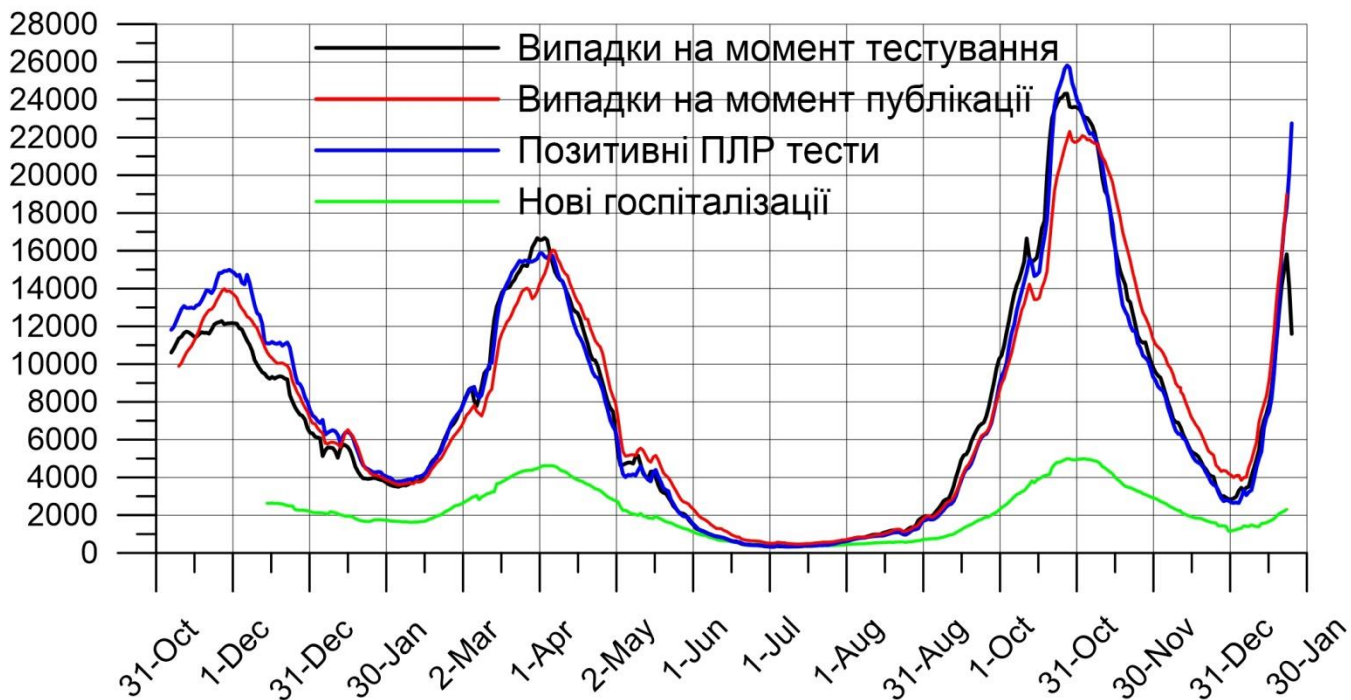


Рис.42. Порівняння кількості нових виявлень на момент публікації та на момент тестування із кількістю позитивних тестів

Кількість позитивних ПЛР-тестів непогано демонструє чіткий мінімум, пройдений орієнтовно 29–30 грудня 2021 року (рис.42, синя крива) й узгодження з виявленнями на момент тестування. Кількість нових офіційно зареєстрованих випадків (червона крива) має невелику затримку в часі близько кількох днів відносно кількості нових позитивних тестів.

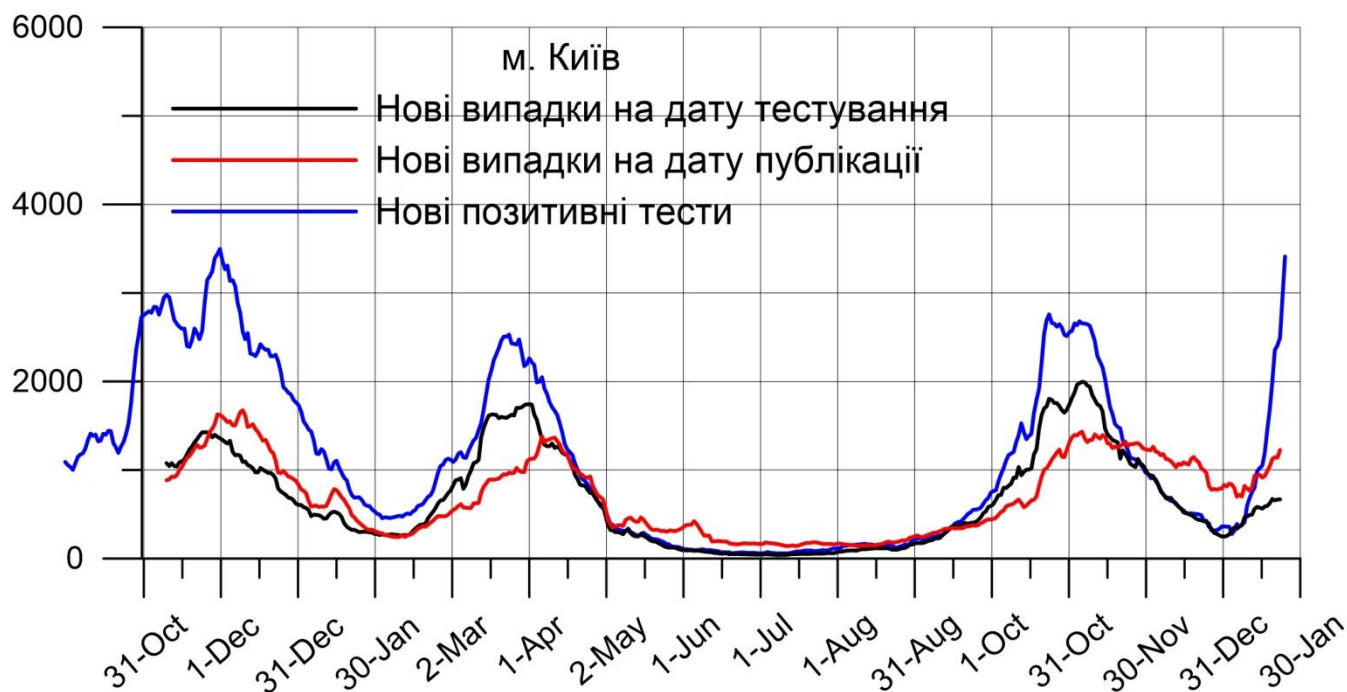


Рис.43. Порівняння кількості нових виявлень на момент публікації та на момент тестування з кількістю позитивних тестів для м. Київ

І хоча загалом в Україні кількість позитивних ПЛР-тестів і нових виявлень добре узгоджується, то в Києві ситуація сильно відрізняється. Рис.43 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 тестів вже збільшилася вдесятеро відносно новорічного мінімуму і оновило абсолютні рекорди за весь час спостережень.

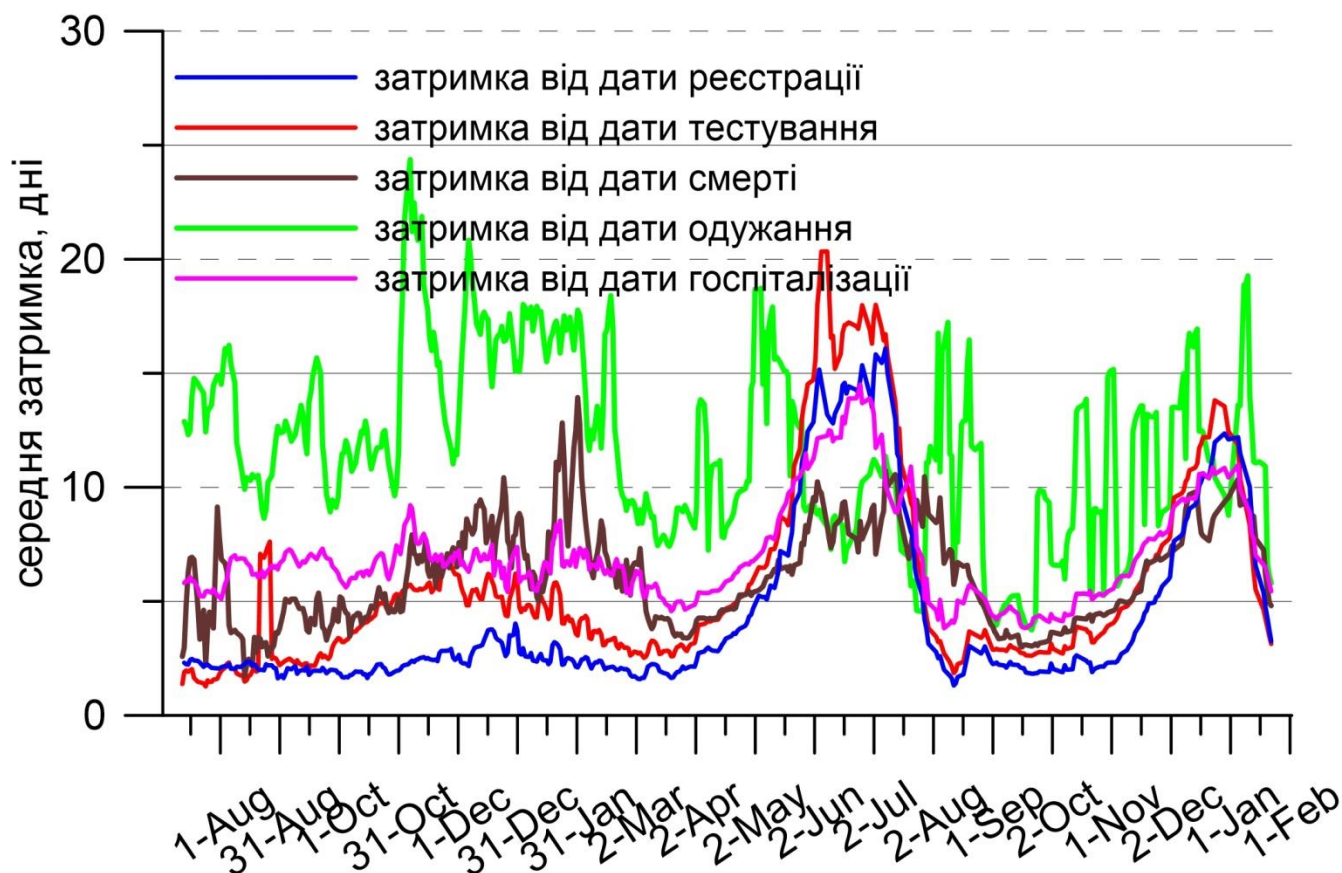


Рис.44. Середні затримки оприлюднення в часі даних про нові виявлення, летальні випадки, госпіталізації та одужання/виписки. Затримки обчислювались як різниця між датою оприлюднення (внесення відповідної інформації до бази даних) і датою фактичного настання події

Середні затримки оприлюднення статистичної інформації почали зменшуватися на фоні стрімкого збільшення кількості нових випадків (рис.44). Зараз середня затримка в часі майже всіх показників становить 3-6 днів. Структуру затримки в оприлюдненні нових випадків хвороби та нових летальних випадків показано на рис.35–48. У Києві ситуація із затримками результатів тестування залишається значно гіршою, ніж у середньому в країні (рис.47).

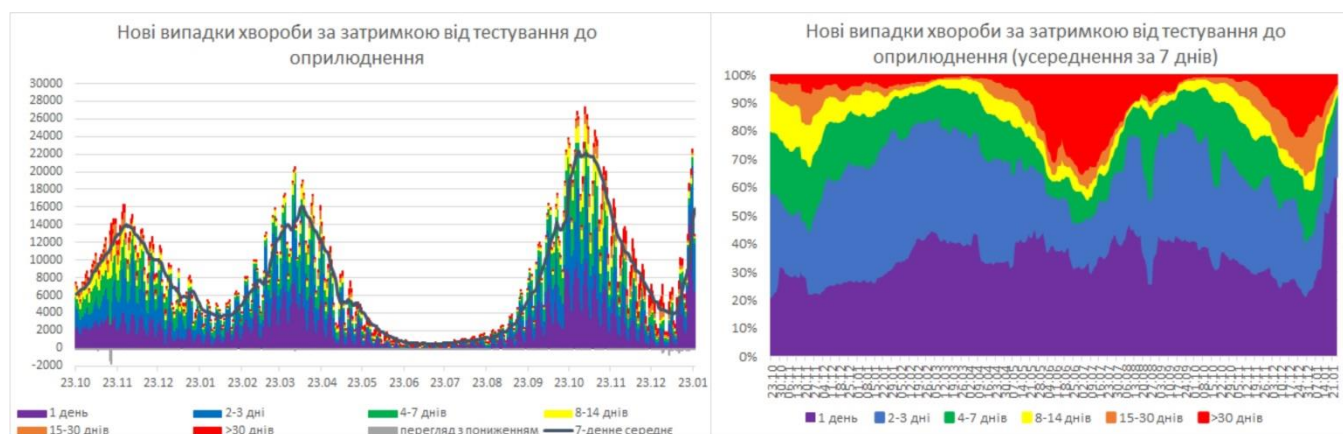


Рис.45. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових випадків. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

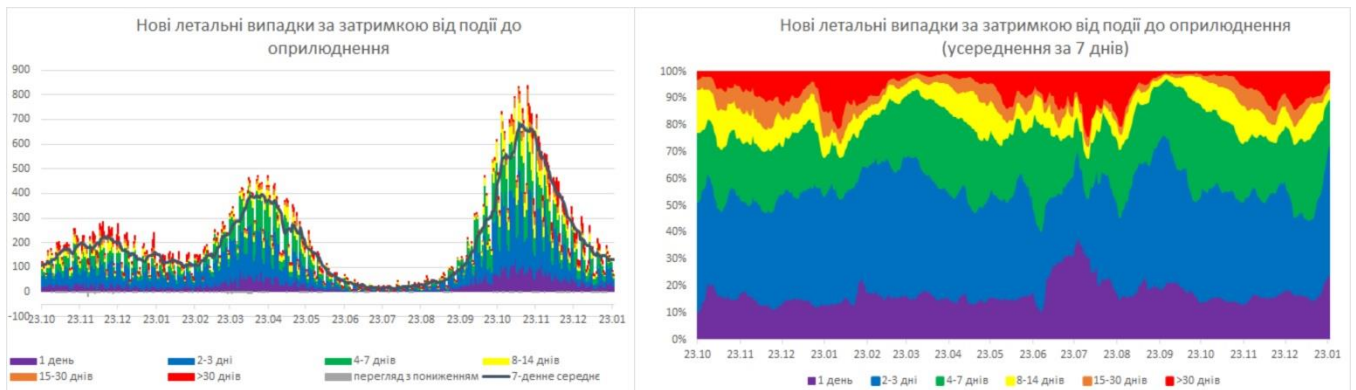


Рис.46. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових летальних випадків. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

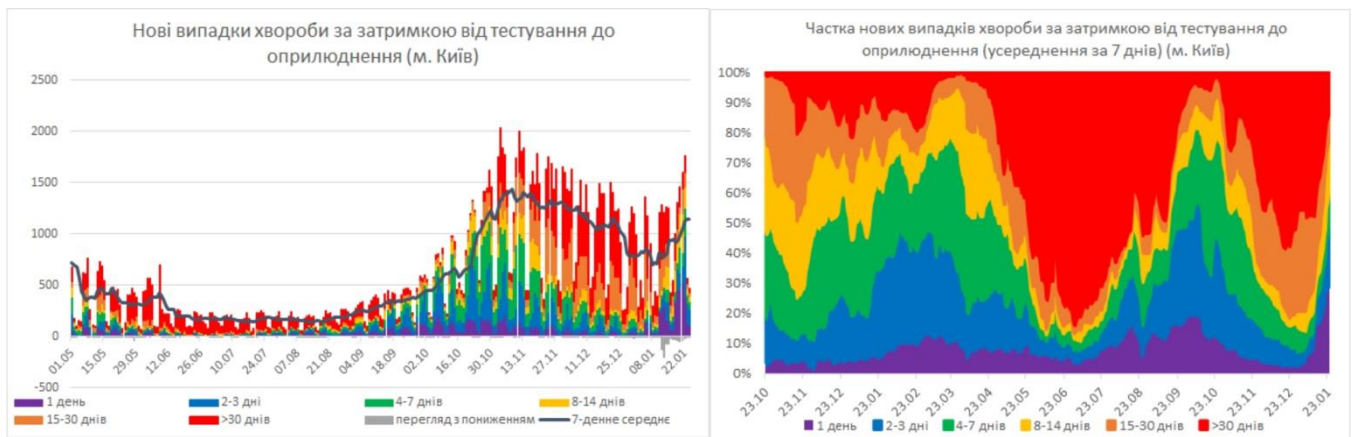


Рис.47. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових випадків у Києві. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

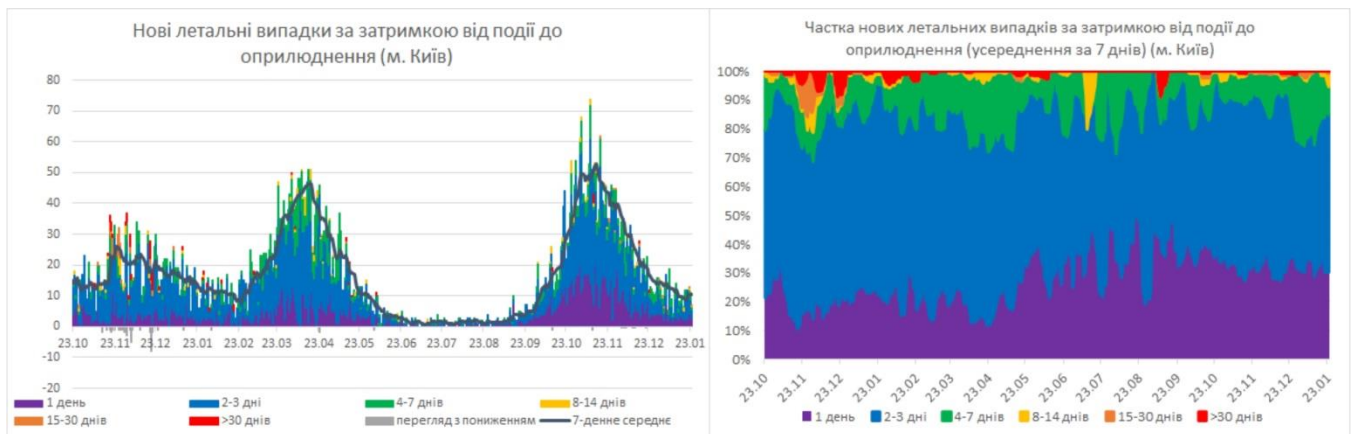


Рис.48. Еволюція в часі затримок оприлюднення кількості нових летальних випадків у Києві. Висота стовпчиків показує кількість оприлюднених нових випадків. Кольором позначено розподіл цих випадків за попередніми датами

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.

Модель, побудована у попередньому звіті, яка враховувала тільки дані осінньої хвилі 2021 року, на жаль, виявилась неадекватною для нинішньої ситуації. Тому було побудовані дві нові моделі, котрі, як і раніше, враховують 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 оптимістичного сценарію, який відбувся би, 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 песимістичного сценарію, який відбувся би, якби поточна хвиля необмежено зростала у такий же спосіб як вона почала зростати з 3 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 оптимістичного сценарію](#) за даними 06.07.2020 р. – 11.01.2022 р. дала прогноз на 26.01.2022 р. – 08.02.2022 р. із сумарною відносною похибкою за тестовими даними 12.01-25.01.2022 р. – 63,49%. Похибка – дуже велика, яка доводить, що навряд чи події будуть далі розгортатись за цим оптимістичним сценарієм (рис. 49, 50, таблиця 2).

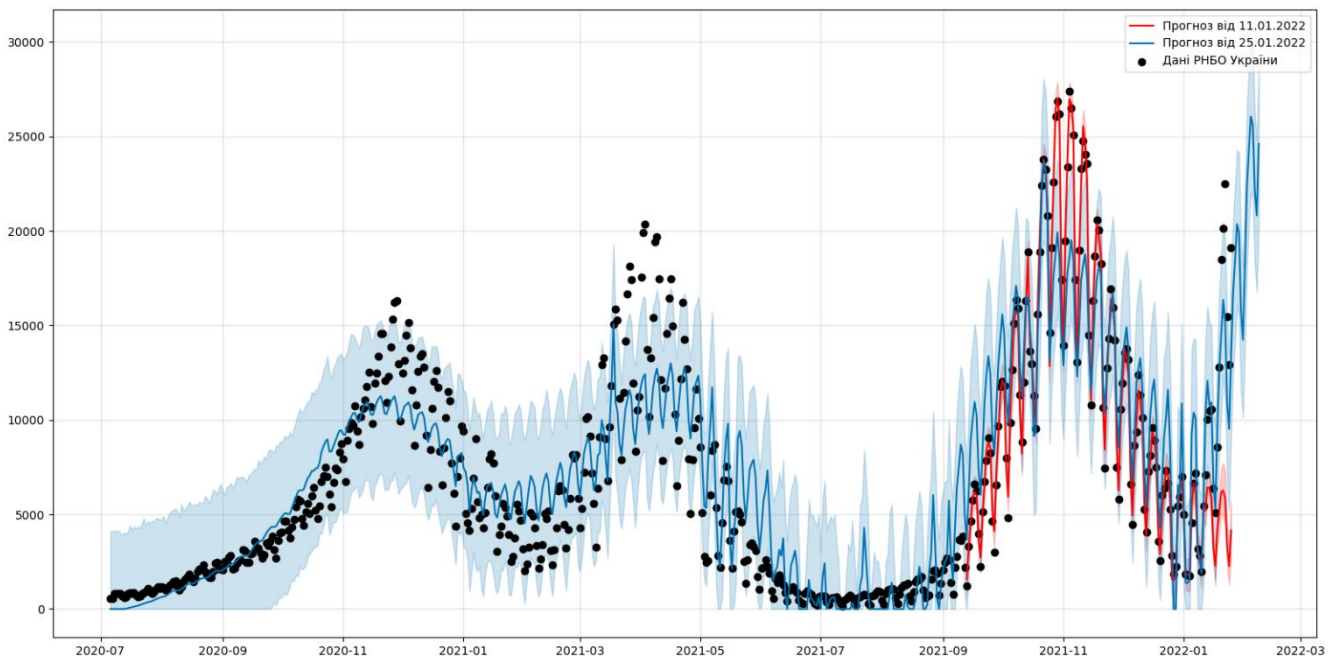


Рис.49. Дані за 2020-2022 роки щодо кількості нових хворих в Україні (чорні крапки) та 2 тижні прогнозу і попередній прогноз за моделями, побудованими з використанням Facebook Prophet (06.07.2020 р. – 08.02.2022 р.)

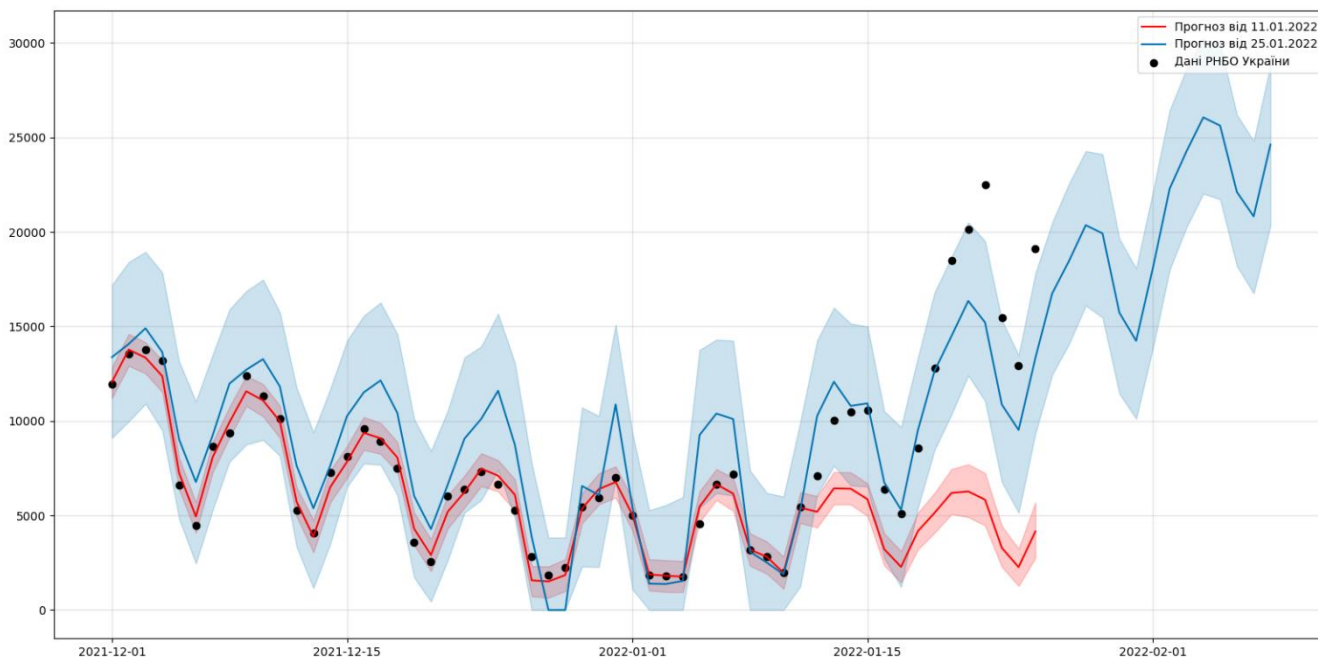


Рис.50. Дані за 8 тижнів щодо кількості нових хворих в Україні (чорні крапки) та 2 тижні прогнозу і попередній прогноз за моделями, побудованими з використанням Facebook Prophet (01.12.2021 р. – 08.02.2022 р.)

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

Дата	Нижня межа довірчого інтервалу, кількість випадків	Прогнозоване значення, кількість випадків	Верхня межа довірчого інтервалу, кількість випадків
26.01.2022	12443	16744	20491
27.01.2022	14072	18460	22548
28.01.2022	16103	20357	24277
29.01.2022	15466	19918	24111
30.01.2022	11451	15732	19640
31.01.2022	10117	14238	18063
01.02.2022	13870	18109	22125
02.02.2022	18010	22297	26443
03.02.2022	20244	24263	28625
04.02.2022	22025	26059	30197
05.02.2022	21730	25622	29917
06.02.2022	18199	22111	26202
07.02.2022	16754	20823	24809
08.02.2022	20331	24620	28829

[Модель для песимістичного сценарію](#) за даними 03.01.2022 р. – 18.01.2022 р. дала прогноз на 26.01.2022 р. – 08.02.2022 р. із сумарною відносною похибкою за тестовими даними 19.01-25.01.2022 р. – 0,98% (рис. 51, 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 08.02.2022 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.

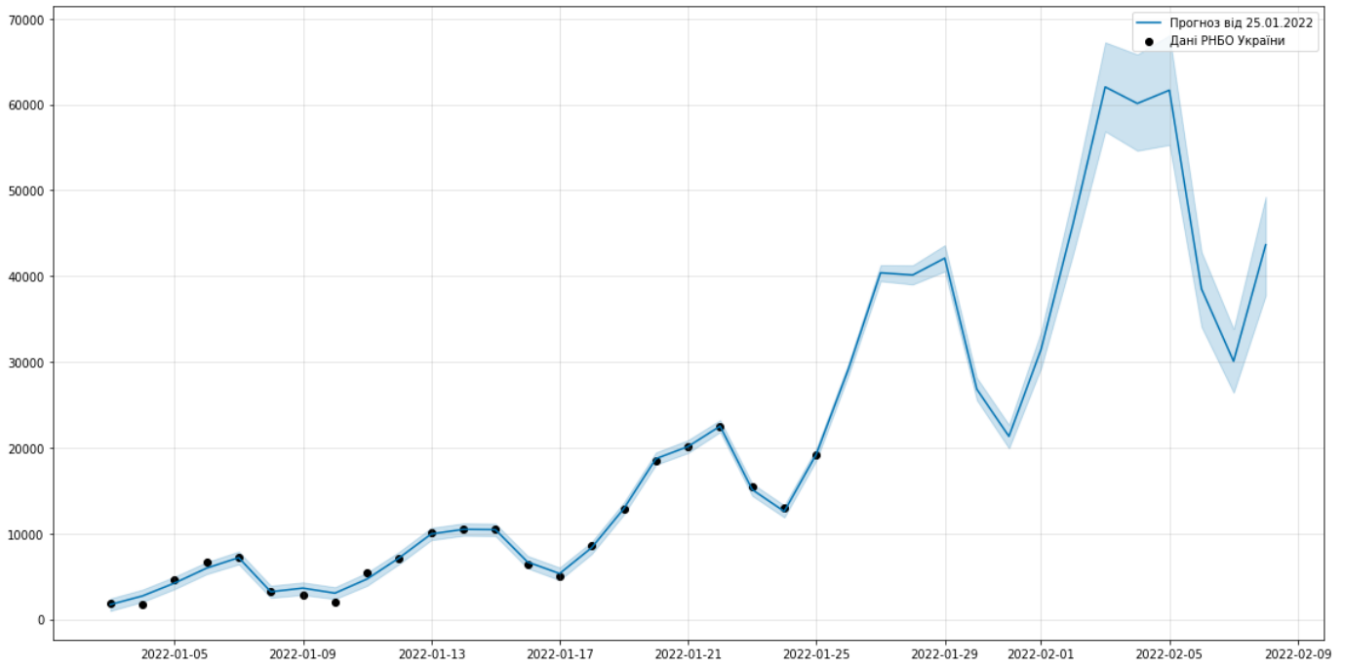


Рис.51. Дані 2022 року щодо кількості нових хворих в Україні (чорні крапки) та 2 тижні прогнозу і попередній прогноз за моделями, побудованими з використанням Facebook Prophet (03.01.2022 р. – 08.02.2022 р.)

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

Дата	Нижня межа довірчого інтервалу, кількість випадків	Прогнозоване значення, кількість випадків	Верхня межа довірчого інтервалу, кількість випадків
26.01.2022	28442	29177	29847
27.01.2022	39422	40387	41284
28.01.2022	39033	40130	41263
29.01.2022	40558	42093	43609
30.01.2022	25546	26811	28138
31.01.2022	19930	21319	22669
01.02.2022	29282	31451	33512
02.02.2022	42574	46134	49551
03.02.2022	56880	62058	67264
04.02.2022	54631	60131	65855
05.02.2022	55306	61677	68081
06.02.2022	34077	38508	42798
07.02.2022	26419	30075	33831
08.02.2022	37761	43651	49248

Як і раніше, були побудовані [моделі](#) для 70 країн світу, у т.ч. України, за усіма доступними даними за 2020-2022 роки і зроблений прогноз на майбутні 7 днів. А потім за ними була побудована [картограма](#) приростів тренду країн Європи, де червоними колами показано збільшення кількості нових хворих, а синіми – зменшення, розмір кола – пропорційний величині цього приросту. Зроблено її порівняння з аналогічними картографіями попередніх звітів.

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

- зроблений у попередньому звіті прогноз виявився надто оптимістичним, що дає підстави стверджувати, що вже 3 січня 2022 року значення демонстрували наявність нової хвилі (можливо «Омікрон-хвилі»), оскільки значення суттєво відрізнялись від прогнозованих. Ці та інші результати, наведені в інших розділах звіту, демонструють високу ймовірність подальшого стрімкого наростання кількості нових хворих в Україні найближчим часом, але модель FB Prophet, описана у цьому розділі, використовує тільки дані про щоденну кількість нових хворих, по яких наявність «плато» чи факту проходження піку цієї хвилі в наступні 2 тижні поки не простежується – має місце тільки стрімке наростання зимової хвилі;
- ймовірніше за все, реальні значення потраплять у діапазон між оптимістичним і песимістичним сценаріями прогнозу щоденної кількості нових хворих в Україні (таблиці 2 і 3);
- аномальність динаміки, яку добре видно по прогнозу, зробленому за моделлю для песимістичного сценарію, побудованою за усім рядом спостережень 2020-2022 рр., та мала кількість значень поточної хвилі, 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 11.01.2022 року

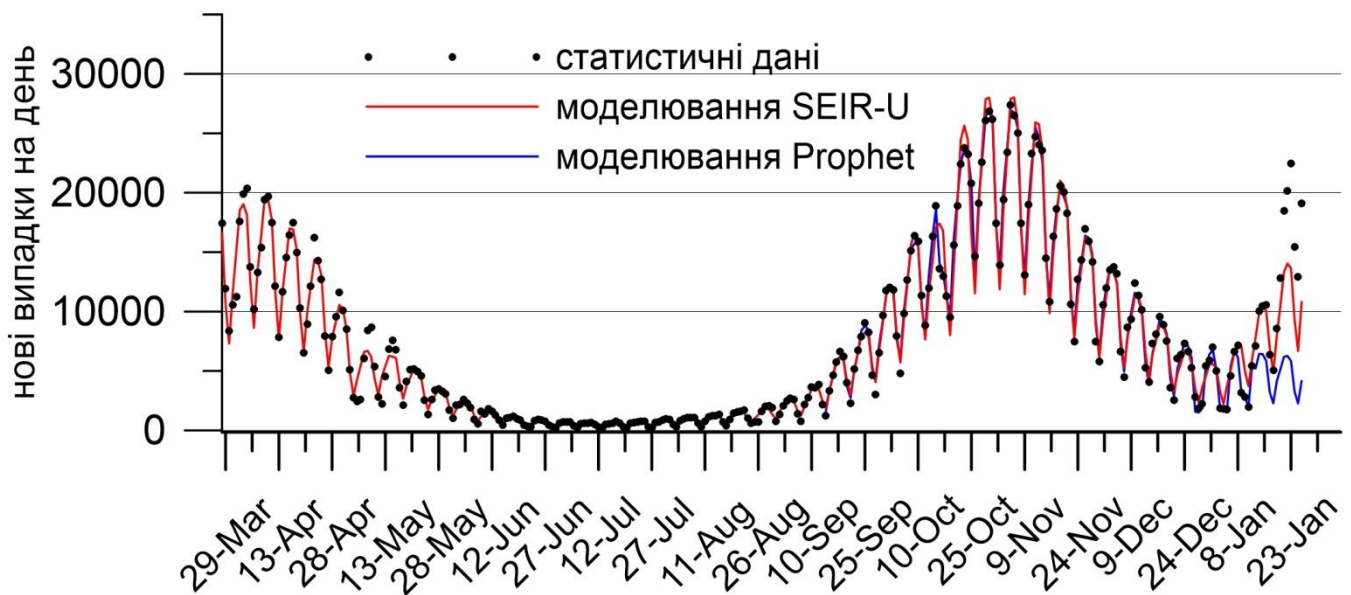


Рис.52. Порівняння прогнозу від 21.12.2021 р. зі статистичними даними

Із рис.52 видно, що кількість нових виявлень загалом добре відповідало на першому тижні прогнозу після чого зростання прискорилося і значно перевищило очікування.

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 прогнозного 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, репродуктивно 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 одного тижня, середній – пік через 2 тижні, песимістичний – пік через три тижні. У кожному сценарії прогнозоване ефективне репродуктивне число змінювалося від поточного значення до одиниці протягом вказаного періоду.

Для України в цілому отримаємо такі прогнозні числові показники:

Репродуктивне число – **1.89** (середнє за останній тиждень, має нейтральну тенденцію, очікується зменшення)

Середня кількість нових інфекцій за день на 01.02.22: [25012-34266] при середньому значенні **29878**.

Середня кількість нових летальних випадків за день на 01.02.22: [112-150] при середньому значенні **132**.

Середня кількість нових інфекцій за день на 08.02.22: [20596-52651] при середньому значенні **39241**.

Середня кількість нових летальних випадків за день на 08.02.22: [103-215] при середньому значенні **155**.

Таблиця 4. Динаміка зміни середньотижневого репродуктивного числа в регіонах України

Область	1.2.21	15.2.21	1.3.21	16.3.21	30.3.21	13.04.21	27.04.21	12.05.21	25.05.21	8.06.21	30.06	13.07	27.07	10.08	31.08	14.09	28.09	12.10	26.10	9.11	23.11	7.12	21.12	11.01	25.01
Вінницька	1.11	1.22	1.41	1.12	0.88	0.83	0.74	0.62	0.87	0.62	0.73	0.95	1.11	1.37	1.08	1.41	1.09	1.24	1.33	1.17	1	0.78	0.81	1.17	1.91
Волинська	0.92	0.95	1.19	1.08	1.13	1.08	0.98	0.67	0.93	0.65	0.75	0.7	0.71	1.12	1.41	1.77	1.38	1.27	1.21	1.01	0.99	0.95	0.82	0.74	2.24
Дніпропетровська	0.79	0.93	1.22	1.33	1.22	1.09	0.93	0.74	0.83	0.59	0.76	0.95	1.01	1.24	1.14	1.34	1.63	1.3	1.27	1.09	0.91	0.62	0.67	1	1.82
Донецька	0.89	0.87	1.12	1.44	1.28	1.12	0.96	0.81	0.77	0.6	0.81	1.08	1.15	1.05	1.27	1.18	1.61	1.37	1.16	1.06	0.93	0.85	0.79	0.81	1.75
Житомирська	1	1.19	1.51	1.23	0.96	0.87	0.73	0.63	0.81	0.72	0.83	0.78	0.88	1.18	1.24	1.56	1.3	1.44	1.27	0.91	0.79	0.97	0.75	1.08	2.19
Закарпатська	1.28	1.39	1.3	0.95	0.89	0.91	0.67	0.63	0.94	0.75	0.56	0.98	1.12	1.13	0.88	1.26	1.46	1.44	1.31	1.13	1.04	0.9	0.89	1	1.85
Закарпатська обл.	0.6	0.71	1.04	1.36	1.14	1.07	1	0.67	0.89	0.76	0.8	0.69	1.2	1.18	1.04	1.42	1.62	1.38	1.21	0.96	0.92	0.76	0.88	0.84	1.54
Івано-Франківська	1.44	1.31	1.13	0.87	0.86	0.67	0.79	0.81	0.97	0.67	0.79	0.74	1.04	1.43	1.23	1.28	1.28	1.23	1.3	1.11	0.82	0.79	0.79	1.22	2.1
Київська	0.8	0.92	1.24	1.28	1.15	0.99	0.85	0.52	1.06	0.78	0.84	0.93	0.7	1.31	1.27	1.3	1.4	1.36	1.3	1.04	0.99	0.9	0.81	1.01	1.61
Кіровоградська	0.75	0.91	1.23	1.11	1.27	1.1	1.1	0.76	0.67	0.65	0.67	1.1	0.9	0.93	1.1	1.05	1.31	1.47	1.27	1	1.2	0.93	0.8	0.95	1.34
Луганська	0.71	0.8	0.95	1.56	1.26	1.12	1.03	0.8	0.7	0.6	0.92	1.06	1.19	1.13	1.24	1.33	1.29	1.28	1.07	0.98	0.72	0.8	0.8	1.28	1.89
Львівська	0.96	0.92	1.35	1.29	1.07	0.94	0.7	0.57	0.87	0.59	0.68	0.92	1.12	1.26	1.39	1.56	1.28	1.26	1.25	0.98	0.77	0.84	0.81	1.09	2.31
Миколаївська	0.74	0.78	1.33	1.35	1.02	1	0.95	0.71	0.93	0.68	0.69	0.78	1.13	0.92	1.17	1.43	1.48	1.29	1.33	1.11	0.94	0.75	0.77	1.01	1.64
м. Київ	0.67	0.91	1.29	1.22	1.11	1.09	0.82	0.63	0.82	1.16	0.94	0.91	1.05	0.92	1.17	1.22	1.1	1.27	1.28	1.04	0.96	0.96	1.02	1.03	1.26
Одеська	0.7	0.79	1.3	1.57	1.13	0.86	0.79	0.6	0.69	0.56	0.9	0.95	1.02	1.11	1.13	1.25	1.27	1.54	1.12	1.02	0.66	0.84	0.68	0.96	1.95
Полтавська	0.63	0.78	1.1	1.43	1.16	1.07	0.92	0.68	0.66	0.48	0.77	0.91	1.05	1.23	1.15	1.23	1.33	1.53	1.38	1.07	0.91	0.85	0.84	0.99	1.4
Рівненська	0.85	0.86	1.13	1.37	1.19	0.98	0.98	0.74	0.88	0.64	0.7	0.87	1.02	1.43	1.37	1.62	1.34	1.3	1.22	1.01	0.82	0.84	0.81	1.09	2.15
Сумська	0.72	0.89	1.25	1.34	1.19	0.98	0.8	0.65	0.84	0.71	0.81	0.74	1.11	1.04	1.06	1.45	1.49	1.56	1.2	0.93	0.7	0.81	0.77	1.25	2.19
Тернопільська	1.06	0.94	1.35	1.17	1.06	0.93	0.74	0.69	0.76	0.69	0.57	0.74	1.16	1.94	1.17	1.67	1.16	1.3	1.19	0.97	0.75	0.91	0.91	1.13	2.26
Харківська	0.87	0.89	1.35	1.37	1.18	1.01	0.81	0.69	0.76	0.56	0.76	0.99	1.23	1.26	1.3	1.35	1.43	1.3	1.06	0.98	0.55	0.81	0.82	1.3	1.72
Херсонська	0.77	0.85	0.98	1.33	1.35	1.19	0.85	0.77	1	0.75	0.75	0.91	1.27	1.66	1.12	1.11	1.36	1.48	1.28	0.68	0.63	0.74	0.84	1.23	1.91
Хмельницька	0.83	0.95	1.31	1.39	1.17	0.93	0.75	0.6	0.7	0.66	0.64	0.83	1.16	1.42	1.13	1.53	1.31	1.33	1.35	1.01	0.82	0.82	0.9	1.09	2.06
Черкаська	0.62	0.99	1	1.46	1.18	1.08	0.89	0.71	0.65	0.61	0.79	0.85	0.97	1.09	1.14	1.69	1.38	1.43	1.23	1.01	0.96	1.01	0.72	0.91	1.44
Чернівецька	1.03	1.22	1.32	1.06	0.91	0.86	0.74	0.61	0.86	0.75	0.49	0.88	1.13	1.53	1.53	1.37	1.33	1.23	1.05	0.9	0.64	0.88	0.98	1.2	2.15
Чернівецька	0.85	0.8	1.1	1.38	1.27	1.03	0.72	0.63	0.73	0.67	0.74	0.78	1.05	1.48	1.34	1.2	1.31	1.45	1.35	1.06	0.81	0.81	0.86	1.07	1.71
Україна	0.83	0.99	1.27	1.22	1.1	0.99	0.85	0.67	0.82	0.73	0.8	0.9	1.07	1.18	1.21	1.37	1.36	1.35	1.15	1.01	0.85	0.84	0.83	1.05	1.89

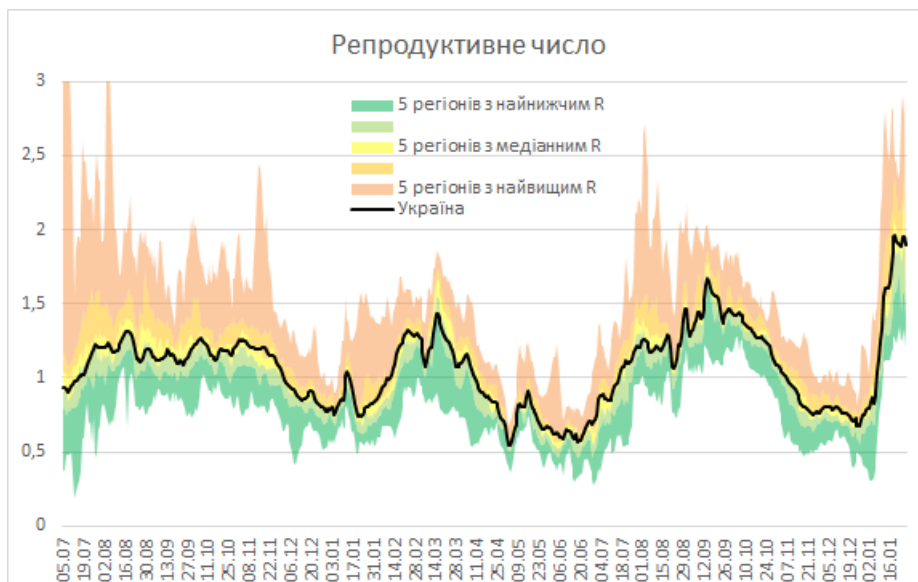


Рис.53. Зміна в часі репродуктивного числа згідно з калібруванням математичної моделі SEIR-U

На рис.53 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 середньотижневе значення склало 1.89 та має нейтральну тенденцію. З огляду на досвід інших країн, очікується поступове зменшення репродуктивного числа.

Таблиця 5. Прогнозні значення кількості нових випадків за результатами обчислень статистичною моделлю Prophet і компартментною моделлю SEIR-U

Дата	Середні прогнозні значення статистичної моделі Prophet	Середні прогнозні значення компартментної моделі SEIR-U та діапазон зміни
27.01.2022	40387	35294 (29142 – 39838)
28.01.2022	40130	39633 (32580 – 44663)
29.01.2022	42093	36124 (30033 – 41508)
30.01.2022	26811	22228 (18130 – 25762)
31.01.2022	21319	16643 (12970 – 21403)
1.02.2022	31451	31209 (22219 – 37269)
2.02.2022	46134	42408 (28065 – 51439)
3.02.2022	62058	52874 (32117 – 66352)
4.02.2022	60131	56519 (28818 – 69907)
5.02.2022	61677	45928 (21889 – 61119)
6.02.2022	38508	26391 (11517 – 37682)
7.02.2022	30075	18441 (7947 – 30332)
8.02.2022	43651	32127 (13820 – 51734)
9.02.2022		

Таблиця 5 демонструє середні прогнозні значення нових виявлень статистичної та компартментної моделей на період до 8-го лютого 2022 року.

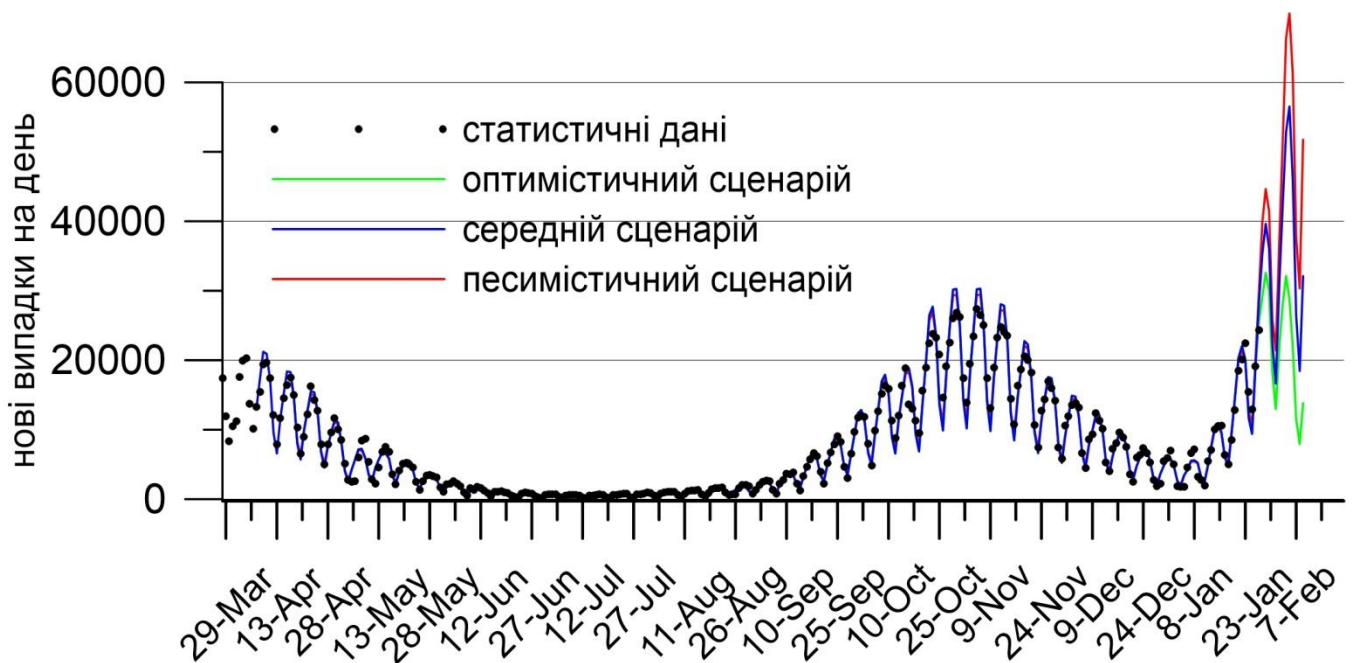


Рис.54. Прогнозні значення кількості нових випадків для України з урахуванням тижневої мінливості. Крапками позначено дані спостережень станом на 26.01.2022 р., лінією – модельні обчислення для періоду калібрування (25.03–26.01.2022 р.) та для прогнозного періоду

ВИСНОВКИ

1. В Україні триває експоненціальна фаза розвитку епідемії. Кількість нових інфекцій приблизно подвоюється кожен тиждень. Вже досягнуто рекорд кількості позитивних ПЛР тестів на добу (майже 36 тисяч), перевищено минулий максимум позитивності тестів, 12 регіонів оновили минулі рекорди нових виявлень. З огляду на досвід інших країн, слід очікувати досягнення пікових значень через 1-3 тижні. В будь-якому випадку протягом наступних днів нас чекає оновлення рекордів захворюваності. Заповненість лікарень зросла до 31%, хоча рівень смертності через COVID-19 поки що продовжує незначне зниження.
2. Середня кількість нових виявлень в Україні збільшилась до **18987** осіб на день, середня кількість летальних випадків становить **125** смертей на день у середньому за останній тиждень. Згідно з прогнозними обчисленнями компартментної моделі, середня кількість нових випадків дорівнюватиме 29878 (25012-34266), протягом тижня 26 січня – 1 лютого 2022 року та 39241 (20596-52651) – протягом тижня 2 – 8 лютого 2022 року. Докладніше прогноз представлено у таблиці 5 і на рис.54. Моделювання за допомогою статистичної моделі FB Prophet представлено в розділі 6. Реальні показники захворюваності будуть сильно залежати від можливостей системи тестування, ознаки перевантаження якої вже спостерігаються.
3. У Києві кількість нових позитивних ПЛР тестів збільшилась вдесятеро в порівнянні із мінімальними значеннями початку місяця (рис. 43). Цього не

видно на динаміці нових виявлень через суттєві затримки оприлюднення результатів тестування. За кількістю тестів Київ вже перевищив максимум минулої хвилі на 50%. Подібні затримки можуть вплинути на вчасність запровадження заходів щодо стримування інфекції.

4. Позитивність ПЛР тестів сягнула 41,4% – максимального значення за весь час пандемії, та продовжує зростати з темпом близько 1,5 відсоткових пункти у день.
5. Попри зниження вакцинного захисту на тлі поширення штаму «омікрон», його рівень проти госпіталізацій складає 75%, а отже вакцини, що використовуються в Україні, зберігають сильний захист проти важкого перебігу хвороби.
6. Частка дітей серед випадків хвороби та випадків госпіталізації досягла найвищих значень за весь час пандемії. Крім того, частка госпіталізованих серед випадків хвороби у віковій категорії 0-9 років перевищила відповідну частку у категорії 60-69 років, що на тлі аналогічних світових даних вказує на зміщення властивостей вірусу.
7. За жовтень та листопад частка жінок серед померлих з усіх причин була близькою до 55% (під час минулих хвиль значення були близькими до 50%). Відповідно, очікувана тривалість життя при народженні знизилась за два місяці у жінок на 0,8 року (до 74,5 років), а у чоловіків на 0,5 року (до 65,2 років). Кумулятивно з 2019 року ОТЖ жінок втратило 2,5 роки, а чоловіків – 1,8 року.
8. Спостережувана летальність показала стрімке зниження на тлі зменшення частки хворих похилого віку. Хоча попередні дані вказують на те, що спостережувана летальність знизилась і у вікових категоріях, для надійніших висновків потрібні додаткові дослідження.