

© 2023 by the author(s).

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## ABSTRACT

DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2023;11\(1\):63-73](https://doi.org/10.21272/eumj.2023;11(1):63-73)

**Nataliia Halushko**

<https://orcid.org/0000-0003-1332-703X>

*Department of Public Health, Sumy State University, Sumy, Ukraine*

**Iryna Kuprienko**

*Department of Public Health, Sumy State University, Sumy, Ukraine*

## INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRESSURE ON THE COVID-19 EPIDEMIC PROCESS

**Introduction.** Identification of the main determinants of temporal changes in the epidemic process of COVID-19 is important for the development of effective strategies for the prevention and control of this infection.

Attempts to determine the relationship between the cyclical changes in atmospheric pressure and the course of the epidemic process of COVID-19 were made by scientists repeatedly, but scientific data on the influence of atmospheric pressure on the epidemic process of COVID-19 are still controversial.

The objective of the research is to investigate the influence of atmospheric pressure on the epidemic process of COVID-19 using the example of Sumy city (Ukraine).

**Materials and methods.** In this research, we used data on the daily number of new cases of COVID-19, which were obtained from the daily reports of the Sumy Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine, as well as the results of daily monitoring of atmospheric pressure indicators of the Sumy Regional Hydrometeorology Center. The period of observation was from 05/1/2020 to 12/1/2022.

The dynamics of changes in meteorological indicators and the daily number of new cases of COVID-19 (hereinafter, the incidence of COVID-19) in Sumy were studied using simple moving averages. The smoothing period for morbidity indicators was equal to 7 days, for atmospheric pressure indicators was 19 days, and the lag between a series of indicators was 7 days. The total number of paired observations of the variables is  $n = 945$ . To find out whether the incidence of COVID-19 (the response variable) varies depending on the level of atmospheric pressure (the independent variable), a non-parametric Kruskal–Wallis’s analysis of variance was used. For this, the numerical series of atmospheric pressure values was converted into a categorical series, and the quartile of the series was used as a grouping feature. A posteriori analysis (post hoc test) was performed using the Mann–Whitney test. The quantitative assessment of the differences between groups in the Mann–Whitney test was evaluated by Cohen’s test.

**Results.** *Kruskal–Wallis’s analysis of variance.* The statistically significant difference in the incidence of COVID-19 was established in

the four comparison groups ( $\chi^2 = 119.462$ , 3 df, p-value = 0.0001). The median of incidence of COVID-19 and the interquartile range in the 1<sup>st</sup> comparison group was 25 (6.4; 85.3) cases, in the 2<sup>nd</sup> group – 10.6 (5.0; 40.6) cases, in the 3<sup>rd</sup> group – 60.4 (14.3; 149.9) cases, in the 4<sup>th</sup> group – 99.1 (13.6; 202.5) cases.

*Mann–Whitney test.* The incidence of COVID-19 is lowest within the 2<sup>nd</sup> quartile of atmospheric pressure (743.63–745.0 mm Hg); an increase in atmospheric pressure to the level of the 3<sup>rd</sup> (745.01–748.11 mm Hg) and 4<sup>th</sup> (748.12–755.1 mm Hg) quartiles, as well as its decrease to the level of the 1st quartile (738.6–743.62 mm Hg), is associated with a statistically significant increase in the number of COVID-19 cases (p-value = 0.0000–0.0012). We estimated the magnitude of the effect as small ( $r = 0.15$ ) in the case of a decrease in atmospheric pressure and medium in the case of an increase in atmospheric pressure.

**Conclusions.** 1. The results of the Kruskal–Wallis’s test showed that the multilevel factor, which is atmospheric pressure (explanatory variable), affects the level of the incidence of COVID-19 (response variable) and, therefore, the activity of its mechanism of transmission ( $\chi^2 = 119.462$ , 3 df, p-value = 0.0001).

2. The dependence of the daily cases of COVID-19 on atmospheric pressure is a non-linear function. This confirms the expediency of using the Kruskal–Wallis’s test in this study, and also indicates the irrationality of using Spearman and Pearson correlation analyses to study the correlation between variables.

3. The incidence of COVID-19 was minimal at average atmospheric pressure values of 743.6–745.0 mm Hg. Any changes in atmospheric pressure that went beyond this interval in one direction or another led to a statistically significant increase in morbidity. We estimate the magnitude of the effect as small in the case of a decrease in atmospheric pressure and medium in the case of an increase in atmospheric pressure.

**Keywords:** incidence of COVID-19, atmospheric pressure, weather, Kruskal–Wallis’s test.

**Corresponding author:** Natalia Halushko, Department of Public Health, Sumy State University, Sumy, Ukraine  
e-mail: [galnatmed@gmail.com](mailto:galnatmed@gmail.com)

## РЕЗЮМЕ

Наталія Галушко

<https://orcid.org/0000-0003-1332-703X>

Кафедра громадського здоров'я,  
Сумський державний університет,  
Суми, Україна

Ірина Купрієнко

Кафедра громадського здоров'я,  
Сумський державний університет,  
Суми, Україна

## ВПЛИВ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ НА ЕПІДЕМІЧНИЙ ПРОЦЕС COVID-19

**Вступ.** Виявлення основних детермінантів тимчасових змін епідемічного процесу COVID-19 має важливе значення для розробки ефективних стратегій профілактики та боротьби з цією інфекцією.

Спроби визначити взаємозв'язок між циклічністю змін атмосферного тиску та ходу епідемічного процесу COVID-19 робилися вченими неодноразово, проте наукові дані про вплив атмосферного тиску на епідемічний процес COVID-19 залишаються суперечливими.

Мета — дослідити вплив атмосферного тиску на епідемічний процес COVID-19 на прикладі м. Суми (Україна).

**Матеріали та методи.** В дослідженні використані дані про добову кількість нових випадків захворювань на COVID-19, що

були отримані із щоденних звітів Сумського обласного центру контролю та профілактики хвороб МОЗ України, а також результати щоденного моніторингу показників атмосферного тиску Сумського обласного центру гідрометеорології. Період спостереження — з 1.05.2020 р. по 1.12.2022 р.

Динаміку змін метеорологічних показників і щоденного числа нових захворювань на COVID-19 (далі захворюваність на COVID-19) у м. Суми вивчали за простими ковзними середніми. Період згладжування показників захворюваності дорівнював 7 діб, показників атмосферного тиску — 19 діб, лаг між рядами показників становив 7 діб. Загальна кількість попарних спостережень змінних  $n = 945$ . Проводили пошук залежності між величиною атмосферного тиску (незалежна змінна) і захворюваністю на COVID-19 (змінна відгуку). Використовували непараметричний дисперсійний аналіз Краскела–Уолліса. Для цього числовий ряд значень атмосферного тиску перетворювали в категоріальний ряд, у якості групуючої ознаки використовували квартиль ряду. Апостеріорний аналіз (post hoc test) проводили за допомогою тесту Манна–Уїтні. Кількісну оцінку розміру відмінностей між групами у тесті Манна–Уїтні оцінювали за критерієм Коена ( $r$ ).

**Результати.** *Дисперсійний аналіз Краскела–Уолліса.* Встановлена статистично значуща різниця захворюваності на COVID-19 у чотирьох групах порівняння ( $\chi^2 = 119,462$ , 3 df,  $p$ -value = 0,0001). Медіана захворюваності на COVID-19 та міжквартильний інтервал у 1-й групі порівняння становили 25 (6,4; 85,3) випадків, у 2-й групі – 10,6 (5,0; 40,6) випадків, у 3-й групі – 60,4 (14,3; 149,9) випадків, у 4-й групі – 99,1 (13,6; 202,5) випадків

*Тест Манна–Уїтні.* Захворюваність на COVID-19 найменша у межах значень 2-го квартилю атмосферного тиску (743,63–745,0 мм рт.ст.); збільшення атмосферного тиску до рівнів 3-го (745,01–748,1 мм рт.ст.) і 4-го квартилів (748,12–755,1 мм рт.ст.), а також його зменшення до рівня 1-го квартилю (738,6–743,62 мм рт.ст.) асоціюється зі статистично значущим зростанням числа захворювань на COVID-19 ( $p$ -value = 0,0000–0,0012). Величина ефекту оцінена нами як мала ( $r = 0,15$ ) у випадку зниження атмосферного тиску та середня — у випадку зростання атмосферного тиску.

**Висновки.** 1. Результати тесту Краскела–Уолліса показали, що багаторівневий фактор, яким є атмосферний тиск (пояснююча змінна), впливає на рівні захворюваності на COVID-19 (змінну відгуку), а, значить, й на активність механізму передачі збудника цієї інфекції ( $\chi^2 = 119,462$ , 3 df,  $p$ -value = 0,0001).

2. Залежність добової кількості захворювань на COVID-19 від величини атмосферного є нелінійною функцією. Це підтверджує доцільність використання в даному дослідженні тесту Краскела–Уолліса, а також свідчить про нераціональність застосування кореляційних аналізів Спірмена і Пірсона для вивчення взаємозв'язку між цими змінними.

3. Захворюваність на COVID-19 була мінімальною при середніх значеннях атмосферного тиску 743,6–745,0 мм рт.ст. Будь-які зміни атмосферного тиску, що виходили за межі цього інтервалу в той чи інший бік, призводили до статистично

значущого підвищення показників захворюваності. Величина ефекту оцінена нами як мала у випадку зниження атмосферного тиску та середня — у випадку його зростання атмосферного тиску.

**Ключові слова:** захворюваність на COVID-19, атмосферний тиск, погода, дисперсійний аналіз Краскела–Уолліса.

**Автор, відповідальний за листування:** Наталія Галушко, кафедра громадського здоров'я, Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
e-mail: [galnatmed@gmail.com](mailto:galnatmed@gmail.com)

**How to cite / Як цитувати статтю:** Halushko N, Kuprienko I. [Influence of atmospheric pressure on the COVID-19 epidemic process]. *EUMJ*. 2023;11(1):63-73  
DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2023;11\(1\):63-73](https://doi.org/10.21272/eumj.2023;11(1):63-73)

## INTRODUCTION / ВСТУП

Потенційний вплив природних і соціальних чинників на епідемічний процес COVID-19 широко обговорюється в академічних колах. Вважається, що виявлення основних детермінантів тимчасових змін епідемічного процесу COVID-19 у довгостроковій перспективі матиме важливе значення для подальшого планування та прогнозування громадського здоров'я, розробки ефективних стратегій профілактики та боротьби з цією інфекцією [1].

Періодичність — характерна епідеміологічна особливість багатьох інфекційних хвороб. Епідемічний процес з часом змінюється як кількісно, так і якісно. Ці зміни полягають у тому, що від рівня спорадичної захворюваності він може переходити в епідемію і піддаватися зворотному розвитку, а також зазнавати якісних змін — викликати епідемію того чи іншого характеру, вражати ті чи інші контингенти населення та ін. Такого роду лабільність епідемічного процесу обумовлена природними та соціальними чинниками.

Науково обґрунтоване пояснення періодичності епідемічного процесу повітряно-краплинних інфекцій прийнято давати з погляду сезонних змін поведінки людей [2]. Маючи власну періодичність (сезонність), метеорологічні чинники є основним регулятором цих змін. Температура, вологість, швидкість руху атмосферного повітря, впливаючи на тепловідчуття, призводять у холодну пору року до більш тривалого перебування людей в закритих приміщеннях. Це посилює скупченість населення у громадських приміщеннях і, як наслідок, активує повітряно-крапельний механізм передачі інфекції. Останнім часом спосіб життя людей був значною мірою модифікований промисловою революцією і це призвело до певного нівелювання ефектів цих

погодних чинників: збільшення кількості приватних автомобілів, зростання популярності інтернет-магазинів, сервісу доставки продуктів харчування, спілкування у соціальних мережах, дистанційне навчання в освітніх установах тощо дещо знизили скупчення населення у громадських місцях, а широке використання систем контролю мікроклімату в приміщеннях призвело до вічних літніх умов існування. Атмосферний тиск є єдиним метеорологічним чинником, що не приймає участь у терморегуляції людини і створенні її теплочуттів, і тому здається непов'язаним із сезонними особливостями поведінки людини. На відміну від температури і вологості, атмосферний тиск не піддається контролю у побуті. Крім того, вплив його на організм не залежить від перебування людини у приміщенні чи зовні. Це пов'язано з тим, що повітря в закритому (не герметичному) приміщенні досить вільно вирівнює свій тиск із зовнішнім повітрям через пори та щілини у стінах, через вікна, двері тощо. Різниця між атмосферним тиском у приміщенні і під відкритим небом (на тому ж рівні), як правило, суттєво не відрізняється — повітря у середині приміщенні стиснене тією ж мірою, що й повітря на тому ж рівні зовні. Тому, наприклад, на метеорологічних станціях немає потреби поміщати барометри під відкритим небом — їх встановлюють усередині приміщення.

Прагнення знайти загальні закономірності циклічних процесів атмосферного тиску та епідемічного процесу і відповісти на питання, чи впливає цей фактор на епідемічний процес, є цілком природним. Спроби визначити взаємозв'язок між атмосферним тиском та захворюваністю на COVID-19 робилися вченими неодноразово. Майже всі вони були засновані на використанні методів кореляції Пірсона та Спірмена.

Були знайдені як позитивні, так й негативні кореляційні залежності, а їх кількість відрізнялась на різних континентах [3]. Отже, наукові дані про вплив атмосферного тиску на епідемічний процес COVID-19 залишаються суперечливими. Саме це й визначило актуальність і мету нашого дослідження.

Мета — дослідити вплив атмосферного тиску на епідемічний процес COVID-19 на прикладі м. Суми.

**Матеріали і методи.** Для аналізу епідситуації щодо COVID-19 були використані дані про добову кількість нових випадків захворювань на COVID-19 із щоденних звітів ДУ "Сумський обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України" [4] за період з 1.05. 2020 р. по 1.12.2022 р., а для аналізу метеорологічних умов у м. Суми — результати щоденного моніторингу показників атмосферного тиску Сумського обласного центру з гідрометеорології за аналогічний період.

Розраховували середньодобові показники атмосферного тиску за даними тригодинного інтервалу вимірювань. Для опису мінливості показників у варіаційних рядах розраховували медіану ряду та значення першого і третього квантилів ( $M(q1; q3)$ ).

Динаміку змін метеорологічних показників і захворюваності на COVID-19 вивчали за простими ковзними середніми, що було продиктовано, по-перше, необхідністю позбутися короткострокових коливань захворюваності, що виникали внаслідок затримки діагностики та корегування у звітних документах числа захворювань зі знаком «мінус», по-друге, потребою прив'язки ймовірного періоду зараження COVID-19 до погодних умов, в яких це зараження відбувалося. Процедура визначення простих ковзних середніх проводили так, як показано на рисунку 1. Період згладжування показників захворюваності дорівнював 7 діб. Період згладжування показників атмосферного тиску обирали рівним 19 діб (це найбільше значення середнього інкубаційного періоду для коронавірусної інфекції, що встановлено дослідниками [5]). Таким чином, лаг між згладженими показниками захворюваності на COVID-19 і атмосферного тиску становив 7 діб. Метод дослідження обирали з врахуванням характеру розподілу змінних (нормальний або відрізняється від нормального) і форми їх залежності (лінійна або нелінійна). Нормальність розподілу варіант у досліджуваній сукупності перевіряли за допомогою тесту Шапіро–Вілка зі

статистикою  $W$ . Лінійність характеру залежності змінних перевіряли за допомогою точкової діаграми та побудови двох ліній апроксимації — лінійної регресії та локально зваженого згладжування, потім візуально оцінювали їх відхилення. Лінійність характеру залежності змінних також перевіряли шляхом побудови регресійної моделі з наступною перевіркою нормальності розподілу її залишків і тесту Бройша–Пагана–Кука–Вейсберга на гомоскедастичність зі статистикою  $\chi^2$ . У випадку нормального розподілу залишків моделі та її гомоскедастичності залежність двох змінних вважали лінійною, в іншому випадку робили висновки про їх нелінійний характер залежності.

	A	B	C	D	E	F
1		d	p	ma_d	ma_p	
2	01.05.2020	1	740			
3	02.05.2020	2	740,17			
4	03.05.2020	5	740			
5	04.05.2020	2	740			
6	05.05.2020	0	738,83			
7	06.05.2020	18	735,5			
8	07.05.2020	1	737,5			
9	08.05.2020	16	740,5			
10	09.05.2020	5	742,16			
11	10.05.2020	2	741,17			
12	11.05.2020	0	741			
13	12.05.2020	3	735,57			
14	13.05.2020	0	746,17			
15	14.05.2020	1	743			
16	15.05.2020	0	744,17			
17	16.05.2020	3	745,83			
18	17.05.2020	1	762			
19	18.05.2020	1	744			
20	19.05.2020	1	746			
21	20.05.2020	0	740,17			
22	21.05.2020	1	743			
23	22.05.2020	0	743,5			
24	23.05.2020	0	746,3			
25	24.05.2020	0	748,17			
26	25.05.2020	0	750			
27	26.05.2020	0	750,83	0,14286	742,293	

Рисунок 1 – Схема визначення простих ковзних середніх ( $ma_d$ ,  $ma_p$ ) для показників захворюваності на COVID-19 ( $d$ ) та атмосферного тиску ( $p$ ); кольоровими маркерами показані відповідні періоди згладжування рядів змінних

Для з'ясування, чи змінюється захворюваність на COVID-19 (змінна відгуку) в залежності від величини атмосферного тиску (незалежна змінна) використовували непараметричний дисперсійний аналіз Краскела–Уолліса Для цього числовий ряд значень атмосферного тиску перетворювали в категоріальний ряд. У якості групуючої ознаки використовували квантиль

статистичного ряду. Характеристика змінних, що досліджувалися, надана у таблиці 1.

Перевіряли нульову гіпотезу тесту Краскела–Уолліса  $H_0$ : групи мають однаковий розподіл

величин захворюваності. Кількісну оцінку відмінностей у розподілі величин проводили за допомогою критерію  $\chi^2$  на рівні значущості  $\alpha = 0,05$ . Якщо розрахований рівень значущості  $p$ -value

Таблиця 1 – Характеристика груп показників атмосферного тиску

Група (квартиль) атмосферного тиску	Атмосферний тиск, мм рт.ст.	Захворюваність на COVID-19 у групі атмосферного тиску		
		М (q1; q3)	Min	Max
1	738,6–743,62	25 (6,4; 85,3)	0	692,6
2	743,63–745,0	10,6 (5,0; 40,6)	0	383,0
3	745,01–748,11	60,4 (14,3; 149,9)	0,7	310,0
4	748,12–755,1	99,1 (13,6; 202,5)	2,4	427,1

менше критичного значення  $\alpha$ , гіпотезу  $H_0$  відхиляли на користь альтернативної гіпотези  $H_1$ : групи мають різний розподіл величин залежної змінної. Тест Краскела–Уолліса не визначає, у яких саме групах відбувається стохастичне домінування, тому для того щоб дізнатися цього проводили апостеріорний аналіз (post hoc test) із застосуванням тесту Манна–Уїтні,  $z$ -показник тесту оцінювали за новим критичним рівнем значущості  $\alpha' = 0,0085$ , який розраховували з використанням поправки Бонферроні:  $\alpha' = 1 - 0,95^{1/m}$ , де  $m$  – кількість порівнянь. Перевіряли нульову гіпотезу тесту  $H_0$ : розподіл ознаки у першій групі відповідає розподілу ознаки у другій групі. Якщо емпіричний критерій значущості  $p$ -value перевищував критичний рівень значущості  $\alpha'$ , приймали  $H_0$ , в іншому випадку  $H_0$  відхиляли на користь альтернативної гіпотези  $H_1$ : розподіл ознак у вибірках (групах) статистично відрізняється. Кількісну оцінку розміру відмінностей між групами у тесті Манна–Уїтні оцінювали за критерієм Коена ( $r$ ):  $r = z/\sqrt{N}$ , де  $z$  – показник тесту Манна–Уїтні,  $N$  – загальна сума спостережень в групах, що порівнювались. Інтерпретацію результату проводили наступним чином: 0,1–0,3 – малий ефект, 0,3–0,5 – середній, більше 0,5 – великий.

Статистичну обробку даних і наглядну презентацію результатів дослідження проводили з використанням програмного пакету Stata (Version 14.0).

**Результати та обговорення.** Місто Суми (Україна) розташовано в межах поясу низького атмосферного тиску земної кулі. Середньорічні показники атмосферного тиску у місті знаходяться на рівні 744–745 мм рт.ст., його

мінімальні значення опускаються до рівня 726–727 мм рт.ст., а річні максимуми досягають 762–770 мм рт.ст. Динаміка атмосферного тиску у місті Суми має певну річну циклічність із загальною тенденцією до зниження у січні та у період з квітня по серпень і підвищення у лютому, березні, вересні, жовтні, листопаді (рис. 2).

Перший випадок захворювання на COVID-19 в м. Суми був зареєстрований 30.03.2020 р. До липня 2020 р. захворюваність на COVID-19 мала спорадичний характер, її рівень не перевищував 7–9 випадків на добу. Подальший хід епідемічного процесу COVID-19 у м. Суми був хвилеподібним (рис. 3). Перший виражений епідемічний підйом захворюваності на коронавірусну інфекцію почався в серпні 2020 р. і тривав до січня 2021 р. Друга хвиля захворюваності на COVID-19 почалась майже одразу після згасання першої хвилі і тривала з лютого по травень 2021 р. Третя хвиля мала місце у вересні–грудні 2021 р. Весь цей період (з 21.05.2020 р по 23.12.2021 р.) характеризувався очевидною синхронністю коливань показників атмосферного тиску та захворюваності на COVID-19. Четверта хвиля захворюваності на COVID-19 почалась одразу після згасання третьої хвилі, вона тривала з кінця грудня 2021 р. до початку лютого 2022 р. і мала певні особливості — на відміну від попередніх хвиль, вона була найкоротшою, майже весь час проходила на фоні дуже низького атмосферного тиску, що не перевищував 742 мм рт.ст., і, крім того, мала стрімкий підйом захворюваності, що могло бути результатом деякого скорочення інкубаційного періоду і більш дієвої передачі збудника. Четверта хвиля COVID-19 збіглася з появою у циркуляції нового варіанту SARS-CoV-2 B.1.1.529 (Omicron).

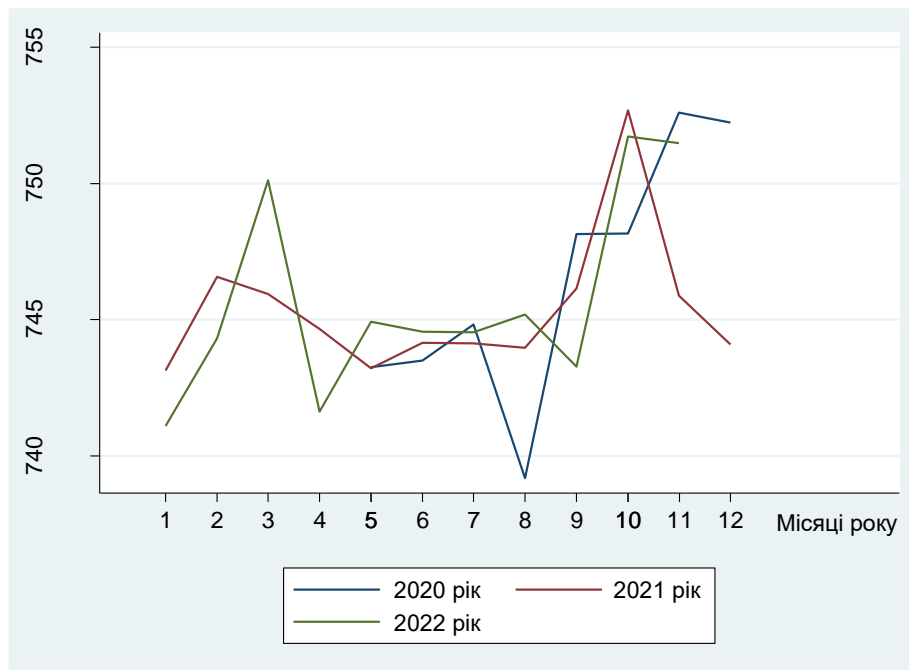


Рисунок 2 – Річна динаміка атмосферного тиску в Сумській області у 2020–2022 рр.

П'ята епідемічна хвиля припала на серпень–вересень 2022 р., вона була найменш високою. У період з 24.12.2021 по 1.12.2022 р., протягом якого спостерігались останні дві хвилі COVID-19, помітно зникнення характерної для попереднього періоду синфазності коливань атмосферного тиску і захворюваності на COVID-19.

Поява асинхронності між коливанням змінних у період з 24.12.2021 по 1.12.2022 р. спостерігалось на фоні більш низького атмосферного тиску, що підтверджено у тесті Манна–Уїтні з двома рядами показників атмосферного тиску, що відносилися до вищевказаних періодів ( $z = 2,545$ ,  $p\text{-value} = 0,0109$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

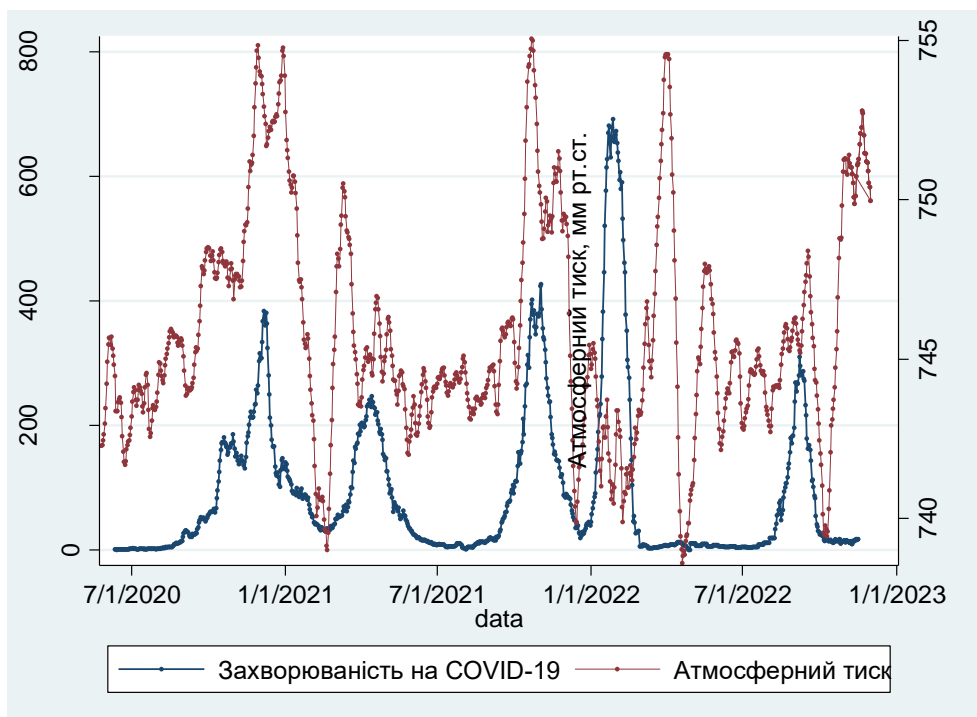


Рисунок 3 – Динаміка захворюваності на COVID-19 і атмосферного тиску у м. Суми (прості ковзні середні, розраховані за період з 21.05.2020 р. по 1.12.2022 р.)

Візуальний аналіз діаграми розсіювання встановив наявність нелінійного зв'язку між захворюваністю на COVID-19 і величиною атмосферного тиску (рис. 4), що було підтверджено у тесті Шапіро–Вілкі для залишків регресійної моделі ( $W = 0,70889$ ,  $p\text{-value} = 0,0000$ ,  $n = 945$ ) і у тесті Бреуша–Пагана/Кука–Вейсберга на гетероскедастичність ( $\chi^2 = 68,91$ ,  $p\text{-value} = 0,0000$ ). Нелінійний характер зв'язку між атмосферним тиском та

захворюваністю на COVID-19 робить не доцільним використання кореляційних аналізів Спірмена і Пірсона для вивчення асоціацій між цими змінними. Уявляється, саме використання методів визначення лінійного зв'язку для дослідження нелінійної залежності між змінними є причиною появи наукових публікацій, що містять суперечливі висновки щодо асоціації між атмосферним тиском та захворюваністю на COVID-19.

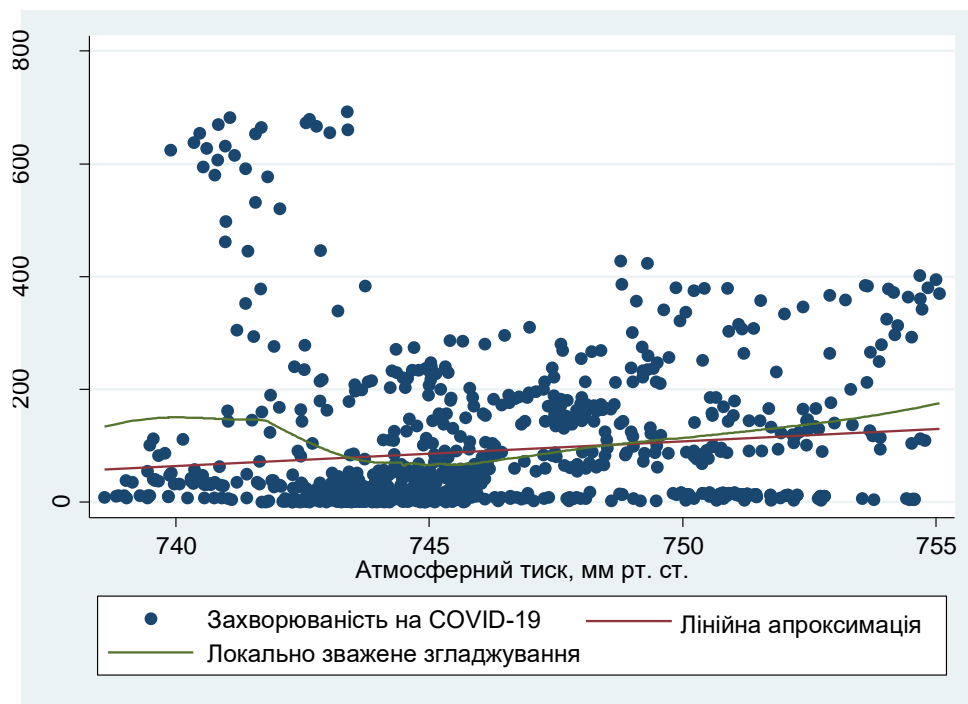


Рисунок 4 – Діаграма розсіювання змінних атмосферного тиску захворюваності на COVID-19

Так, країни Європи повідомляли про позитивні статистично значущі асоціації між атмосферним тиском та числом захворювань на COVID-19, а країни Північної Америки і Бангладеш — про негативні статистично значущі зв'язки між цими змінними [3].

У дисперсійному аналізі Краскела–Уолліса встановлена статистично значуща різниця захворюваності на COVID-19 у групах порівняння ( $\chi^2 = 119,462$ , 3 df,  $p\text{-value} = 0,0001$ ), що були сформовані на основі квантилів статистичного ряду значень атмосферного тиску. Деталі аналізу представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати дисперсійного аналізу Краскела–Уолліса в різних групах (квантилях) показників атмосферного тиску

Група	Діапазон значень атмосферного тиску, мм рт.ст.	Кількість спостережень	$\chi^2$ (ступені вільності, df)	p-value
1	738,6–743,62	237	119,462 (3df)	0,0001
2	743,63–745,0	236		
3	745,01–748,1	236		
4	748,11–755,1	236		



Результати апостеріорного аналізу, що проводили з використанням тесту Манна–Уїтні з наступною оцінкою розміру відмінностей між групами за критерієм Коена, показали наступне:

– захворюваність на COVID-19 у 1-у квартилі атмосферного тиску систематично більше, ніж у 2-у квартилі ( $z = 3,23$ ,  $p\text{-value} = 0,0012$ ), малий розмір ефекту ( $r = 0,15$ );

– захворюваність на COVID-19 у 3-у квартилі атмосферного тиску систематично більше, ніж у 2-у квартилі ( $z = 8,204$ ,  $p\text{-value} = 0,0000$ ), середній розмір ефекту ( $r = 0,38$ );

– захворюваність на COVID-19 у 4-у квартилі атмосферного тиску систематично більше, ніж у 3-у квартилі ( $z = 3,320$ ,  $p\text{-value} = 0,0005$ ), малий розмір ефекту ( $r = 0,15$ );

– захворюваність на COVID-19 у 4-у квартилі атмосферного тиску систематично більше, ніж у 2-у квартилі ( $z = 10,210$ ,  $p\text{-value} = 0,0000$ ), середній розмір ефекту ( $r = 0,47$ );

– захворюваність на COVID-19 у 3-у квартилі атмосферного тиску систематично більше, ніж у 1-у квартилі ( $z = 4,134$ ,  $p\text{-value} = 0,0000$ ), малий розмір ефекту ( $r = 0,19$ );

– захворюваність на COVID-19 у 4-у квартилі атмосферного тиску систематично більше, ніж у 1-у квартилі ( $z = 5,547$ ,  $p\text{-value} = 0,0000$ ), малий розмір ефекту ( $r = 0,26$ ).

Отже, захворюваність на COVID-19 є мінімальною при середніх значеннях атмосферного тиску 743,6–745,0 мм рт.ст. Тривалість періоду з таким атмосферним тиском протягом всього терміну спостереження становила 267 діб. Зменшення атмосферного тиску асоціювалося у нашому дослідженні зі статистично значущим зростанням захворюваності на COVID-19 ( $p\text{-value} = 0,0012$ ). Ефект зростання захворюваності від зниження атмосферного тиску є малим ( $r = 0,15$ ). Збільшення атмосферного тиску до рівнів вищих, ніж 745 мм рт.ст., призводило також до зростання захворюваності на COVID-19 ( $p\text{-value} = 0,0000$ ), але зі середнім розміром ефекту ( $r = 0,38$  та  $0,47$ ).

Відмінності у захворюваності на COVID-19, що належить різним групам/квартилям атмосферного тиску, графічно представлені на рисунку 5.

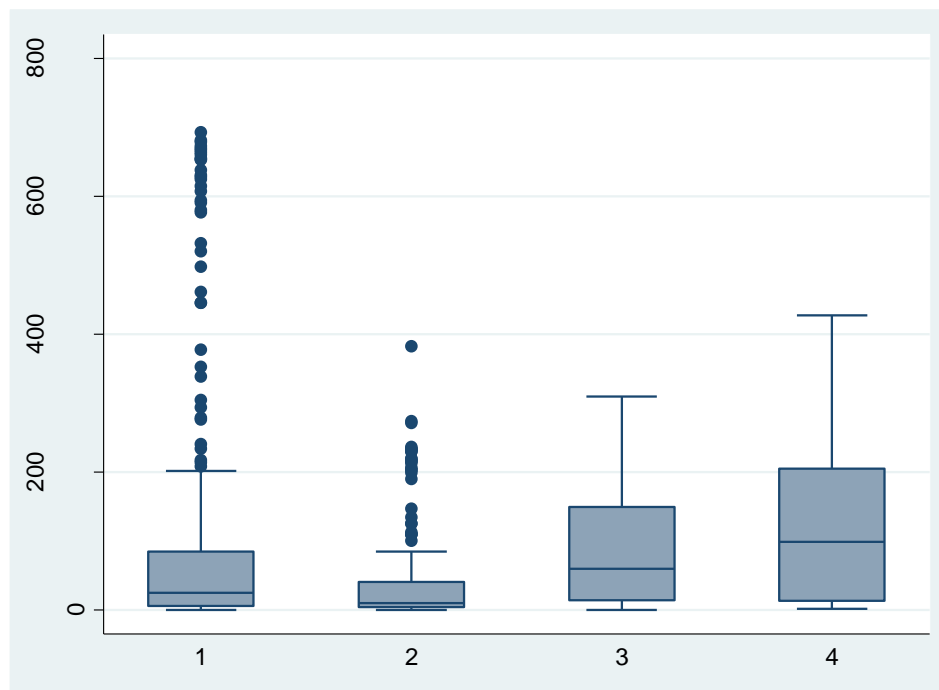


Рисунок 5 – Характеристика захворюваності на COVID-19 в залежності від групи (квартилю) атмосферного тиску

З врахуванням отриманих нами результатів непараметричного дисперсійного аналізу Краскела–Уолліса і тесту Манна–Уїтні роль атмосферного тиску як чинника, що визначає активність

механізму передачі COVID-19, не викликає сумнівів, проте механізм такого впливу не зрозумілий. В контексті нашого дослідження привертають на себе увагу результати двох наукових

робіт, автори яких спостерігали експресію генів рецепторів АПФ2 (ангіотензинперетворюючий фермент 2) у хворих, що знаходились на штучній вентиляції легень. Це викликано наступним: по-перше, вірус SARS-CoV-2 використовує рецептор АПФ2 для проникнення в клітини респіраторного тракту, по-друге, на відміну від природного дихання, при штучній вентиляції легень градієнт тиску, що необхідний для створення потоку повітря в респіраторних шляхах, виникає завдяки підвищеному (позитивному) тиску від штучного джерела повітря. У першому дослідженні [6] спостерігали збільшення експресії гена АПФ2 у пацієнтів, що перебувають на ШВЛ, в порівнянні з хворими, яким не була показана ШВЛ. В іншому дослідженні було вивчено 480 транскриптомів тканин легень пацієнтів, що знаходились на ШВЛ, та виявлено, що механічна вентиляція донорських тканин збільшувала експресію АПФ2 більш ніж удвічі [7]. З врахуванням результатів цих досліджень, можна припустити, що

саме зростання експресії гена рецепторів АПФ2 під впливом підвищеного тиску повітря лежить в основі механізму регулюючого впливу атмосферного тиску на епідемічний процес коронавірусної інфекції у період до 23.12.2021 р.

Активізацію епідемічного процесу COVID-19 після 23.12.2021 р., у період циркуляції варіанту SARS-CoV-2 B.1.1.529 (Omicron), що спостерігалася на фоні низького атмосферного тиску, можна пояснити зміною біологічних властивостей вірусу, а саме зростанням афінності вірусу до рецепторів АПФ2 [8, 9]. Підвищена сила взаємодії вірусу з рецепторами, очевидно, робить зараження варіантом SARS-CoV-2 B.1.1.529 (Omicron) більш ефективним, без необхідності збільшення для цього кількості рецепторів АПФ2. Можливо, внаслідок цього активність епідемічного процесу COVID-19, викликаного SARS-CoV-2 B.1.1.529 (Omicron), можна було спостерігати навіть при низьких показниках атмосферного тиску.

## CONCLUSIONS / ВИСНОВКИ

1. Результати тесту Красскела–Уолліса показали, що багаторівневий фактор, яким є атмосферний тиск (пояснююча змінна), впливає на рівні захворюваності на COVID-19 (змінна відгуку), а, значить, й на активність механізму передачі збудника цієї інфекції ( $\chi^2 = 119,462$ , 3 df, p-value = 0,0001).

2. Залежність добової кількості захворювань на COVID-19 від величини атмосферного є нелінійною функцією. Це підтверджує доцільність використання в даному дослідженні тесту Красскела–Уолліса, а також свідчить про

нераціональність застосування кореляційних аналізів Спірмена і Пірсона для вивчення взаємозв'язку між цими змінними.

3. Захворюваність на COVID-19 була мінімальною при середніх значеннях атмосферного тиску 743,6–745,0 мм рт.ст. Зміни атмосферного тиску, що виходили за межі цього інтервалу у той чи інший бік, призводили до статистично значущого підвищення показників захворюваності на COVID-19. Величина ефекту від зниження атмосферного тиску оцінена нами як мала, а ефекту від підвищення атмосферного тиску — як середня.

## PROSPECTS FOR FUTURE RESEARCH / ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У подальших дослідженнях доцільно проаналізувати роль інших природних та соціальних чинників в епідеміології COVID-19.

## CONFLICT OF INTEREST / КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

## FUNDING / ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Відсутні.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS / ВКЛАД АВТОРІВ

Усі автори зробили істотний внесок у розробку початкової та доопрацьованої версій цієї статті. Вони несуть повну відповідальність за всі аспекти роботи і вирішення питань, пов'язаних з точністю або цілісністю наведеної інформації.

## REFERENCES/СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Cohen J. Sick time. *Science*. 2020;367:1294–1297
- Hromashevskiy LV. *Mekhanizmy peredachi infektsii*. [Mechanisms of transmission of infection]. Kyiv: Hosudarstvennoe medytsynskoe yzdatelstvo USSR Publ.,1958. 331 p.
- Tan L, Schultz DM. How Is COVID-19 Affected by Weather? Metaregression of 158 Studies and Recommendations for Best Practices in Future Research, Weather. *Climate, and Society*. 2022;14(1) 237–255.  
doi: <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-21-0132.1>
- Ofitsiyni sait derzhavnoi ustanovy «Sumskiy oblasnyi tsentr kontroliu ta profilaktyky khvorob MOZ Ukrainy»* [Official website of the state institution "Sumy Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine"]. Режим доступу: <http://ses.sumy.ua/>
- Wu Y, Kang L, Guo Z, Liu J, Liu M, Liang W. Incubation Period of COVID-19 Caused by Unique SARS-CoV-2 Strains: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2022;5(8):e2228008.  
doi:10.1001/jamanetworkopen.2022.28008
- Baker SA, Kwok S, Berry GJ, Montine TJ. Angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) expression increases with age in patients requiring mechanical ventilation *PLOS ONE*. 2021;16(2):e0247060.  
doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247060>
- Huang S, Kaipainen A, Strasser M, Baranzini S. Mechanical Ventilation Stimulates Expression of the SARS-Cov-2 Receptor ACE2 in the Lung and May Trigger a Vicious Cycle. *Preprints* 2020; 2020050429.  
doi: [10.20944/preprints202005.0429.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202005.0429.v1)
- Li L, Liao H, Meng Y, Li W, Han P, Liu K, Wang Q, Li D, Zhang Y, Wang L, Fan Z, Zhang Y, Wang Q, Zhao X, Sun Y, Huang N, Qi J, Gao GF. Structural basis of human ACE2 higher binding affinity to currently circulating Omicron SARS-CoV-2 sub-variants BA.2 and BA.1.1. *Cell*. 2022;185(16):2952-2960.e10.  
doi: [10.1016/j.cell.2022.06.023](https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.06.023)
- Kumar R, Murugan NA, Srivastava V. Improved Binding Affinity of Omicron's Spike Protein for the Human Angiotensin-Converting Enzyme 2 Receptor Is the Key behind Its Increased Virulence. *Int J Mol Sci*. 2022;23(6):3409. doi: [10.3390/ijms23063409](https://doi.org/10.3390/ijms23063409). PMID: 35328828; PMCID: PMC8955673

Received 15.02.2023

Accepted 11.03.2023

Одержано 15.02.2023

Затверджено до друку 11.03.2023

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Галушко Наталія Анатоліївна, к.мед.н., старший викладач кафедри громадського здоров'я Сумського державного університету, к.мед.н., вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007;  
E-mail: [galnatmed@gmail.com](mailto:galnatmed@gmail.com); тел.: +38 050 0614298

Купрієнко Ірина Вікторівна, студентка Сумського державного університету, спеціальність «Громадське здоров'я», вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007;  
E-mail: [lab.oni.sumy@ukr.net](mailto:lab.oni.sumy@ukr.net); тел.: +38 099 1876979