

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Кафедра військової підготовки

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

ДИНАМІЧНА СТРУКТУРА АТМОСФЕРИ В ПЕРІОД ФОРМУВАННЯ КОНВЕКТИВНИХ ЯВИЩ

DYNAMIC STRUCTURE OF THE ATMOSPHERE DURING THE FORMATION OF CONVECTIVE PHENOMENA

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 103 Науки про Землю

Освітня програма Організація метеорологічного та геофізичного забезпечення
Збройних Сил України

Донєв Микола Васильович

Керівник к.ф.-м.н., Мансарлійський В.Ф. _____
(підпис)

Рецензент к. геогр.н, доц, Прокоф'єв О. М.

Рекомендовано до захисту:
протокол засідання кафедри
військової підготовки
№ ____ від _____.____. 2025 р.

Начальник кафедри

(підпис) Олег ГРУШЕВСЬКИЙ

Захищено на засіданні ЕК № _____
протокол № ____ від _____.____.2025 р.

Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

(підпис) Віталій ШЕЇН

Одеса 2025

ЗМІСТ

	Вступ.....	3
1	Загальні відомості про конвективні явища.....	5
	1.1 Синоптичні умови утворення конвективних явищ.....	5
	1.2 Загальні відомості про грози.....	6
	1.3 Основні чинники утворення грози.....	7
2	Розрахунок похідних метеорологічних величин.....	9
	2.1 Розрахунок значень лапласіану.....	9
	2.2 Розрахунок значень відносного вихору.....	10
	2.3 Розрахунок значень дивергенції.....	11
3	Мезомасштабна структура атмосфери в період формування конвективної діяльності.....	13
	3.1 Опис вхідних даних.....	13
	3.2 Аналіз динамічної структури в період формування конвективної діяльності.....	13
	Висновки.....	41
	Список використаних джерел.....	42
	Додатки.....	44
	Додаток.....	45

ВСТУП

Атмосфера Землі є складною та динамічною системою, в якій взаємодіють різноманітні фізичні процеси різних масштабів. Одним з ключових аспектів цієї системи є мезомасштабні структури, які охоплюють просторові області від декількох кілометрів до кількох сотень кілометрів. Ці структури відіграють важливу роль у формуванні погоди та клімату, впливаючи на розподіл тепла, вологи та інших параметрів атмосфери.

Дослідження динамічних характеристик параметрів атмосфери дає метеорологічному органу можливість заздалегідь фіксувати, передбачати та аналізувати конвективні явища та їх подальший розвиток, що в свою чергу дозволяє оптимізувати маршрути польотів, знижуючи ризики для літального апарату і особового складу. Аналіз даних отриманих від прогностичних моделей, радів та супутників дає змогу ефективніше визначати зони з конвективними явищами, що дає змогу підвищити якість прогнозів та безпосередньо впливає на ефективність експлуатації повітряних суден.

Актуальність обраної тематики обумовлена тим, що багато небезпечних явища погоди, які мають прямий вплив на виконання польотів літальними апаратами всіх типів, утворюються в наслідок розвитку конвективних процесів в атмосфері. Тому детальне вивчення динамічної структури атмосфери в період її формування і подальшої еволюції є дуже важливим для покращення якості метеорологічного забезпечення.

Метою роботи є дослідження динамічної структури параметрів атмосфери у граничному шарі в період формування конвективних явищ.

Для поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- аналіз карт погоди

- виявлення станцій, які були під впливом конвективних явищ більше одного строку спостережень (кожні 6 годин), за період з 18:00 годин 28.06.2023 року по 00:00 годин 30.06.2023 року;

- розрахунок значень лапласіану тиску і геопотенціалу для станції Хмельницький, Львів, Яготин, за період з 18:00 годин 28.06.2023 року по 00:00 годин 30.06.2023 року, через кожні 6 годин;

- відбір даних значень вихору та дивергенції з банку кліматичних даних (NOAA, NCEP-NCAR) для станції Хмельницький, Львів, Яготин, за період з 18:00 годин 28.06.2023 року по 00:00 годин 30.06.2023 року, через кожні 6 годин;

- одержання графіків розподілу значень лапласіану, вихору та дивергенції для станцій: Хмельницький, Львів, Яготин, за період з 18:00 годин 28.06.2023 року по 00:00 годин 30.06.2023 року, через кожні 6 годин;

- аналіз еволюції значень лапласіану, вихору та дивергенції в часі та просторі для станцій: Хмельницький, Львів, Яготин;

У якості вихідних даних використовувалися:

1) архів карт погоди з автоматизованого робочого місця синоптика;

2) дані значень тиску і геопотенціалу отримані з автоматизованого робочого місця синоптика (ARM_SINC);

3) значення вихору і дивергенції, отримані з банку кліматичних даних (NOAA, NCEP-NCAR), за період з 18:00 годин 28.06.2023 року по 00:00 годин 30.06.2023 року, через кожні 6 годин;

Кваліфікаційна робота викладена на 45 сторінках та складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У першому розділі описуються загальні відомості про конвективні явища.

Другий розділ присвячений загальним відомостям про значення лапласіану, відносного вихору та дивергенції.

У третьому розділі, на підставі виконаних розрахунків і побудованих графіків описується хід дослідження.

У висновках наводяться результати виконаних досліджень.

Список джерел, використаних при написанні роботи, складається з 25 позицій.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНВЕКЦІЮ

Одним з ключових видів вертикальних рухів в атмосфері Землі є конвекція. Під поняття атмосферної конвекції розуміють процес вертикального переміщення окремих повітряних потоків, який зумовлений їх нестійкістю, через що і залежить від контрасту температур з навколишнім середовищем. На фоні цих процесів утворюється конвективна хмарність: купчаста (*Cu*), потужно-купчаста (*Cu cong*) та купчасто-дощова (*Cb*), а також конвективні явища, такі як: гроза, град, шквал, смерч, обмерзання, сильна бовтанка.

За умовами розвитку конвекція поділяється на термічну, вільну і вимушену.

Термічна конвекція виникає через прогрів часток від підстильної поверхні. Тому конвективно-нестійкий шар, утворюється від поверхні землі.

Вільна конвекція, в даному випадку конвективно-нестійкий шар не залежить від підстильної поверхні, бо знаходиться на деякій висоті. Як правило формується у перехідні сезони, під впливом нерівномірної горизонтальної адвекції на висотах, чи радіаційного охолодження біля верхньої межі хмар.

Вимушена конвекція, формується під впливом вологонестійкої стратифікації в хмарах, що обумовлена упорядкованими висхідними рухами. Також на процес формування може впливати складна орографія підстильної поверхні в районі утворення.

1.1 Синоптичні умови утворення конвективних явищ

Конвективні явища за походженням можна розділити на дві групи: фронтальні, та внутрішньомасові.

В більшості випадків в зоні малорухомих холодних фронтів, конвективні явища зустрічаються частіше всього. Конвекція спостерігається і на теплих атмосферних фронтів, але в нічні години.

Найсприятливіші умови для формування внутрішньомасової конвекції зазвичай відбувається в тиловій частині циклону, але не одразу після проходження фронту, а через дві або три доби. Також обов'язковою умовою для її подальшого розвитку, є повна відсутність активних осередків росту атмосферного тиску. Лише в такому випадку конвекція не буде пригнічуватися.

Особливо інтенсивний розвиток конвекція виникає в циклонах що заповнюються холодною повітряною масою. У таких умовах повітряна маса стає близькою до потенційної нестійкості, а збагачення атмосфери вологою близьким до максимальних. В таких сприятливих умовах конвекційна активність може зберігатися до семи діб. [1]

1.2 Загальні відомості про грози

Найбільш відоме і досконале дослідження в історії людства по вивченню гроз було засноване у 1946 році в штаті Флорида США, і увійшло у історію як "Грозовий проект" (англ. The Thunderstorm Project), під очільництвом науковців Горація Р. Байєрса і Роско Брахама. Детально аналізуючи випадки з окремими грозами, здійснення різноманітних дрібномасштабних спостережень біля поверхні землі, використання радіолокаційного зондування атмосфери, а також не менш важливих спостережень з літака на різних рівнях польоту, вчені дійшли до певних висновків. Як правило грозова активність супроводжується інтенсивними опадами, зокрема дощем (злизовим дощем), градом, снігом. Крім того, нерідко під час грози фіксуються шквали. Було встановлено, що гроза формується внаслідок стрімкого підняття вологого повітря крізь великий по вертикальній протяжності шар тропосфери. Даний висхідний рух є актуальним тоді, коли певна уявна маса повітря є

теплішою в порівнянні з навколишнім середовищем. У випадку, коли повітря недостатньо насичене вологою, воно буде підійматися просто у вигляді теплих потоків повітря, при цьому не хмара утворюватися не буде. У випадку наявності достатнього рівня вологи в повітрі, вертикальні рухи повітря призводить до формування хмар купчастих форм, які є результатом даних процесів в атмосфері. [12]

1.3 Основні чинники, що впливають на утворення грози

На початковій стадії розвитку конвективних явища формується висхідний потік повітря, який в процесі підйому поступово охолоджується. У більшості випадків температура повітря знижується до значення точки роси, внаслідок чого повітря насичується вологою та починає конденсуватися. Відбувається цей процес зазвичай в шарі від рівня землі до 1500 м, і триває до повного насичення повітря, після чого формується видима хмара. При слабких висхідних потоках формуються купчасті хмари, але на цьому фоні не мають умов для подальшого розвитку. Проте за умов потужних вертикальних рухів вони можуть підніматися до рівня тропопаузи або навіть стратосфери, на якому досягають повного насичення, що і припиняє їх вертикальний розвиток. У такому випадку верхівка хмари починає поширюватися горизонтально, утворюючи характерну форму подібну до ковадла. Цей процес може продовжуватись завдяки припливу вологого повітря з нижніх шарів, що живить хмару і може призвести до утворення грози. У середній частині купчасто-дощової хмари відбуваються зіткнення водяних крапель і крижаних кристалів, що призводить до її подальшого збільшення. Під час цього утворюються не тільки хмари, але й великі краплі дощу та частинки льоду. У середніх і верхніх шарах хмари частина крапель і кристалів випаровується, що призводить до охолодження повітря і утворення щільного, холодного шару, який починає опускатися, даний процес називають низхідним рухом. Коли цей потік досягає земної поверхні, спостерігається: випадіння опадів, пониження

температури повітря, підвищення атмосферного тиску, відтік холодного повітря по земній поверхні, що часто супроводжується шквалами. Цей процес є характерним для завершального етапу розвитку грозової хмари.

2 РОЗРАХУНОК ПОХІДНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН

2.1 Розрахунок значень лапласіану

Розрахунок значень лапласіану використовується в багатьох моделях прогнозу (ECMWF, IFS, GFS, WRF, ICON) він визначає форму кривизни деякої поверхні. Так наприклад, якщо проводити розрахунки з використанням полів тиску, за результатами розрахунку будуть отримані значення для деякої ізобаричної поверхні, що матимуть циклонічну або антициклонічну кривизну ізоліній.

Для обчислення похідних зазвичай використовують значення метеорологічних величин з карт погоди. Відстань між вузлами сітки називається «кроком», подібну сітку наносять з кроком сітки 100 або 300 км (рис.2.1).

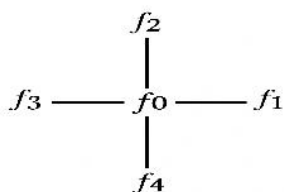


Рисунок 2.1 – Палетка для розрахунку лапласіанів

Наступним кроком буде вибір станції, для якої будуть проводитись подальші розрахунки, що робить її нульовою точкою (f_0). Відносно неї і сітки знімаються необхідні дані (f_1, f_2, f_3, f_4).

Формула для розрахунку лапласіану має наступний вид:

$$\nabla^2 f = (f_1 + f_2 + f_3 + f_4 - 4f_0) \quad 1)$$

“Додатні значення лапласіану характерні для увігнутої поверхні, а від’ємні для опуклої. Таким чином, додатні значення лапласіану характерні для центру циклону, а від’ємні у антициклона. Від’ємні значення можуть фіксуватись і в циклонічному полі, якщо процеси в точці розрахунку зумовлені ростом тиску і навпаки, додатні значення в антициклоні, за умови що тиск в ньому зростає. Тому слід ретельно дослідити поля метеовеличин в обраних точках та обґрунтувати той чи інший результат розрахунку лапласіану. Також важливо відмітити той факт, що розраховувати значення лапласіану можна не лише для полів тиску, а й для полів температури та геопотенціалу”. [9]

2.2 Розрахунок значень відносного вихору

Вихор являє собою характеристику локального обертання близькомиттєвих вісєй в рухомій атмосфері. Визначається він як векторна величина що характеризує тенденцію до обертання у певній області атмосфери. Відносний вихор відображає взаємодію руху повітря з обертанням Земної кулі, також ураховуючи при цьому топографічні особливості підстильної поверхні, а також контраст температур який спостерігається між різними ділянками атмосфери. Ці процеси відіграють велику роль у формуванні циклонів і антициклонів, від яких в подальшому будуть залежати розвиток погодних умов.

Формула для розрахунку відносного вихору має наступний вигляд:

$$\Omega = \frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} \quad 2)$$

де: u - швидкість у напрямку x (схід-захід);

v - швидкість у напрямку y (північ-південь);

В північній півкулі вертикальна складова значень вихору має додатній знак в циклонах, де циркуляція повітря відбувається проти годинникової стрілки. А у антициклонах з циркуляцією повітря за годинниковою стрілкою, його значення мають від'ємний знак.

Розрахунок значень відносного вихору дає змогу аналізувати динамічну структуру атмосфери, що в подальшому дає змогу прогнозувати погодні явища. Також розрахунок значень відносного вихору застосовується в прогностичних погодних моделях (ECMWF, IFS, GFS, WRF, ICON, UK Met Office), які активно використовують дані вихору для побудови більш досконалих прогностичних карт погоди.

2.3 Розрахунок значень дивергенції

Значення дивергенції використовується для вказання на міру розбіжності, або збіжності повітряних потоків у певній області атмосфери. Вона характеризує зміну об'єму повітря, зайнятого одиничною масою, за одиницю часу, і є важливим параметром для аналізу атмосферної динаміки. Тому її дуже зручно використовувати для опису змін густини потоків повітря в просторі. Якщо бути лаконічним, значення дивергенції можуть бути додатніми і від'ємними. Додатні значення дивергенції вказують на розбіжність, тобто розходженню потоків повітря. Як правило даний процес призводить до зниженням повітряних мас. На практиці така тенденція є характерною для антициклонів. Від'ємна дивергенція (збіжність) вказує на сходження потоків повітря і сприяє підйому повітряних мас. Такий процес є відповідною для циклонів. На синоптичних картах дивергенція проявляється як збіжність або розбіжність ізобар, тобто збіжність спостерігається у зонах циклонів, а розбіжність в антициклонах.

Формула для розрахунку дивергенції має наступний вигляд:

$$D = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \quad 3)$$

де: u, v, w - компоненти вектора швидкості у напрямках x, y, z ,

Як згадувалось раніше, дивергенція пов'язана з формуванням циклонів, антициклонів та інших атмосферних явищ. В зонах від'ємної дивергенції (конвергенції), в яких повітря піднімається до гори і сприяє активному утворенню хмар і опадів. В зонах де значення дивергенції мають додатній знак, хмари розсіюються. На практиці, значення дивергенції є корисним параметром для прогнозування погодних явищ. З його допомогою визначають: ймовірність опадів, напрямок переміщення баричних утворень і не тільки. Тому даний розрахунок активно використовується у прогностичних моделях для глобального аналізу обміну повітряних мас між нижніми та верхніми шарами атмосфери.

3 ДИНАМІЧНА СТРУКТУРА АТМОСФЕРИ В ПЕРІОД ФОРМУВАННЯ КОНВЕКТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

3.1 Опис вхідних даних

На першому етапі дослідження були відібрані випадки з різними конвективними процесами, що спостерігалися на деяких станціях розташованих на території України. Окрім того, для подальшого аналізу динамічних характеристик стану атмосфери в період формування конвективної діяльності, були проведені розрахунки значень лапласіану тиску та геопотенціалу, а також завантажені дані по значеннях відносного вихору і дивергенції на біля поверхні землі та ізобаричних поверхнях 925 і 850 гПа перед початком конвективної активності, в період її існування та після її припинення.

У якості вихідних даних використовувалися:

- архів карт погоди з автоматизованого робочого місця синоптика;
- дані значень тиску і геопотенціалу з автоматизованого робочого місця синоптика (для розрахунку значень лапласіану тиску);
- значення відносного вихору і дивергенції, отримані з банку кліматичних даних (NOAA, NCEP-NCAR), за період з 18:00 годин 28.06.2023 року по 00:00 годин 30.06.2023 року, через кожні 6 годин;

Для дослідження динаміки зазначених величин в період формування конвективної діяльності, фіксація даних проводилася за добу до формування конвективної хмарності.

3.2 Аналіз динамічної структури в період формування конвективної діяльності

Перший випадок з конвективною активністю, який розглядався в рамках дослідження, спостерігався на станції Хмельницький 28.06.2023 р. починаючи

з 18:00 год. Протягом доби на станції спостерігалася хмарність купчастих форм (*Cu*, *Cu cong*, *Cb*) та в окремі строки спостережень (о 00:00 та 18:00 год. 29.06.2023 р.) зливовий дощ. Погодні умови, на даний період, були обумовлені тиловою частиною циклону та проходженням вторинного фронту (рис.3.1).

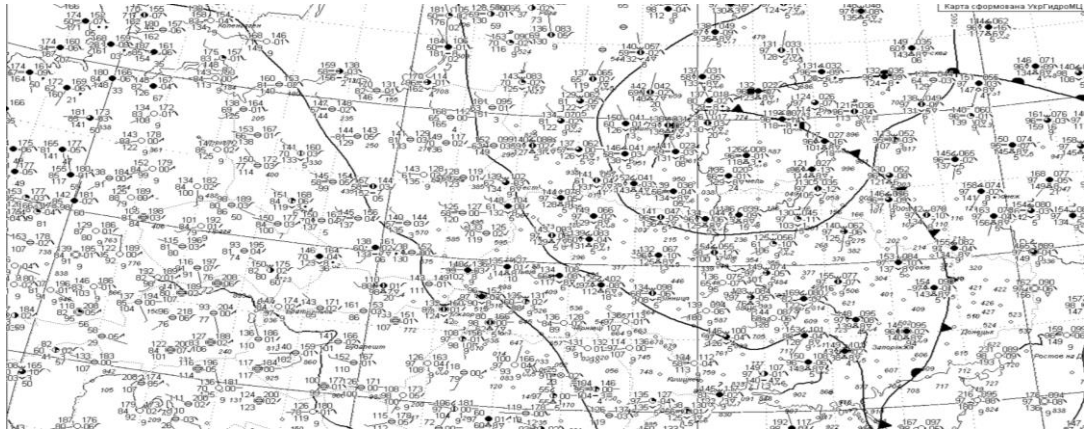


Рисунок 3.1 – Карта приземного аналізу за 29.06.2023 р. о 00:00 год.

Хронологія явищ, що спостерігалися на станції Хмельницький протягом згаданого вище періоду (з дискретністю 6 годин) представлена у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Схема явищ що спостерігались на станції Хмельницький за кожен строк.

28.06.23р.	29.06.23р.				30.06.23р.
18:00	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00
	☼	Cu	☼	Cu	

На наступному етапі дослідження, з метою подальшого аналізу, був проведений розрахунок значень лапласіану тиску для обраних ізобаричних поверхонь та побудовані графіки його вертикального розподілу з часом (рис.3.2).

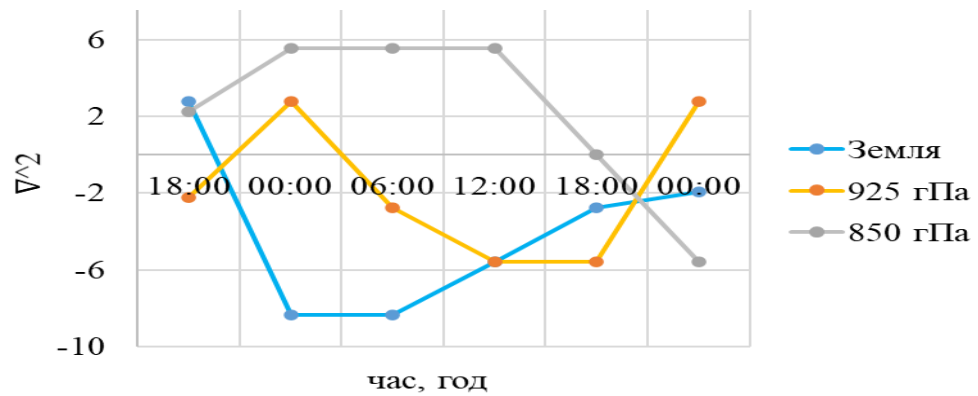


Рисунок 3.2 – Графік розподілу лапласіану на станції Хмельницький по основним строкам з 28.06.2023 р. о 18:00 год. по 30.06.23 р. о 00:00 год.

З графіків на рисунку 3.2 видно, що з початком розвитку конвекції в атмосфері (в період з 18:00 год. 28.06.2023р. до 00:00 год. 29.06.2023р.), значення лапласіану на приземному рівні змінюються з додатних на від'ємні, а з послабленням конвективних процесів в атмосфері (в період з 18:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.) спостерігається тенденція до змінення значень лапласіану з від'ємних в бік додатних.

На рівнях 925 гПа, та 850 гПа з початком конвективних процесів значення лапласіану збільшуються і набувають додатних значень. На поверхні 850 гПа значення лапласіану залишаються додатними протягом всього періоду конвективної активності в атмосфері після чого, спостерігається різке зменшення його значення і зміна знаку на від'ємний (в період з 18:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.).

На поверхні 925 гПа максимальні, додатні значення лапласіану фіксуються о 00:00 год. 29.06.2023р. (в цей час на станції спостерігається зливовий дощ) з подальшим його розвитком поступовим зменшенням і переходом в бік від'ємних значень до періоду завершення розвитку конвекції (з 18:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.), після чого знову спостерігається зміна знаку з від'ємних на додатні.

Далі був проведений аналіз розподілу лапласіану тиску у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.3).

З графіку на рисунку 3.3 *а* видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 18:00 год 28.06.23 р.) значення лапласіану біля поверхні землі і на висоті 850 гПа мають додатній знак, водночас на поверхні 925 гПа навпаки спостерігаються від'ємні значення лапласіану.

У 00:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.3 *б*), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувався зливовий дощ), значення лапласіану тиску біля поверхні землі має від'ємний знак, на поверхні 925 гПа змінило на додатній, а на поверхні 850 все ще лишається від'ємним, як і за попередній строк.

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.3 *в*) на станції спостерігається купчаста хмарність, що свідчить про послаблення конвективної активності (порівняно з попереднім строком) знак лапласіану на рівні 925 гПа, знов змінюється на від'ємний. Значення лапласіану на рівні землі лишається майже незмінним і по значенню і по знаку, а на рівні 850 гПа знак, як за попередній строк, залишається додатним, а його значення збільшується.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.3 *г*) на станції спостерігається випадіння зливого дощу, при цьому значення лапласіану на поверхні 850 залишається незмінним, на поверхні 925 гПа спостерігається збільшення, а біля поверхні землі навпаки зменшення від'ємних значень лапласіану порівняно з попереднім строком.

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.3 *д*) конвекція в атмосфері продовжує слабшати, на рівні 850 гПа, значення лапласіану зменшується і наближаються до нульових, на рівні 925 гПа залишається майже незмінними (порівняно з попередніми), а біля поверхні землі продовжується зменшення від'ємних значень.

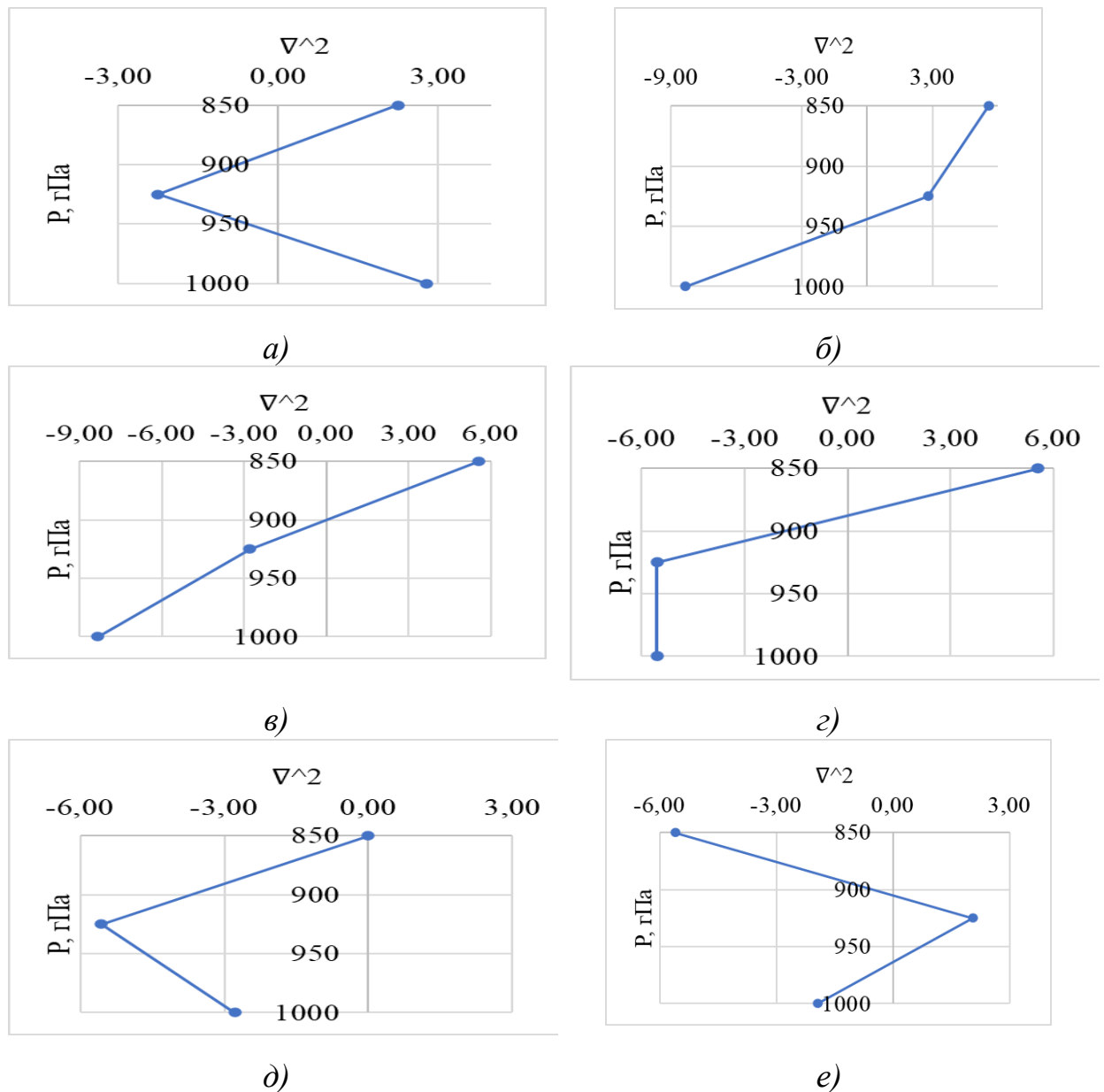


Рисунок 3.3 – Графіки вертикального розподілу лапласіану на станції Хмельницький: а) 28.06.2023 о 18:00, б) 29.06.2023 о 00:00, в) 29.06.2023 о 06:00, з) 29.06.2023 о 12:00, д) 29.06.2023 о 18:00, е) 30.06.2023 о 00:00

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис. 3.3 е), на станції Хмельницький спостерігається припинення конвективної активності. Значення лапласіану біля поверхні землі залишається майже незмінними, на рівні 925 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний), а на поверхні 850 гПа зменшується в бік від'ємних значень.

На наступному етапі дослідження проводився аналіз відносного вихору та дивергенції над станцією Хмельницький в період з 18:00 год. 28.06.23 р. до

00:00 год. 30.06.23 р. Для цього були побудовані графіки розподілу значень відносного вихору та дивергенції на станції Хмельницький по основним строкам (рис.3.4) і графіки вертикального розподілу значень відносного вихору на станції Хмельницький. Для зручності відображення на графіках значення відносного вихору та дивергенції були нанесення у розмірності 10^{-5} c^{-1} .

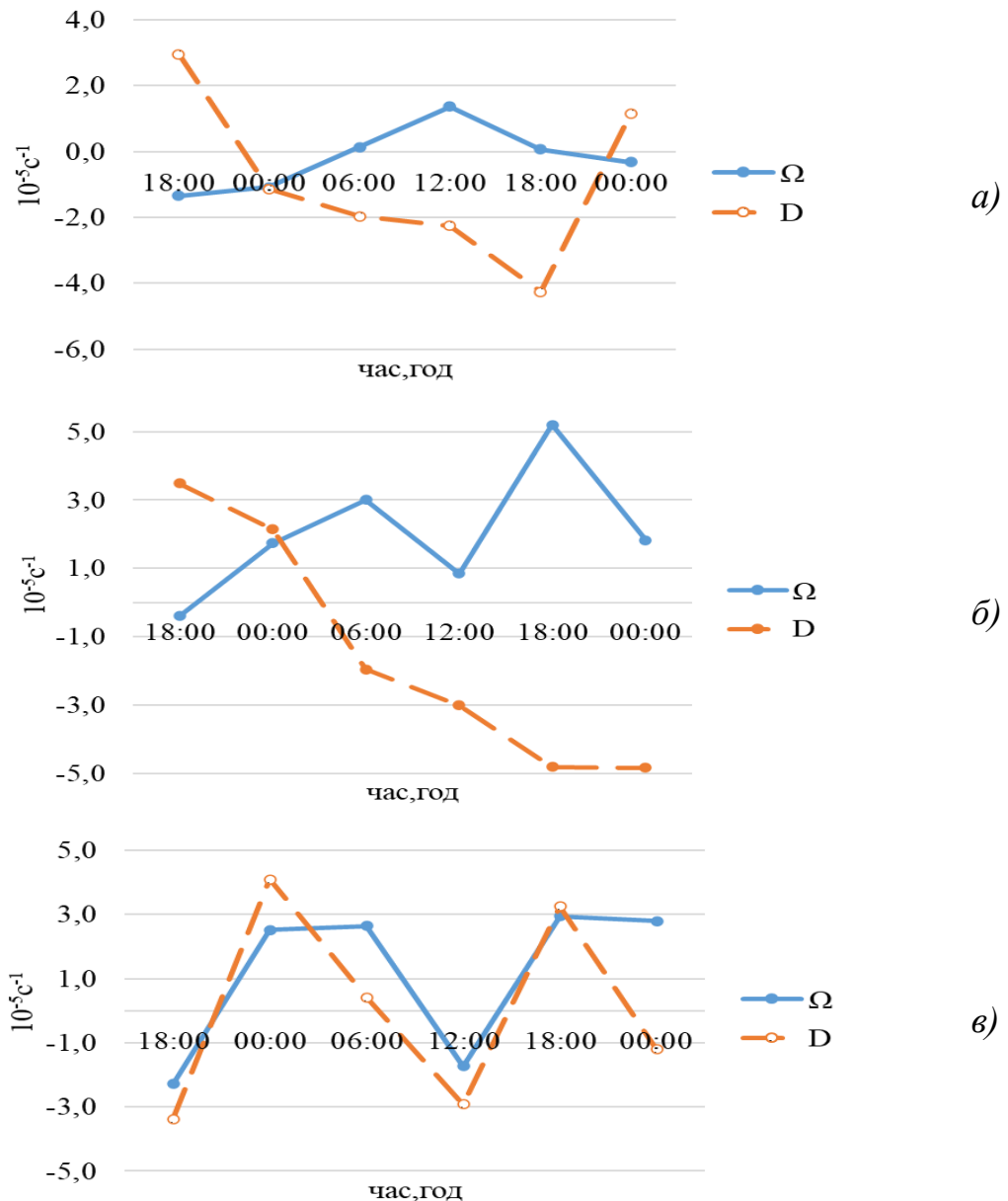


Рисунок 3.4 – Графіки розподілу значень відносного вихору та дивергенції на станції Хмельницький по основним строкам:

а) приземний рівень, б) АТ-925 гПа, в) АТ-850 гПа

З графіку на рисунку 3.4 *а* видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору біля поверхні землі мають тенденцію до збільшення і набувають додатних значень і навпаки зі зменшенням конвективної активності зменшуються переходячи до від'ємних. Зворотню картину можна спостерігати зі значеннями дивергенції на приземному рівні - значення дивергенції різко зменшуються з розвитком конвективної активності і набувають від'ємних значень і навпаки зі зменшенням конвективної активності різко збільшуються переходячи до додатних.

З графіку на рисунку 3.4 *б* видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору на рівні 925 гПа мають тенденцію до збільшення і набувають додатних значень а, зі зменшенням конвективної активності зменшуються. Значення дивергенції протягом усього строку дослідження мають тенденцію до зменшення і набувають від'ємних знаків, незважаючи на фазу розвитку конвекції.

З графіку на рисунку 3.4 *в* видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору та дивергенції на рівні 850 гПа, мають схожу тенденцію коливання.

Далі був проведений аналіз розподілу значень відносного вихору у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.5).

З графіку на рисунку 3.5 *а*, видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 18:00 год 28.06.23 р.) значення відносного вихору на всіх рівнях мають від'ємні знаки. Мінімальні з яких спостерігаються на рівні 850 гПа.

У 00:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.5 *б*), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувався зливовий дощ), значення відносного вихору біля поверхні землі лишається майже незмінним і по значенню і по знаку, на поверхнях 925 гПа і 850 гПа, спостерігається значене збільшення параметру зі зміною знаку в бік додатних додатніх.

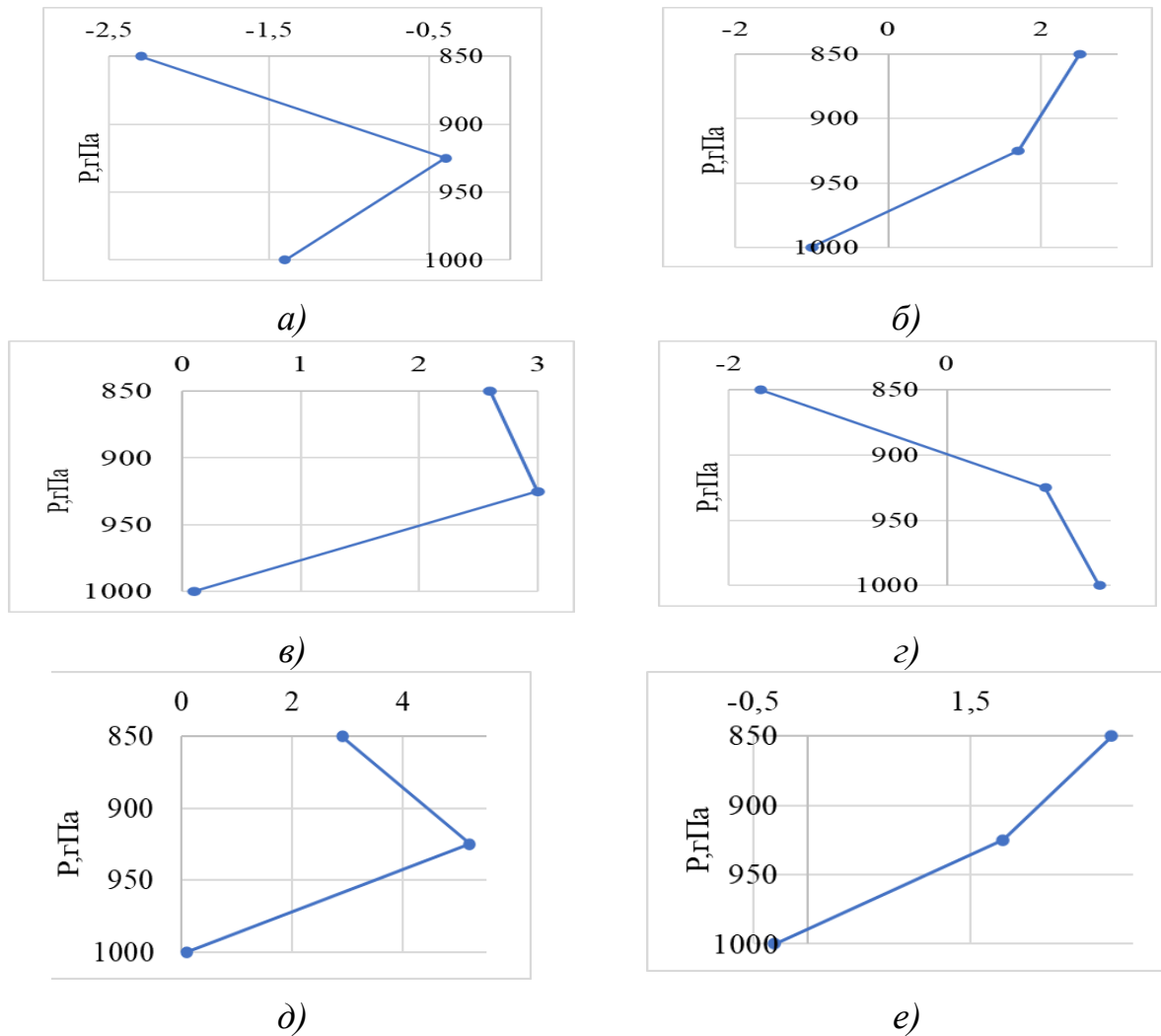


Рисунок 3.5 – Графіки вертикального розподілу значень відносного вихору на станції Хмельницький: а) 28.06.2023 о 18:00, б) 29.06.2023 о 00:00, в) 29.06.2023 о 06:00, г) 29.06.2023 о 12:00, д) 29.06.2023 о 18:00, е) 30.06.2023 о 00:00

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.5 в) на станції спостерігається купчаста хмарність, що свідчить про послаблення конвективної активності (порівняно з попереднім строком). Значення відносного вихору на рівні землі і на висоті 925 гПа збільшуються, а на рівні 850 гПа залишаються майже незмінними, в порівнянні з попереднім строком.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.5 г) на станції спостерігається випадіння зливого дощу, значення відносного вихору на поверхні 850 гПа різко зменшуються та набуває від'ємного знаку. На поверхні 925 гПа спостерігається

зменшення, а біля поверхні землі навпаки збільшення додатніх значень відносного вихору порівняно з попереднім строком.

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.5 д) конвекція в атмосфері продовжує слабшати, знак відносного вихору на рівні 850 гПа знов змінюється, на додатній. На рівні 925 гПа спостерігається значне збільшення (порівняно з попередніми), а біля поверхні землі зменшення значень і наближення їх до нульових.

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис.3.5 е), на станції спостерігається припинення конвективної активності. Значення відносного вихору біля поверхні землі залишається незмінними, на рівнях 925 гПа і 850 гПа зменшуються, у порівнянні з минулим строком, але при цьому зберігають додатній знак.

Наступним етапом роботи був аналіз розподілу значень дивергенції у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.6).

З графіку на рисунку 3.6 а видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 18:00 год 28.06.23 р.) значення дивергенції біля поверхні землі і на висоті 925 гПа мають додатній знак, водночас на поверхні 850 гПа навпаки спостерігаються від'ємні значення лапласіану.

У 00:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.6 б), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувався зливовий дощ), значення дивергенції біля поверхні землі має від'ємний знак, на поверхні 850 гПа значно змінюється, перейшовши до додатніх знаків. На поверхні 925 гПа значення незначно зменшились, зберігаючи додатній знак.

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.6 в) на станції спостерігається купчаста хмарність, що свідчить про послаблення конвективної активності (порівняно з попереднім строком). Значення дивергенції на рівні землі лишається майже незмінним. Значення на рівні 925 гПа значно зменшились, наблизившись до значень приземного рівня. Рівень 850 гПа значення зменшились, зберігаючи додатній знак.

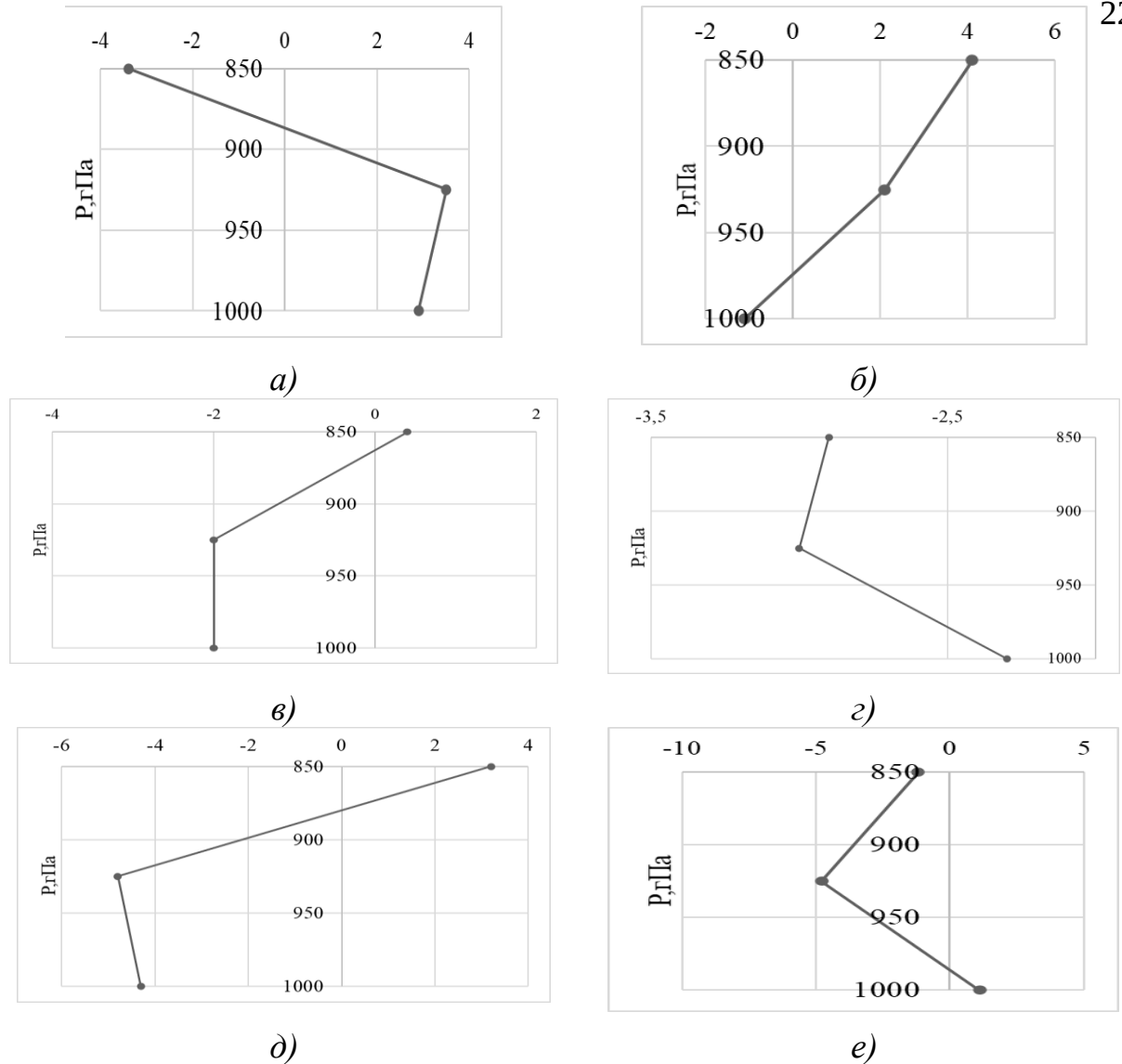


Рисунок.3.6 – Графіки вертикального розподілу значень дивергенції на станції Хмельницький: а) 28.06.2023 о 18:00, б) 29.06.2023 о 00:00, в) 29.06.2023 о 06:00, г) 29.06.2023 о 12:00, д) 29.06.2023 о 18:00, е) 30.06.2023 о 00:00

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.6 г) на станції спостерігається випадіння зливового дощу. Значення дивергенції на рівні землі лишається майже незмінним і по значенню і по знаку. Значення на рівні 925 гПа зменшується. На рівні 850 гПа спостерігається зміна знаку дивергенції на від'ємний.

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.6 д) конвекція в атмосфері продовжує слабшати, знак дивергенції на рівні 850 гПа, знов змінюється на додатній. На приземному рівні і рівні 925 гПа продовжується зменшення від'ємних значень.

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис.3.6 е), з припинення конвективної активності. Значення дивергенції на рівні 925 гПа залишається майже незмінними, на рівні

850 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на від'ємний), а на приземному рівні збільшується в бік додатніх значень.

Другий випадок з конвективною активністю, який розглядався в рамках дослідження, спостерігався на станції Львів 28.06.2023 р. починаючи з 18:00 год. Протягом доби на станції спостерігалася хмарність купчастих форм (*Ci*, *Ci cong*, *Cb*) та в окремі строки спостережень (о 00:00 та 12:00 год. 29.06.2023) зливовий дощ і гроза (між 12:00 та 18:00 год. 29.06.2023). Погодні умови, на даний період, були обумовлені тиловою частиною циклону та проходженням вторинного фронту (рис.3.7).

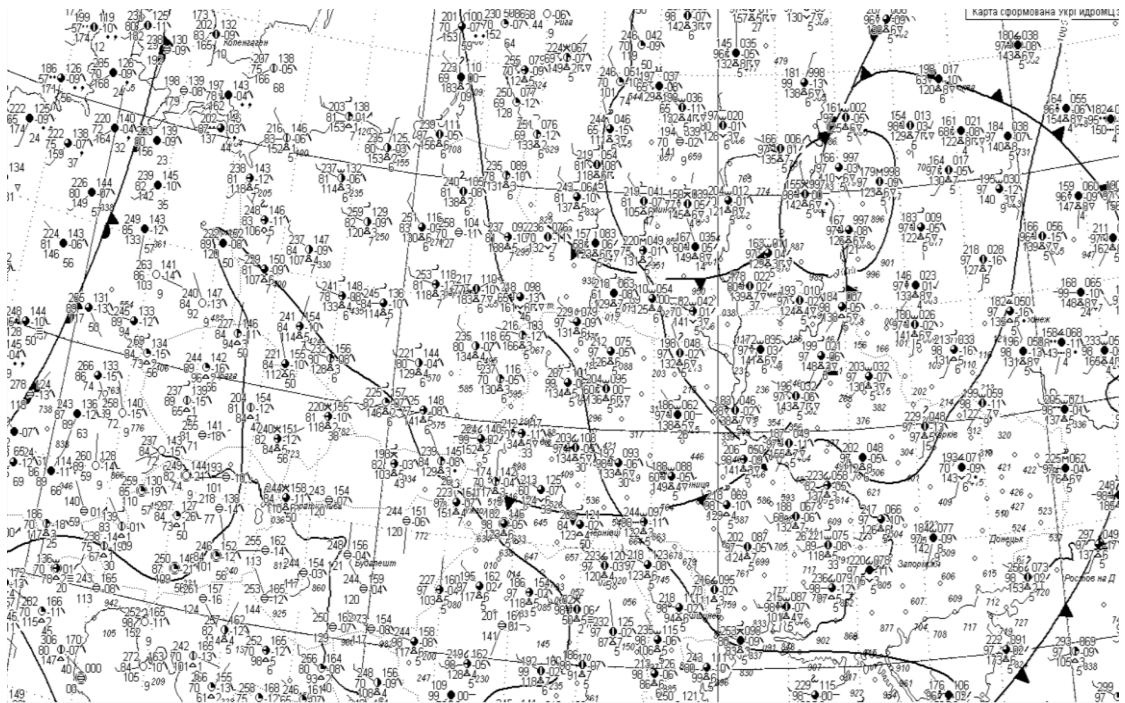


Рисунок 3.7 – Карта приземного аналізу за 29.06.2023 р. о 12:00 год.

Хронологія явищ, що спостерігалися на станції Львів протягом згаданого вище періоду (з дискретністю 6 годин) представлена у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Схема явищ що спостерігались на станції Львів за кожен строк

28.06.23р.	29.06.23р.				30.06.23р.
18:00	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00
					

Як і у попередньому випадку, з метою подальшого аналізу, був проведений розрахунок значень лапласіану тиску для обраних ізобаричних поверхонь та побудовані графіки його вертикального розподілу з часом (рис.3.8).

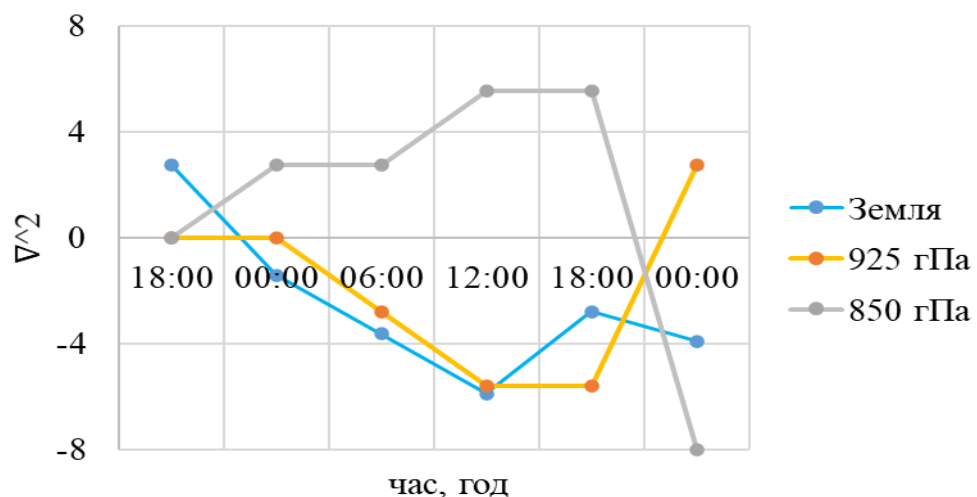


Рисунок 3.8 – Графік розподілу лапласіану на станції Львів по основним строкам з 28.06.2023 р. о 18:00 год. по 30.06.23 р. о 00:00 год.

З графіків на рисунку 3.8 видно, що з початком розвитку конвекції в атмосфері (в період з 18:00 год. 28.06.2023р. до 18:00 год. 29.06.2023р.), значення лапласіану на приземному рівні та рівні 925 гПа змінюються з додатних на від'ємні, а з послабленням конвективних процесів в атмосфері (в період з 18:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.) спостерігається тенденція до змінення значень лапласіану з від'ємних в бік додатних.

На рівні 850 гПа з початком конвективних процесів значення лапласіану збільшуються і набувають додатних значень. Значення лапласіану залишаються додатними протягом всього періоду конвективної активності в атмосфері після чого, спостерігається різке зменшення його значення і зміна знаку на від'ємний (в період з 18:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.).

На наступному етапі дослідження був проведений аналіз розподілу лапласіану тиску у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.9).

З графіку на рисунку 3.9 а з видно що на момент відсутності конвективної активності.(о 18:00 год. 28.06.23 р.) значення лапласіану біля поверхні землі має додатній знак, водночас на поверхнях 925 гПа і 850 гПа, значення лапласіану близькі до нульових.

У 00:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.9 б), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувався конвективні хмари), значення лапласіану тиску біля поверхні землі має від'ємний знак, на поверхні 925 гПа залишився без змін як і за попередній строк, а на поверхні 850 все збільшились до додатніх.

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.9 в) на станції спостерігається зливовий дощ, що свідчить про посилення конвективної активності (порівняно з попереднім строком) знак лапласіану на рівні 925 гПа, почав змінюватись на від'ємний. Значення лапласіану на рівні землі продовжують зменшуватись, а на рівні 850 гПа знак як за попередній строк залишається додатним, а його значення збільшується.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.9 г) на станції продовжується випадіння зливого дощу, при цьому значення лапласіану на поверхні 850 гПа продовжують збільшуватись, а біля поверхні землі і рівні 925 гПа навпаки продовжується зменшення від'ємних значень лапласіану порівняно з попереднім строком.

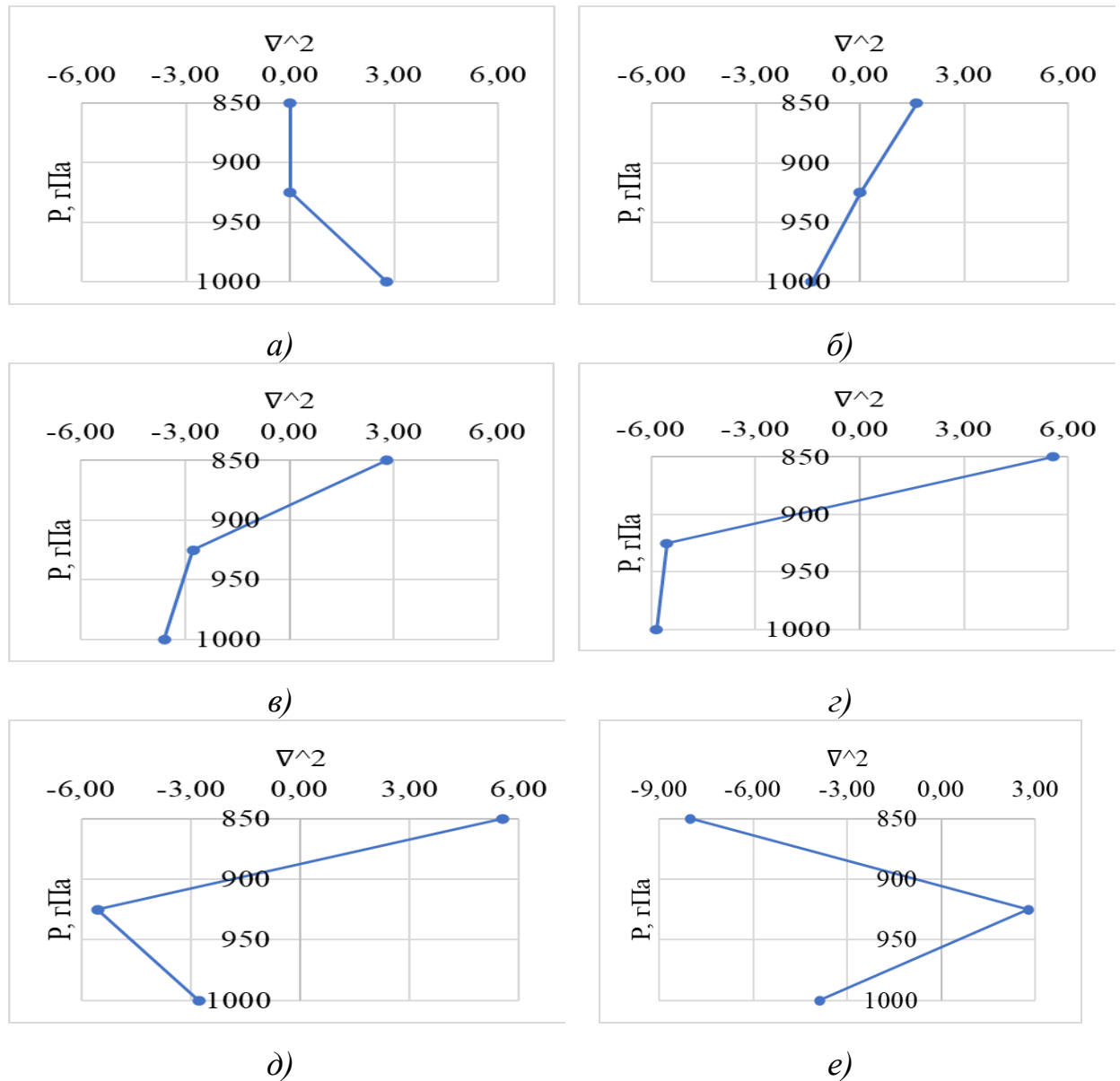


Рисунок 3.9 – Графіки вертикального розподілу лапласіану на станції Львів: а) 28.06.2023 о 18:00, б) 29.06.2023 о 00:00, в) 29.06.2023 о 06:00, г) 29.06.2023 о 12:00, д) 29.06.2023 о 18:00, е) 30.06.2023 о 00:00

Між 18:00 год. і 12:00 год. (попередній строк) 29.06.2023 р. (рис.3.9 д) в атмосфері відмічалась гроза, на рівнях 925 гПа і 850 гПа, значення лапласіану лишається незмінним і по значенню і по знаку (порівняно з попередніми), а біля поверхні землі почався ріст від'ємних значень в сторону додатніх.

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис. 3.9 е), на станції Львів спостерігається припинення конвективної активності. Значення лапласіану біля поверхні землі

залишається майже незмінними, на рівні 925 гПа і 850 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний).

На наступному етапі дослідження проводився аналіз відносного вихору та дивергенції над станцією Львів в період з 18:00 год 28.06.23 р. до 00:00 год. 30.06.23 р. Для цього були побудовані графіки розподілу значень відносного вихору та дивергенції на станції Львів по основним строкам (рис.3.10) і графіки вертикального розподілу значень відносного вихору на станції Львів. Для зручності відображення на графіках значення відносного вихору та дивергенції були нанесення у розмірності 10^{-5} с^{-1} .

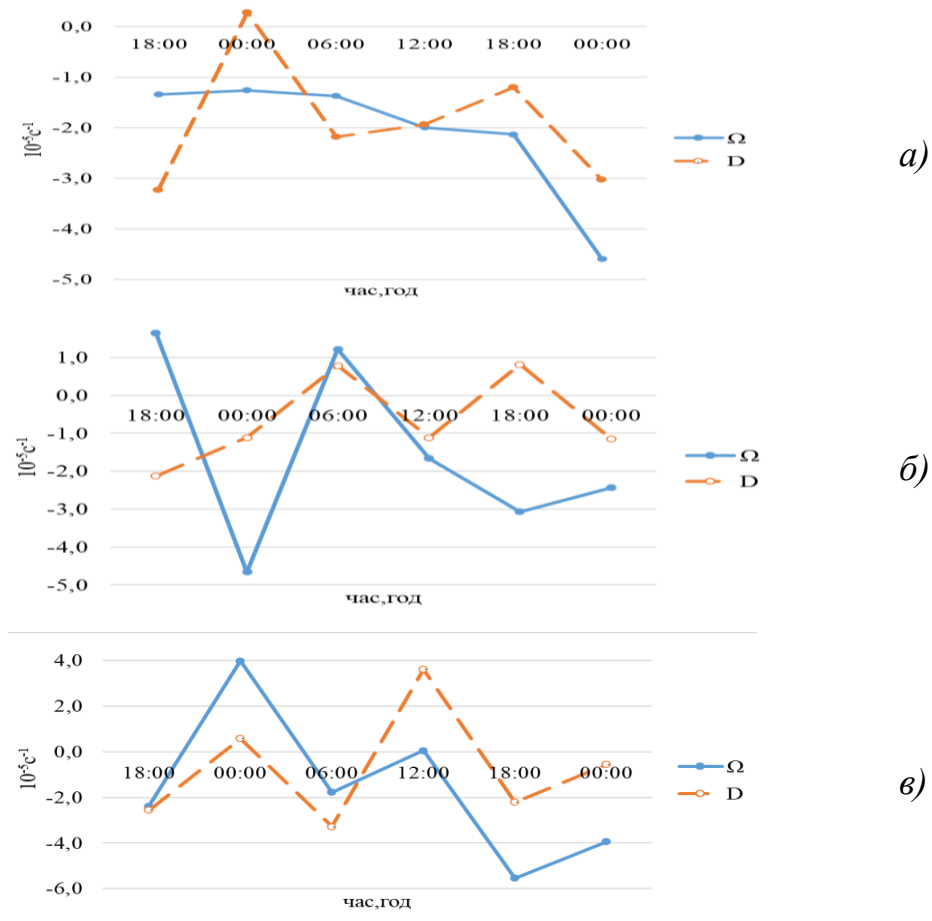


Рисунок 3.10 – Графіки розподілу значень відносного вихору та дивергенції на станції Львів: а) Приземний рівень, б) 925 гПа, в) 850 гПа

З графіку на рисунку 3.10 а видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору біля поверхні землі мають тенденцію

до зменшення. Зворотну картину можна спостерігати зі значеннями дивергенції на приземному рівні - значення дивергенції різко збільшуються з початком розвитку конвективної активності, в часовий проміжок коли конвекція посилювалась, незважаючи на незначну тенденцію росту, значення дивергенції знов змінили знак на від'ємний.

З графіку на рисунку 3.10 б видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору на рівні 925 гПа різко зменшуються в сторону від'ємних. В час першого посилення конвекції значення знову змінюють знак на додатній, але в подальшим розвитком конвекції значення зменшуються до від'ємних. Розподіл значень дивергенції мають близьку за схожістю структуру до значень дивергенції на приземному рівні.

З графіку на рисунку 3.10 в видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору на рівні 850 гПа різко збільшуються в сторону додатніх. Але з подальшим розвитком конвекції в атмосфері, значення відносного вихору зменшуються, змінюючи знак на від'ємний. Тенденція зміни значень дивергенції є найбільш стабільною, на рівні 850 гПа мають такий самий розподіл як і на рівнях що розташовані нижче.

Далі був проведений аналіз розподілу значень відносного вихору у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.11).

З графіку на рисунку 3.11 а видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 18:00 год 28.06.23 р.) значення відносного вихору біля поверхні землі і на висоті 850 гПа мають від'ємний знак, водночас на поверхні 925 гПа навпаки спостерігаються додатні значення відносного вихору.

У 00:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.11 б), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувалися перші конвективні хмари), значення відносного вихору біля поверхні землі залишається майже незмінними (порівняно з попередніми), на поверхні 925 гПа змінило на від'ємний, а на поверхні 850 гПа навпаки збільшення значень і зміна знаку (на додатній) відносного вихору порівняно з попереднім строком.

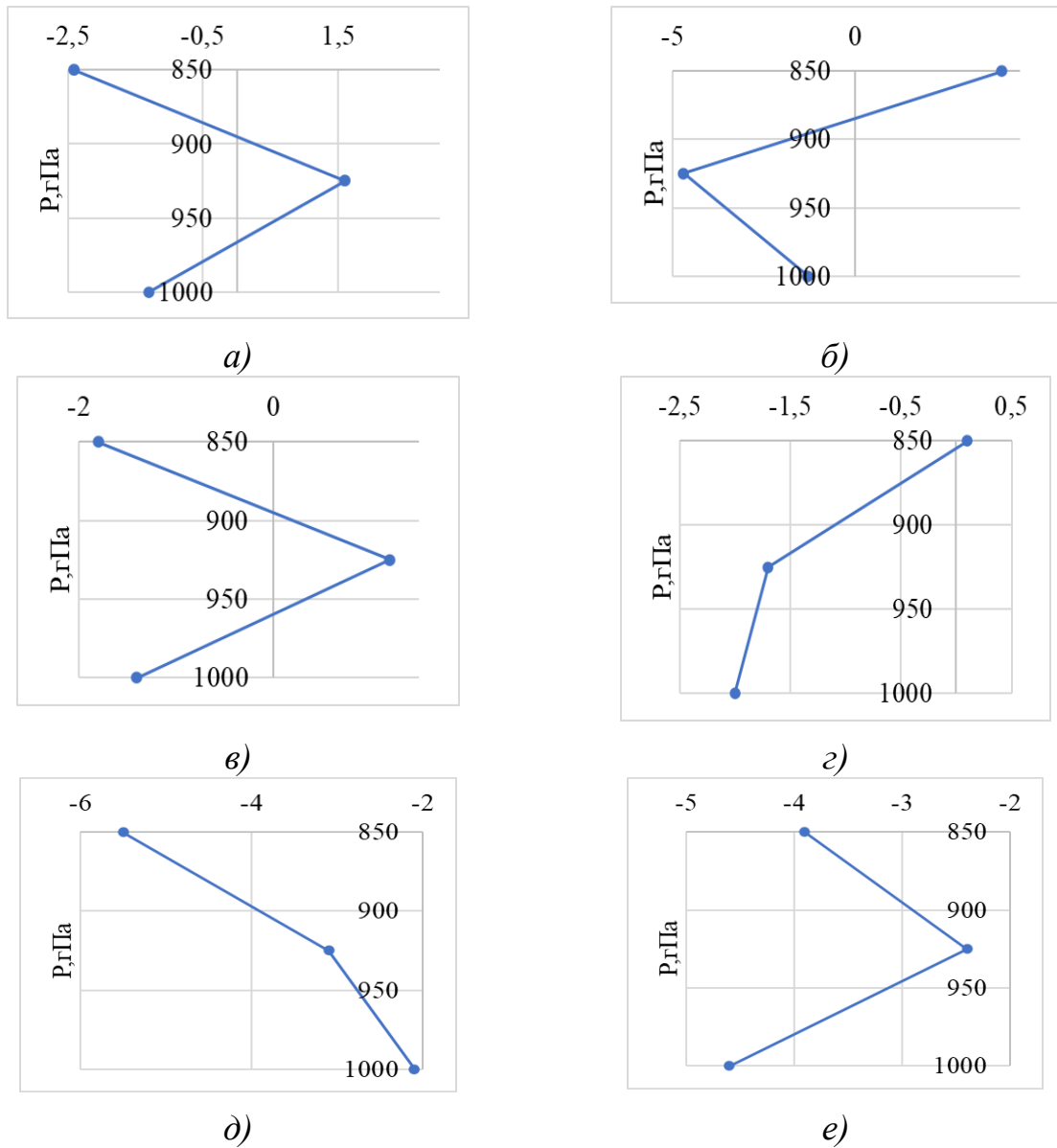


Рисунок 3.11 – Графіки вертикального розподілу значень відносного вихору на станції Львів: а) 28.06.2023 о 18:00, б) 29.06.2023 о 00:00, в) 29.06.2023 о 06:00, г) 29.06.2023 о 12:00, д) 29.06.2023 о 18:00, е) 30.06.2023 о 00:00

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.11 в) на станції спостерігається зливовий дощ, що свідчить про посилення конвективної активності (порівняно з попереднім строком) знак відносного вихору на рівнях 925 гПа та 850 гПа, знову змінюється. Значення на рівні землі лишається майже незмінним і по значенню і по знаку.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.11 г) на станції спостерігається випадіння зливого дощу, знак відносного вихору на рівнях 925 гПа та 850 гПа, знов

змінюється. Значення на рівні землі лишається майже незмінним і по значенню і по знаку.

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.11 д) на станції відмічалась гроза між строками і послаблення конвекції. Значення відносного вихору на рівні 850 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на від'ємний), на приземному рівні залишаються майже незмінними (порівняно з попередніми). На рівні 925 гПа відмічалось незначне зменшення.

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис. 3.11 е), на станції спостерігається припинення конвективної активності. Значення відносного вихору на рівні 925 гПа залишається майже незмінними, на приземному рівні значення активно зменшуються, а на поверхні 850г Па збільшується. Як і в попередній строк, на всіх рівнях значення мають від'ємний знак.

У подальшому ході роботи був проведений аналіз розподілу значень дивергенції у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.12).

З графіку на рисунку 3.12 а видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 18:00 год 28.06.23 р.) значення дивергенції на всіх висотах мають від'ємні значення. Мінімальні з них простежуються біля рівня землі, максимальні на рівні 925 гПа.

У 00:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.12 б), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувалися перші конвективні хмари), значення дивергенції на рівні 925 гПа незначно збільшились, а на приземному рівні і рівні 850 гПа змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний).

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.12 в) на станції спостерігається зливовий дощ, що свідчить про посилення конвективної активності (порівняно з попереднім строком) значення дивергенції на всіх досліджуваних рівнях суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.12 г) з продовженням зливого дощу, знак дивергенції залишається майже незмінними (порівняно з попередніми),

на рівні 925 гПа, знак знов змінюється на від'ємний. На поверхні 850 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний).

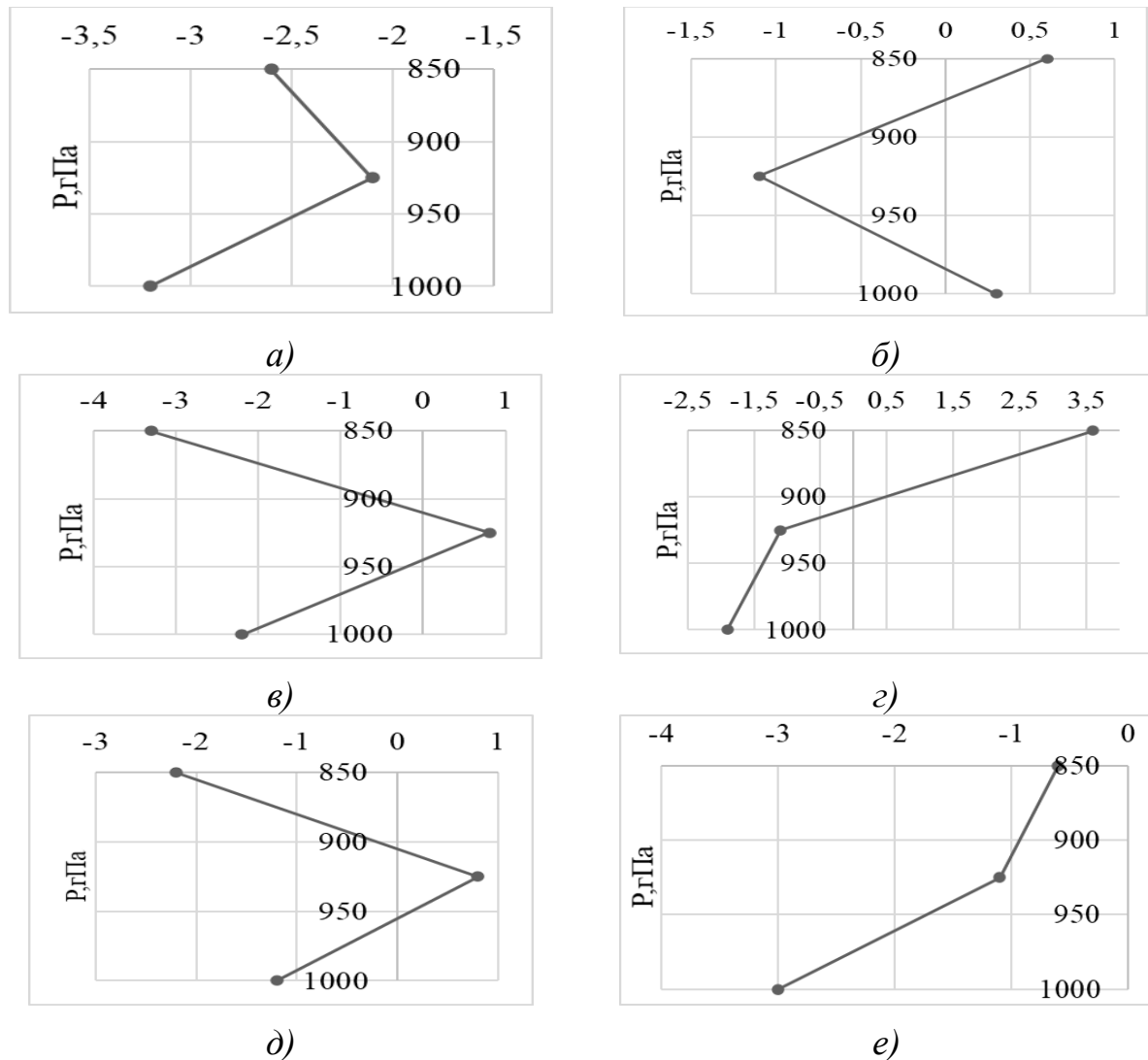


Рисунок 3.12 – Графіки вертикального розподілу значень дивергенції на станції Львів: а) 28.06.2023 о 18:00, б) 29.06.2023 о 00:00, в) 29.06.2023 о 06:00, г) 29.06.2023 о 12:00, д) 29.06.2023 о 18:00, е) 30.06.2023 о 00:00

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.12 д) на станції відмічалась гроза між строками і послаблення конвекції. Знак дивергенції на рівні 850 гПа суттєво змінюється, як по величині, так і по знаку (на від'ємний). На приземному рівні залишаються майже незмінними (порівняно з попередніми), а на поверхні 925 гПа спостерігається збільшення в сторону додатніх значень.

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис.3.12 е), на станції спостерігається припинення конвективної активності. Значення дивергенції на всіх рівнях мають від’ємні значення. Мінімальні простежуються на приземному рівні, максимальні на поверхні 850 гПа.

Третій випадок з конвективною активністю, який розглядався в рамках дослідження, спостерігався на станції Яготин 29.06.2023 р. починаючи з 00:00 год. Протягом доби на станції спостерігалася хмарність купчастих форм (Cu , $Cu\ congest$, Cb) та в окремі строки спостережень (о 12:00 год. 29.06.2023) гроза. Погодні умови, на даний період, були обумовлені тиловою частиною циклону та проходженням вторинного фронту (рис.3.13).

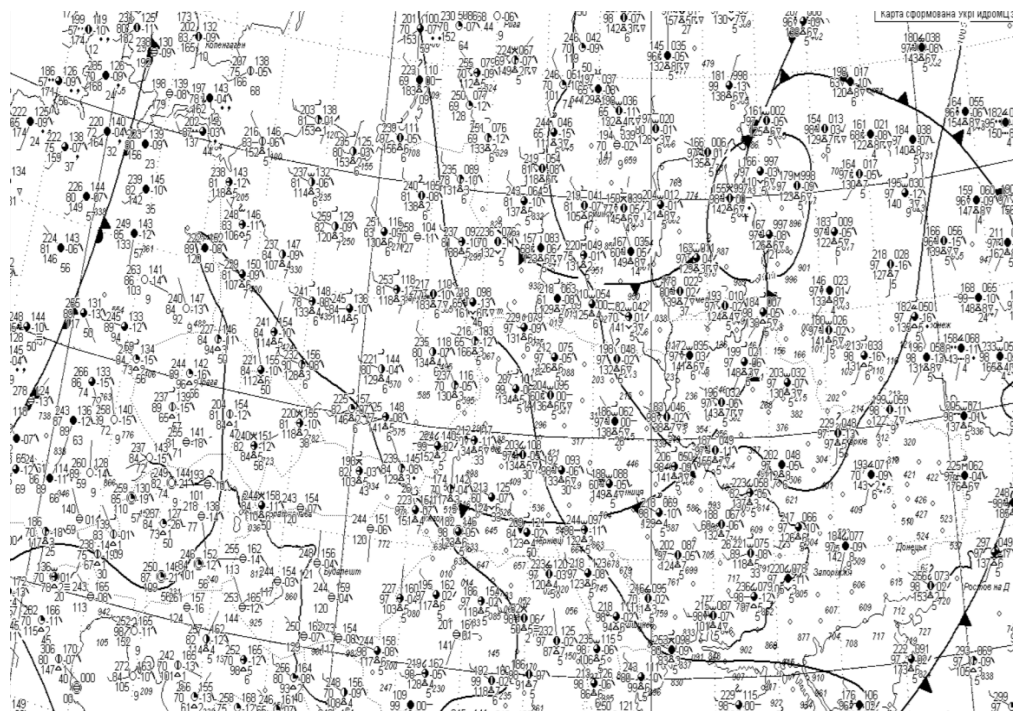


Рисунок 3.13 – Карта приземного аналізу за 29.06.2023 р. о 12:00 год.

Хронологія явищ, що спостерігалися на станції Яготин протягом згаданого вище періоду (з дискретністю 6 годин) представлена у вигляді таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Схема явищ що спостерігались на станції Яготин за кожен строк

29.06.23р.				30.06.23р.
00:00	06:00	12:00	18:00	00:00
				

На наступному етапі дослідження, з метою подальшого аналізу, був проведений розрахунок значень лапласіану тиску для обраних ізобаричних поверхонь та побудовані графіки його вертикального розподілу з часом (рис.3.14).

З графіків на рисунку 3.14 видно, що з початком розвитку конвекції в атмосфері (в період з 00:00 год. 29.06.2023р. до 18:00 год. 29.06.2023р.), значення лапласіану на приземному рівні змінюються з від'ємних на додатні, а з закінченням грози і послабленням конвективної активності в атмосфері (в період з 12:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.) спостерігається незначна тенденція до зменшення значень лапласіану.

На рівні 925 гПа, з початком конвективних процесів значення лапласіану збільшуються і набувають значень близьких до нульових, а з закінченням грози і послабленням конвективної активності в атмосфері (в період з 12:00 год. 29.06.2023р. до 00:00 год. 30.06.2023р.) спостерігається тенденція до змінення значень лапласіану в бік від'ємних.

На поверхні 850 гПа з початком конвективних процесів значення лапласіану зменшуються і набувають від'ємних значень, а в момент грози (о 12:00 год. 29.06.23 р.) спостерігається різкий ріст значень до додатніх значень. З закінченням грози і послабленням конвективної активності в атмосфері спостерігається тенденція стрімкого зменшення значень лапласіану в бік від'ємних.

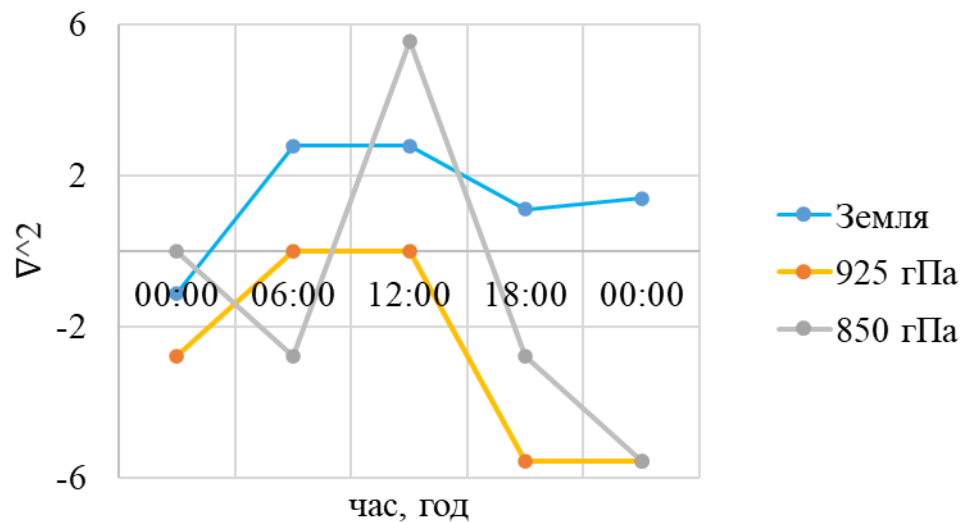


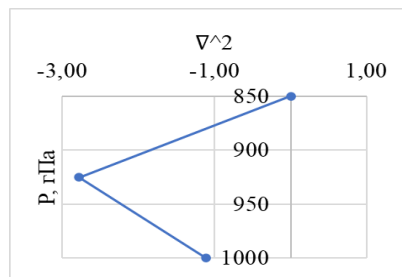
Рисунок 3.14 – Графік розподілу лапласіану на станції Яготин по основним строкам з 29.06.2023 р. о 00:00 год. по 30.06.23 р. о 00:00 год.

Наступний етап дослідження включав в себе аналіз розподілу лапласіану тиску у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.15).

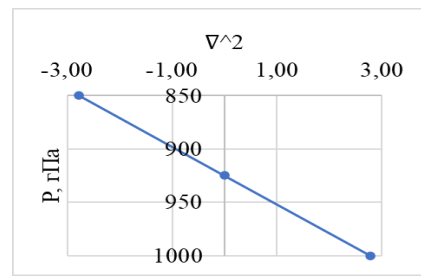
З графіку на рисунку 3.15 *а* видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 00:00 год 29.06.23 р.) значення лапласіану біля поверхні землі і на поверхні 925 гПа мають від’ємний знак, водночас на поверхні 850 гПа навпаки спостерігаються значення лапласіану близькі до нульових.

О 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.15 *б*) на станції спостерігається перша конвективна хмарність. Знак лапласіану на приземному рівні і рівні 925 гПа, суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний). На поверхні 850 гПа спостерігається зменшення в сторону від’ємних.

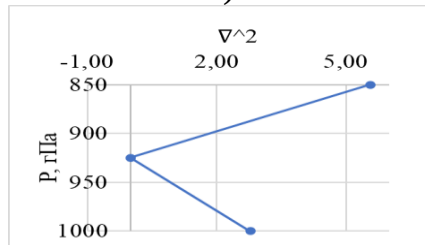
О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.15 *в*) на станції спостерігається гроза, при цьому значення лапласіану на поверхні 850 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний). Значення на приземному рівні і рівні 925 гПа залишились майже незмінними (порівняно з попередніми).



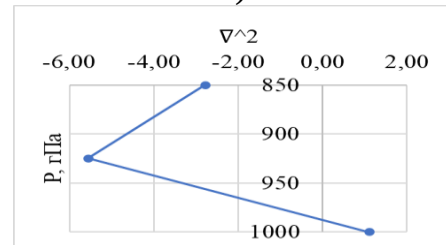
а)



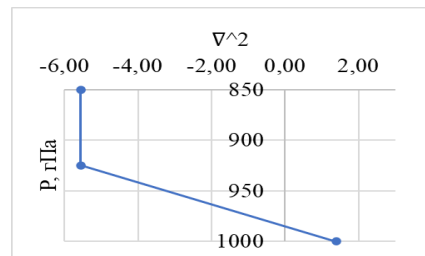
б)



в)



з)



д)

Рисунок 3.15 – Графіки вертикального розподілу лапласіану на станції

Яготин: а) 29.06.2023 за 00:00, б) 29.06.2023 за 06:00, в) 29.06.2023 за 12:00,

з) 29.06.2023 за 18:00, д) 30.06.2023 за 00:00

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.15 з) на станції спостерігається купчаста хмарність, що свідчить про послаблення конвективної активності (порівняно з попереднім строком), при цьому значення лапласіану біля земної поверхні залишається незмінним. На поверхні 925 гПа та 850 гПа суттєво змінюються, причому як по величині, так і по знаку (від'ємний).

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис. 3.15 д), на станції Яготин спостерігається припинення конвективної активності. Значення лапласіану біля поверхні землі і на поверхні 925 гПа залишаються незмінними (порівняно з попереднім строком). На рівні 850 гПа спостерігається зменшення значень лапласіану, в сторону від'ємних.

На наступному етапі дослідження проводився аналіз відносного вихору та дивергенції над станцією Яготин в період з 18:00 год. 28.06.23 р. до 00:00 год. 30.06.23 р. Для цього були побудовані графіки розподілу значень відносного вихору та дивергенції на станції Яготин по основним строкам (рис. 3.16) і графіки вертикального розподілу значень відносного вихору на станції Яготин. Для зручності відображення на графіках значення відносного вихору та дивергенції були нанесення у розмірності 10^{-5} c^{-1} .

З графіку на рисунку 3.16 *а* видно, що з розвитком конвективної активності, значення відносного вихору біля поверхні землі мають тенденцію до росту, але з закінченням грози значення починають зменшуватись, зберігаючи додатній знак. Зворотну картину можна спостерігати зі значеннями дивергенції, значення дивергенції зменшуються в час грозової активності і стрімко збільшуються змінюючи знак на додатній з її закінченням.

З графіку на рисунку 3.16 *б* видно, що з початком конвективної активності, значення відносного вихору на рівні 925 гПа стрімко збільшуються. Але з подальшим розвитком відстежується тенденція зменшення значень зі зміною знаку на від'ємний з її згасанням. Значення дивергенції як і в попередньому випадку сягають своїх мінімальних від'ємних значень в час активної фази грози і повертаються до додатніх з її закінченням.

З графіку на рисунку 3.16 *в* видно, що з початком конвективної активності, значення відносного вихору на рівні 850 гПа зменшуються, але стрімко збільшуються до додатніх під час проходження грози над станцією Яготин і так само стрімко повертаються до попередніх з її закінченням. Значення дивергенції на даному рівні з початком конвекції незначно зросли, змінивши знак на додатній, але подальший розвиток супроводжувався тенденцією зменшення значень до від'ємних.

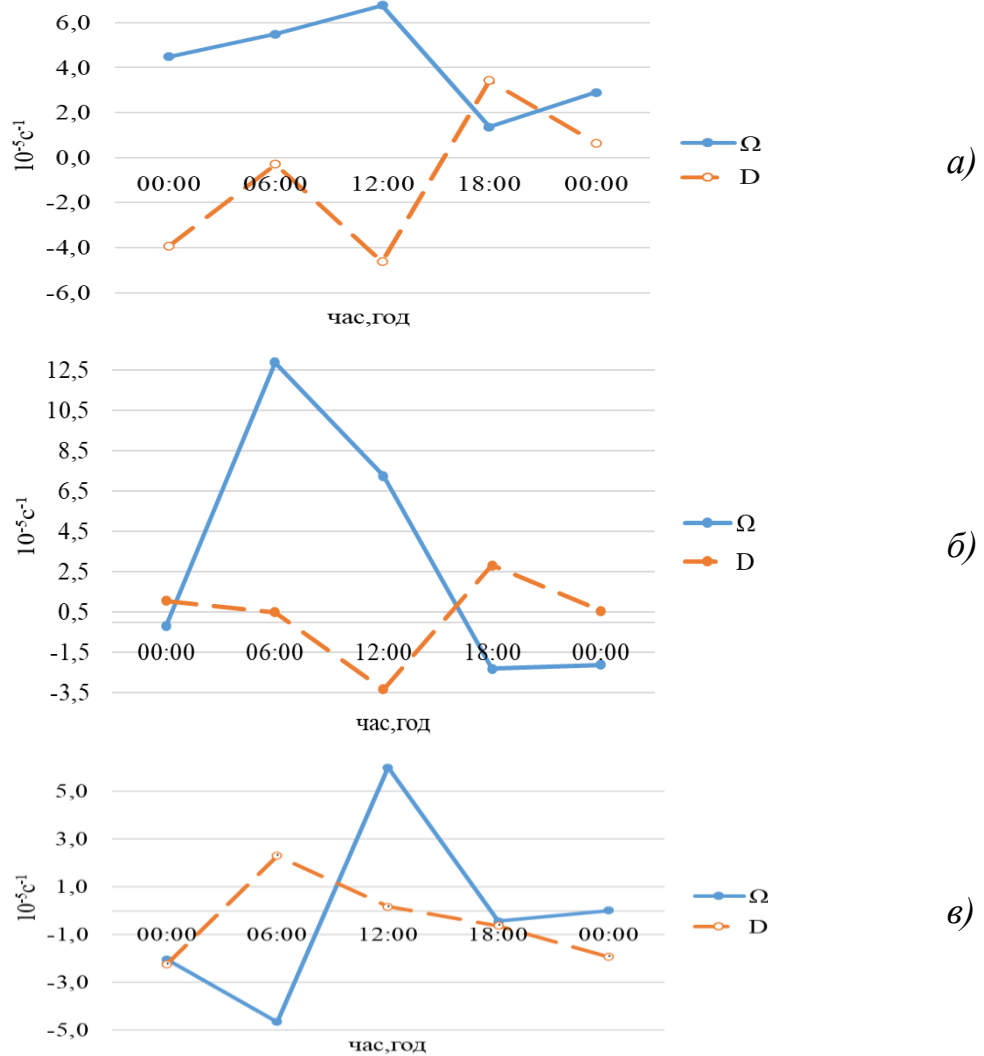


Рисунок 3.16 – Графіки розподілу значень відносного вихору та дивергенції на станції Яготин: а) Приземний рівень, б) Рівень 925 гПа, в) Рівень 850 гПа

Кінцевим етапом дослідження включав аналіз розподілу значень відносного вихору у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.17).

З графіку на рисунку 3.17 а видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 00:00 год 29.06.23 р.) відносного вихору біля поверхні землі мають додатній знак, водночас на поверхнях 925 гПа і 850 гПа навпаки спостерігаються від’ємні значення.

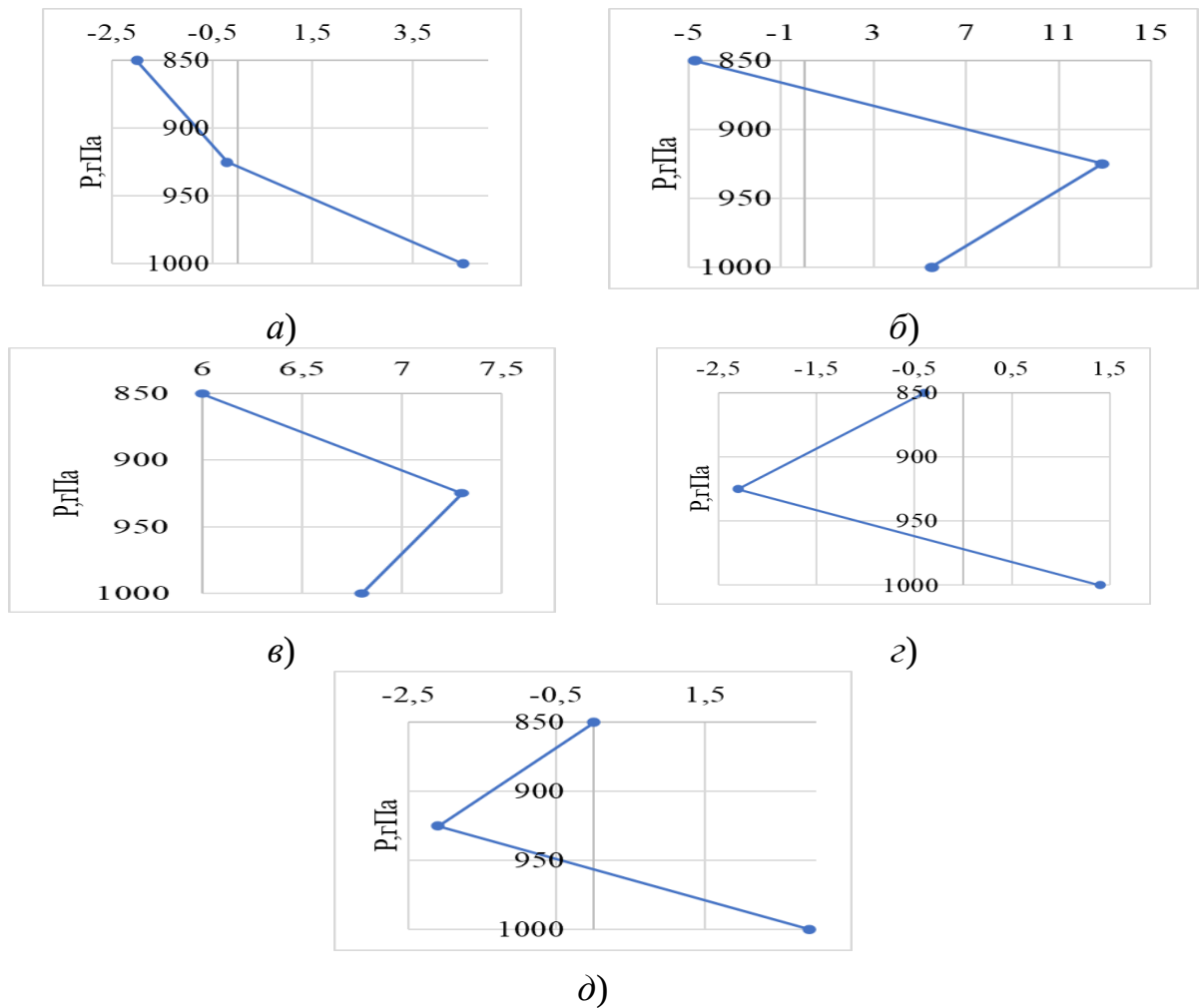


Рисунок 3.17 – Графіки вертикального розподілу значень відносного вихору на станції Яготин: а) 29.06.2023 о 00:00, б) 29.06.2023 о 06:00, в) 29.06.2023 о 12:00, г) 29.06.2023 о 18:00, д) 30.06.2023 о 00:00

У 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.17 б), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувались перші купчасті хмари), значення відносного вихору біля поверхні збільшились. На поверхні 925 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний), а на поверхні 850 гПа спостерігається зменшення показників в сторону від'ємних.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.17 в) на станції спостерігається активна грозова діяльність, при цьому значення відносного вихору біля земної поверхні залишається незмінним, на поверхні 925 гПа спостерігається зменшення. Суттєвих змін зазнали значення на рівні 850 гПа, причому як по величині, так і по знаку (на додатний).

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.17 *з*) конвекція в атмосфері слабшає. Значення відносного вихору на всіх рівнях активно зменшуються. Найзначніших змін зазнали значення на рівні 925 гПа (як по значенню, так і по знаку). Також зміна знаку (на від'ємний) відбулась зі значеннями відносно вихору на рівні 850 гПа. Значення біля поверхні землі зберегли додатні значення.

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис. 3.17 *д*), значення відносного вихору на всіх рівнях майже не зазнали змін (в порівнянні з минулим строком).

Далі був проведений аналіз розподілу значень дивергенції у вертикальному профілі за кожний з досліджуваних строків (графіки розподілу відображені на рис.3.18).

З графіку на рисунку 3.18 *а* видно, що на момент відсутності конвективної активності (о 00:00 год 29.06.23 р.) значення дивергенції біля поверхні землі і на поверхні 850 гПа мають від'ємний знак, водночас на поверхні 925 гПа навпаки спостерігаються додатні значення.

У 06:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.18 *б*), на момент розвитку конвективної активності (на станції фіксувались перші купчасті хмари), значення дивергенції на поверхні 850 гПа суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на додатний),при цьому значення дивергенції на поверхні 925 гПа залишається незмінним, на рівні земної поверхні спостерігається збільшення порівняно з попереднім строком.

О 12:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.18 *в*) на станції спостерігається активна грозова діяльність, при цьому значення дивергенції на всіх досліджуваних поверхнях суттєво змінюється, причому як по величині, так і по знаку (на від'ємний).

О 18:00 год. 29.06.2023 р. (рис.3.18 *г*) конвекція в атмосфері слабшає. Значення дивергенції на поверхні 850 гПа залишається майже незмінними, порівняно з попереднім строком. Знак дивергенції на приземному рівні і рівні 925 гПа, знов змінюється на додатній.

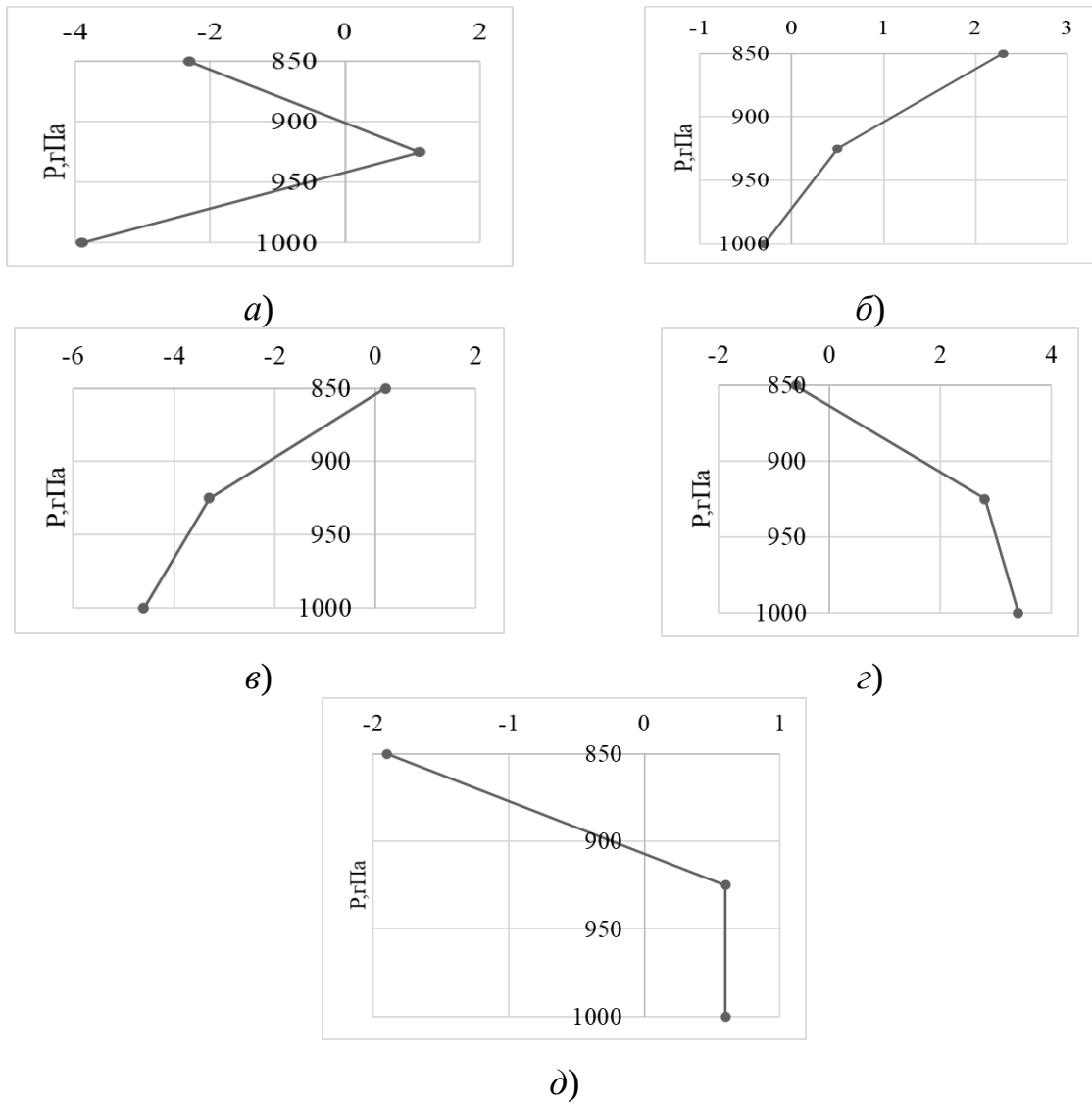


Рисунок 3.18 – Графіки вертикального розподілу значень дивергенції на станції Яготин: а) 29.06.2023 о 00:00, б) 29.06.2023 о 06:00, в) 29.06.2023 о 12:00, г) 29.06.2023 о 18:00, д) 30.06.2023 о 00:00

У 00:00 год. 30.06.23 р. (рис. 3.18 д), на станції Яготин спостерігається припинення конвективної активності. Приземний рівень і рівень 925 гПа значення зменшилися зберігаючи додатній знак. На рівні 850 гПа спостерігається незначне зменшення.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

- з початком розвитку конвективної активності, яка супроводжувалася появою хмарності вертикального розвитку, злив і гроз спостерігалось зростання значення лапласіану на рівні 850 гПа, що починалося за 6 год до появи зазначених явищ і тривало протягом усього періоду їх формування;
- в період існування конвективної активності, лапласіан біля поверхні землі набуває від'ємних значень, а на висотах залишається додатним і спостерігається тенденція до збільшення його значень протягом усього періоду існування конвекції;
- перед початком формування конвекції на всіх поверхнях спостерігаються від'ємні значення відносного вихору, а з її зародженням значення відносного вихору збільшуються, набуваючи додатного знаку, хід значень дивергенції є діаметрально протилежним ходу відносного вихору і з розвитком конвекції навпаки зменшуються, змінюючи знак на від'ємний;
- в період розвитку конвекції, значення відносного вихору, мають тенденцію до продовження зростання, з незначним зменшенням в окремі строки (в залежності від інтенсивності конвективних процесів), хід значень дивергенції, при цьому, залишається протилежним ходу відносного вихору;
- з моменту послаблення конвективної активності, значення відносного вихору (дивергенції) на всіх рівнях мають тенденцію до зменшення (збільшення) наближаючись до початкових на момент повного припинення конвективних процесів.

СПИСОК ВИКОРАСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Івус Г. П. Короткострокові прогнози погоди з урахуванням мезометеорології : конспект лекцій. Одеса, 2007. 122 с.
2. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди. Одеса, 2012. 244 с.
3. Івус Г. П. Короткострокові прогнози погоди з урахуванням мезометеорології : конспект лекцій. Одеса, 2007. 162 с.
4. Проценко Г. Д. Метеорологія та кліматологія. Харків, 2007. 78 с.
5. Школьний Є. П. Фізика атмосфери. Одеса, 1997. 110 с.
6. Метеорологія і кліматологія : підручник за ред. С. М. Степаненка. Одеса, 2008. 533 с.
7. Грушевський О. М., Міщенко Н. М. Діагноз і прогноз конвективних явищ : навч. посіб. Одеса, 2020. 7 с.
8. Грушевський О. М., Міщенко Н. М., Мансарлійський В. Ф., Бурцева В. М. Про можливості діагнозу і прогнозу глибокої конвекції в оперативній діяльності // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, 2018. 5-8 с.
9. Міщенко Н. М., Панова Я. Л., Грушевський О. М. Нижньорівнева адвекція вологи як тригерний механізм атмосферної конвекції та предиктор її прогнозу // Український гідрометеорологічний журнал. 2020. № 25. 37 с.
10. Нажмудінова О. М. Синоптична метеорологія. Одеса, 2011. 20–28 с.
11. Івус Г. П., Семергей-Чумаченко А. Б. Авіаційна метеорологія та кліматологія. Одеса, 2007. 18 с.
12. Bleeker W., Andre M. J. Convective phenomena in the atmosphere. 2013. 22 p.
13. Bluestein Howard. Convective Storms and Severe Weather. 2013. 49 p.
14. Griser Ju. Convection Parameters. 2012. 62 p.
15. Williams P. D. Climate Change and its Impact on Aviation // Nature Climate Change. 2016. 562-565 p.

16. Wallace J. M., Hobbs P. V. Atmospheric Science: An Introductory Survey. - Amsterdam: Academic Press, 2006. 485 p.
17. Linacre E. L., Geerts B. J. Climates and Weather Explained. New York : Routledge, 1997. 432 p.
18. Severe Convective Storms and Tornadoes / URL: https://www.researchgate.net/publication/316273033_Severe_Convective_Storms_and_Tornadoes (дата звернення: 18.04.2025).
19. Cotton W. R., Bryan G. H., Heever S. C. Storm and Cloud Dynamics. 2011. 56 p.
20. Sauvageot H. W. Radar Meteorology: A First Course. 2016. 94 p.
21. Bluestein H. B. Severe Convective Storms and Tornadoes: Observations and Dynamics. 2013. 34 p.
22. Charlson R. J. Clouds in the Perturbed Climate System: Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation. 2012. 153 p.
23. Emanuel K. W. Atmospheric Convection. 2018. 36 p.
24. Wells N. C., Alford M. D. The Atmosphere and Ocean: A Physical Introduction. 3rd ed. 2017. 82 p.
25. Warner T. T. Numerical Weather and Climate Prediction. 2011. 50 p.

ДОДАТКИ

Додаток

ДОВІДКА

кафедри військової підготовки

до кваліфікаційної роботи

курсанта групи В-21 Миколи Донєва

на тему: «Динамічна структура атмосфери в період формування
конвективних явищ»

1. Доповідь на 81-ї звітній студентській науковій конференції ОНУ імені І. І. Мечникова 23-25 квітня 2025 р. за темою «Мезомаштабна структура атмосфери, в осередках конвективних явищ» та публікація тез доповіді за результатами конференції на сайті ОДЕкУ. [Електронний ресурс]. Спосіб доступ:

https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/rgf/theory_practice_translate/MethodichniVidania/program_81_stud_konf_2025.pdf

Керівник кваліфікаційної роботи

підполковник

Валерій МАНСАРЛІЙСЬКИЙ