

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: «Багаторічна динаміка кліматичних характеристик
Антарктичного півострова»

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-21
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Лахтюк Дар'я Василівна

Керівник к.геогр.н., доцент
Волошина Олена Вікторівна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Вольвач Оксана Василівна

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ СТАНЦІЇ "АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ"	6
1.1 Розташування станції "АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ"	6
1.2 Загальна характеристика температурного та вітрового режимів району станції	8
2 ОСОБЛИВОСТІ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІВДЕННОЇ ПІВКУЛІ	12
2.1 Особливості та механізм циркуляції атмосфери в Антарктиці	17
2.2 Дослідження озонної діри на станції «Академік Вернадський»	23
3 ОЦІНКА ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ РЯДІВ ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМУ ВІТРУ РІЗНИХ ЧАСОВИХ ДОЗВОЛАХ НА СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ».....	26
3.1 Загальні відомості про векторні характеристики вітру	26
4 ОЦІНКА ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ РЯДІВ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ РІЗНИХ ЧАСОВИХ ДОЗВОЛАХ НА СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ».....	51
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	67

ВСТУП

Гідрометеорологічні дослідження проводяться в Південній полярній області в різних напрямках: це вивчення особливостей циркуляції океану та атмосфери, еволюції льодовикового покриву, особливості погодоутворюючих процесів, мінливість озонового шару, кліматоутворююча роль найхолоднішого континенту в планетарній кліматичній системі.

В даний час порівняно добре вивчені циркуляційні особливості цієї південно-полярної області, вертикальна структура баричних утворень, відповідний режим погоди, режим сонячної радіації, приземної температури, вітру, опадів, хмарності. Загально визнаною є важливість урахування мінливості процесів південної полярної області для складання довгострокових прогнозів погоди.

Проте, систематично описуються нові риси форм циркуляції, уточнюються типи синоптичних процесів, рівень вивчення місцевих процесів ще менше. Для Антарктичного півострова, так і для інших районів зі складною орографією даних однієї-двох станцій, зазвичай віддалених один від одного, недостатньо для опису повної картини мезомасштабних процесів.

Магістерська робота присвячена аналізу причин, що формують кліматичні особливості Антарктиди та Антарктичного півострова, дослідженню температурного та вітрового режиму на станції Академік Вернадський за період з 1950 по 2022 рр. та окремо за періоди 1961-1990рр. и 1991-2020рр, для з'ясування впливу глобального потепління клімату. Отримані результати узгоджуються з даними літературних джерел, але є повнішими та докладнішими. Виявлено тренд у рядах середньомісячних значеннях вітру за рік та окремо за теплий та холодний періоди, що дозволило зробити висновок про те, що потепління чітко виявилось в останнє десятиліття.

Мета даної роботи – дослідження багаторічної динаміки кліматичних характеристик Антарктичного півострова, а саме в районі української

антарктичної станції «Академік Вернадський». За допомогою статистичного аналізу планувалося отримати характеристики зміни вітрового режиму та атмосферного тиску за час існування станції з 1950 по 2020 рр. і за два тридцятирічних періодів 1961-1990 рр. і 1991-2020 рр. Ці періоди обрані Всесвітньою метеорологічною організацією для розрахунку кліматичних норм.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань. У вступі формується мета і задачі проекту. Перший розділ містить у собі загальну інформацію про географічні і кліматичні особливості Антарктиди. Другий розділ складається з розглядання механізму циркуляції атмосфери Антарктиди. У третьому розділі приведені статистичні характеристики та їх аналіз вітрового режиму. У четвертому розділі представлені статистичні характеристики середньомісячних значень атмосферного тиску Антарктичного півострова на станції «Фарадей» – «Академік Вернадський». У висновках представлені результати виконаної роботи. Перелік посилань складається з 16 джерел.

1 ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ СТАНЦІЇ "АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ"

1.1 Розташування станції "АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ"

Антарктида розташована у центрі величезної антарктичної області. За характером рельєфу вона поділяється на дві частини – Східну та Західну.

Архіпелаг Аргентинські острови, розташований у західній частині Антарктиди, відкрито і названо Французькою антарктичною експедицією в 1903 році і з'явився на карті Антарктики наприкінці 20 років. Він розташований у межах західного тихоокеанського шельфу Антарктичного півострова, приблизно 10 км на захід від Узбережжя Землі Грейама. Він складається із півтора десятка порівняно невеликих островів загальною площею близько 10 км². Найбільшими з них є Галіндез, Уругвай, Уінтер, Скуа, Ірізар (площа кожного близько 1 км). Крім того, до складу архіпелагу входять ще близько десятка порівняно невеликих островів і скель, розкиданих за 5-7 км на захід від Антарктичного півострова. Їхнє розташування таке, що забезпечує надійний захист від сильного хвилювання західної та північно-західної околиці острова Галіндез, на якому розташована станція «Академік Вернадський», а наявність з півночі глибоководної протоки дозволяє морським судам підходити безпосередньо до околиць станції. Берегова лінія островів значно порізана і є скелями, місцями, вкриті мохом, а взимку практично повністю закриті снігом. Відмінною особливістю орографії району станції є близькість гірського ланцюга Антарктичного півострова, а місцевих умов - наявність невисокого льодовикового купола на кожному з основних островів, з пологим підйомом з північного боку та крутим урвищем з південного заввишки не більше 60 м.

Координати архіпелагу Аргентинські острови $64^{\circ} 12' - 64^{\circ} 21'$ з. д. і $65^{\circ} 13' - 65^{\circ} 16'$ пд. ш., тобто розташований він дещо північніше південного полярного кола, тому немає явища класичної полярної ночі. У день зимового Антарктичного сонцестояння (22 червня) сонце піднімається над обрієм майже на 3 градуси [1].

За 5 км від станції Академік Вернадський розташована невелика група островів Анаграм, висунута у бік Тихого океану. Від інших островів тихоокеанського узбережжя Антарктичного півострова архіпелаг Аргентинські острови відокремлюються Французькою протокою, а від півострова протокою Пенола, ширина якого в найвужчій частині близько 7 км.

В даний час метеорологічний майданчик знаходиться на північно-західному краю острова Галіндез, в безпосередній близькості від берегової лінії. Перепад висот в районі метеорологічного майданчика не більше 8 м. До основи невеликого піднесення острова льодовикового купола, висота якого 60 м близько 500 м. З травня по листопад поверхня представляє стійкий сніговий покрив, а з грудня до лютого сніговий покрив може відзначатися, але він нестійкий.

У середині зими 1956 року у районі Мирного метеорологи Першої САЕ організували одночасні спостереження в 13 кілометрах від берега морського припаю. На станції, розташованій на морському припаї, стокові вітри мало відчувалися. Влітку, коли на рейди приходять морські судна і стають за 10-15 км від берега, вночі та вранці у місці стоянки стоїть хороша погода, а на станціях вирує поривчастий вітер.

Над Південним океаном утворюються глибокі атмосферні вихори - циклони, які переважно рухаються навколо Антарктиди, але вони мають південну складову; вони підходять до берегів Антарктиди і іноді припадають на континент. У цьому випадку циклонічний вітер, складаючись зі стічних, досягає сили урагану. Повторюваність ураганів та штормів біля берегів Східної Антарктиди дуже велика. У Мирному, наприклад, протягом року

буває близько 250 штормових днів, коли швидкість вітру перевищує 15 м/с, але в Австралійській станції Моусон - понад 300 днів. Швидкості вітру при ураганах досягають у цих місцях величезної величини – 45 м/с, а за окремих поривів – 90 м/с.

Українська південно-полярна станція знаходиться в районі Антарктиди з найбільшою щільністю станцій, що постійно діють, що пояснюється відносною легкістю доступу до останніх морських шляхів. Тим не менш, тільки на півночі Антарктичного півострова і прилеглих островах щільність мережі станцій, необхідна для оптимального освітлення та коректного прогнозу погоди, відповідає цій нормі (одна станція на 50 км). Станція Академік Вернадський замикає південний кордон зони репрезентативного освітлення (ст. Палмер, США, на північ 70 км, ст. Розер, Англія на південь 300 км) [1].

1.2 Загальна характеристика температурного та вітрового режимів району станції

Антарктида - найхолодніший материк земної кулі. Середня річна температура по всьому материка негативна:, але значення її у різних районах значно різняться: якщо над центром материка вона нижче -50°C , то околицях становить -20°C , але в півночі Антарктичного півострова, поблизу станції Академік Вернадський, -5°C . Тільки тут середня температура літніх місяців може бути дещо вищою за нуль. температурний режим району станції визначається в першу чергу причиною, паю є загальною для всієї північної частини Антарктичного півострова, близькістю великого водного простору Тихого океану. Пом'якшувальний вплив проявляється у літні місяці (грудень-березень), коли з циклонами, що вдаються по західних і північно-західних траєкторіях, відбувається затік теплого повітря помірних широт.

У цей час середні місячні температури відзначаються не більше -2°C $+2^{\circ}\text{C}$, їх місячна амплітуда вбирається у $7-9^{\circ}\text{C}$. Позитивні температури літніх місяців сприяють інтенсивному таненню снігу. У безпосередній близькості станції поверхня, вкрита ним не перевищує $4-6^{\circ}\text{C}$ за переважно хмарної погоди з опадами.

Найбільші амплітуди, як місячні, так і добові, відзначаються в розпал зими в липні-серпні при активізації зимових холодних фронтів, з якими пов'язана адвекція холодного континентального повітря. У ньому найчастіше відзначаються приземні інверсії температури повітря, що притаманно вертикального розподілу температури повітря над сніжно-льодовою поверхнею. При цьому найбільш інтенсивне зростання температури відбувається в нижніх, кілька десятків метрів шарі, а сумарна товщина шару інверсії в середньому становить 300-500 метрів [3].

Крім цих факторів на зміну приземної температури та вітру можуть впливати місцеві орографічні умови. У зв'язку з відхиленням повітряного потоку гірської системи Антарктичного півострова переважний напрямок вітру північно-північно-східний, повторюваність яких зростає до 40% протягом місяців з цією циклонічною діяльністю. Фоновий ефект при вітрах північних і східних румбів, що найчастіше формується на південній, південно-східній периферії циклону з центром в районі зони конвергенції в протоці яка. Швидкість вітру характеризується зміною періодів затишок і поривів тривалості (від кількох хвилин до кількох годин), силою до 15-20 м/с. Зростання температури при різкому зниженні відносної вологості повітря носить стрибкоподібний характер і утримується доти, доки не зміниться напрямок основного потоку, що перевалює через гірський хребет. Протягом температура може підвищитися на $5-7^{\circ}\text{C}$ протягом години і менше. Така зміна температури можна порівняти з добовим її перебігом. Наприкінці зимового періоду (вересень-жовтень) фенове підвищення температури може призвести до відлиг і південного покрову навіть у холодну половину року.

Крім цього, у прибережній зоні материка при вітрах південних напрямів спостерігаються сприятливі умови для формування купової хмарності внаслідок вимушеної конвекції.

Таким чином, на тлі певної макромасштабної циркуляції в районі станції Академік Вернадський розвиваються мезомасштабні ефекти, пов'язані з графічно обумовленою зміною основного потоку бар'єром гірських масивів, а також у деяких випадках мікромасштабні явища.

Неоднорідністю мікрорельєфу та наявністю льодовиків та снігового покриву в безпосередній близькості від місця спостережень.

На Антарктичному півострові вітровий режим визначається такими характеристиками: на станції Бернардо-0"Хіггінс, розташованої на його північному краю, середня швидкість вітру влітку дорівнює - 4,8 м/с, восени - с, взимку - 6,5м/с, навесні - 6,0 м/с, середня річна швидкість вітру - 6,1 м/с, кількість днів із вітром > 15 м/с становить 101 день, а пориви швидкості вітру на всі боки можуть досягати 50 м/с.

На українській станції "Академік Вернадський" встановлено новий температурний рекорд. Температура піднялася до $+12,7^{\circ}$.

Попередній рекорд було зафіксовано 1985 року, коли температура піднялася до $+11,7^{\circ}$. Як повідомляється, в той же час аномальні температури були відзначені і на інших антарктичних станціях на острові Кінг Джордж, розташованому на північ від "Вернадського".

"Такі температурні рекорди насторожують, адже вони є одним із свідчень зміни клімату", - повідомляють вчені.

Як зазначається, вчені пов'язують таке різке потепління із явищем "атмосферної річки", посиленням ефектом "гірського фена".

Атмосферна річка – це вузька смуга з високою концентрацією атмосферної вологи, яка швидко перенесла теплі маси повітря та вологи з тропіків до Антарктиди [3].

Ефект "гірського фена" - це сильний теплий вітер із гір. Причиною розвитку цього ефекту є утворення опадів над горами, від чого повітря втрачає вологу та нагрівається.

"Оскільки внаслідок посилення глобального потепління очікується збільшення кількості опадів у полярних районах, то й інтенсивність фенів надалі посилюватиметься", – зазначили вчені.

Було виявлено, що ці вітри дмуть лише поблизу берега і швидко загасають поблизу моря. Коли були створені перші внутрішньоконтинентальні станції і почалися внутрішньоконтинентальні походи, було встановлено, що такі вітри дмуть на схилах льодовикового щита і їх залежать від крутизни схилу. Ці вітри утворюються внаслідок охолодження повітря біля поверхні льодовика. При охолодженні щільність повітря підвищується, і він стікає вниз схилом під дією сили тяжіння. Тому ці вітри називаються стоковими. Потужність шару стоку повітря зазвичай становить 200-300 метрів. Спостерігаються стокові вітри зазвичай за ясної погоди або за невеликої хмарності. Горизонтальна видимість при стокових вітрах часом дорівнює нулю, тому що вітер несе велику кількість снігового пилу [3].

Навіть у самому центрі материка, де нахили поверхні невеликі, все ж таки існують слабкі стокові вітри. Стокові вітри особливо різко проявляються у холодну пору року. Влітку вдень в результаті прогріву нижнього шару атмосфери сонцем стічні вітри біля узбережжя припиняються. Тут у денний сонячний годинник стоїть штиль або спостерігаються вітри інших напрямів, а на схилі, на відстані 20-30 кілометрів від берега, дме сильний вітер. Вночі при охолодженні вітру стокові вітри знову поширюються до берега.

2 ОСОБЛИВОСТІ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІВДЕННІЙ ПІВКУЛІ

Циркуляційні процеси над акваторією Південного океану, і особливо у високих широтах Південної півкулі ще мало вивчені, проте вони відіграють велику роль у формуванні та розвитку великомасштабних компонентів загальної циркуляції атмосфери, а отже, і кліматичної системи загалом. Особливо мало робіт, що належать до особливостей статистичної структури полів геопотенціалу, які визначають поля повітряних течій. У роботі [1] докладно вивчено особливості статистичної структури полів геопотенціалу поверхонь АТ-925, АТ-850, АТ-500 та АТ-200. Оскільки, як відомо, циркуляційні процеси найбільш яскраво виявляються на рівні АТ-850, основна увага була приділена саме цій ізобаричній поверхні.

Вченими Шкільний Є. П. та Галич Є.А. в якості вихідної інформації були використані дані реаналізу ERA - 40, задані у вузлах регулярної сітки точок $2,5^\circ$ на $2,5^\circ$, в секторі обмеженому по широті від Південного полюса до 20° пд. ш. та меридіанами 120° з. д. та 30° с. д., за період з 1958 р. по 2002 р. для кожного місяця року. У сектор, що розглядається, входить Антарктичний півострів, на якому розташовується українська антарктична станція «Академік Вернадський». На основі вихідних даних були сформовані матриці для кожного місяця

$$X = (x_{ij})_{n \times m} \quad (1.1)$$

де n – кількість вузлів регулярної сітки точок, у яких задані значення геопотенційних висот ізобаричних поверхонь; m – кількість полів кожного місяця ($m = 44$).

Після розрахунку середніх полів, було здійснено центрування матриць вихідних даних ΔX та розрахунок матриць коваріацій (K_x).

На основі матриць підступів було проведено компонентний аналіз, який дозволяє виявити важливі особливості структури та динаміки великомасштабних атмосферних процесів. Основне рівняння повної проблеми власних значень має вигляд

$$K_x W_i = \lambda_i W_i, \quad (1.2)$$

де λ_i - власне значення; W_i - відповідний йому власний вектор.

Як відомо, власні значення є дисперсіями ортогональних компонентів досліджуваних полів, отриманих шляхом їх ортогонального перетворення в базисі власних векторів

$$Z_i = W' \Delta X_i, \quad (1.3)$$

оскільки матриці W є ортогональними. Розгляд дисперсій ортогональних компонент метеорологічних полів, що розглядаються, показує, що сума перших трьох з них на всіх аналізованих рівнях вичерпує більше 70% сумарної дисперсії полів геопотенціалу [2].

Оскільки дисперсії λ_1, λ_2 і λ_3 роблять найбільший внесок у сумарну дисперсію полів (більше 70%), то відповідні їм ортогональні компоненти Z_1, Z_2 і Z_3 характеризують основні особливості найбільш великомасштабних циркуляційних процесів. Особливості статистичної структури полів геопотенціалу характеризують перші три власні вектори W_1, W_2 і W_3 . Поля першого власного вектора в усі місяці є пучністю з центром над Антарктидою з ізолініями паралельними колам широт. Докладний аналіз цих полів міститься у роботі. Перша ортогональна компонента відноситься до найбільш великомасштабної складової загальної циркуляції атмосфери - західно-східного переносу. Значний інтерес представляє друга головна компонента. Відповідні поля інших векторів у всі місяці року мають вигляд біполярної осциляції, що характеризує зв'язок між циркуляційними

процесами атмосфери над південними акваторіями Тихого та Атлантичного океанами, які розділяються протокою Дрейка. На рис.2.1 показані центри цих осциляцій (центри «тяжкості») у різні місяці, які розташовуються над південними акваторіями океанів на широті 60 пд. ш. Компонента полів геопотенціалу АТ-850 відбиває розвиток вихрової структури у системі загальної циркуляції атмосфери західного сектора південної півкулі. Тому слід розглядати зазначену біполярну моду як одну з головних осциляцій для атмосфери південної півкулі. Вона отримала назву Південно-Тихоокеансько-Атлантичного зонального коливання (ЮТОАЗК) [2].

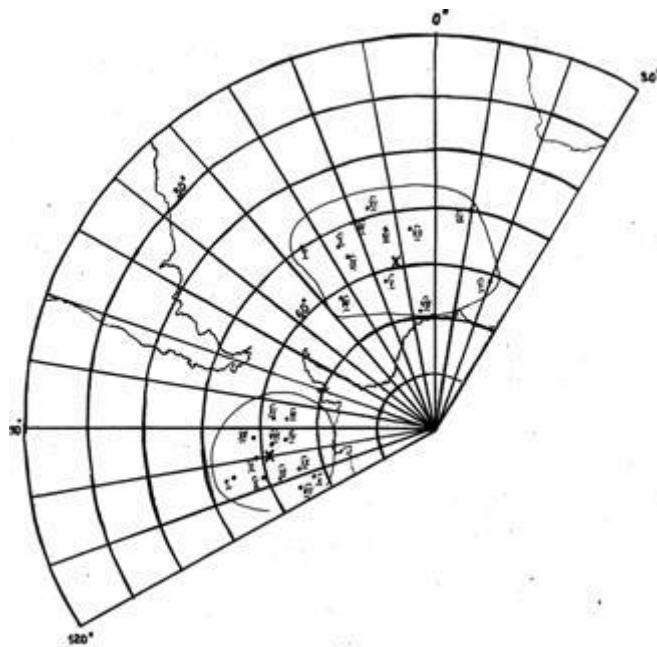


Рисунок 2.1 – Положення центрів біполярної структури в полях другого власного вектора у різні місяці року на рівні АТ-850.

Дослідження показують, що глобальні осциляції, такі як, Ель-Ніньо Південне коливання (ЕНЮК), Північно-Атлантичне коливання (САК) та Північно-Тихоокеансько-Американське коливання (СТОАК) відіграють роль показників інтенсивності циркуляційних процесів в атмосфері що, своєю чергою, характеризує особливості синоптичних процесів, отже, і кліматичних характеристик окремих регіонів, і глобального клімату загалом.

Представляє інтерес, чи є взаємозв'язок між зазначеними вище осциляціями, з одного боку, і осциляцією ЮТОАЗК, з іншого. Це питання з'ясувалося шляхом взаємного спектрального аналізу. Розраховувалися когерентності, а також фазові спектри, де – частоти. Когерентності піддавалися згладжуванню (період згладжування $n=36$ місяців).

В табл. 2.1 представлені результати дослідження.

Таблиця 2.1 – Характеристики взаємних спектрів

Вид взаємозв'язку	γ_k	Період (T), місяці	Зрушення по фазі (ψ), місяці
ЮТОАЗК– ЭНЮК	0,68	12,1	-11,7
	0,60	4,5	1,8
	0,60	3,6	-3,4
	0,61	3,0	0,6
	0,71	1,2	-0,8
ЮТОАЗК– САК	0,67	5,5	1,3
	0,65	3,2	-2,0
	0,73	2,4	-2,0
ЮТОАЗК– СТОАК	0,73	7,3	-5,7
	0,67	3,7	0,6
	0,63	1,3	-1,3
	0,71	1,1	0,5

Отримані за багаторічними даними статистичні взаємозв'язки між факторами, що характеризують циркуляційні процеси в Північній та Південній півкулях, становлять великий інтерес. Вони відбивають той факт, що загальна циркуляція атмосфери, як внутрішній кліматоутворюючий фактор, визначається великомасштабними атмосферними процесами, що формуються в обох півкулях, і впливають один на одного. Виникає припущення, що це взаємозв'язку здійснюються через ЕНЮК. У ряді робіт показано, що з ЕНЮК пов'язані зміни температури поверхневих вод у північній частині моря. Наслідком цього внаслідок тепло- та вологообміну океану з атмосферою відбувається періодичне посилення бароклінності атмосфери, посилення циклогенезу у Північній Атлантиці та над

Північноамериканським континентом. Характеристикою інтенсивності цикло- та антициклогенезу є параметр СТОАК. З іншого боку, атмосферні над зазначеними регіонами пов'язані з процесами цикло- і антициклогенезу над акваторією Північної Атлантики, параметром інтенсивності яких є САК.

У зв'язку з вищевикладеним, цікаве дослідження статистичного зв'язку між параметрами ЕНЮК, СТОАК і САК, саме тісноту кореляційного зв'язку між коливаннями їх параметрів різних частотах (періодах), і навіть їх зрушення по фазі. Були розраховані взаємні когерентні спектри між ЕНЮК, САК та СТОАК. У табл.2.2 представлені зведені дані про їхню взаємодію [2].

Таблиця 2.2 – Характеристики взаємних спектрів між ЕНЮК, САК и СТОАК

Вид взаємозв'язку	γ_k	Період (Т), місяці	Зрушення по фазі (ψ), місяці
ЕНЮК – СТОАК	0,65	0,8	4,3
	0,65	0,4	-3,0
	0,65	0,2	0,7
САК – СТОАК	0,63	0,6	-3,7
	0,67	0,2	-0,6
	0,68	0,1	-0,5
ЕНЮК – САК	0,66	0,6	2,8
	0,71	0,1	0,5

Таким чином, підтверджується концепція Бьоркнеса (1969) відповідно до якої ЕНЮК є коливанням, що самопідтримується, в якому аномалії температури поверхні океану (ТПО) в екваторіальній зоні Тихого океану впливають на інтенсивність пасатних вітрів. Останні керують океанічними течіями, що формують аномалії ТПО. Вони є причиною формування великомасштабних осциляцій. Зворотні зв'язки між циркуляційними процесами Західного сектора Південного океану та осциляціями у тропічній зоні та північній півкулі здійснюються за допомогою обміну енергією коливань меншого масштабу – квазіпіврічної періодичності.

2.1 Особливості та механізм циркуляції атмосфери в Антарктиці

Циркуляція атмосфери в Антарктиці є частиною циркуляції південної півкулі та тісно пов'язана із загальнопланетарною атмосферною циркуляцією. Як і інші природні процеси південної півкулі, вона відбиває яскраво виражені риси зональності у розподілі атмосферного тиску. Загалом, вона складається з трьох основних тісно взаємопов'язаних баричних і циркуляційних систем: субтропічного поясу високого тиску, кільця низького тиску навколо Антарктичного материка і системи циркуляції над льодовиковим покривом Антарктиди. Зональна структура циркуляції періодично порушується меридіональними процесами, пов'язаними з кліматичними центрами дії атмосфери. Циркуляційний режим атмосфери, вивчення якого велося протягом кількох десятиліть на базі синоптичних та аерокліматичних матеріалів, а в останнє десятиліття – і супутникової інформації, може бути представлений за цими даними наступним чином.

Субтропічний максимум атмосферного тиску розташовується на півкулі в середньому між 20 і 40 ° пд. ш. Над акваторіями океанів в поясі високого тиску постійно існують кілька районів найбільшої повторюваності антициклонів. Географічне положення цих кліматичних антициклонів від року в рік і в різні сезони дещо змінюється залежно від особливостей та змін загальноциркуляційних динамічних факторів та радіаційно-термічних варіацій підстилаючої поверхні. Для середніх багаторічних умов характерне положення осі субтропічного максимуму влітку – ближче до 40° пд. ш., а взимку – близько 30° пд. ш., тобто зміщення до південної полярної області влітку та віддалення від неї взимку. Субтропічні антициклони протягом року можуть зміщуватися по довготі на 5-30°. Гребні антициклонів орієнтовані в основному з півночі на південь, їх вершини також змінюють положення від теплового до холодного сезону року. Влітку розвиток гребнів призводить до висування їх вершин до 60° пд. ш., а в окремих випадках - до 70 ° пд. ш.,

взимку ж вершини гребнів субтропічних антициклонів сягають лише $55-57^{\circ}$ пд. ш. Субтропічний максимум як барична система пов'язаний з циркуляцією атмосфери в південній полярній області саме цими меридіонально спрямованими гребнями високого тиску. Добре розвинені гребні, досягаючи прибережних районів Антарктиди, зливаються з відрогами антарктичного антициклону однією системою високого тиску.

Слід зазначити, що за даними спостережень за врівноваженими кулями-зондами на рівні ізобаричної поверхні 200 гПа між 25 і 65° пд. ш. на початку весни повітряні потоки спрямовані до полюса, а наприкінці осені - до екватора. У середньому протягом року по всій півкулі південніше 50° З пд. ш. на цьому ізобаричному рівні відбувається приплив мас до полюса.

Південний субтропічний максимум атмосферний тиск на рівні моря знижується, повторюваність антициклонів зменшується до нуля. Навколо антарктичного материка лежить область низького тиску, що характеризується активною циклонічною діяльністю. У ній виділяється кілька, стійких районів стаціонування циклонів, що виникають і що розвиваються як на полярному фронті в помірних широтах, так і на антарктичному атмосферному фронті, положення якого визначається віссю траєкторій кільцевих циклонів, що проходить на південь від 60° півд. ш. Кільце антарктичної депресії, що чітко виявляється лише в періоди добре вираженої зональності у розвитку процесів, розширюється влітку і звужується взимку, але в холодну пору року інтенсивність атмосферної циркуляції посилюється, середня місячна кількість циклонів збільшується майже вдвічі в порівнянні з літнім періодом, і в той же час циклонічний пояс розривається гребнями високого тиску. Тут же, між 50 і 65° пд. ш., згідно з супутниковими даними, розташований пояс максимальної кількості хмарності (8-9 балів), що відрізняється великою стійкістю [2].

Кліматичні антициклони та циклони, що є центрами дії атмосфери південної півкулі, локалізовані у певних географічних районах, і це

обумовлює середні умови циркуляції у тропосфері над антарктичною акваторією та льодовиковим покривом Антарктиди. Стійкі перемички високого тиску між океаном і материком поділяють по суті квазікільцеву депресію на шість районів кліматичних циклонів в Антарктиці: моря Лазарєва і Рісер Ларсена, моря Співдружності та Дейвіса, район океану на північ від Землі Уїлкса, море Росса, море Беллінсгаузен, море Уед. Їм приблизно відповідають розташування стійких районів підвищеної ймовірності опадів [1].

Циклони антарктичного фронту пов'язані із зональною циркуляцією, це неглибокі та низькі баричні утворення, що рухаються зі швидкістю до 35 км/год. Переміщаючись із заходу на схід уздовж кромки холодного льодовикового покриву, вони втрачають вологу і, як правило, не спричиняють крайової частини покриву снігопадів і сильних вітрів. Біля краю покриву вони заповнюються, зупиняються і часто починають зміщуватися на захід. У внутрішньоконтинентальні райони над високим льодовиковим покривом циклони антарктичного фронту не проникають і погоду у цих районах впливають.

Циклони полярного фронту, що характеризують розвиток меридіональної форми циркуляції атмосфери, переміщаються у південному напрямку зі швидкістю до 55 км/год, вони більш глибокі та вертикально розвинені майже на всю товщу тропосфери, мають складну фронтальну структуру, несуть велику кількість тепла та вологи. Підходячи до краю льодовикового покриву, полярнофронтіві циклони рухаються потім на схід і за наявності блокуючих гребнів високого тиску стаціонують у відомих районах розташування кліматичних циклонів. Тут вони можуть розвиватися за рахунок злиття з іншими циклонами, що приходять у цей район, і тоді вони проникають у Східну Антарктиду на схил льодовикового покриву, рідше — на антарктичне плато, а й на Західній Антарктиді іноді перетинають материк траєкторіями, що проходять над нижчою поверхнею льодовикового покриву між морями Росса та Уедделла.

Циклони полярного фронту призводять до суттєвих та тривалих змін погоди не лише у крайовій частині, а й на схилі льодовикового покриву і навіть на антарктичному плато. Їм супроводжує адвекція теплих та вологих повітряних мас на льодовиковий покрив, що викликає підвищення температури повітря, посилення вітру, збільшення хмарності, снігопади та загальні хуртовини. Полярно-фронтові циклони грають важливу кліматоутворюючу роль, беручи активну участь у перерозподілі енергії між помірними та високими широтами південної півкулі. Вторгаючись на льодовиковий покрив Антарктиди, вони зумовлюють аперіодичні потепління, що утворюють теплодерні зими. Основне гляціокліматичне значення цих циклонів полягає у харчуванні ними льодовикового покриву твердими атмосферними опадами. Повторюваність зональної та меридіональної форм атмосферної циркуляції становить відповідно: влітку 46 та 54%, взимку 32 та 68%, за рік 39 та 61%.

Кільцева депресія над антарктичними водами звужується з висотою, її вісь на рівні ізобаричної поверхні 500 гПа майже повністю проектується на материк. Така вертикальна конфігурація депресії у приполюсному районі підкреслює просторове становище циркумполярного вихору. З прибережних антарктичних центрів дії атмосфери головний внесок у його формування робить кліматичний циклон моря Росса, розвинений на всю товщу атмосфери. У стратосфері він стає основою циркумполярного вихору південної півкулі. Отже, на абсолютних висотах понад 5 км у вільній атмосфері над льодовиковим покривом протягом більшої частини року переважає циклонічна система циркуляції. Нижче цього рівня, у шарі атмосфери потужністю близько 1200 м відбувається перебудова циркуляції, і вже на рівні поверхні льодовикового покриву та середньому баричному полі виразно виражений континентальний антициклон. Антициклонічні ядра, що представляють будь-який відносно незначні за висотою та просторовою протяжністю антициклони, простежуються над високим льодовиковим покривом Східної Антарктиди протягом року до рівня ізобаричної поверхні

600 гПа, іноді влітку вони утворюються і над нижчим льодовиковим покривом Західної Антарктиди. Саме влітку над усім антарктичним льодовиковим покривом, крім антарктичного півострова, спостерігаються найбільші в році середні місячні значення атмосферного тиску. Загалом низький фон приземного тиску атмосфери, обумовлений її малою масою внаслідок великої висоти поверхні льодовикового покриву, стримує вертикальний розвиток антарктичного антициклону.

Холодне повітря, що формується в прикордонному шарі атмосфери над льодовиковим покривом, стікає в цьому шарі вздовж ухилів поверхні до Південного океану по всій периферії покриву з найбільшою інтенсивністю узбережжя Східної Антарктиди. У високих шарах тепле і вологе повітря з океану рухається зустрічними потоками до центру покриву. У верхній тропосфері і стратосфері перенесення з океану охоплює майже все узбережжя материка, крім ділянки між 15 сх. д. і 80 ° з. д., де відбувається стік, а стратосфері – транзитний перенесення повітря через Антарктиду. Над високою поверхнею льодовикового покриву Східної Антарктиди постійно розташовується область збіжності повітряних потоків, що обумовлює великомасштабні вертикальні рухи повітря у тропосфері та стратосфері. Найбільші амплітуди вертикальних коливань маси атмосфери протягом року спостерігаються біля поверхні в центрі покриву, найменші - на висоті 6-6,5 км, що збігається зі становищем середнього енергетичного рівня в атмосфері. Опускання повітря переважає над Східною Антарктидою, висхідні потоки існують лише над льодовиковим покривом Західної Антарктиди, а також у межах тропосфери – у вузькій крайовій смузі Східної Антарктиди.

Меридіональне перенесення повітря в тропосфері найбільш інтенсивне взимку, в цей час року збільшуються і вертикальні рухи, особливо в стратосфері. Навесні циклонічна діяльність в Антарктиці послаблюється, знижується та інтенсивність меридіональних потоків у тропосфері, потужність та кількість приземного стоку повітря до океану також зменшуються. У стратосфері починається перебудова термобаричного поля і

відбуваються потужні вторгнення повітря з океану, що заповнюють циркумполярний вихор. Останній зміщується до периферії материка і влітку перебудова завершується утворенням висотного антициклону. Швидкість спадних рухів повітря при цьому також збільшується, вони поширюються на Західну Антарктиду у всій стратосфері до тропопаузи. Від зими до літа маса повітря у тропосфері зменшується, що відповідає підвищенню температури.

Як показують розрахунки, у шарі від поверхні льодовикового покриву до висоти 20 км, що містить близько 95 % усієї маси атмосфери, загальна маса атмосфери для прийнятої в цій роботі площі Антарктиди становить $105,1 \cdot 10^{15}$ кг, з них 68,6 % припадають на тропо (Поверхня - 9 км) і 31,4% - на стратосферу (9-20 км). У нижній тропосфері (поверхня-5 км) міститься 37%, у верхній стратосфері (15-20 км) - лише 8% загальної маси атмосфери. Протягом року найбільші зміни маси відбуваються у нижній стратосфері (7,65%), найменші – у верхній тропосфері (1,77%). Шар атмосфери, укладений між абсолютними рівнями 5 та 9 км, відчуває мінімальні внутрішньорічні коливання маси повітря. Для шару атмосфери від поверхні покриву до висоти 20 км протягом року найбільші зміни маси повітря відбуваються у районі центру дії атмосфери моря Росса. У всій вказаній товщі атмосфери над Антарктидою внутрішньорічні коливання маси становлять 2,1% або $2,2 \cdot 10^{15}$ кг [4].

Зміни маси атмосфери над Антарктидою становлять значну частину загальної зміни її над південною півкулею. Амплітуда коливань маси повітря між зимою (липень) і влітку (січень) складає над півкулею (площа 255-106 км²) $3,0 \cdot 10^{15}$ кг, а над Антарктидою (площа 14-106 км²) - $1,8 \cdot 10^{15}$ кг. Отже, коливання маси атмосфери між липнем і січнем над Антарктидою, площа якої становить лише 5,5% площі півкулі, дорівнюють 60% амплітуди коливань кількості повітря над південною півкулею.

2.2 Дослідження озонної діри на станції «Академік Вернадський»

Одне з важливих досліджень, яке проводять українські полярники на станції «Академік Вернадський» вже десятки років, – це вимірювання вмісту озону та інших параметрів атмосфери. Явище озонної діри – локального падіння концентрації озону в стратосфері – було відкрито британськими вченими саме за даними з нашої станції, коли вона ще була «Фарадеєм» (середина 1980-х) [8].

Однією з причин виникнення озонної діри є фреони. Це хімічні сполуки, що використовуються як холодоагенти в холодильній промисловості і як розпилювачі в аерозольних упаковках. Завдяки припиненню або обмеженню виробництва таких речовин площа озонної діри з початку 2000-х стабілізувалась і не збільшується, але з року в рік спостерігаються великі варіації.

Якого ж розміру озонна діра 2022 року? Гарні новини полягають в тому, що вона не росте, а погані – що і не зменшується. Дані, що вимірюються в Антарктиді, видно, що площа діри близька до останніх років, а її форма витягнута і викривлена. Чому так відбувається? Крім озоноруйнівних сполук, використання яких нині обмежено, на розмір озонної діри впливає глобальне потепління, яке найбільш помітне в полярних регіонах. Потепління тропосфери (нижнього шару атмосфери), викликане ростом CO₂, спричиняє охолодження вищого шару – стратосфери, а чим холодніша стратосфера – тим менше озону. Глобальне потепління також впливає на температуру океану, яка своєю чергою моделює планетарні хвилі: вони теж відіграють роль у формуванні озонної діри і полярного вихору. Тому відновлення озонного шару дуже повільне і, за прогнозами

вчених, відбудеться лише до кінця XXI століття. Але головне, що маємо позитивні глобальні тенденції.

Цього року озонна дірка в Південній півкулі росла найбільш швидко з середини серпня і вже на початок жовтня досягла свого піку в 24 мільйони квадратних кілометрів, що більше за середній показник за останні десять років. Зараз вона простягається майже над усією територією Антарктиди [6].

Озонна діра – область озонного шару, в якій вміст озону знаходиться нижче за позначку 220 одиниць Добсона, – утворюється над Антарктидою щорічно. Але щороку її розміри та час появи змінюються.

Цього року найнижчий вміст озону – 95 одиниць Добсона – було зафіксовано 1 жовтня. Вчені вважають, що до цього моменту виснаження озонного шару за масштабами досягло свого пікового значення у 2020 році.

"Озонна діра 2020 року схожа на ту, що ми спостерігали в 2018 році - вона також була досить великою ...", – повідомив директор Служби моніторингу атмосфери "Коперник" Вінсент-Анрі Пех. Він додав, що у зв'язку з настанням світлої пори року на Південному полюсі в останні тижні спостерігається подальше виснаження озонного шару.

"Після надзвичайно невеликого та короткочасного скорочення озонного шару в 2019 році, викликаного особливими метеорологічними умовами, цього року ми знову зареєстрували досить велику дірку, що підтверджує необхідність суворого дотримання Монреальського протоколу", – додав Вінсент-Анрі Пех [8].

Монреальський протокол забороняє виробництво та використання цілого ряду озоноруйнівних хімікатів. На сьогоднішній день до «чорного списку» включено вже понад 100 таких речовин, у тому числі хлорфторвуглецю. Але оскільки вони залишаються в атмосфері протягом кількох десятиліть, їхня концентрація все ще досить висока, і це продовжує призводити до руйнування озону.

У 2018 році вчені дійшли висновку, що озонний шар планети відновлюється, і це може сповільнити глобальне потепління. Вони зазначили,

що швидкість його відновлення становить 1-3 відсотки за десять років і що за таких темпів він має повністю відновитися над Північною півкулею до 2030-х років, над Південним – до 2050-х, а над полюсами – до 2060 року.

Експерти вважають, що велику озонову дірку в 2020 році над Антарктидою була викликана сильним, стабільним і холодним полярним вихором [6].

3 ОЦІНКА ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ РЯДІВ ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМУ ВІТРУ РІЗНИХ ЧАСОВИХ ДОЗВОЛАХ НА СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

3.1 Загальні відомості про векторні характеристики вітру

Векторна природа вітру призводить до запровадження спеціальних характеристик цього елемента. Як і для скалярних величин, основні характеристики вітру можуть бути середні, суми, повторюваність та екстремальні. Середня, чи сумарна, характеристика пропонується як геометричної суми вітрів за певний проміжок часу (рік, місяць, сезон), т. е. їх рівнодіючої (результуючої). Такі середні вектори запропонував Ламберт ще наприкінці 18 століття (1777р.).

Повторюваність векторів вітру відома під назвами; повторюваність напрямків вітру за градаціями швидкостей (або різних швидкостей), повторюваність швидкостей вітру за напрямками; рози вітрів різних швидкостей тощо [10].

Загальною характеристикою напрямку вітру є його повторюваність за напрямками, виражена у процентах від загального числа випадків та число штилів. Це визначає основні закономірності розподілу вітру кожного місяця. Повторюваність за напрямками залежить від ступеня закритості горизонту, пов'язаної насамперед із характером навколишнього станцію рельєфу і зажадав від умов циркуляції щомісяця.

Однак перед обчисленням векторних характеристик вітру необхідно попередньо проаналізувати напрямок та швидкість окремо. Крім того, у ряді теоретичних і практичних питань потрібно мати висновки тільки щодо напрямку або швидкості вітру [13].

При характеристиці вітру у кліматологічних дослідженнях вітер із найбільшою повторюваністю прийнято називати панівним. Однак, крім пануючого сусідні напрямки можуть мати досить велику повторюваність і часто вона дуже близька до повторюваності пануючого вітру. На пропозицію А. А. Камінського для характеристики напрямку вітру слід використовувати не тільки їх частоту за 8-ма румбами (октантами), а визначати її в чверті горизонту (квадранте). Квадрант із найбільшою повторюваністю вітру називають переважним вітром – величину, зручною для картографування [12].

Переважний напрям можна у першому наближенні відзначити по 8-румбової рози, виділивши один найчастіший напрям і його повторюваність. Воно відноситься до 1/8 частини горизонту, тобто до октанту. Але часто два суміжні октанти (тобто два сусідні румби) дають подібну повторюваність. З іншого боку, повторюваність в одному октанті може бути недостатньо значною для характеристики вітрового режиму. Враховуючи також сильний вплив місцевих умов, які можуть зміщувати переважний напрямок у той чи інший бік, А. А. Камінський запропонував брати не октант, а квадрант, тобто чверть горизонту з найбільшою повторюваністю вітру. Середина його вказується у градусах, а повторюваність вітру у відсотках. Є. С. Рубінштейн дала цілком обґрунтовані, хоча і абсолютно універсальні формули для обчислення цих величин [10].

Перша пара формул отримана на основі використання повторюваностей чотирьох румбів, а друга - за повторюваністю трьох румбів. Ці формули мають наступний вид:

$$\begin{cases} \alpha = 1 + \frac{n_3 - n_1}{(n_3 - n_1) + (n_2 - n_4)} \\ H = n_2 + n_3 + \frac{(n_3 - n_1) + (n_2 - n_4)}{2} \left(\frac{3}{2} - \alpha \right)^2 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} \alpha = 1 + \frac{n_3 - n_1}{2(2n_2 - n_1 - n_3)} \\ H = n_2 + \frac{n_2^2 - n_1 n_3}{(2n_2 - n_1 - n_3)} \end{cases} \quad (3.2)$$

де α – середина квадранта з найбільшою повторюваністю вітру;

H – значення цієї повторюваності у відсотках;

n_1, n_2, n_3, n_4 , – повторюваності того чи іншого румбу вітру;

α – дається в октантах, так що для переведення в градуси потрібно помножити значення α на 45. При цьому відлік ведеться від румба, що має повторюваність n_1 у бік румба n_2 . Для першої пари формул румби з повторюваністю $n_1 \dots n_4$ відбираються так: відзначається (підкреслюється) основний румб з найбільшою повторюваністю та обидва сусідні, потім додається ще один румб з того боку, де сусідній румб більше за повторюваністю [14].

3.2 Аналіз статистичних характеристик розподілу середньомісячних значень напрямку та швидкості вітру

Для вирішення поставлених в роботі завдань використовувалися дані спостережень Британського Антарктичного центру за напрямом и швидкістю вітру та атмосферним тиском на станції Академік Вернадського. При цьому, з огляду на мету роботи, використовувалася інформація різного тимчасового дозволу: рік, періоди, сезони, місяці з 1947 по 2021 роки за 00 UTC. Період дослідження становив 75 років. В даній роботі в першу чергу розглядається статистична структура середньомісячних значень напрямку и швидкості вітру та атмосферного тиска на станції «Академік Вернадський». Досліджувалися середньомісячні значення, як найбільш загальні характеристики, за

допомогою яких можливо виявити кліматичні особливості різних регіонів, сезонів, півріччя, а відхилення від середньої дозволяють виявити найбільш теплі або холодні місяці, півріччя, роки за наявний період спостережень.

У табл. 3.1 представлена повторюваність напрямку вітру за весь період дослідження з 1950-2021 рр. на станції Фарадей – «Академік Вернадський».

Таблиця 3.1 – Повторюваність напрямку вітру за період 1950-2021 рр. (%) на станції Фарадей – «Академік Вернадський»

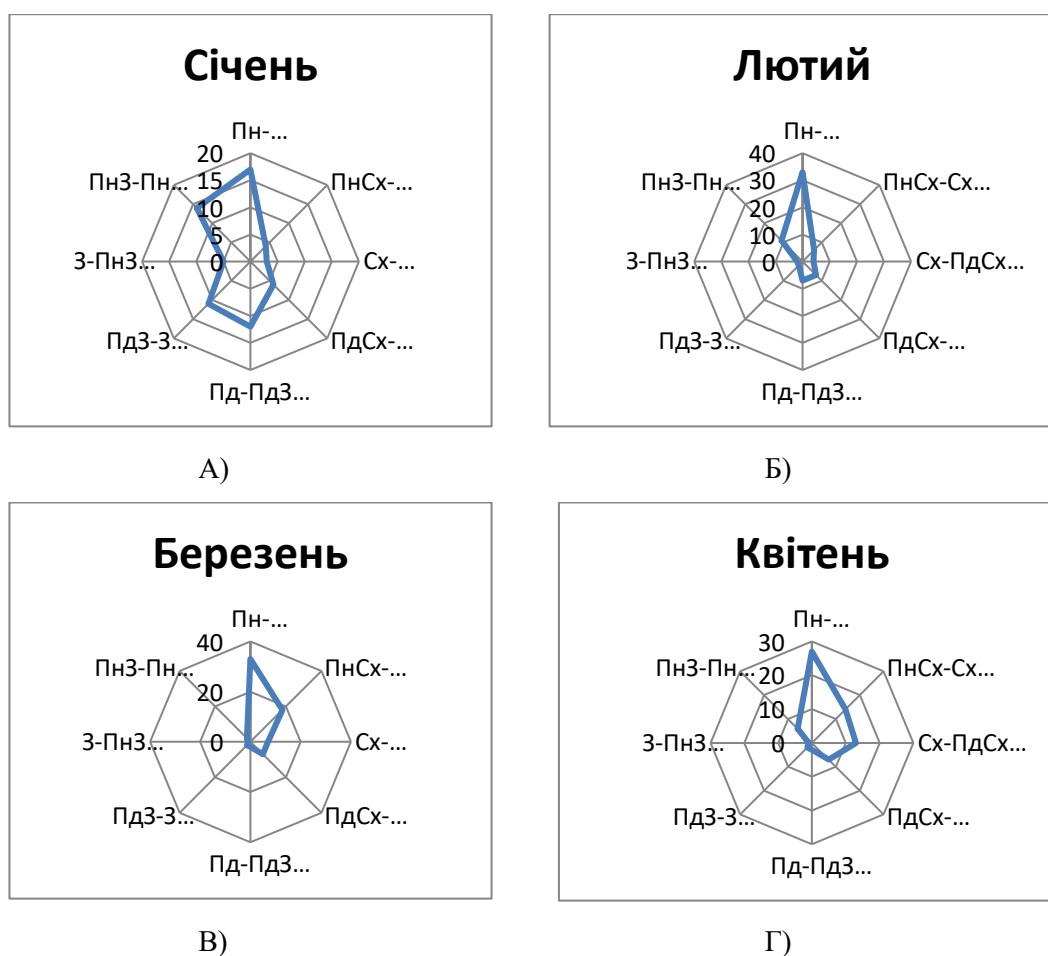
Часове розв'язання								
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
	Холодний період							
Березень	45,8	25,0	9,7	9,7	2,8	2,8	1,4	2,8
Квітень	37,5	19,4	18,1	9,7	2,8	2,8	1,4	8,3
Травень	27,8	23,6	20,8	13,9	5,6	0,0	2,8	5,6
Червень	25,0	26,4	18,1	15,3	6,9	1,4	1,4	5,6
Липень	33,3	12,5	9,7	15,3	12,5	2,8	4,2	9,7
Серпень	30,6	15,3	11,1	11,1	6,9	6,9	6,9	11,1
Вересень	36,1	12,5	5,6	12,5	13,9	1,4	6,9	11,1
Жовтень	26,4	4,2	1,4	5,6	22,2	6,9	5,6	27,8
	Тепле півріччя							
Листопад	37,5	0,0	5,6	2,8	16,7	6,9	5,6	25,0
Грудень	25,0	1,4	0,0	8,3	25,0	11,1	9,7	19,4
Січень	23,6	5,6	4,2	8,3	16,7	15,3	6,9	19,4
Лютий	45,8	8,3	5,6	9,7	9,7	2,8	2,8	15,3
Рік	32,9	12,9	9,1	10,1	11,8	5,1	4,7	11,8

Аналізуючи повторюваність напрямку вітру у холодний період можемо відзначити, що пануючий напрям вітру на станції Академік Вернадський коливається від північного до північно-східного напрямку, крім жовтня, де

спостерігається вітер північно-західний-північний. Слід відмітити, що у березні, квітні, липні, серпні та вересні спостерігається чітко північний напрям з відсотковою ймовірністю від 31 % до 46 %.

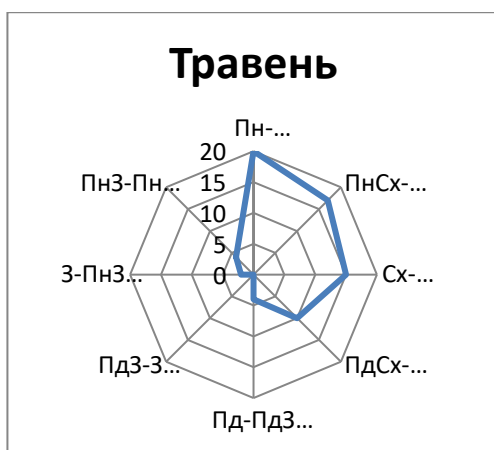
У теплому періоді ситуація майже не змінна пануючий напрям вітру коливається з північно-західного до північного 23%-57%. Зазначимо, що у даний період вітер також з невеликою ймовірністю має південний напрям від 10 % у лютому до 25 % у грудні.

Аналіз даних повторюваності вітру за багаторічний період полегшується за допомогою графіків розгорнутих рози вітрів, на яких наочно видно розподіл напрямку вітру по румбах. На рисунку 3.1 представлені рози вітрів для кожного місяця року у період 1950-2021 рр.

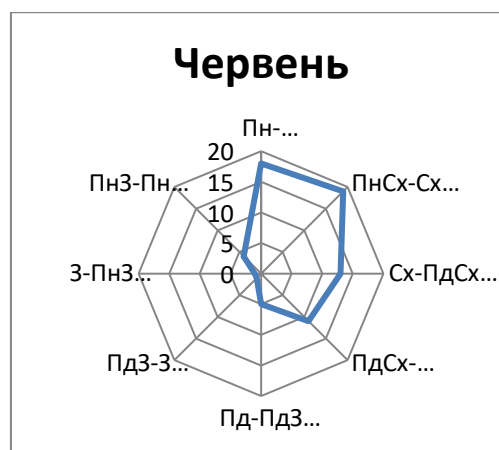


А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень; Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; І) Листопад; Ї) Грудень.

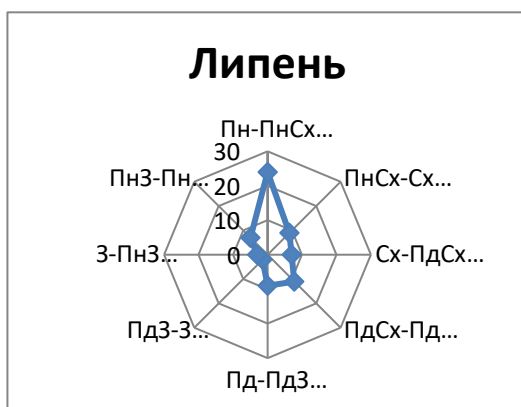
Рисунок 3.1 – Рози вітрів за період з 1950 - 2021 рр.



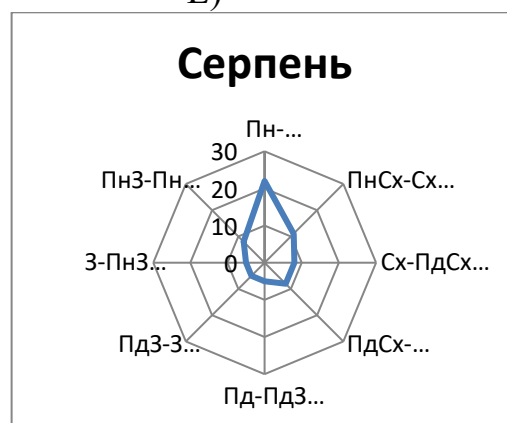
Д)



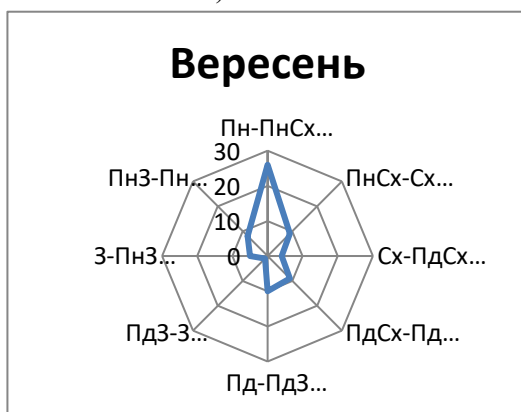
Е)



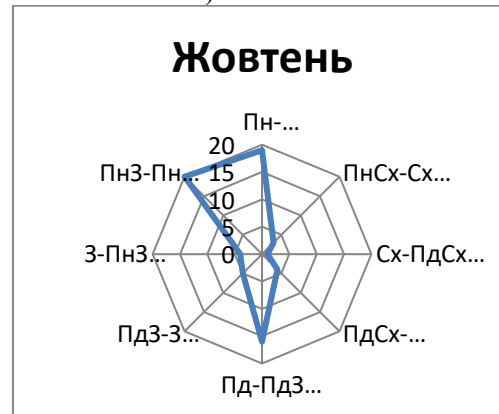
Є)



Ж)



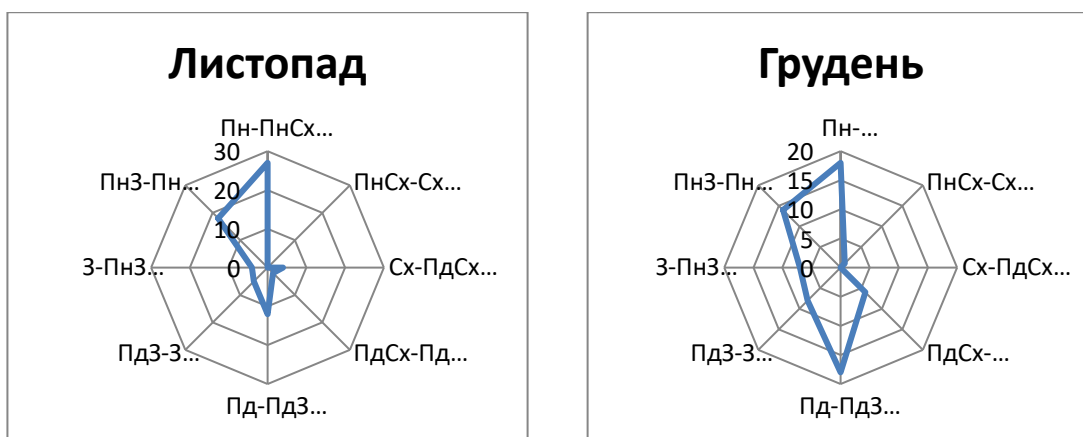
З)



И)

А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень;
 Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; І) Листопад; Ї) Грудень.

Рисунок 3.1 – Рози вітрів за період з 1950 - 2021 рр.



I)

I)

А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень; Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; I) Листопад; I) Грудень.

Рисунок 3.1 – Рози вітрів за період з 1950 - 2022 рр.

Для більш детального порівняльного аналізу зміни характеристик вітру було виділено два періоди: перший 1961-1990 рр. та другий 1991-1920 рр., які відповідають періодам для визначення кліматичних норм відповідно до вимог ВМО.

У табл. 3.2 представлена повторюваність напрямку вітру за період 1961-1990 рр. на станції Фарадей – «Академік Вернадський». Аналізуючи за цей період повторюваність напрямку вітру у холодний період можемо відзначити, що пануючий напрям вітру на станції спостерігається у березні-вересні північний – 30-57 %, крім червня, де пануючий напрям північно-східний – 43%. У жовтні спостерігається північно-східний, північний 27-30%, а також південний 20%. У теплому періоді пануючий напрям вітру у листопаде, січні та лютому північний – 23-57%, у грудні північно-західний - північний та південний – 27%.

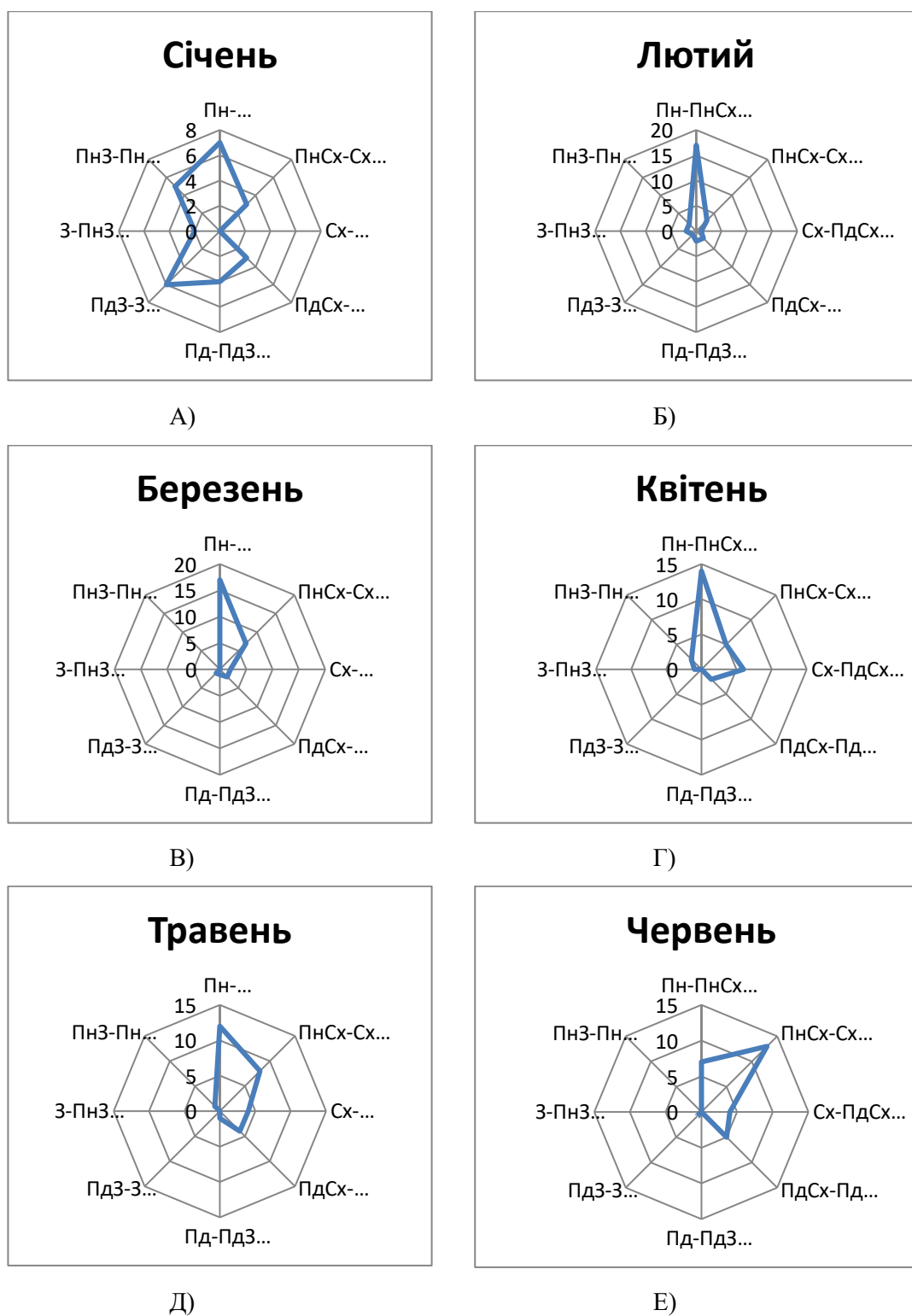
На рисунку 3.2 представлені рози вітрів для кожного місяця року у період 1961-1990 гг.

Таблиця 3.2 – Повторюваність напрямку вітру за період 1961-1990 рр.
(%) на станції Фарадей – «Академік Вернадський»

Часове розв'язання								
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
	Холодний період							
Березень	56,7	23,3	6,7	6,7	3,3	3,3	0,0	0,0
Квітень	46,7	16,7	20,0	6,7	0,0	0,0	3,3	6,7
Травень	40,0	26,7	13,3	13,3	3,3	0,0	0,0	3,3
Червень	23,3	43,3	13,3	16,7	0,0	3,3	0,0	0,0
Липень	33,3	16,7	10,0	13,3	10,0	3,3	3,3	10,0
Серпень	30,0	16,7	13,3	13,3	6,7	6,7	3,3	10,0
Вересень	50,0	16,7	0,0	16,7	6,7	0,0	3,3	6,7
Жовтень	30,0	3,3	0,0	6,7	20,0	10,0	3,3	26,7
	Тепле півріччя							
Листопад	43,3	0,0	6,7	0,0	13,3	6,7	6,7	23,3
Грудень	26,7	3,3	0,0	6,7	26,7	6,7	3,3	26,7
Січень	23,3	10,0	0,0	10,0	13,3	20,0	6,7	16,7
Лютий	56,7	10,0	3,3	6,7	6,7	3,3	6,7	6,7
Рік	38,3	15,6	7,2	9,7	9,2	5,3	3,3	11,4

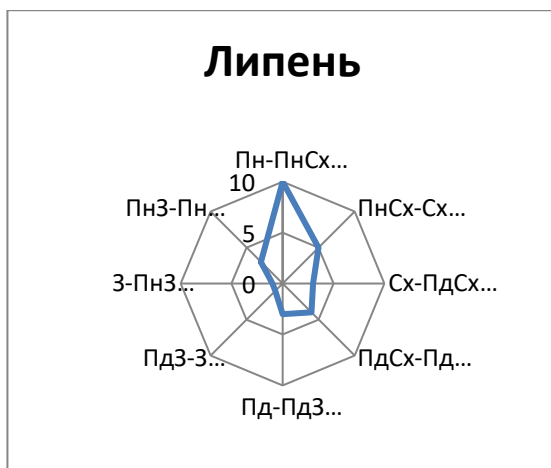
У табл. 3.3 представлена повторюваність напрямку вітру за період 1991-2022 рр. на станції Фарадей – «Академік Вернадський». Аналізуючи повторюваність напрямку вітру у холодний період можемо відзначити, що пануючий напрям вітру на станції у березні-червні коливається від північного до східного напрямку – 23-37%, у липні-жовтні поруч із північно-західним-північним напрямом (27%) спостерігається південно-східний-південний вітер – 20-27%. У теплий період ситуація дещо інша,

переважаючий напрямок вітру північний – 23-40%, але у листопаді-січні спостерігається вітер південного, південно-східного напрямку – 17-30%.

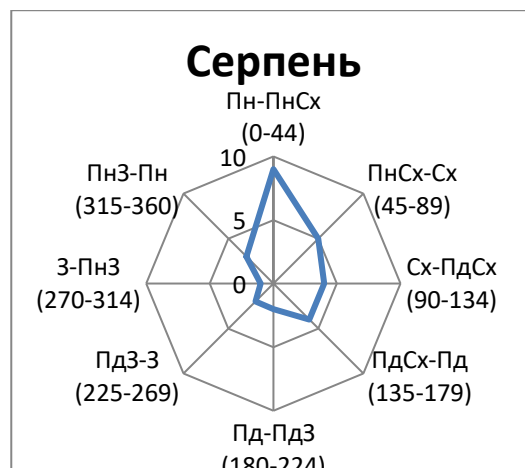


А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень;
Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; І) Листопад; Ї) Грудень.

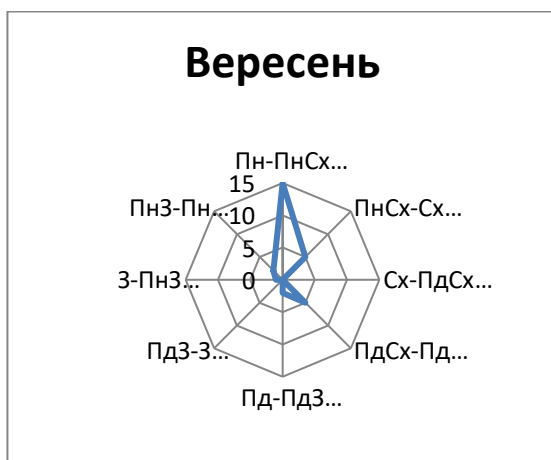
Рисунок 3.2 – Рози вітрів за період у період 1961-1990 рр.



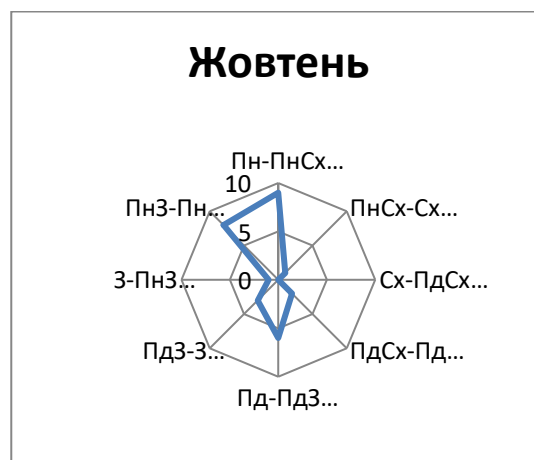
Є)



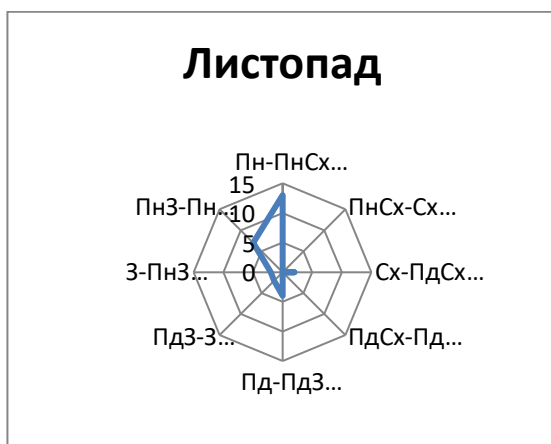
Ж)



З)



И)



I)



I')

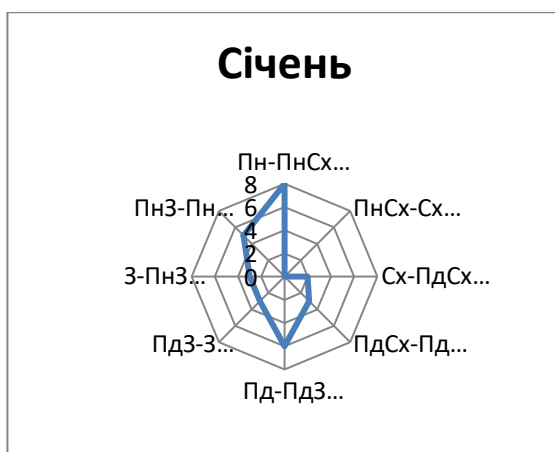
А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень; Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; I) Листопад; I') Грудень.

Рисунок 3.2 – Рози вітрів за період у період 1961-1990 рр.

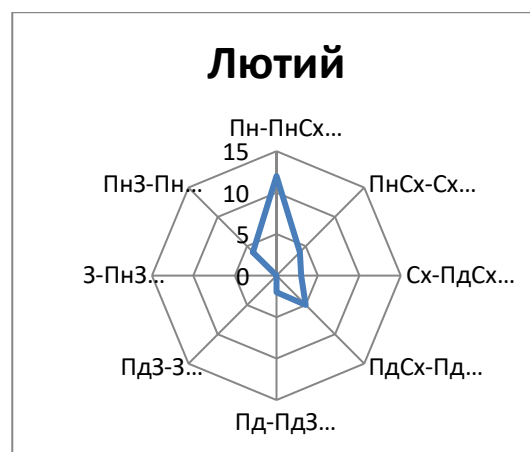
Таблиця 3.3 – Повторюваність напрямку вітру за період 1991-2020 рр.
(%) на станції Фарадей – «Академік Вернадський»

Часове розв'язання								
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
	Холодний період							
Березень	36,7	26,7	16,7	13,3	0,0	0,0	3,3	3,3
Квітень	30,0	23,3	20,0	13,3	0,0	6,7	0,0	6,7
Травень	20,0	23,3	26,7	16,7	3,3	0,0	6,7	3,3
Червень	26,7	20,0	23,3	13,3	16,7	0,0	0,0	0,0
Липень	26,7	10,0	13,3	20,0	10,0	3,3	6,7	10,0
Серпень	26,7	16,7	6,7	13,3	6,7	6,7	10,0	13,3
Вересень	16,7	10,0	13,3	13,3	20,0	3,3	13,3	10,0
Жовтень	16,7	6,7	3,3	3,3	26,7	6,7	10,0	26,7
	Тепле півріччя							
Листопад	33,3	0,0	6,7	6,7	20,0	6,7	0,0	26,7
Грудень	23,3	0,0	0,0	6,7	30,0	6,7	16,7	16,7
Січень	26,7	0,0	6,7	10,0	20,0	10,0	10,0	16,7
Лютий	40,0	13,3	10,0	16,7	6,7	0,0	0,0	13,3
Рік	26,9	12,5	12,2	12,2	13,3	4,2	6,4	12,2

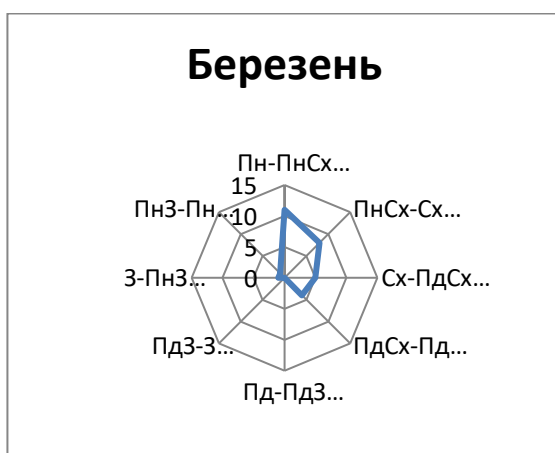
На рисунку 3.3 представлені рози вітрів для кожного місяця року у період 1991-2020 рр.



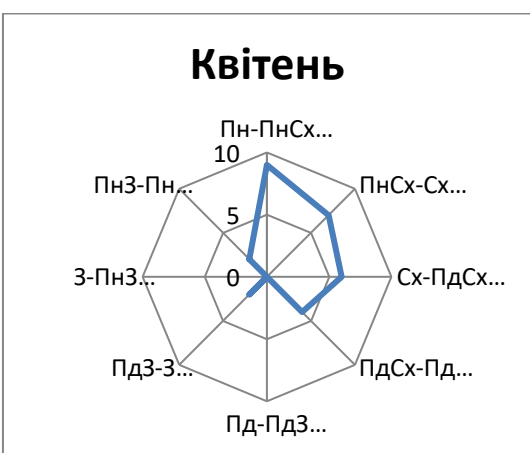
А)



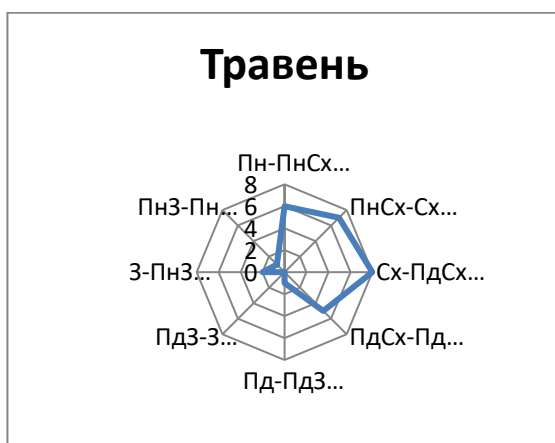
Б)



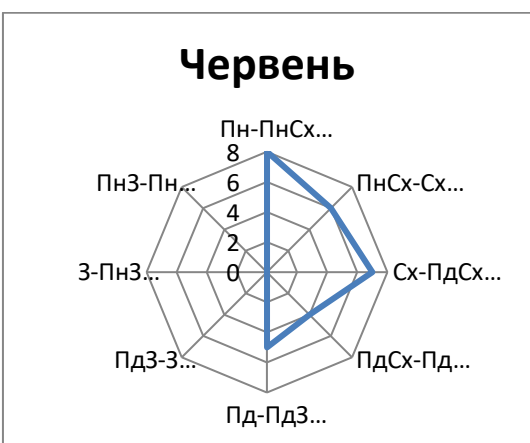
В)



Г)



Д)



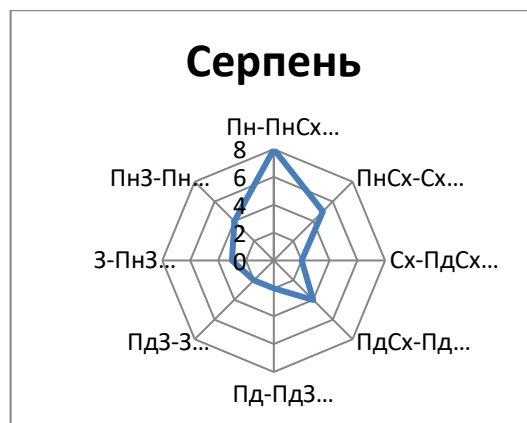
Е)

А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень;
 Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; І) Листопад; Ї) Грудень.

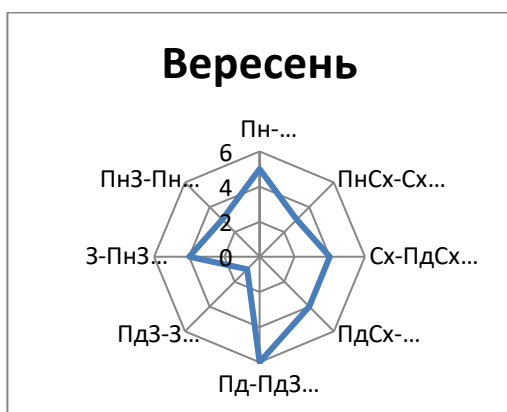
Рисунок 3.3 – Рози вітрів за період з 1991 – 2022 рр.



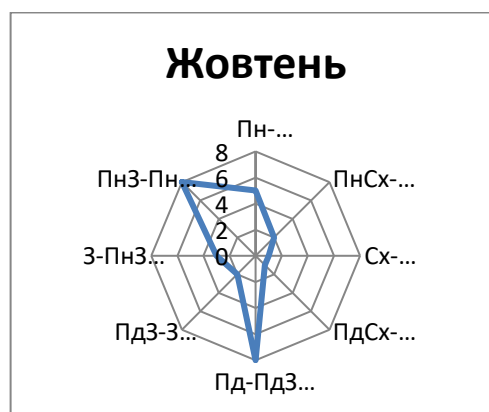
Є)



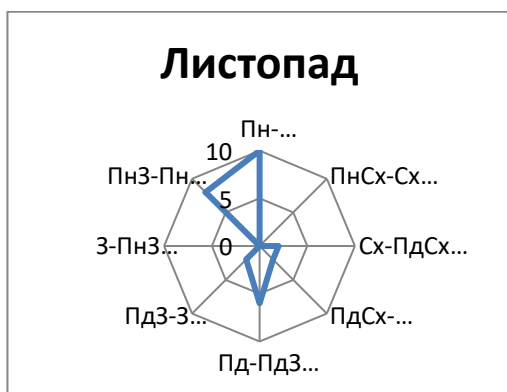
Ж)



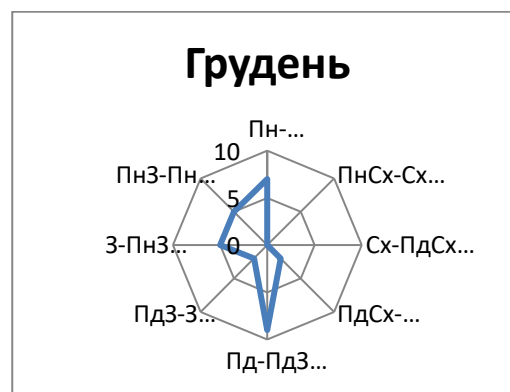
З)



И)



I)



ї)

А) Січень; Б) Лютий; В) Березень; Г) Квітень; Д) Травень; Е) Червень; Є) Липень;
Ж) Серпень; З) Вересень; И) Жовтень; I) Листопад; ї) Грудень.

Рисунок 3.3 – Рози вітрів за період з 1991 – 2022 рр.

Особливістю даних за напрямом вітру є те, що вони добре відображають місцеві впливи, навіть за умови слабо перетнутого рельєфу. Рози вітрів, що відображає ці впливи, не вимагає довгого ряду спостережень.

Інше положення зустрічається в тому випадку, якщо упор робиться на точне зіставлення вітрів з атмосферною циркуляцією на вивчення коливань клімату і т. д. Зміни циркуляції серед інших кліматичних наслідків викликають збільшення або зменшення повторюваності одних вітрів за рахунок інших, причому змінюється як напрям, а й швидкість.

Отримані результати аналізу напрямку вітру вказують на те, що за останнє тридцятиліття суттєво змінилося переважне спрямування та його повторюваність у порівнянні з попереднім тридцятиліттям. Тож якщо у період 1961-1990гг. з лютого по вересень переважав північно-північний вітер з повторюваністю 30-56%, а з жовтня по січень північно-західний-північний вітер з повторюваністю 17-43%, також спостерігався і південний вітер з повторюваністю 13-26%, то за період 1991-2020 рр. з лютого по серпень спостерігався північний - північно-східний вітер з повторюваністю трохи менше - 10-37%, у вересні-жовтні - південний з повторюваністю 20-27%, у листопаді-січні спостерігався практично з рівнозначною повторюваністю північний (23-33%) і південний вітер (20-30%). На підставі цих результатів можна припустити, що зміна повторюваності напрямку вітру за останнє тридцятиріччя є фактом зміни циркуляції атмосфери, що є індикатором кліматичних змін.

Аналіз значень швидкості вітру на станції Фарадей – «Академік Вернадський» був заснований на розрахунку середніх, мінімальних та максимальних значень за три періоди дослідження.

Для візуалізації змін значень швидкості вітру за різні періоди були побудовані графіки (рис. 3.4-3.15), які дозволили побачити тенденцію зміни за періоди дослідження.

За даними графіка (рис. 3.4) середньої швидкості вітру за період 1950-2021рр. спостерігається мінімальне значення 4,2 м/с у 2019 році, максимальне значення показники досягли у 2006 році 11,6 м/с. За лінією тренду середня швидкість вітру збільшується на 1м/с за 72 рік.

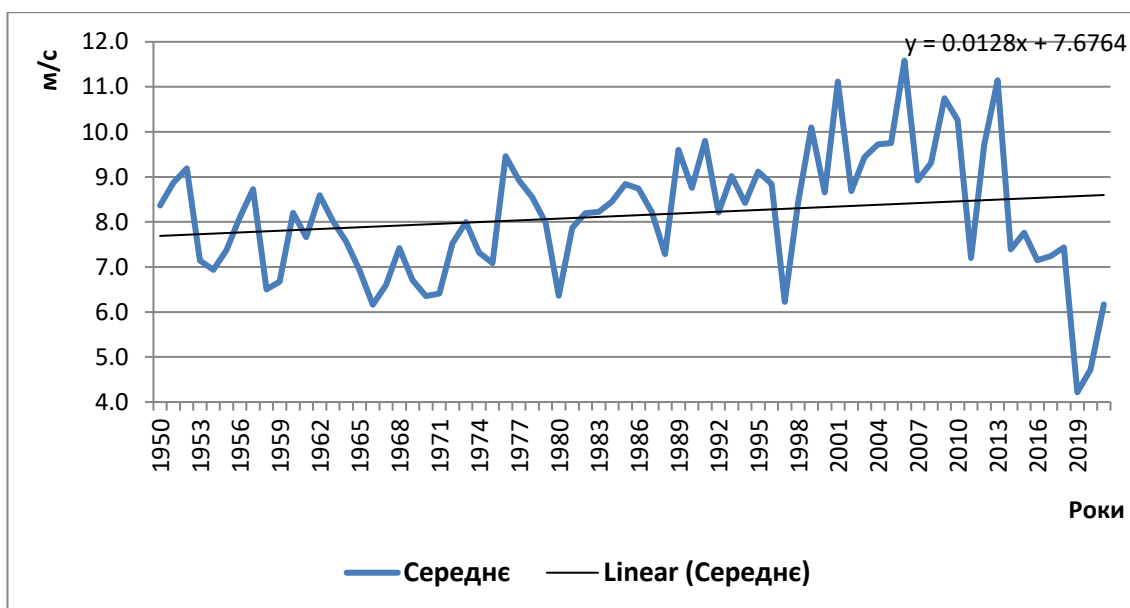


Рисунок 3.4 – Графік середньої швидкості вітру за період 1950-2021рр.
00 UTC

За даними графіка (рис.3.5) максимальної швидкості вітру за період 1950-2021 рр. спостерігається мінімальне значення 7 м/с у 2019 році, максимальні значення показники досягли у 2001 та 2013 роках 16,6 м/с. За лінією тренду максимальні значення вітру збільшується на 0,1 м/с за період дослідження.

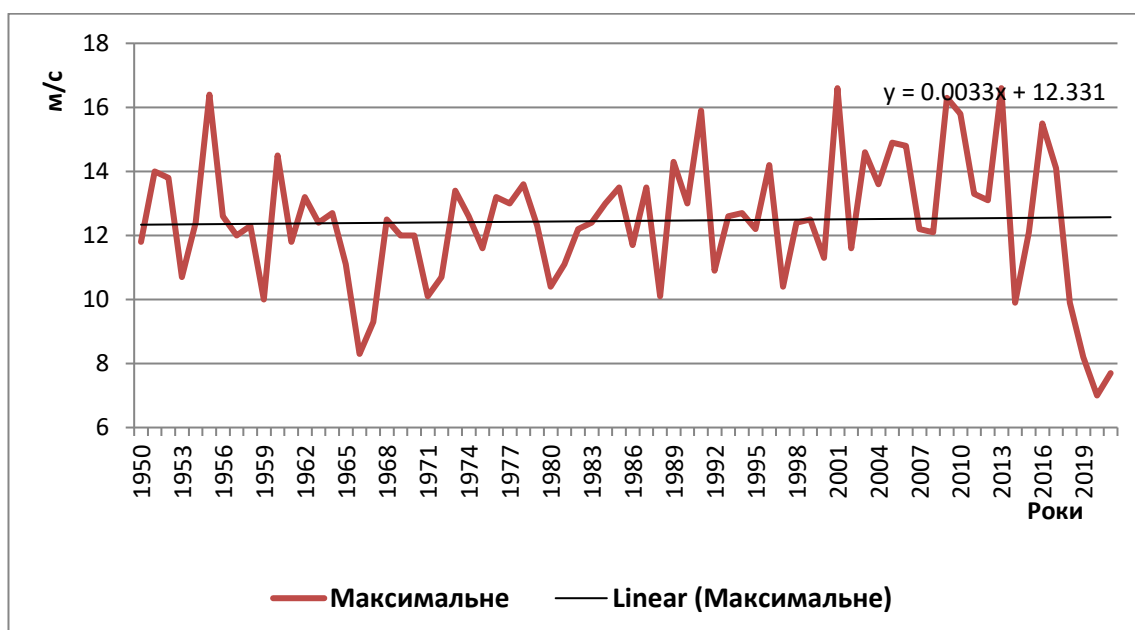


Рисунок 3.5 – Графік максимальної швидкості вітру за період
1950-2021рр. 00 UTC

За даними графіка (рис. 3.6) мінімальної швидкості вітру за період 1950-2021рр. спостерігається мінімальне значення 0,1 м/с у 2011 році, максимальне значення показники досягли у 2006 році 8,3 м/с. За лінією тренду мінімальні значення вітру збільшується на 1,3м/с за період дослідження.

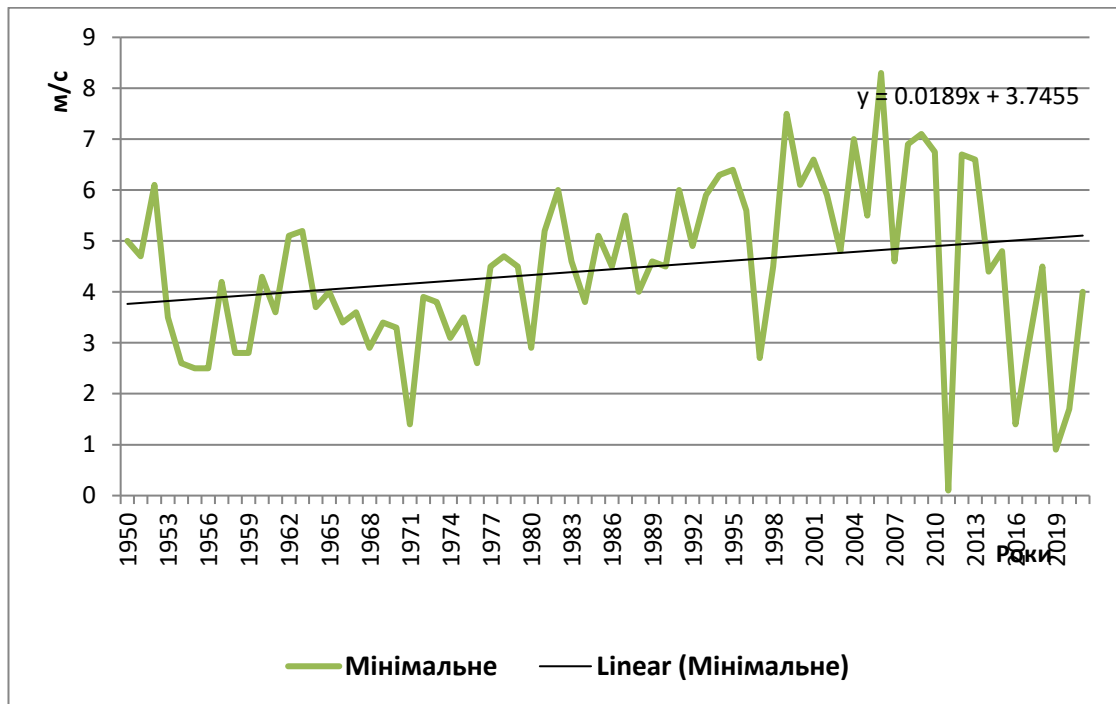


Рисунок 3.6 – Графік мінімальної швидкості вітру за період 1950-2021 рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.3.7) середньої, максимальної та мінімальної середньомісячної швидкості вітру за період 1950-2021рр. спостерігається асинхронність зміни максимальних та мінімальних значень у квітні, червні, серпні та вересні.

За даними графіка (рис. 3.8) середньої швидкості вітру за період 1961-1990рр. спостерігається мінімальне значення 6,2 м/с у 1966 році, максимальне значення показники досягли у 1989 році 9,6 м/с. За лінією тренду середня швидкість вітру збільшується на 1,8 м/с.

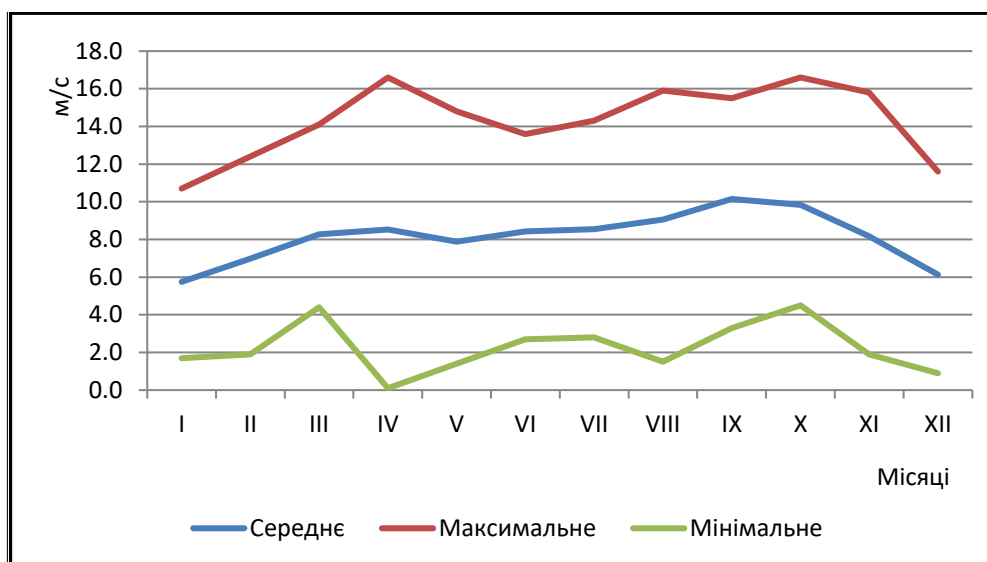


Рисунок 3.7 – Середня, максимальна та мінімальна середньомісячна швидкість вітру з 1950-2020 рр. 00 UTC

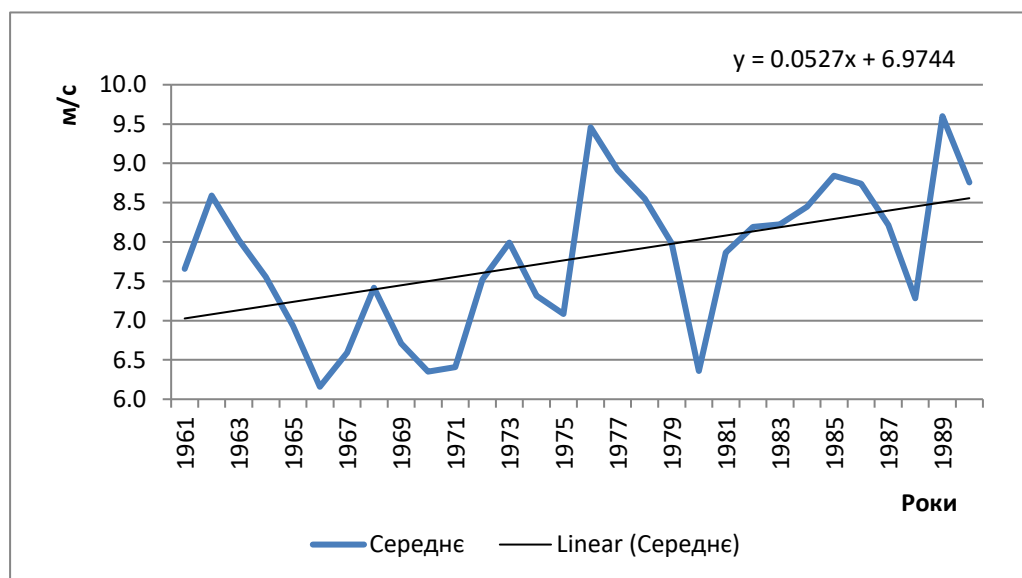


Рисунок 3.8 – Графік середньої швидкості вітру з 1961-1990рр. 00 UTC

За даними графіка (рис. 3.9) мінімальної швидкості вітру з 1961-1990рр. спостерігається мінімальне значення 1,4 м/с у 1971 році, максимальне значення показники досягли у 1982 році 6 м/с. За лінією тренду мінімальна швидкість вітру збільшується на 1,2 м/с.

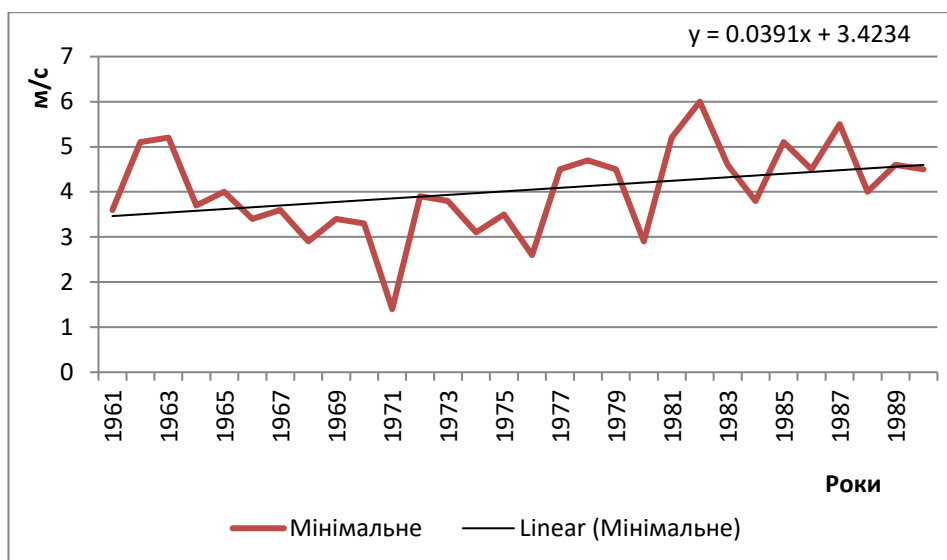


Рисунок 3.9 – Графік мінімальної швидкості вітру у період 1961-1990рр.
00 UTC

За даними графіка (рис. 3.10) максимальної швидкості вітру з 1961-1990рр. спостерігається мінімальне значення 8,3 м/с у 1966 році, максимальне значення показники досягли у 1989 році 14,3 м/с. За лінією тренду максимальна швидкість вітру збільшується на 1,6 м/с.

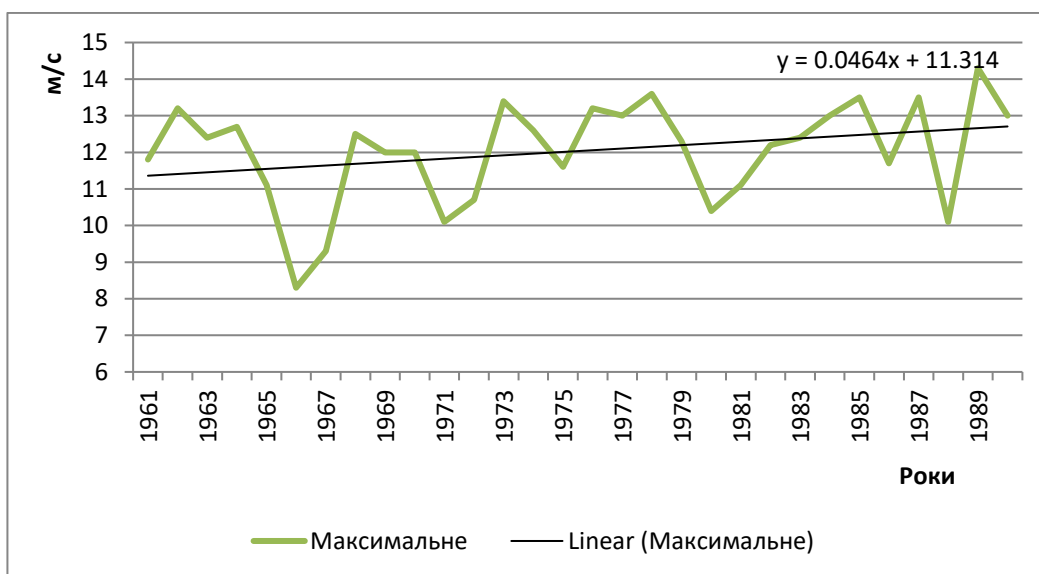


Рисунок 3.10 – Графік максимальної швидкості вітру за період 1961-1990рр.
00 UTC

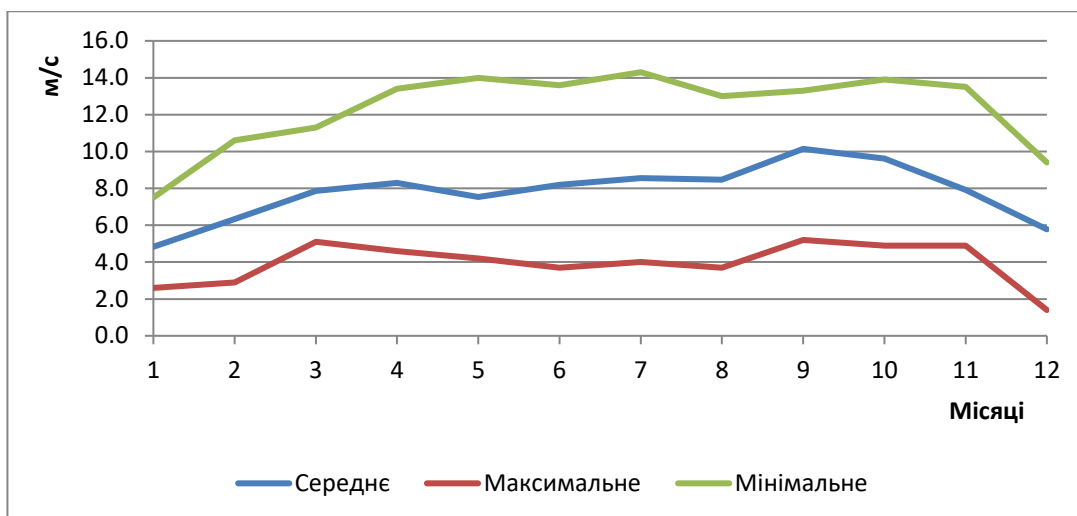


Рисунок 3.11 – Середня, максимальна та мінімальна середньомісячна швидкість вітру за період 1961-1990рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.3.11) середньої, максимальної та мінімальної середньомісячної швидкості вітру за період 1961-1990 рр. спостерігається синхронність зміни максимальних та мінімальних значень.

За даними графіка (рис.3.12) середньої швидкості вітру у 1991-2020рр. спостерігається мінімальне значення 4,2 м/с у 2019 році, максимальне значення показники досягли у 2006 році 11,5 м/с. За лінією тренду середня швидкість вітру зменшується на 2,9 м/с.

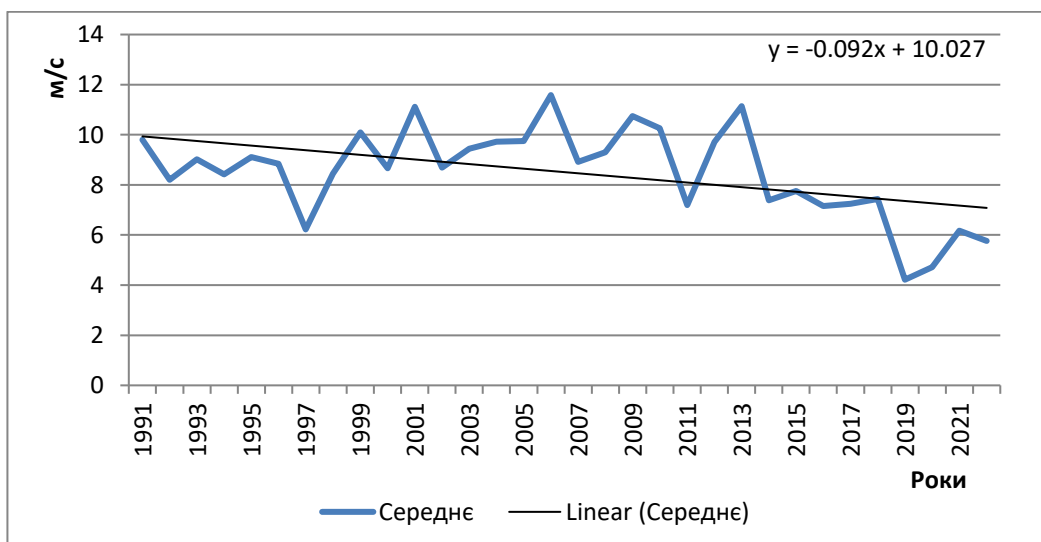


Рисунок 3.12 – Графік середньої швидкості вітру за 1991-2020рр. 00 UTC

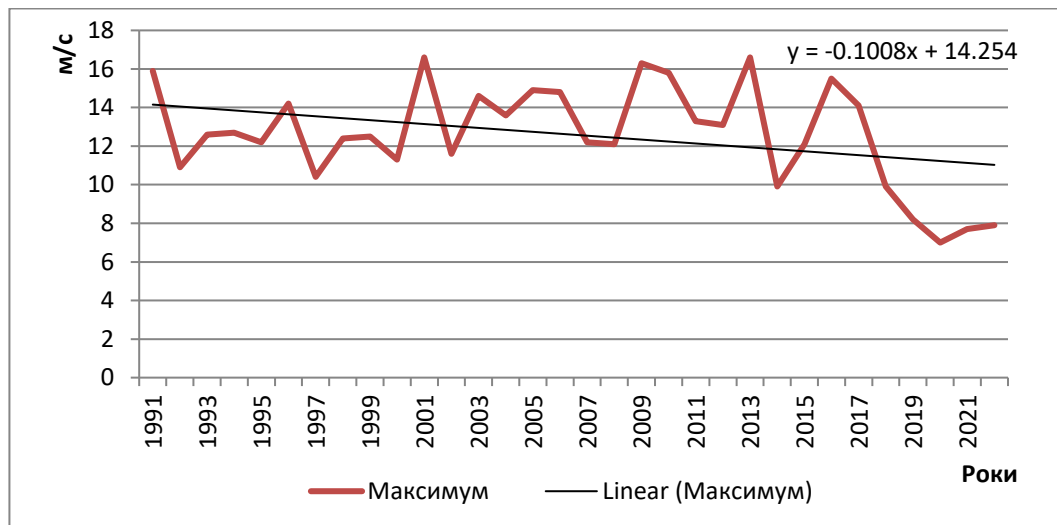


Рисунок 3.13– Графік максимальної швидкості вітру за 1991-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.3.13) максимальної швидкості вітру з 1991-2020рр. спостерігається мінімальне значення 7 м/с у 2020 році, максимальні значення показники досягли у 2001 та 2013 роках 16,6 м/с. За лінією тренду максимальна швидкість вітру зменшується на 3м/с.

За даними графіка (рис. 3.14) мінімальної швидкості вітру з 1991-2020рр. спостерігається мінімальне значення 0,1 м/с у 2011 році, максимальне значення показники досягли у 2006 році 8,3 м/с. За лінією тренду мінімальна швидкість вітру зменшується на 3,1м/с.

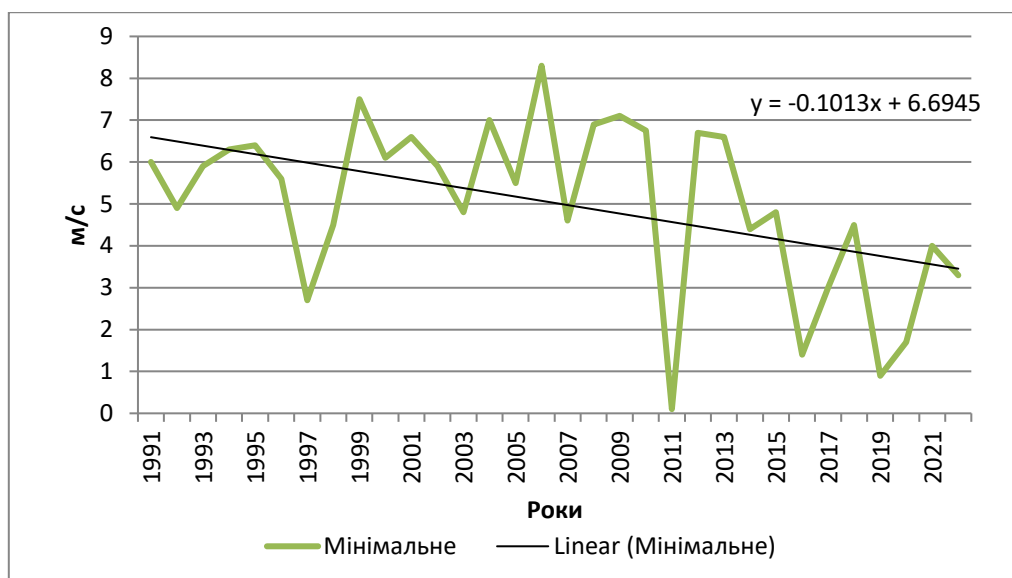


Рисунок 3.14 – Графік мінімальної швидкості вітру за 1991-2020рр. 00 UTC

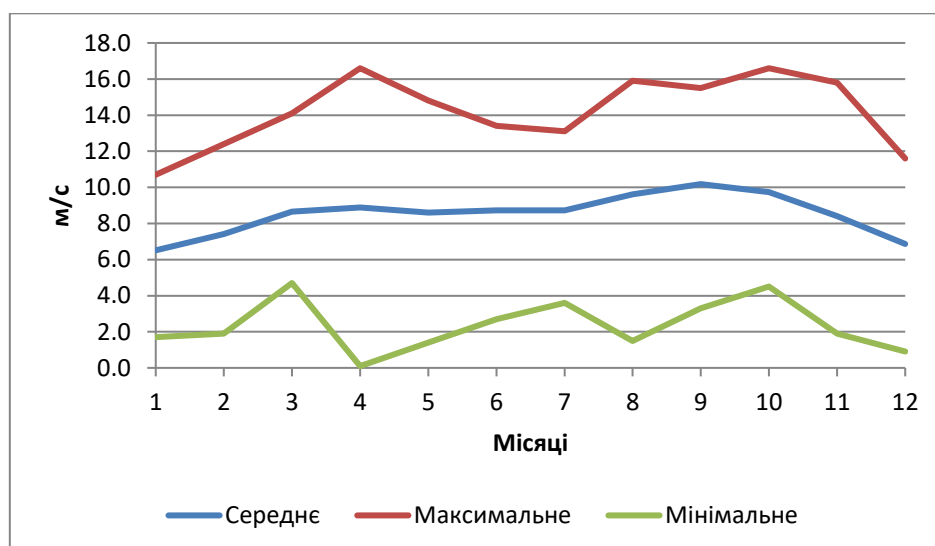


Рисунок 3.15– Графік середньої, максимальної та мінімальної середньомісячної швидкості вітру за період 1991-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.3.15) середньої, максимальної та мінімальної середньомісячної швидкості вітру з 1991-2020рр. спостерігається асинхронність зміни максимальних та мінімальних значень у квітні, липні та листопаді.

У табл.3.4 представлена середня, максимальна і мінімальна середньомісячна швидкість вітру (м/с) на станції Фарадей – «Академік Вернадський» за різні періоди.

Найбільша середня швидкість спостерігалась за всі періоди у вересні 10,1 м/с, максимальна швидкість 16,6 м/с у квітні та жовтні, мінімальна швидкість у квітні 0,1 м/с за 1950-2021 рр. Також найбільша середня швидкість у вересні 10,1 м/с, максимальна швидкість 14,3 м/с у липні, а мінімальна 1,4 м/с у грудні у 1961-1990 рр. Найбільша середня швидкість вітру у вересні 10,2 м/с, максимальна швидкість вітру 16,6 м/с у жовтні, а мінімальна швидкість вітру 0,1 м/с у квітні за 1991-2022 рр.

Таблиця 3.4 – Середня, максимальна і мінімальна середньомісячна швидкість вітру (м/с) на станції Фарадей – «Академік Вернадський» за різні періоди

Місяць	1950-2021 рр.			1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
	\bar{v}	v_{max}	v_{min}	\bar{v}	v_{max}	v_{min}	\bar{v}	v_{max}	v_{min}
Січень	5,7	10,7	1,7	4,8	7,5	2,6	6,5	10,7	1,7
Лютий	7,0	12,4	1,9	6,3	10,6	2,9	7,4	12,4	1,9
Березень	8,3	14,3	4,4	7,9	11,3	5,1	8,7	14,1	4,7
Квітень	8,5	16,6	0,1	8,3	13,4	4,6	8,9	16,6	0,1
Травень	7,9	14,8	1,4	7,5	14,0	4,2	8,6	14,8	1,4
Червень	8,4	13,6	2,7	8,2	13,6	3,7	8,7	13,7	2,7
Липень	8,5	14,3	2,8	8,6	14,3	4,0	8,7	13,1	3,6
Серпень	9,0	15,9	1,5	8,5	13,0	3,7	9,6	15,9	1,5
Вересень	10,1	15,5	3,3	10,1	13,3	5,2	10,2	15,5	3,3
Жовтень	9,8	16,6	4,5	9,6	13,9	4,9	9,7	16,6	4,5
Листопад	8,2	15,8	1,9	7,9	13,5	4,9	8,4	15,8	1,9
Грудень	6,1	11,6	0,9	5,8	9,4	1,4	6,9	11,6	0,9
Рік	8,1	14,3	2,3	7,8	12,3	3,9	8,5	14,2	2,4

На графіках 3.16-3.18 для візуального порівняння представлені гістограми середніх, максимальних та мінімальних значень швидкості вітру за кожний період дослідження.

На графіку середніх значень (рис.3.16) середньомісячної швидкості вітру чітко видно, що середні значення швидкості вітру збільшилися за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиріччям, особливо у січні, лютому, травні, серпні та грудні на 1,1-1,7 м/с.

На графіку (рис. 3.17) максимальних значень середньомісячної швидкості вітру також можна побачити, що максимальні значення швидкості вітру збільшилися значно за останні тридцять років у порівнянні з попереднім тридцятиріччям, особливо в січні, березні, квітні, серпні на 2,8-3,2 м/с, Крім липня, де значення зменшилося на 1,2 м/с.

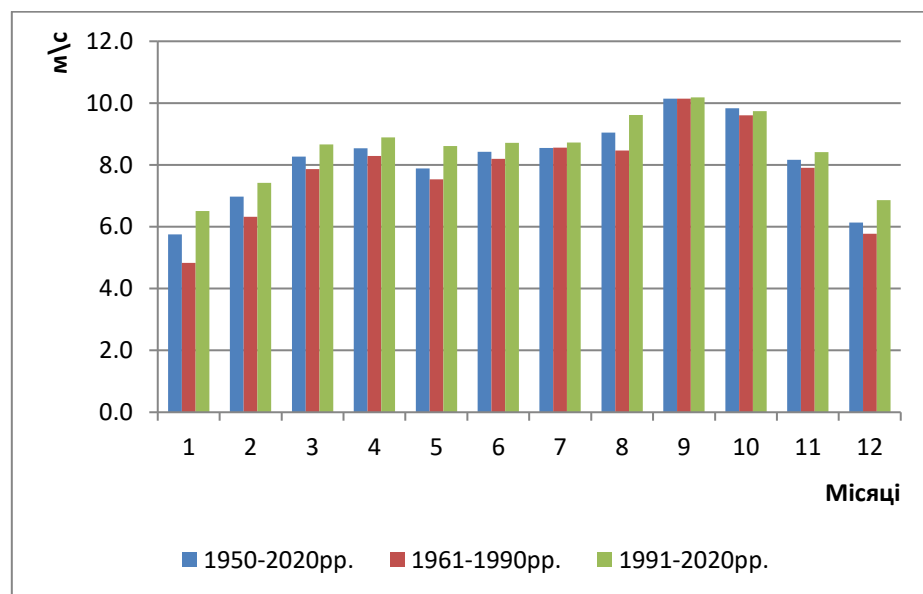


Рисунок 3.16– Гістограма середньої середньомісячної швидкості вітру на станції «Академік Вернадський» за різні періоди

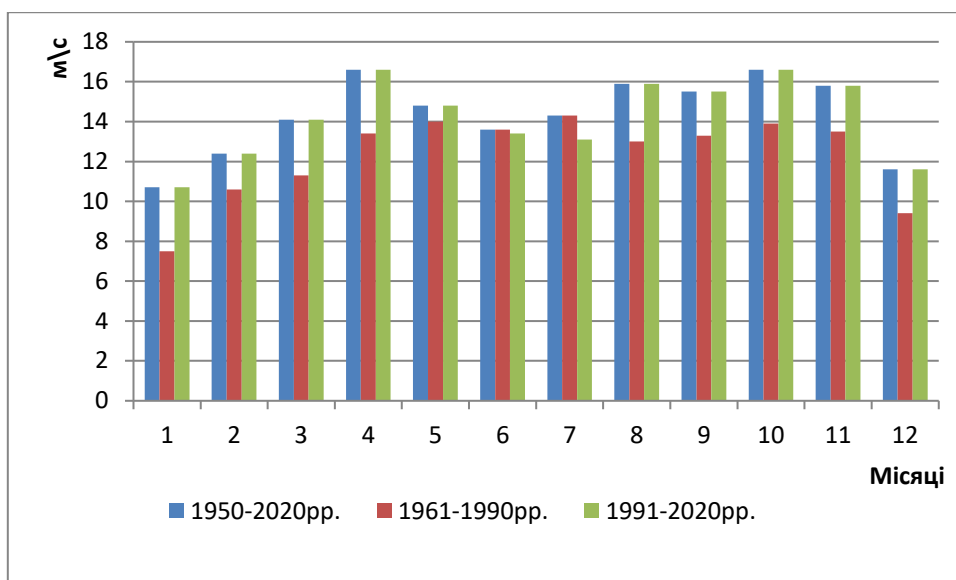


Рисунок 3.17 – Гістограма максимальної середньомісячної швидкості вітру на станції «Академік Вернадський» за різні періоди

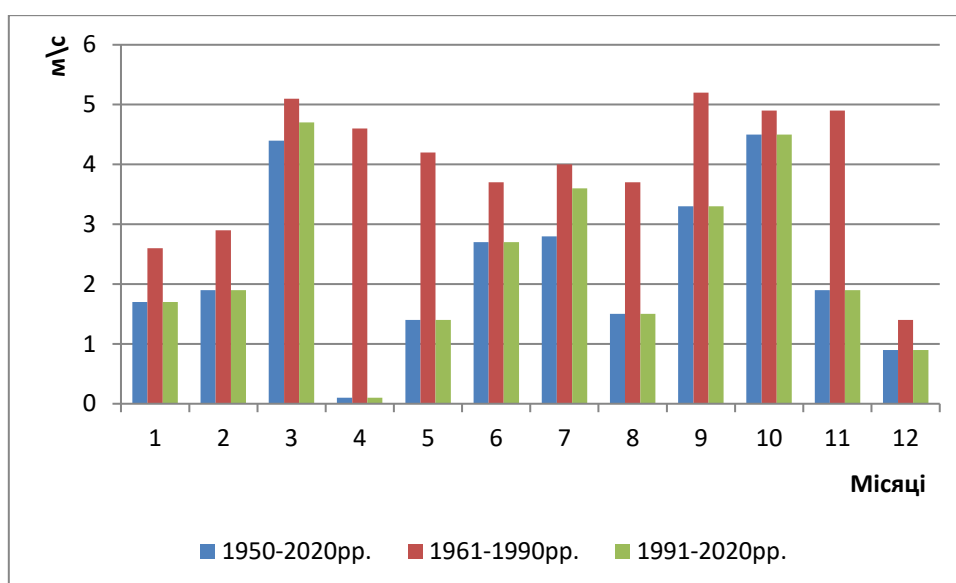


Рисунок 3.18 – Гістограма мінімальної середньомісячної швидкості вітру на станції «Академік Вернадський» за різні періоди

На графіку (рис 3.18) мінімальних значень середньомісячної швидкості вітру результат протилежний, мінімальні значення швидкості вітру значно зменшилися за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиріччям, особливо у квітні, травні, серпні та вересні на 1,9-4,5 м/с.

Отримані результати вказують на те, що за останні тридцять років змінилася загальна циркуляція атмосфери, що призвела до зміни траєкторій баричних утворень, що переміщаються з помірних широт південної півкулі на полярні широти в районі станції Академік Вернадський.

4 ОЦІНКА ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ РЯДІВ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ РІЗНИХ ЧАСОВИХ ДОЗВОЛАХ НА СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

Тиск повітря є одним з основних елементів щодо клімату окремої країни або земної кулі загалом. Карти середнього розподілу тиску повітря на рівні моря дають уявлення про переважний напрямок та швидкості повітряних течій, тобто характеризують основні особливості атмосферної циркуляції. Дослідження, пов'язані з циркуляцією атмосфери, довгострокові прогнози погоди та прогнози льодовитості арктичних морів, дослідження коливань рівнів океанів та морів базуються на багаторічних даних, що характеризують режим атмосферного тиску. При цьому широко використовуються карти ізобар [15]. Відомості про тиск повітря необхідні також і для багатьох практичних цілей, наприклад, під час обслуговування авіації, для розрахунків, пов'язаних з виробленням стисненого повітря, при випробуванні різних спеціальних установок на заводах, для вивчення розвитку деяких захворювань та вирішення багатьох оборонних завдань. Для характеристики багаторічного режиму атмосферного тиску зазвичай використовують такі показники:

1. Середні місячні та річні величини тиску повітря.
2. Середні декадні, пентадні та добові значення тиску повітря.
3. Найбільші та найменші середні місячні та річні значення тиску повітря.
4. Абсолютний максимум та абсолютний мінімум тиску повітря.
5. Аномалії тиску повітря за окремі роки.
6. Добовий перебіг тиску повітря.
7. Мінливість тиску повітря від дня до іншого (міждобова мінливість).
8. Повторюваність тиску повітря у різних інтервалах.

В магістерській роботі були розраховані та проаналізовані середні, максимальні та мінімальні значення атмосферного тиску на станції Фарадей – «Академік Вернадський» за різні періоди.

У табл.4.1 представлено середній, максимальний і мінімальний середньомісячний атмосферний тиск (гПа) на станції Фарадей – «Академік Вернадський» за різні періоди.

Таблиця 4.1 – Середній, максимальний і мінімальний середньомісячний тиск(гПа) на станції Фарадей – «Академік Вернадський» за різні періоди

Місяць	1947-2021 рр.			1961-1990 рр.			1991-2020 рр.		
	\bar{p}	p_{max}	p_{min}	\bar{p}	p_{max}	p_{min}	\bar{p}	p_{max}	p_{min}
Січень	989,7	999,3	979,0	991,5	999,3	982,2	988,0	996,8	979,0
Лютий	988,5	999,0	979,7	988,6	999,0	980,7	988,6	996,6	981,6
Березень	988,4	1001,4	977,2	988,3	998,1	979,5	988,7	1001,4	977,2
Квітень	988,7	999,3	978,8	988,9	999,3	978,8	988,7	995,4	983,1
Травень	992,3	1004,0	979,8	992,5	1003,8	979,8	991,8	1004	982,1
Червень	991,8	1007,0	976,3	991,9	1007,0	981,1	991,5	1002,7	976,3
Липень	992,3	1005,5	976,0	993,2	1005,5	981,5	991,8	1004,2	976
Серпень	990,5	1008,8	978,2	990,9	1001,2	979,9	989,7	1004,1	978,2
Вересень	989,2	1002,3	976,5	988,6	998	980	989,4	1002,3	976,5
Жовтень	986,0	1001,2	975,2	986,9	1001,2	975,2	985,3	993,8	975,4
Листопад	985,3	1002,7	972,2	985,6	994,6	972,2	985,1	995,8	975,6
Грудень	989,1	1003,7	977,9	990,0	1003,7	981,5	986,6	998,7	977,9
Рік	989,3	1002,9	977,2	989,7	1000,9	979,4	988,8	999,7	978,2

У період 1947-2021 рр. найбільші значення середнього атмосферного тиску спостерігалися у травні та липні 992,3гПа, найбільші значення максимального атмосферного тиску 1008,8 гПа у серпні, найбільші значення мінімального атмосферного тиску у листопаді 972,2гПа. У період 1961-

1990рр. найбільший середній атмосферний тиск спостерігався у липні 993,2 гПа, найбільші значення максимального атмосферного тиску – 1007,0 гПа у червні, а найбільші значення мінімального 972,2 у листопаді. У період 1991-2020рр. найбільший середній атмосферний тиск спостерігався у травні та липні 991,8гПа, найбільші значення максимального тиску – 1004,2 гПа у липні, а найбільші значення мінімального атмосферного тиску – 975,6 гПа у жовтні.

На графіках (рис.4.1-4.4) візуально видно, що середні, максимальні та мінімальні значення атмосферного тиску у період дослідження 1947-2020 рр. мають явну тенденцію до зниження значень до кінця періоду дослідження до 2020 року.

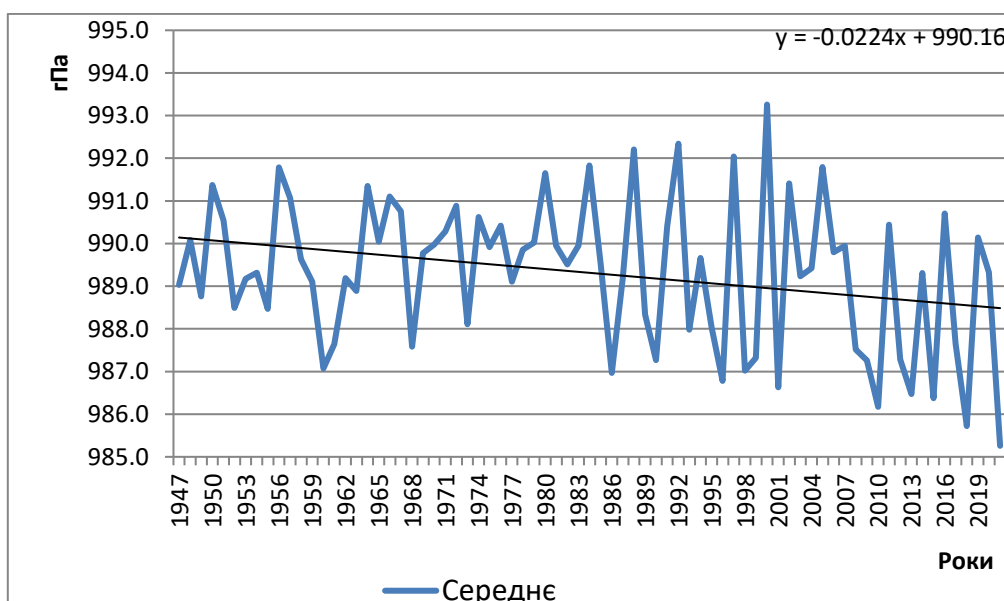


Рисунок 4.1 – Графік середнього атмосферного тиску за 1947-2020 рр.

00 UTC

За даними графіка (рис. 4.1) середнього значення атмосферного тиску спостерігається мінімальне значення 985,3 гПа у 2021 році, максимальне значення – 993,3гПа у 2000р. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 1,5гПа

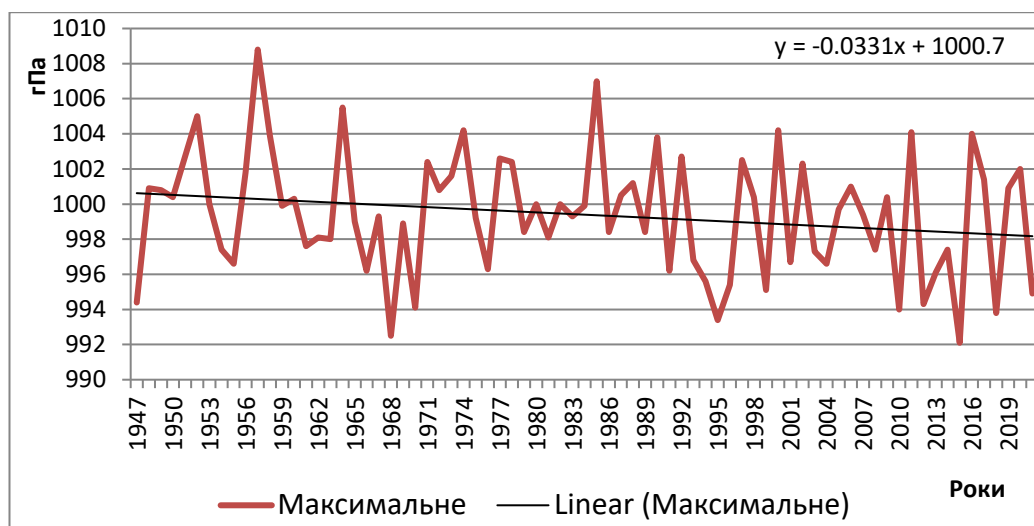


Рисунок 4.2 – Графік максимального атмосферного тиску за 1947-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.2) максимального тиску у 2015р спостерігається мінімальне значення 992,1гПа, у 1957 році – максимальне значення 1008,8гПа. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 2,7гПа.

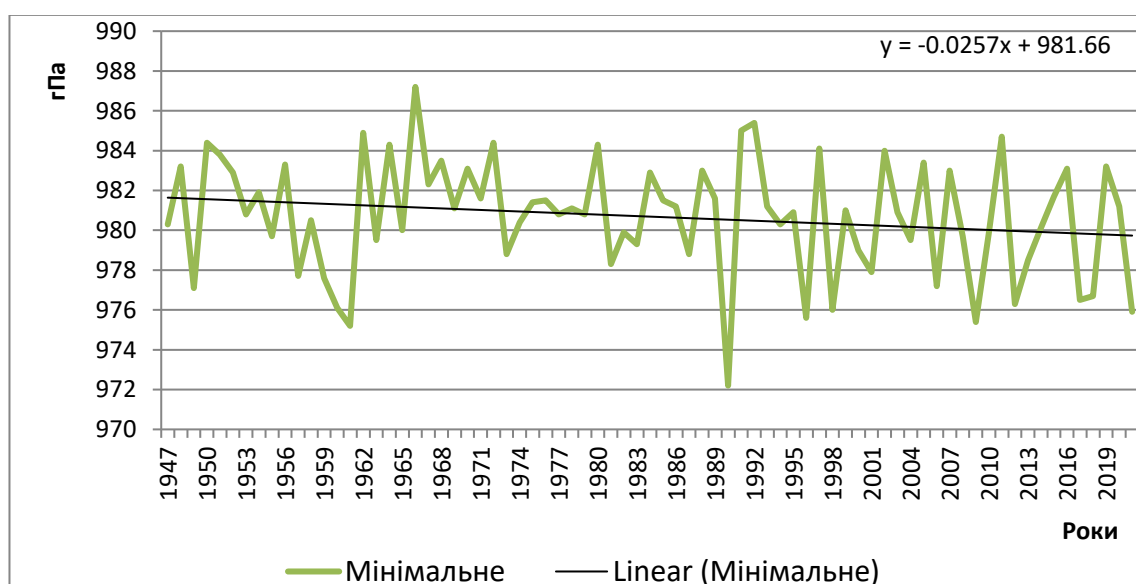


Рисунок 4.3 – Графік мінімального атмосферного тиску за 1947-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис. 4.3) мінімального атмосферного тиску у 2015р спостерігається мінімальне значення 992,1гПа, у 1957 році максимальне значення – 1008,8гПа. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 2,2гПа.

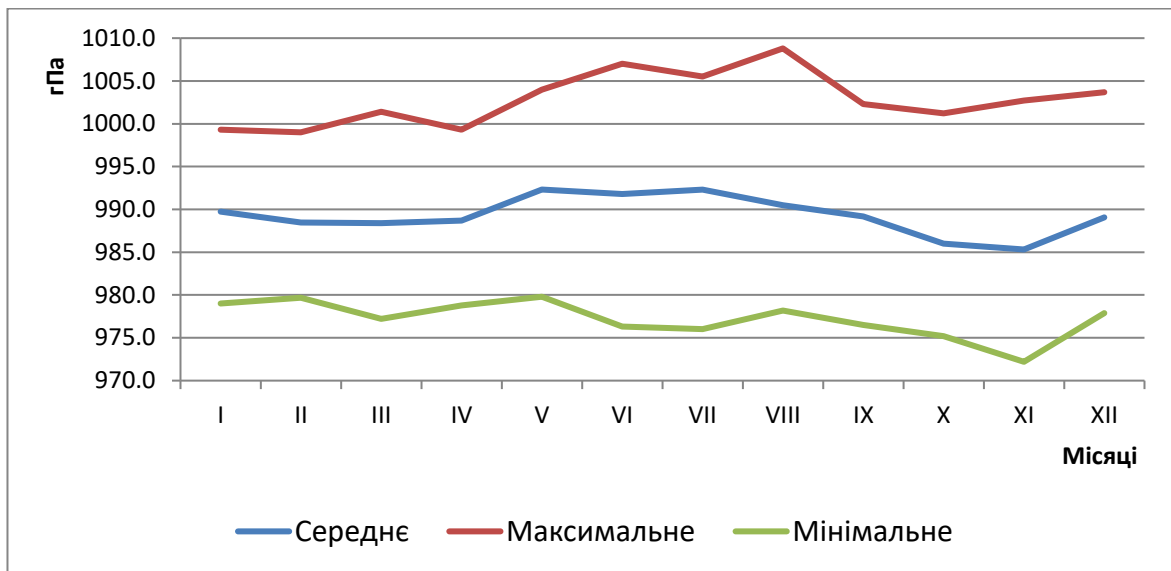


Рисунок 4.4 – Середній, максимальний та мінімальний середньомісячний атмосферний тиск за період 1947-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.4) середнього, максимального та мінімального значення середньомісячного атмосферного тиску у період 1947-2020рр. виявляється синхронність у зміні цих значень.

У цій кваліфікаційній роботі майстра було розглянуто динаміку середньомісячних значень атмосферного тиску за два тридцятирічні періоди 1961-1990 та 1991-2020 рр., визначених ВМО як періоди для розрахунку кліматичних норм.

За даними графіка (рис.4.5) середнього атмосферного тиску у 1962р спостерігається мінімальне значення 989,1гПа, у 1988 році максимальне значення – 992,2гПа. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 0,1гПа.

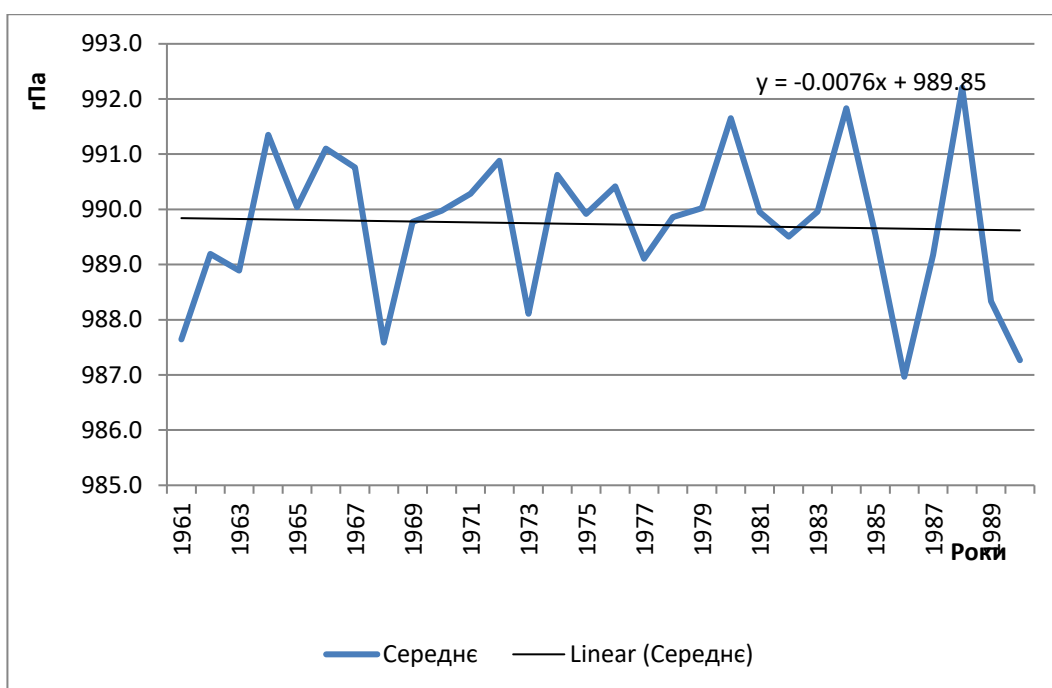


Рисунок 4.5 – Графік середнього значення атмосферного тиску у період 1961-1990рр. 00 UTC

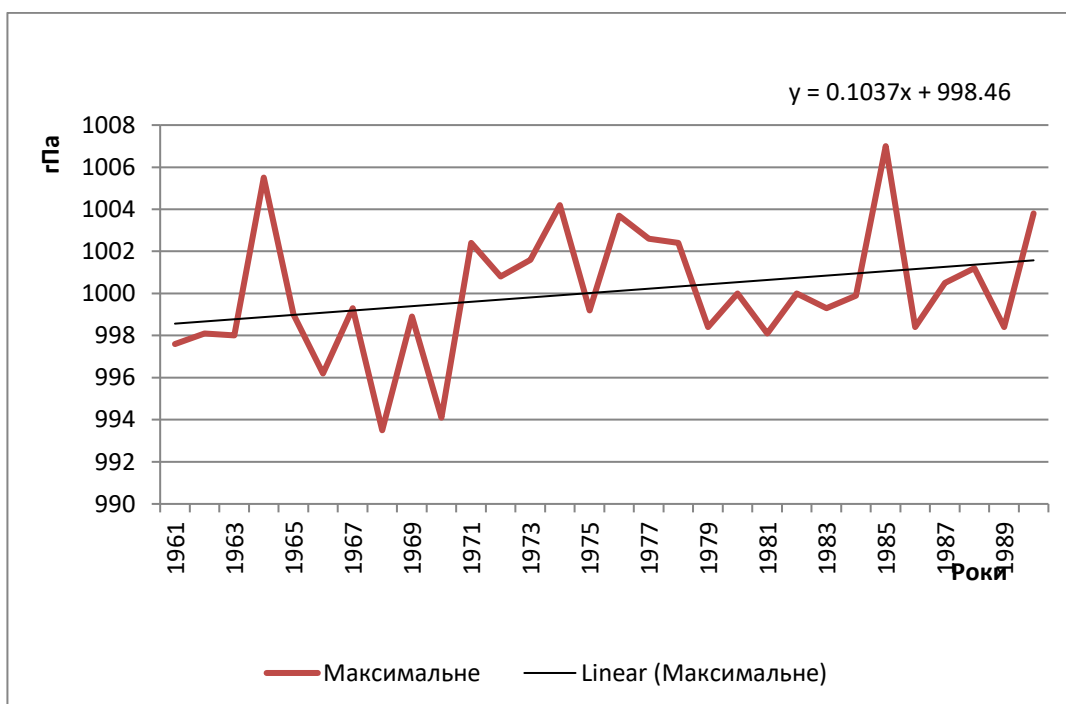


Рисунок 4.6 – Графік максимального атмосферного тиску за період 1961-1990рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.6) максимального атмосферного тиску у 1968р спостерігається мінімальне значення 993,5гПа у 1985 році, максимальне значення – 1007гПа. За лінією тренду атмосферний тиск збільшується на 2,5гПа.

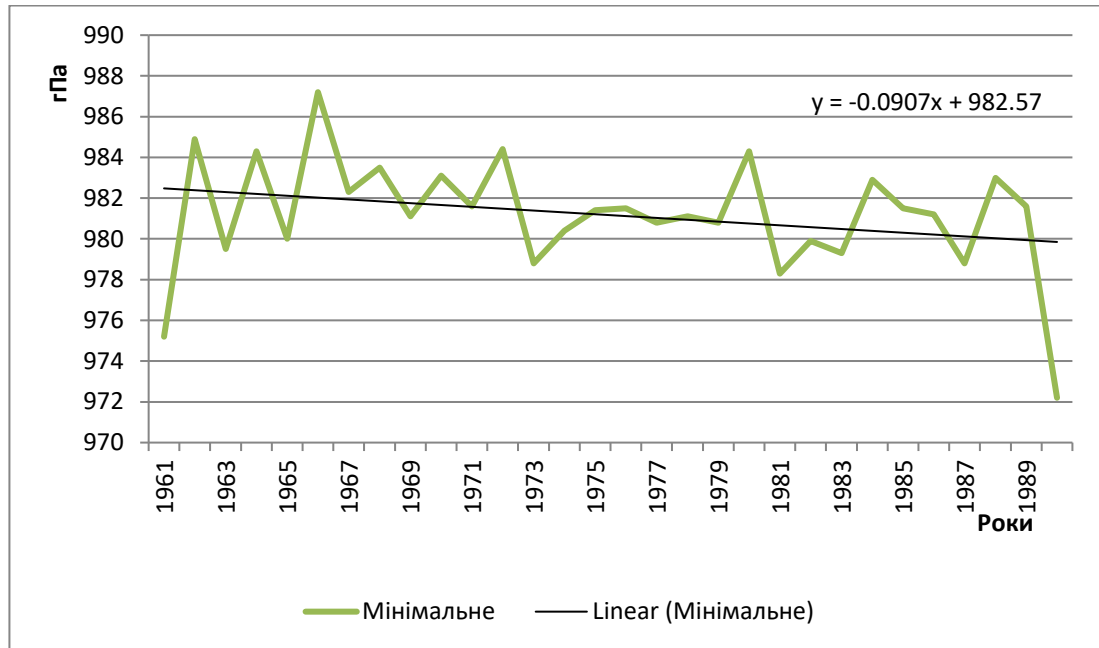


Рисунок 4.7 – Графік мінімального атмосферного тиску за період 1961-1990рр. 00 UTC

За даними графіка (рис. 4.7) мінімального атмосферного тиску у 1990р спостерігається мінімальне значення 972,2 гПа, у 1966 році максимальне значення – 987,2гПа. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 2,2гПа.

За даними графіка (рис.4.8) середнього, максимального та мінімального значення середньомісячного атмосферного тиску у період 1961-1990рр. виявляється синхронність у зміні цих значень.

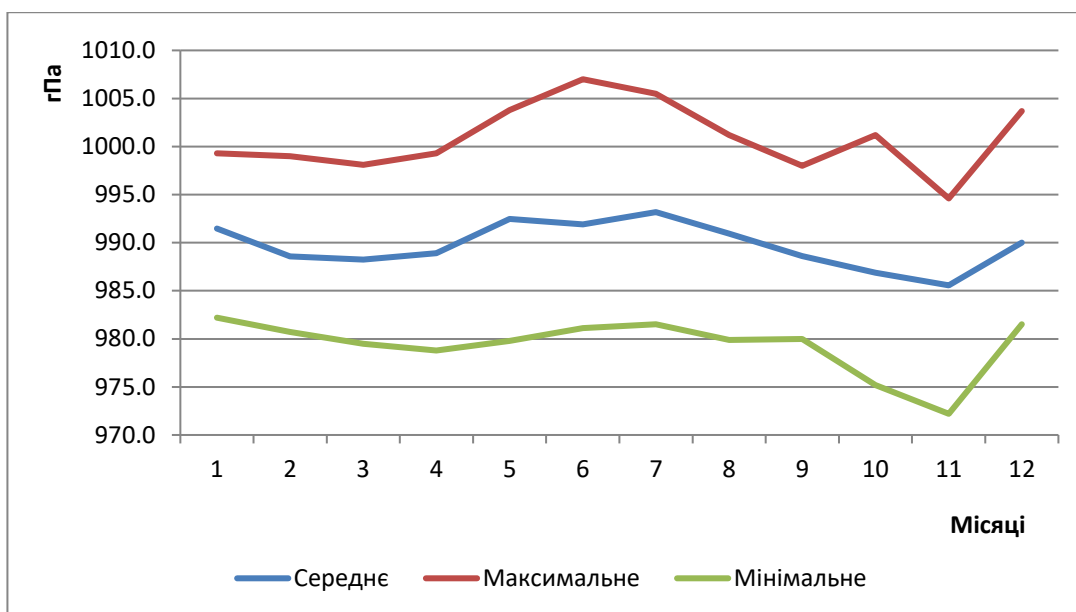


Рисунок 4.8 – Середній, максимальний та мінімальний середньомісячний атмосферний тиск за період 1961-1990рр. 00 UTC

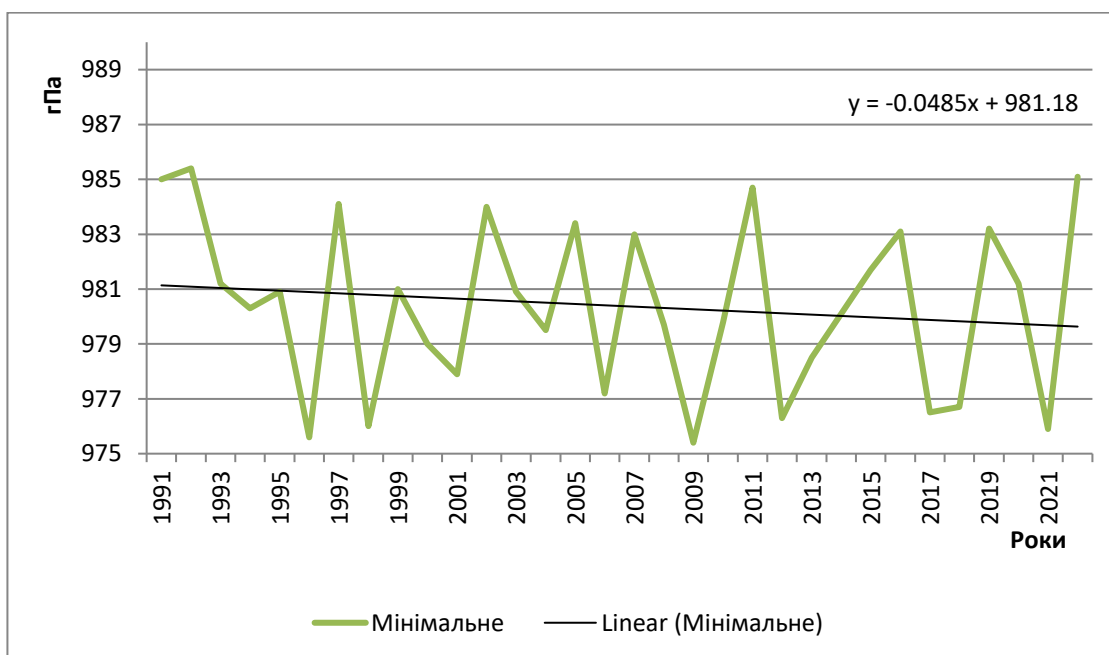


Рисунок 4.9 – Графік мінімального атмосферного тиску за період 1991-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.9) мінімального атмосферного тиску у 2009 р спостерігається мінімальне значення 975,4гПа, у 2021 році максимальне

значення показники 985,1гПа. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 1,9гПа.

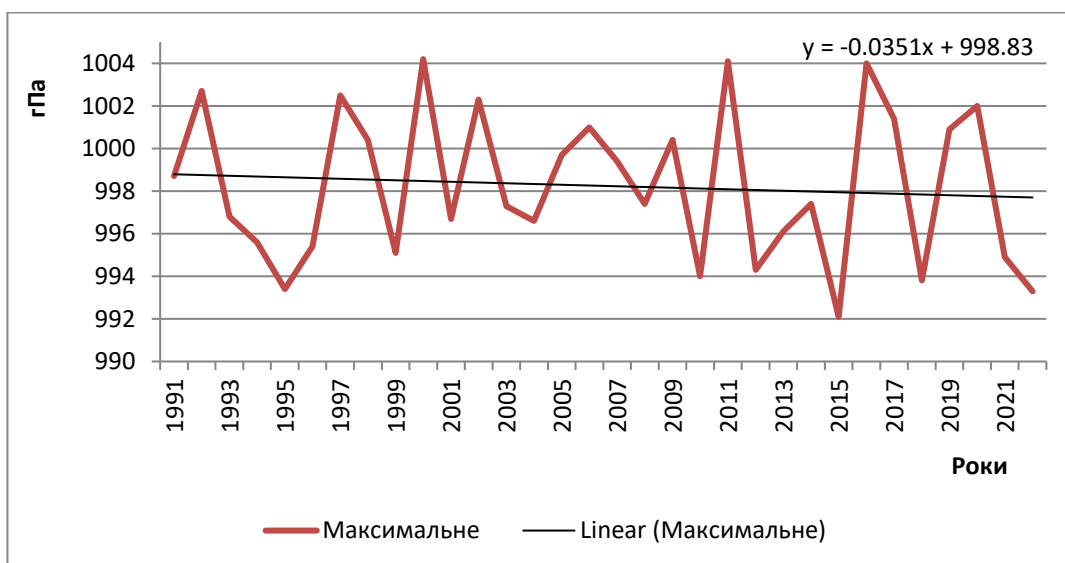


Рисунок 4.10 – Графік максимального атмосферного тиску за 1991-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.10) максимального атмосферного тиску у 2015р спостерігається мінімальне значення 992,1гПа, у 2000 році, максимальне значення – 1004,2 гПа. За лінією тренда атмосферний тиск зменшується на 1,0гПа.

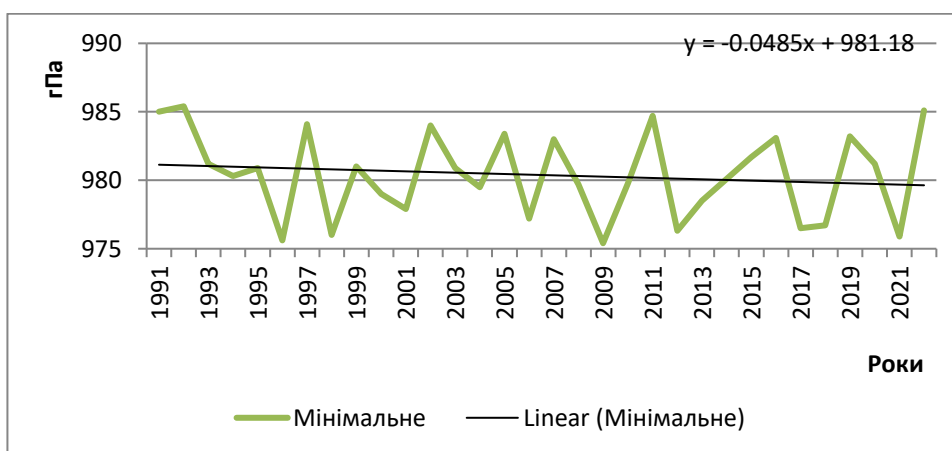


Рисунок 4.11 – Графік мінімального атмосферного тиску за період 1991-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.11) мінімального атмосферного тиску у 2020р спостерігається мінімальне значення 975,9 гПа, у 1992 році максимальне значення – 985,1гПа. За лінією тренду атмосферний тиск зменшується на 1,9гПа.

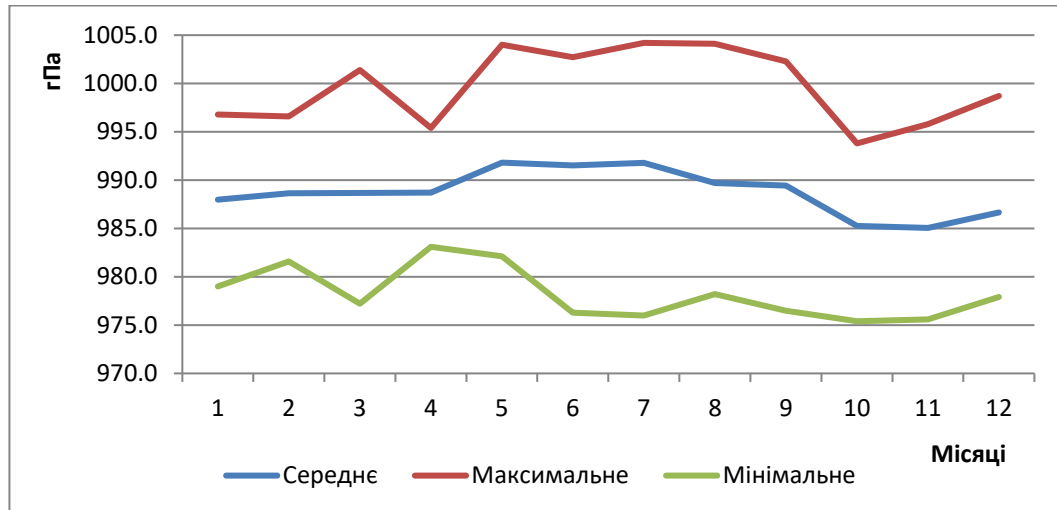


Рисунок 4.12 – Графік середнього, максимального та мінімального середньомісячного атмосферного тиску у 1991-2020рр. 00 UTC

За даними графіка (рис.4.12) середнього, максимального та мінімального значення середньомісячного атмосферного тиску у період 1991-2020рр. виявляється асинхронність у зміні цих значень. У місяці з січня до вересня якщо максимальний атмосферний тиск збільшується, то мінімальне значення зменшується і лише з жовтня до грудня зміни відбуваються синхронно.

На графіку середніх значень (рис. 4.13) середньомісячного атмосферного тиску видно, що за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиріччям середні значення атмосферного тиску збільшилися у березні та вересні – на 0,4-0,8 гПа, у лютому, квітні, червні та листопаді зменшилось – на 0,0-0,5 гПа, у решту місяців зменшалось більш значно – 1,2-3,5 гПа.

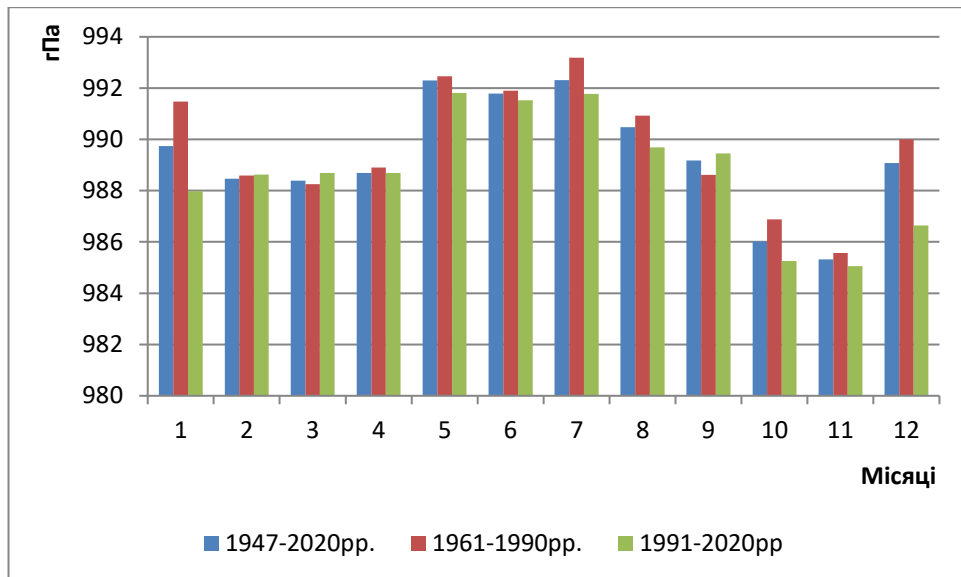


Рисунок 4.13 – Гістограма середнього середньомісячного атмосферного тиску на станції «Академік Вернадський» за різні періоди

На графіку (рис 4.14) мінімальних значень середньомісячного атмосферного тиску за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиліттям все неоднозначно: в окремі місяці – лютому, квітні, травні, жовтні-грудні значення збільшилися на 1,2-5,7 гПа, а решта місяців мінімальні значення атмосферного значення значно зменшилися на 1,7-5,5 гПа.

На графіку (рис 4.15) максимальних значень середньомісячного атмосферного тиску за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиліттям все неоднозначно в окремі місяці - березні, серпні, вересні та листопаді значення збільшилися на 1,2-4,3 гПа, у травні незначно на 0,2 гПа, а решта місяців року максимальні значення атмосферного значення значно зменшилися на 1,2-7,4 гПа.

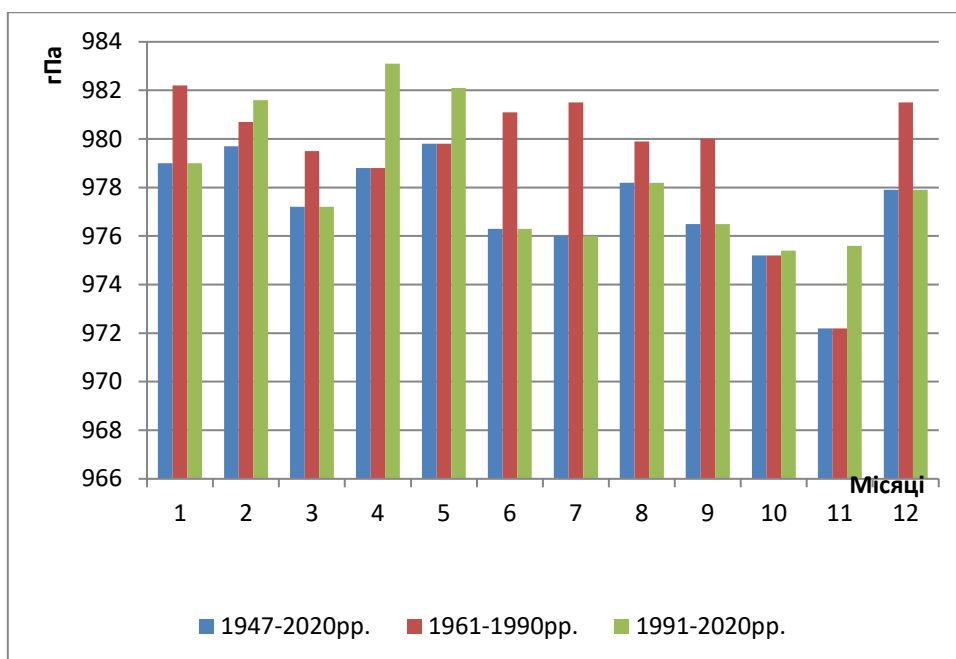


Рисунок 4.14 – Гістограма мінімального середньомісячного атмосферного тиску на станції «Академік Вернадський» за різні періоди

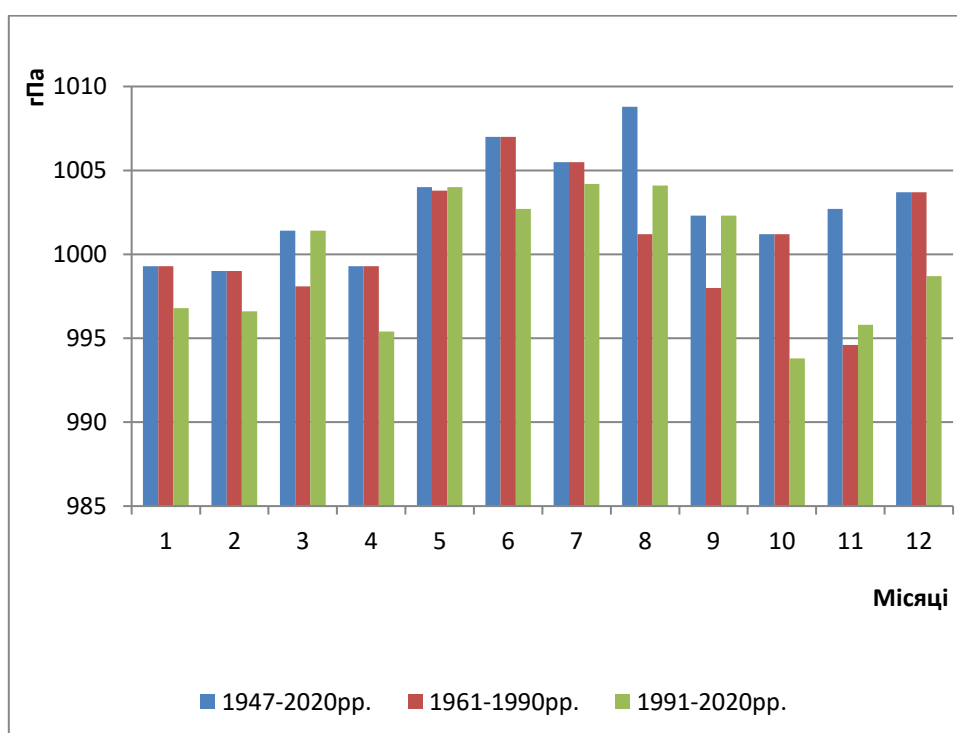


Рисунок 4.15 – Гістограма максимального середньомісячного атмосферного тиску на станції «Академік Вернадський» за різні періоди

Отримані результати динаміки багаторічних значень атмосферного тиску вказують на те, що за останні тридцять років змінилася загальна циркуляція атмосфери, що призвело до зміни траєкторій баричних утворень, що переміщуються з помірних широт південної півкулі на полярні широти в районі станції Академік Вернадський.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра було досліджено багаторічна динаміка кліматичних характеристик, а саме вітрової режим та значення атмосферного тиску Антарктичного півострова на станції Фарадей – "Академік Вернадський" за весь час існування станції з 1947 р по 2022 р. і зроблені відповідні висновки. А саме:

1. За весь період дослідження у холодний період пануючий напрям вітру на станції Академік Вернадський коливається від північно-західного до північно-східного напрямку. Слід відмітити, що у березні, квітні, серпні та вересні спостерігається чітко північний напрям з відсотковою ймовірністю від 31 % до 46 %. У теплого періоді ситуація майже не змінна пануючий напрям вітру коливається з північно-західного до північного. Зазначимо, що у даний період вітер також з невеликою ймовірністю має південний напрям від 10 % у лютому до 25 % у грудні.
2. За період дослідження 1961-1990 рр. на станції Фарадей – «Академік Вернадський» у холодний період пануючий напрям вітру коливається від північно-західного до північно-східного, східного напрямку. Слід відмітити, що у березні, квітні, серпні та вересні спостерігається чітко північний напрям з відсотковою ймовірністю від 30 % до 57 %. У теплого періоді ситуація майже не змінна пануючий напрям вітру коливається з північно-західного до північного. Зазначимо, що у даний період вітер також з невеликою ймовірністю має південний напрям від 7% у лютому до 27% у грудні.
3. За період 1991-2020 рр. на станції Фарадей – «Академік Вернадський». Аналізуючи повторюваність напрямку вітру у холодний період можемо відзначити, що пануючий напрям вітру на станції коливається від північно-західного до північно-східного напрямку. Слід відмітити, що у березні, квітні, серпні та вересні спостерігається чітко північний напрям з

відсотковою ймовірністю від 20 % до 37 %. У теплом періоді ситуація майже не змінна пануючий напрям вітру коливається з північно-західного до північного. Зазначимо, що у даний період вітер також з невеликою ймовірністю має південний напрям від 7% у лютому до 33% у листопаді.

4. Отримані результати аналізу напрямку вітру вказують на те, що за останнє тридцятиліття суттєво змінилося переважне спрямування та його повторюваність у порівнянні з попереднім тридцятиліттям. Тож якщо у період 1961-1990рр. з лютого по вересень переважав північний-північно-східний вітер з повторюваністю 30-56%, а з жовтня по січень північно-західний-північний вітер з повторюваністю 17-43%, також спостерігався і південний вітер з повторюваністю 13-26%, то за період 1991-2020рр. з лютого по серпень спостерігався північний-північно-східний вітер з повторюваністю трохи менше 10-37%, у вересні-жовтні – південний з повторюваністю 20-27%, у листопаді-січні спостерігався практично з рівнозначною повторюваністю північний (23-33%) і південний вітер (20-30%). На підставі цих результатів можна припустити, що зміна повторюваності напрямку вітру за останнє тридцятиріччя є фактом зміни циркуляції атмосфери, що є індикатором кліматичних змін.
5. За період 1950-2021рр значення середньої швидкості вітру змінювалася від мінімального значення 4,2 м/с у 2019 році до максимального значення у 2006 році 11,6 м/с. За лінією тренду середня швидкість вітру збільшується на 1м/с за 72 рік. Значення максимальної швидкості вітру має незначну тенденцію збільшення, але тенденція мінімальної швидкості більш значне и складає 1,3 м\с за 72 рока.
6. За період 1961-1990 рр. зміни середніх, максимальних та мінімальних значень швидкості вітру мають коливальний характер – 6,2-9,6 м\с, 8,3-14,3 м\с та 1,4- 6,0м\с проте тенденція вказує на значне збільшення за цей період, що становить 1,8 м\с, 1,2 м\с, 1,6 м\с.
7. За період 1991-2020 рр. значення середньої швидкості вітру коливається від 4,2 до 11,5м\с, але тенденція вказує на різке зменшення за 30 лет на 2,9

м\с, значення максимальної швидкості вітру коливається від 7,0 м\с до 16,6 м\с, але тенденція вказує на різке зменшення за 30 лет на 3,0 м\с,, значення мінімальної швидкості вітру коливається від 0,1 м\с до 8,3 м\с, тенденція також вказує на різке зменшення на 3,1 м\с.

8. За останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиріччям середні значення середньомісячної швидкості вітру збільшилися на 1,1-1,7 м/с; максимальні значення – на 2,8-3,2 м\с, але мінімальні значення значно зменшилися на 1,9-4,5 м/с.
9. Аналіз середніх значень середньомісячного атмосферного тиску показав, що за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиріччям середні значення атмосферного тиску збільшилися у березні та вересні – на 0,4-0,8 гПа, у лютому, квітні, червні та листопаді зменшилось – на 0,0-0,5 гПа, у решту місяців зменшалось більш значно – 1,2-3,5 гПа.
10. Аналіз мінімальних значень середньомісячного атмосферного тиску за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиліттям показав, що все неоднозначно: в окремі місяці – лютому, квітні, травні, жовтні-грудні значення збільшилися на 1,2-5,7 гПа, а решта місяців мінімальні значення атмосферного значення значно зменшилися на 1,7-5,5 гПа.
11. Аналіз максимальних значень середньомісячного атмосферного тиску за останні тридцять років порівняно з попереднім тридцятиліттям показав, що все неоднозначно в окремі місяці – березні, серпні, вересні та листопаді значення збільшилися на 1,2-4,3 гПа, у травні незначно на 0,2 гПа, а решта місяців року максимальні значення атмосферного значення значно зменшилися на 1,2-7,4 гПа.
12. Отримані результати динаміки багаторічних значень атмосферного тиску вказують на те, що за останні тридцять років змінилася загальна циркуляція атмосфери, що призвело до зміни траєкторій баричних утворень, що переміщуються з помірної широти південної півкулі на полярні широти в районі станції Академік Вернадський.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Школьний Є.П., Лосєва І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник.-К.: Міносвіти України,1999. – с. 600.
2. Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н., Джиганшин Г.Ф., Баширин Д.В. Североатлантическое и Южное колебания, изменчивость характеристик деятельного слоя океана в Северной Атлантике и Европейский климат // В сб. 70 лет Одесскому экологическому университету. – Одесса, 2002. – с.127-134.
3. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли.- М.:Наука. Физматлит, 2002.-с. 247-384.
4. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Миротворська Н.К. Кліматологічна обробка окремих метеорологічних величин. Одеса: „ТЕС“, 2004. 150с.
5. Оцінка стану кліматичної системи Західної Антарктики у світлі мінливості циркуляційної тропосфери і низької стратосфери термічних та динамічних характеристик Південного океану, а також динаміки зледеніння. Звіт про науково - дослідну роботу №71, 2004.-с. 10-97.
6. Грищенко В. Ф., Тимофєєв В. Є. Реакції компонентів гляціосфери на зміну клімату в районі Антарктичного півострова. Український Антарктичний. Журнал – MAR-2005. С. 99-107.
7. Міліневський Г.П., Літвінов В.А. П'ять "Антарктичних" років України Бюлетень Українського Антарктичного Центра, С 242-245. Рожик П.Ф. (ред.) Материалы Украинского Антарктического Центра Одесса: 1998. 70 с.
8. Marshall, G.J., P.A. Stott, J. Turner, W.M. Connolley, J.C. King and T.A. LachlanCope, 2004: Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the Southern Hemisphere. Geophys. Res. Lett., 31, L14205, doi:10.1029/2004 GL019952

10.Thompson, D.W.J. and S. Solomon, 2002: Interpretation of recent southern hemisphere climate change. *Science*, 296, 895-899.

11.URL:<http://uac.gov.ua/127-c-v-antarktidi-novij-temperaturnij-rekord-nastanci%D1%97-akademik-vernadskij/> (дата звернення 31.10.2022)

12.The International Antarctic Weather Forecasting Handbook [Text] / Eds J. Turner and S. Pendlebury.–London: British Antarctic Survey, 2004.– 664 p.

13.Тимофеев В.Е. Климатические индексы южного полушария и их связь с тропосферной циркуляцией [Текст] / В.Е. Тимофеев // УАЖ.–2005.– №3.

14.Мартазинова В.Ф. Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в северном и южном полушариях и региональные климатические особенности в атлантико-европейском секторе и районе Антарктического полуострова [Текст] / В.Ф. Мартазинова, В.Е. Тимофеев // Проблемы Арктики и Антарктики.– 2008. – № 3(80). – С. 17–37.

15.Nicholls, K.W. Ice-ocean processes over the continental shelf of the southern Weddell Sea, Antarctica [Text] / K.W/ Nicholls, S. Osterhus, K. Makinson, T. Gammelsrod and E. Fahrbach // A review, *Reviews of Geophysics*. – doi: 10.1029/2007RG000250, in press.