

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: **Особливості вітрового режиму на півдні України**

Виконала студентка 2 курсу групи МЗК–18
спеціальності 103 – “Науки по Землю”
Майорова Віталіна Олександрівна

Керівник к.геогр.н., доцент
Галич Єлизавета Анатоліївна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Кирнасівська Наталя Василівна

Одеса 2020 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ Гідрометеорологічний інститут _____
Кафедра _____ метеорології та кліматології _____
Рівень вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 103 “Науки про Землю” _____
(шифр і назва)
Освітньо-наукова програма _____ Кліматологія _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
Прокоф'єв О.М.
“ 23 ” березня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Майоровій Віталіні Олександрівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: _____ Особливості вітрового режиму на півдні України _____

керівник роботи _____ Галич Єлизавета Анатоліївна, к.геогр.н., доцент, _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 04 березня 2020 р. № 23-с

2. Строк подання студентом роботи _____ 12 травня 2020 р. _____

3. Вихідні дані до роботи. _____ дані строкових спостережень приземної швидкості вітру на 13 станціях півдня України, за період 2000-2018 р.р. та дані за попередній кліматичний період. _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____ Розрахунок середньої місячної швидкості вітру та побудова карт просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру. Провести Статистичний аналіз часових рядів швидкості вітру. Дослідити динаміку режиму швидкості вітру на півдні України. Отримання ймовірностей швидкості вітру різних діапазонів та побудова гістограм. _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____ Карти просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру. Графіки Багаторічних коливань швидкості вітру. Гістограми розподілу ймовірності швидкості вітру різних діапазонів. _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 23 березня 2020 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вивчення літературних джерел за темою магістерської роботи.	23.03-20.04 2020 р.	90	відмінно
2	Підготовка даних метеорологічних спостережень до обробки.	23.03-30.03 2020 р.	100	відмінно
3	Обробка даних за допомогою графічно-розрахункового пакету «EXCEL».	30.03-10.04 2020 р.	100	відмінно
4	Розрахунок середньої місячної швидкості вітру та побудова карт просторового розподілу середньомісячної швидкості вітру. Статистичний аналіз часових рядів швидкості вітру. Дослідити динаміку режиму швидкості вітру на півдні України. Отримання ймовірностей швидкості вітру різних діапазонів та побудова гістограм.	30.03-10.04 2020 р.	95	відмінно
5	Аналіз отриманих результатів.	10.04-20.04 2020 р.	90	відмінно
6	Рубіжна атестація	20.04-26.04 2020 р.	95	відмінно
7	Оформлення магістерської роботи.	26.04-5.05 2020 р.	90	відмінно
8	Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.	5.04-10.05 2020 р.	95	відмінно
9	Попередній захист магістерської роботи	10.05.2020 р.	90	відмінно
10	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		95	відмінно

Студент Майорова В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи Галич Є.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Особливості вітрового режиму на півдні України»

Автор: Майорова Віталіна Олександрівна.

Актуальність проблеми полягає в тому, що знання режиму швидкості вітру дозволяє вирішувати багато задач, пов'язаних як із глобальними проблемами змін клімату, так і суто практичних, таких як вітроенергетика. В останні роки, у зв'язку з розвитком відновлюваних джерел енергії, особливу значущість набувають дослідження спрямовані на вивчення як часових так і 3-х вимірних просторових характеристик повітряного потоку.

Метою даної роботи є дослідження особливостей статистичної структури приземних швидкостей вітру, які необхідні для багатьох прикладних задач, а також дослідження динаміки режиму швидкості вітру на півдні України.

Задачі, які були розв'язані відповідно до поставленої мети полягали у наступному:

- провести аналіз просторового розподілу швидкості вітру.
- дослідити особливості статистичної структури приземних швидкостей вітру.
- дослідити динаміку режиму швидкості вітру.
- проаналізувати ймовірність швидкостей вітру різних градацій.

Об'єкт дослідження – режим швидкості вітру.

Предмет дослідження – кліматичні показники швидкості вітру.

Методи дослідження – фізико-статистичний та кліматичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримання кліматичних показників швидкості вітру за даними останніх років спостережень.

Практичне значення отриманих результатів. Розраховані характеристики швидкості вітру можуть бути використані у вирішенні питань, пов'язаних з вітроенергетикою, проектуванням аеропортів та будівництві.

Магістерська робота в обсязі 74 сторінки складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку посилань з 17 джерел, а також містить 34 рисунки та 14 таблиць.

Ключові слова: середня швидкість вітру, сильний вітер, мінливість швидкості вітру, динаміка, тренд, ймовірність швидкості вітру по градаціях.

SUMMARY

Theme: "Features of the wind regime in the south of Ukraine"

Author: Maiorova Vitalina.

Urgency of the issue of the wind speed regime allows us to solve many problems associated with both global climate change and purely practical issues, such as wind power. In recent years, in connection with the development of renewable energy sources, of particular importance are studies aimed at studying both temporal and 3-dimensional spatial characteristics of air flow.

The purpose of this work is to study the features of the statistical structure of surface wind speeds, which are necessary for many applications, as well as to study the dynamics of the wind speed in southern Ukraine.

Tasks that have been resolved in accordance with the intended objectives were to:

- analyze the spatial distribution of the average monthly wind speed.
- investigate the features of the statistical structure of surface wind speeds.
- investigate the dynamics of the wind speed regime.
- analyze the probability of different velocity wind speeds..

Object of scientific research – wind speed regime.

Subject of scientific research – wind speed climatic indicators.

Methods of scientific research **physic** – statistical and climatic analysis.

Scientific novelty of results obtained. Getting climatic parameters of wind speed according to recent years of observations.

Practical importance of results obtained. Calculated characteristics of wind speed can be used to address issues related to wind power, design and building of airports.

The master thesis of 74 pages consists of 3 chapters, conclusions, bibliography of 17 sources, contains 34 figures and 14 tables.

Keywords: average wind speed, strong wind, dynamics, trend, probability of wind speed according to gradations,

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВІТРОЕНЕРГЕТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ..	9
1.1 Основні поняття вітроенергетики.....	9
1.2 Історія розвитку вітроенергетики в світі й сучасне її використання.....	14
1.3 Вітропотенціал території України та проблеми його розвитку.....	15
1.3.1 Вітроенергетичні ресурси України.....	17
1.3.2 Проблеми розвитку вітроенергетики в Україні.....	20
2 ЧАСОВА ТА ПРОСТОРОВА МІНЛИВІСТЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ.....	22
2.1 Кліматичні характеристики часового та просторового розподілу швидкості вітру на Україні.....	22
2.2 Короткий огляд режиму вітру на Україні за минулий кліматичний період.....	24
3 РЕЖИМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ.....	27
3.1 Вихідна інформація та методи дослідження.....	27
3.2 Статистичний аналіз часових рядів швидкості вітру на півдні України.....	30
3.3 Динаміка режиму швидкості вітру на території Одеської області.....	43
3.4 Ймовірність розподілу швидкості вітру у зимовий період на півдні України.....	55
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73

ВСТУП

Сучасні коливання погодних умов спричинені зміною атмосферної циркуляції та впливають на подальший соціально-економічний розвиток країни. Переміщення повітряних течій визначає перерозподіл температурно-вологісних показників по території та генеруються змінами, що спостерігаються у глобальній кліматичній системі «атмосфера – океан – суходіл» [1].

Вітер є одним з перспективних екологічно чистих і практично невичерпних енергетичних ресурсів, який все ширше використовується людством. Він також є одним з головних факторів, який щороку в багатьох регіонах світу викликає надзвичайні ситуації метеорологічного характеру. Широкомасштабне вивчення вітрового режиму може дати багато відповідей на багато проблем пов'язаних з екологічною безпекою, охороною навколишнього середовища, а також енергетикою [2]. Вивчаючи сучасні коливання основних показників вітру, можна встановити тенденції цих змін, що визначають майбутні погодні умови та сприяють поліпшенню короткострокових прогнозів. Особливо актуальним це є для Одеси, яка є одним з економічних центрів країни.

Вітер є однією з основних метеорологічних величин. Дослідження приземних і висотних полів швидкості та напрямку вітру необхідні для багатьох прикладних задач:

- для розрахунків аеродинамічних характеристик техногенних і природних об'єктів;
- для обліку в експлуатації різних транспортних засобів;
- для оцінок енергетичних параметрів повітряного потоку при використанні вітроенергетичних установок;
- для попередження різних галузей народного господарства при виникненні стихійних явищ, пов'язаних з великими швидкостями вітру.

Структура вітрового потоку (швидкості й напрямку вітру) може бути отримана як за допомогою висотних аерологічних спостережень, які дозволяють

отримати всі складові вектора вітру в 3-х мірному просторі так і за допомогою метеорологічних моделей, призначених для прогнозування поточного та майбутнього стану атмосфери. Але враховуючи малу дискретність висотних аерологічних спостережень в прикладних цілях для оцінки швидкостей вітру в межах до висот 300 м використовуються приземні вітрові дані. І якщо відомий характер термічної стратифікації потоку, то можна з достатньою точністю встановити вертикальні зміни складових вектора вітру.

Структура полів вітрів в граничному шарі атмосфери формується під впливом макромасштабних сил градієнта тиску, сили Коріоліса та сили тертя, які залежать від шорсткості поверхні й турбулентної в'язкості.

В останні роки, у зв'язку з розвитком відновлюваних джерел енергії, особливу значущість набувають дослідження спрямовані на вивчення як часових так і 3-х мірних просторових характеристик повітряного потоку.

Метою даної роботи є дослідження особливостей статистичної структури приземних швидкостей вітру, які необхідні для багатьох прикладних задач.

Магістерська робота складається з 3 розділів: перший розділ є обзорним і присвячений основним поняттям вітроенергетиці – альтернативному джерелу енергії та вітропотенціалу на території України; другий – дослідженню часової та просторової мінливості швидкості вітру; третій – режиму швидкості вітру на півдні України та статистичному аналізу швидкості вітру на півдні України.

1 ВІТРОЕНЕРГЕТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

1.1 Основні поняття вітроенергетики

Вітроенергетика – галузь енергетики, пов'язана з розробкою методів і засобів перетворення енергії вітру в механічну, теплову або електричну енергію. Енергія вітру (кінетична енергія вітрового потоку) є формою сонячної енергії: виникнення вітру є наслідком діяльності Сонця. Таким чином, запаси енергії вітру є невичерпними, що дозволяє відносити їх до поновлюваних джерел енергії. Крім того, енергію вітру відносять до так званої «чистої», або «зеленої» енергії, оскільки вона характеризується практично нульовим рівнем викидів парникових газів.

Загальний вітроенергетичний потенціал Землі величезний: авторитетних експертних оцінок показав, що він становить близько 1200 ТВт. Однак реальне використання цього потенціалу нашкоджується на ряд труднощів, обумовлених як нерівномірністю його розподілу в різних районах Землі, так і великими втратами при його перетворенні в інші види енергії. Так, в сучасних вітроагрегатах коефіцієнт корисного використання енергії повітряного потоку на 10% менший теоретично можливого, що дорівнює 59,3%, і зазвичай не перевищує 50% і то за умови оптимальної, передбаченої для даного вітрогенератора, швидкості вітру. Крім того, оскільки частина енергії вітру втрачається при перетворенні механічної енергії в електричну, питома електрична потужність на виході вітроагрегатів складає лише 30...40% потужності повітряного потоку за умови стійкої роботи у діапазоні швидкостей, передбачених для вітрогенератора. І це ще не все. З урахуванням необхідності вимушених відключень вітроагрегатів у разі перевищення розрахункових швидкостей вітру і зупинок при його відсутності, питома вироблення електроенергії протягом року зазвичай не перевищує 15...30% енергії вітру, в залежності від місця розташування та параметрів вітроагрегатів.

За даними Global Wind Energy Council, встановлені потужності вітроелектричних установок (ВЕУ) за підсумками 2012 року склали 283 ГВт (+18,7% порівняно з 2011 роком), включаючи 5,4 ГВт морських ВЕУ (+31,4%). За даними BP Statistical Review of World Energy 2013, вироблення електроенергії на ВЕС в світі склала 521,3 млрд. кВт·год (або 2,3% від загальносвітового обсягу виробництва електроенергії) (рис. 1.1)

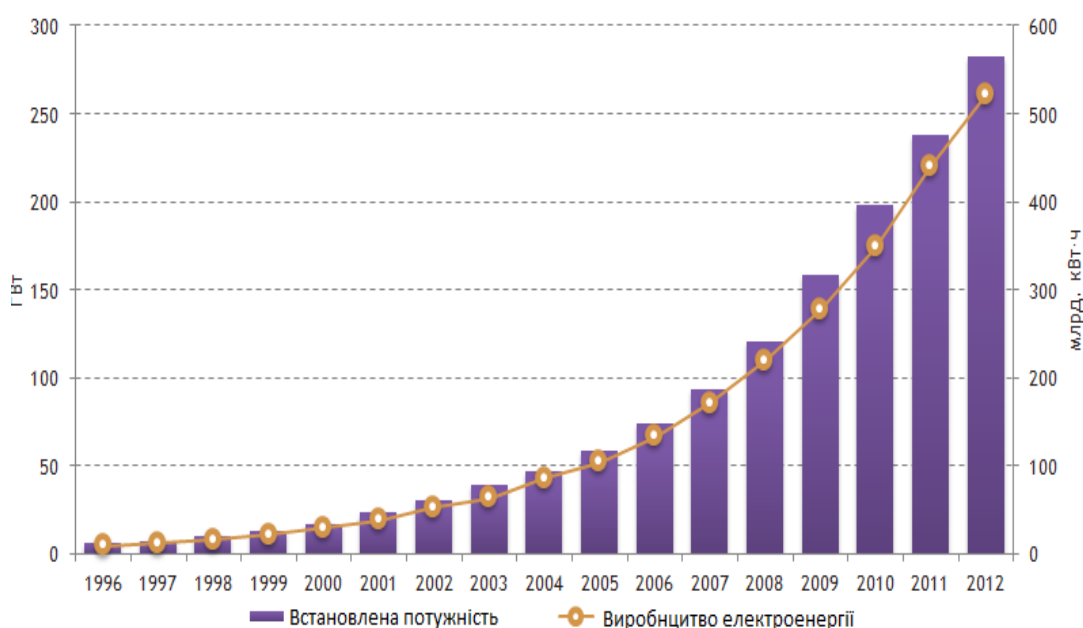


Рисунок 1.1 – Динаміка обсягу встановлених потужностей ВЕУ в світі (ліва вісь) і обсягу світового виробництва електроенергії на ВЕУ (права вісь) [10]

Велика частина встановлених потужностей припадає на країни Європи (38,8%). Далі – країни Азії (34,5%) і Північної Америки (23,9%). Найменше вітроенергетику використовують у країнах Латинської Америки і Карибського басейну (1,2%), в країнах Тихоокеанського регіону (1,1%), а також у країнах Африки і Близькосхідного регіону (0,4%). Що стосується країн-лідерів з розвитку вітроенергетики, то більша частина (73,6%) світового обсягу

встановлених потужностей ВЕУ припадає на п'ять країн: Китай, США, Німеччину, Іспанію та Індію (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Топ - десять країн за обсягом встановленої потужності ВЕУ і їх частки в загальносвітовому обсязі встановленої потужності ВЕУ (станом на кінець 2012 року) [10]

Страна	Мощность, МВт	Доля, %
Китай	75 324	26,7
США	60 007	21,2
Германия	31 308	11,1
Испания	22 796	8,1
Индия	18 421	6,5
Великобритания	8445	3,0
Италия	8144	2,9
Франция	7564	2,7
Канада	6200	2,2
Португалия	4525	1,6
Остальной мир	39 853	14,1
Итого (топ-десять стран)	242 734	85,9
Итого (мир)	282 587	100

Фактори, що сприяють розвитку вітроенергетики:

- Зростаюча залежність більшості розвинених країн від імпорту енергоресурсів. Більш того, імпортери все більше покладаються на імпорт енергоресурсів з країн та регіонів, що характеризуються частими збройними конфліктами і політичною нестабільністю. Така ситуація створює ризики для енергетичної безпеки країн-імпортерів, що спонукає їх уряди стимулювати розвиток та використання альтернативних джерел енергії.
- Збільшення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Зростаючі обсяги викидів парникових газів та шкідливих речовин паливо-опалювальними установками в атмосферу сприяють зміні клімату і негативно позначаються на здоров'ї людини. В результаті виникає необхідність розвитку низько вуглецевої енергетики, яка характеризується

низькими або навіть нульовими викидами парникових газів та шкідливих речовин в атмосферу.

- Розвиток технологій і накопичений досвід. З початку комерційного використання ВЕУ минуло вже майже 30 років. В даний час при виробництві ВЕУ використовуються сучасні, більш ефективні і дешеві матеріали, збільшилася одинична потужність ВЕУ. Крім того, позначається ефект від масштабу установки. Така ситуація веде до скорочення витрат з виробництва ВЕУ та виробленні електроенергії на них, а отже, до підвищення конкурентноспроможності ВЕУ в порівнянні з іншими технологіями виробництва електроенергії.

Згідно ряду експертних прогнозів, потреби людства в енергії, що складають в даний час близько 13 ТВт, зростуть до середини нинішнього століття до 30, а до його кінця – до 46 ТВт. Такі потреби в енергії можуть бути задоволені лише за рахунок переважного розвитку поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) і, насамперед, за рахунок набагато більш масштабного виробництва сонячної та вітрової енергії, яке особливо прискорилося за останні роки.

Зростання у світі вітрових генеруючих потужностей за період з 2000 р. по 2012 р. видно, що встановлена потужність світової вітроенергетики в 2012 р. збільшилася майже на 19% у порівнянні з 2011 р. і досягла 282,5 ГВт. Згідно з річним звітом Глобальної Ради з вітроенергетики (GWEC) за 2012 р. середньорічне зростання вітроенергетичної потужності світової вітроенергетики до 2017 р. складе 13,7%, а сумарна потужність сягне 536 ГВт.

Прискорений приріст генеруючих потужностей на основі ПДЕ, який був забезпечений, в першу чергу, за рахунок введення в експлуатацію нових сонячних і вітрових потужностей, характерний в даний час і для країн Євросоюзу, де в 2009 р. було введено в експлуатацію 27,5 ГВт нових генеруючих потужностей:

- на ВЕС – 5,8 ГВт (21%);
- на сонячних ФЕС – 10,2 ГВт (37,1%);

- на БіоЕС – 0,58 ГВт (2,1%);
- на ГЕС – 0,39 ГВт (1,4%);
- на СЕС на основі сонячних концентраторів – 0,12 ГВт (0,4%);
- на ТЕС і АЕС – 10,4 ГВт (37,8%).

З цих даних випливає, що в 2009 р. введення в експлуатацію нових генеруючих потужностей у країнах ЄС в основному (на 62%) був забезпечений за рахунок введення потужностей на основі ПДЕ. Так було і в 2008 р., коли за рахунок ПДЕ було введено 57% нових генеруючих потужностей, і в 2011 р., коли було введено 32 ГВт нових потужностей, близько 67% з яких становили ВЕС і СЕС.

Переваги і недоліки вітроенергетики. Вітроенергетика характеризується наступними перевагами:

- енергія вітру є доступним і поновлюваним джерелом енергії, запаси якого невичерпні;
- відсутність парникових і шкідливих викидів в атмосферу при виробництві електричної енергії;
- невелика площа займаної території (можливість використання землі, на якій встановлена ВЕУ, для інших цілей, наприклад для сільського господарства);
- можливість автономного енергозабезпечення віддалених та ізольованих територій.

До числа недоліків вітроенергетики відносяться:

- нестале і нерегульоване вироблення електроенергії;
- більш високі капітальні витрати на одиницю потужності в порівнянні з традиційними тепловими електростанціями;
- необхідність розвитку мережевої інфраструктури;
- шумовий, візуальний та електромагнітний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини [9].

1.2 Історія розвитку вітроенергетики в світі та сучасне її використання

Хоча приземні вітри виникають не завжди, змінюють свій напрямок, а їх сила нестала, вітродвигун являє собою одну з найдавніших машин для отримання енергії з природних джерел. Через сумнівну надійність давніх письмових повідомлень про вітродвигуни не цілком відомо, коли і де такі машини з'явилися вперше. Але, судячи за деякими записами, вони існували вже до VII століття н.е. Відомо, що перси в X столітті з допомогою вітряків мололи зерно, причому їх вітряні млини оберталися на осі. У Західній Європі перші вітряки з'явилися наприкінці XII століття. Протягом XVI століття остаточно сформувався шатровий тип голландського вітряка, причому голландці використовували їх не тільки для перемелювання зерна, але і для відкачування води з обвалованих знижень ландшафту, на яких вони вирощували сільськогосподарські культури. Лопаті голландські вітряки по довжині вже тоді досягали 12 метрів. Велика кількість вітряних млинів в Голландії, яким нині понад 500 років, знаходяться в робочому стані. Такі млини є і в Англії. Особливих змін в їх конструкції не спостерігалось аж до початку XX століття, коли в результаті досліджень були значно вдосконалені форми та покриття крил млинів. Оскільки низькообертові машини громіздкі, у другій половині XX століття стали будувати високооборотні вітродвигуни, тобто такі, вітроколеса які можуть здійснювати велике число оборотів в хвилину з високим коефіцієнтом використання енергії вітру за рахунок інерційності обертання.

Сучасна вітроенергетика є однією з найбільш розвинених і перспективних областей нетрадиційної енергетики. У програмі ООН розвитку світової енергетики, зокрема, підкреслюється, що в XXI столітті розвиненими будуть ті країни, де інтенсивно розвивається вітроенергетика. Згідно з оцінками Всесвітньої Енергетичної Ради за «мінімального» і «максимального» варіантів розвитку нетрадиційної енергетики, внесок вітрової енергетики в загальне

виробництво енергії в світі на 2020 рік буде складати 122 і 307 млн. т умовного палива відповідно. В даний час вітроенергетика використовується більш ніж в 30 країнах. Великі вітроенергетичні проекти реалізуються в Китаї, Швеції, Ірландії, Новій Зеландії, Швейцарії, Канаді, Німеччині, США, Іспанії, Данії. Сумарна встановлена потужність вітроенергетичних установок у світі в 1999 році становила вже 13900 МВт [10].

1.3 Вітропотенціал території України та проблеми його розвитку

Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць у світі по використанню енергії вітру. Основний вплив на клімат і, як наслідок, на вітровий режим території України надають Атлантичний і Північний льодовитий океани. Істотно впливають на формування клімату окремих регіонів країни також висота й напрямок розташування карпатських і кримських гір, Подільської, Волинської та Придніпровської височин, Донецького кряжу, близькість інших регіонів до Чорного та Азовського морів і цілий ряд інших факторів.

Аналіз багаторічних спостережень метеостанцій свідчить про те, що на Україні переважають вітрові потоки із середньорічними швидкостями вітру від 5 м/с (на висоті флюгера 10 м). Такі вітрові потоки при сучасному рівні розвитку вітроенергетичних технологій дозволяють економічно обґрунтовано використовувати вище зазначені регіони для будівництва потужних ВЕС. Крім того, науковими дослідженнями, проведеними метеорологами Центральної геофізичної обсерваторії України, встановлено, що в найближчі 30...40 років на території України слід очікувати поступове збільшення середньої швидкості вітру на 1...2 м/с, що буде впливати на збільшення прогнозного потенціалу ВЕС.

Енергія вітру розподілена по території України вкрай нерівномірно, причому вітропотенціал на півдні країни значно вище, ніж на півночі. З точки

зору використання енергії вітру на суші, найбільш сприятливими регіонами є Крим, Карпати (Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська, західна частина Чернівецької області), узбережжя Чорного та Азовського морів (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька та Донецька області), а також Луганська область. Площі територій, придатних для спорудження ВЕС, оцінюються в 8...9 тис. км². На цих територіях при використанні 20...30% площі і при щільності будівництва ВЕС 5...8 МВт/км² можна побудувати ВЕС загальною потужністю 8...24 тис. МВт і генерувати 16...48 млрд. кВт·год електроенергії на рік. Правда, при цьому велика частина території України стане непридатною для проживання, і в прямому сенсі цього слова перетвориться на мертву землю.

Справа в тому, що ВЕС становлять небезпеку не лише для птахів, які масово розбиваються об лопаті їх генераторів, але й для всього живого. При роботі ВЕС виробляються інфразвукові коливання великої інтенсивності. Тому з місць, де знаходяться ВЕС, йде все живе й навіть щури. З прибережних вод, де встановлено ВЕС, йде риба. Тому розміщення ВЕС поблизу населених пунктів категорично забороняється.

Набагато більші площі для будівництва потужних ВЕС є на прибережних і внутрішніх акваторіях України. Так, затока Сиваш площею 2700 км², не використовується в народному господарстві Криму, на висоті 10 м, тобто на місцях установки флюгерів, характеризується швидкістю 5,8...6,3 м/с, а на висоті 25 м – 7,2...7,6 м/с. Він цілком може бути використаний для будівництва економічно ефективних ВЕС, сумарна потужність яких може скласти від 21,5 до 37,8 ТВт при щільності забудови 8...14 МВт/км². Крім Сиваша значний вітропотенціал мають також акваторії на Азовському морі (площа – 60 тис. км²), на Чорному морі (Одеська затока, площа 10 тис. км²; Каркінітська затока, площа 25 тис. км²), на приморських лиманах та на ряді інших водосховищ. В цілому по площах мілководних акваторій, придатних для будівництва ВЕС водного базування, Україна знаходиться на другому місці в світі (після Норвегії).

З урахуванням можливих обсягів інвестицій в сумарну потужність ВЕС, які можуть бути побудовані протягом найближчих 10 років в перспективних

регіонах України, за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, можна оцінити в 16 ТВт з можливим річним обсягом виробництва енергії близько 32 млрд. кВт·год/рік.

1.3.1 Вітроенергетичні ресурси України

Нижче представлений короткий огляд досліджень, які більш детально характеризують вітровий режим окремих областей України, в порівнянні з описом в монографії «Клімат України» [1].

Для сучасного технічного рівня розвитку вітроенергетичних установок (ВЕУ) використовуються райони із середньорічними швидкостями вітру 5 м/с і більше, на висоті флюгера 10 м. Тому попередня оцінка вітрових характеристик території України дається з використанням цього критерію.

Аналіз даних багаторічних спостережень 214 метеостанцій за тривалий період часу свідчать про те, що в Україні переважають вітри від 0 до 5 м/с з повторюваністю від 70 до 90%.

За середньорічними швидкостями вітру більш 5 м/с можна виділити сім регіонів і дві зони. До регіонів належать Карпатський, Причорноморський, Приазовський, Донбаський, Західно-Кримський, Східно-Кримський, до зон – Харківська і Полтавська.

Карпатський регіон виділено з використанням даних двох метеостанцій: Пожежевська (Івано-Франківська область, середньорічна швидкість 5,9 м/с) і Плай (Закарпатська область – 5,8 м/с). Обидві метеостанції розташовані на території з дуже високими відмітками: Пожежевська – 1451 м і Плай – 1330 м. Дані метеостанції основної мережі Закарпатського регіону показують, що середньорічні швидкості вітру невеликі і становлять 1,4-3,4 м/с.

Причорноморський регіон. Це смуга узбережжя шириною 25-30 км від кордону з Румунією до Криму. Дані мережі метеостанцій в цій смузі дають середньорічні швидкості вітру понад 5 м/с.

Приазовський регіон розташовується вздовж узбережжя Сиваша і Азовського моря від Перекопського перешийка до кордону з Росією. Ширина смуги від 2-х до 25 км. Найбільші значення показників середньорічної швидкості вітру зафіксовано метеостанцією в Маріуполі – 6,1 м/с.

Донбаський регіон починається від Луганська (середньорічна швидкість 5,7 м/с) і поширюється до з'єднання з Приазовським регіоном. Регіон виділено за даними 5 метеостанцій і належить центральній частині Донецького кряжа.

Східно-Кримський регіон. Це Керченський півострів, східне передгір'я Кримських гір і частина Арабатської стрілки. У регіоні три метеостанції, в тому числі метеостанція Мисове, де середньорічні швидкості вітру складають 6,2 м/с.

Гірський Крим. В горах та на південному березі Криму дуже компактна мережа метеостанцій, дані яких дають досить строкату картину розподілу вітру, що характерно для гірської місцевості. Первинний аналіз показує, що середньорічні швидкості близько 5 м/с зареєстровані на метеостанціях, відкритих вітрам південно-західного напрямку і частково північного.

Харківська зона визначена за даними однієї метеостанції (м. Харків). Аналіз даних і орографії місцевості свідчать про можливість утворення майданчиків біля міста, особливо в північно-східному напрямку зі швидкостями вітру більш 5 м/с.

Полтавська зона виділена за даними однієї метеостанції в Полтаві зі швидкістю 5 м/с.

Як видно з вище викладеного матеріалу, районування територій розміщення вітроелектростанцій та оцінка вітроенергетичних ресурсів в Україні ведеться на підставі середньорічних швидкостей вітру з урахуванням загального орографічного аналізу.

У цілому територіальні особливості України і вітрові умови сприятливі для будівництва вітроелектростанцій.

Організації, які проводили ці дослідження підкреслюють, необхідність використання сучасних комп'ютерних технологій і програм для оцінки вітрового потенціалу і вибору майданчиків ВЕС для всієї території України. Такі

дослідження повинні бути виконані не за середньорічними швидкостями вітру, а по швидкостях вітру з урахуванням їх добової і сезонної мінливості до висоти 300 м, залежить від мінливості динамічних властивостей поверхні (шорсткість) і гідростатичної стійкості всього прикордонного шару атмосфери.

Нижче на рисунках 1.2-1.3 показані результати районування території України, виконані різними державними організаціями та приватними компаніями.

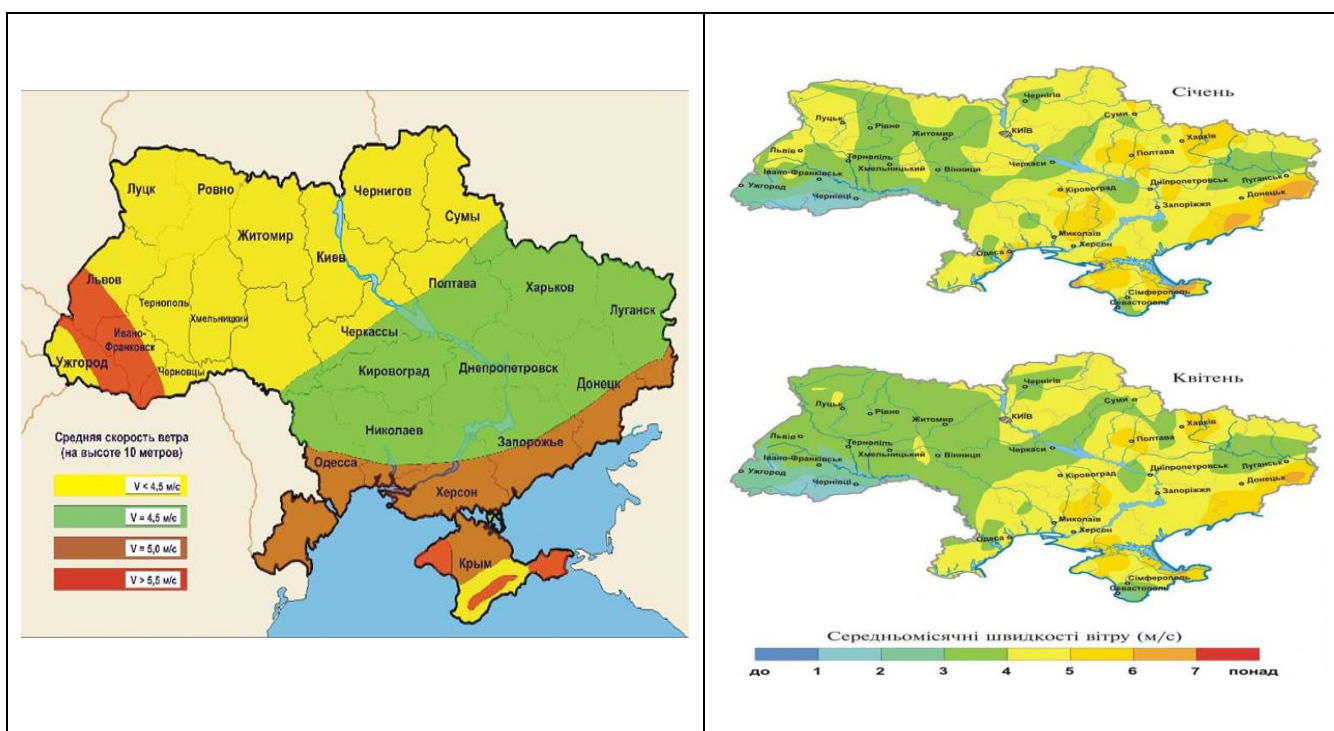


Рисунок 1.2 – Розподіл середньомісячної швидкості вітру на території України на висоті 10 м, за даними джерела [12]

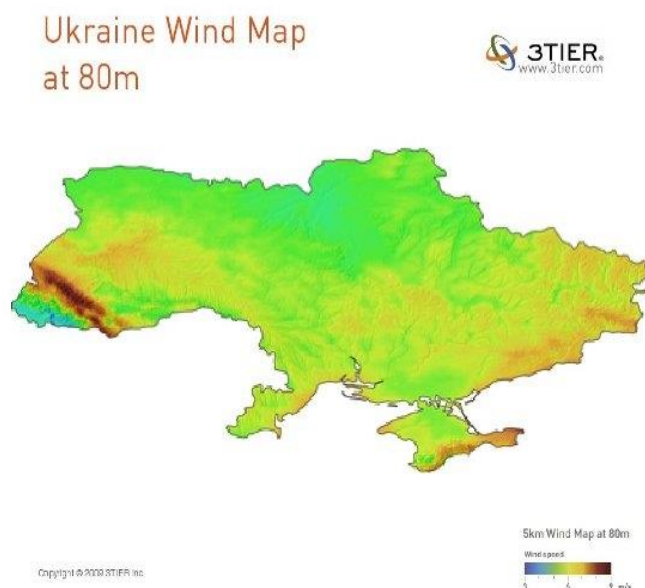


Рисунок 1.3 – Розподіл середньорічної швидкості вітру на території на висоті 80 м за даними моделювання WRF, згідно джерела [12]

1.3.2 Проблеми розвитку вітроенергетики в Україні

Щоб використовувати незаперечні переваги ВЕС, необхідно активно розвивати новітні технології виробництва обладнання для таких електростанцій. Однак, на жаль, ця галузь в Україні недостатньо розвинена, навіть незважаючи на те, що плани щодо її розвитку були амбітні, ще в середині 1990-х років, коли почала здійснюватися, але незабаром провалилася програма конверсії підприємств ВПК. В даний час на Україні вітроенергетичне обладнання виготовляють лише кілька виробників, серед них завод «Південмаш» (точніше, «Уінденерго Лтд.»), Новокраматорський машинобудівний завод (НKMЗ), компанія Windelectric та інші. Всі вони різною мірою використовують закордонні комплектуючі для складання свого обладнання.

Проблеми вітроенергетики України зводяться, як нам представляється, до декількох аспектах. Насамперед, це монополізм традиційної енергетики, заснований на обробці потоків енергоносіїв, наявність необхідної

інфраструктури, але особливо – на колосальній частці електростанцій різного типу в національному капіталі.

Другою і особливо важливою проблемою для нашої вітроенергетики є застаріла техніка. Враховуючи те, що вже існує віротехніка, яка може ефективно експлуатуватися на майданчиках із середньорічною швидкістю, починаючи з 4,3 м/с, можна зробити висновок, що ВЕС та інші вітроенергетичні об'єкти можуть ефективно працювати практично на всій території України. Але чомусь ми бачимо лише гнітючі результати будівництва Українських ВЕС на базі USW 56-100. Ліцензійна ВЕУ USW 56-100, яка вироблена в США 25 років тому і від встановлення якої 15 років тому відмовилися американські вітропарки і ніде більше, крім країн третього світу, вона не встановлюється. Вона показала неспроможність.

По-третє, альтернативна енергетика вимагає іншого мислення та іншого роду кваліфікації кадрів.

По-четверте, позначається занедбаність проблеми на національному рівні, тому вторгнення українських виробників на світовий ринок вітроенергетичного обладнання повинно пройти такий же тернистий шлях, як їх затвердження в авіабудуванні або ракетній техніці. Але на відміну від зазначених галузей виробництва, які мають високоефективними технологіями, у виробництві вітроагрегатів «все схоплено», і пробитися можна, на думку авторів, тільки з чимось якісно новим.

2 ЧАСОВА ТА ПРОСТОРОВА МІНЛИВІСТЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

2.1 Кліматичні характеристики часового та просторового розподілу швидкості вітру в Україні

Основною характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру, яка визначається баричним градієнтом. На Україні протягом року чітко виражені послідовні зміни швидкості вітру. У жовтні спостерігаються найбільші значення атмосферного тиску і починаючи з жовтня по квітень відбувається посилення швидкості вітру [1].

Найбільша середня місячна швидкість вітру спостерігається майже на всій території України в лютому (50-55%), іноді цей максимум припадає на січень, листопад або грудень (10 -15%) і лише в окремих випадках - на березень, квітень (4-5%).

Найменша швидкість вітру відзначається влітку, коли Україна перебуває під впливом Азорського антициклону, а циклонічна діяльність слабшає. У липні-серпні на більшій частині території швидкість вітру зменшується до мінімальних значень [3].

Мінливість швидкості вітру за окремі місяці незначна, за винятком Українських Карпат.

Загальний характер збільшення швидкості вітру (на півночі до 3-4 м/с, на півдні до 5-6 м/с) відзначається з півночі на південь і обумовлено температурною неоднорідністю, а також сезонними баричним циркуляційними процесами в поєднанні з орографічними особливостями місцевості. У холодний період року найбільші баричні градієнти спостерігаються в південних районах і виникають в результаті взаємодії Чорноморської депресії і області підвищеного тиску, розташованої над північними районами. Значна швидкість на узбережжях

Чорного та Азовського морів пов'язана з наявністю великих водних просторів і місцевої бризової циркуляції.

Різниця швидкості вітру між північними і південними районами в холодний період року досягає 3,5 м/с, влітку і восени вона зменшується і дорівнює 2,8 м/с, а навесні - 2,3 м/с.

Середня швидкість вітру майже на всій території за останні 30 років зменшилася на 10-35%. Існує думка, що зменшення швидкості вітру пов'язано з переходом в 1966 р. на 8-термінові спостереження. Крім цього, в 1965-1970 рр. на метеорологічній мережі вимірювання швидкості і напрямку вітру виконувалося за допомогою анеморумбометрів, які осереднюють характеристики вітру за 10-хвилинний інтервал, тоді як раніше, при вимірюванні за допомогою флюгера, осереднення відповідало приблизно 2-х хвилинним інтервалом.

Однак на окремих станціях (Чернігів, Житомир, Тернопіль, Вінниця, Дніпропетровськ, Ужгород, Чернівці, Сімферополь) спостерігається збільшення швидкості вітру, тому зменшення швидкості вітру слід пояснювати не лише суб'єктивними причинами, а й впливом змін динамічних макроциркуляційних процесів [8].

У [6] показано, що період (зменшення і збільшення швидкості вітру) мають різну тривалість (від 7-15 років до 20-25 років). На окремих станціях вони не завжди збігаються. Підтверджено висновок, що в східних і південних районах за останнє 30-річчя (починаючи з 70-х років) відзначається зниження середньої швидкості вітру.

Найбільшу повторюваність (60-90%) має вітер слабкий (0-1 м/с) і помірний (2-5 м/с), в горах в зимові місяці повторюваність такого вітру зменшується до 50-60%. Швидкість 6-10 м/с найчастіше спостерігається в холодний період року або в перехідні сезони. Вітер зі швидкістю більше 10 м/с буває рідко, в зимові місяці на більшій частині території частота його становить 3-8%, в гірських районах вона зростає до 20-30 %, влітку майже на всій території зменшується до 1-2%, в горах – 10%.

Циклонічна діяльність в Україні особливо активно проявляється в зимово-весняні сезони, що призводить до сильного вітру різних напрямках. Облік кліматологічної інформації про вітри значної швидкості важливо для багатьох галузей економіки, наприклад, як вітроенергетика.

2.2 Короткий огляд режиму вітру на Україні за минулий кліматичний період

В зв'язку зі зміною сучасного клімату, почнемо дослідження можливих змін вітрового режиму з аналізу просторового розподілу швидкостей вітру по території України за період, діючої до теперішнього часу кліматичної норми, з 1960 до 1990 р.р., тобто до початку різкого потепління клімату, яке спостерігалось протягом останнього десятиліття XX століття.

Розглянемо поля вітру, які побудовані за даними кліматичної норми (рис. 2.1).

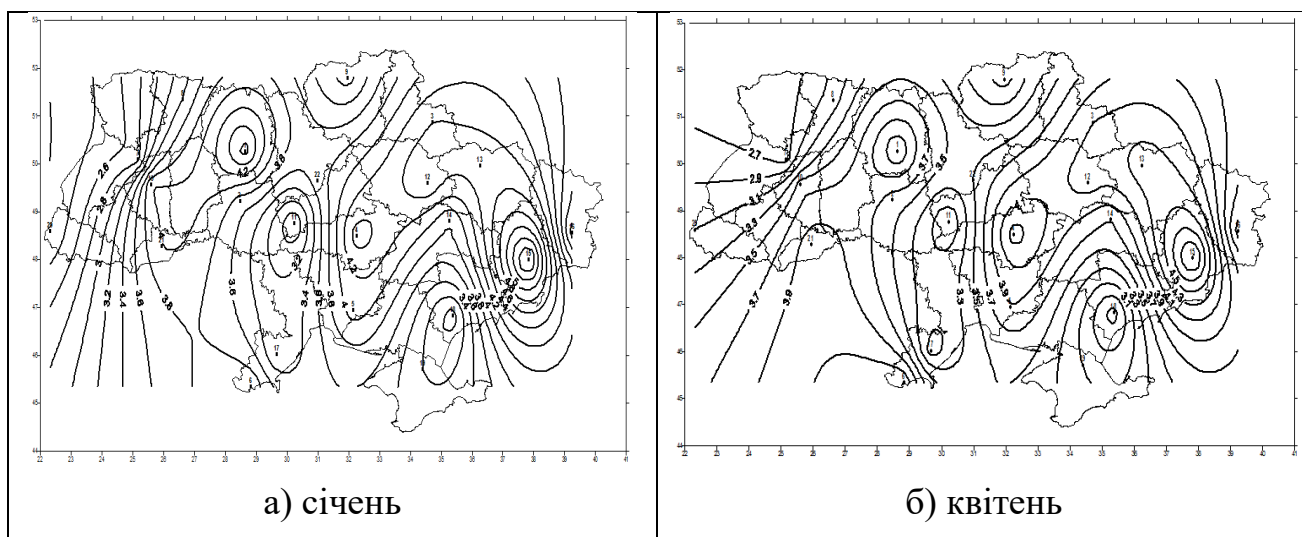


Рисунок 2.1 а, б – Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для січня та квітня, побудований за даними 27-х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 рр.)

Характерними особливостями розподілу швидкості вітру (рис. 2.1-2.2), незалежно від сезону, є:

- наявність двох «зон» найбільших швидкостей вітру $\bar{V} > 4$ м/с в Харківській і Донецькій області та в східних областях північного регіону (Рівненська та Луцька області), а також в Житомирській області. Відзначимо, що наявність зон великих швидкостей вітру в районах Донецької, Харківської та Луганської області підтверджується аналогічними швидкостями вітру в прилеглих територіях Російської Федерації;

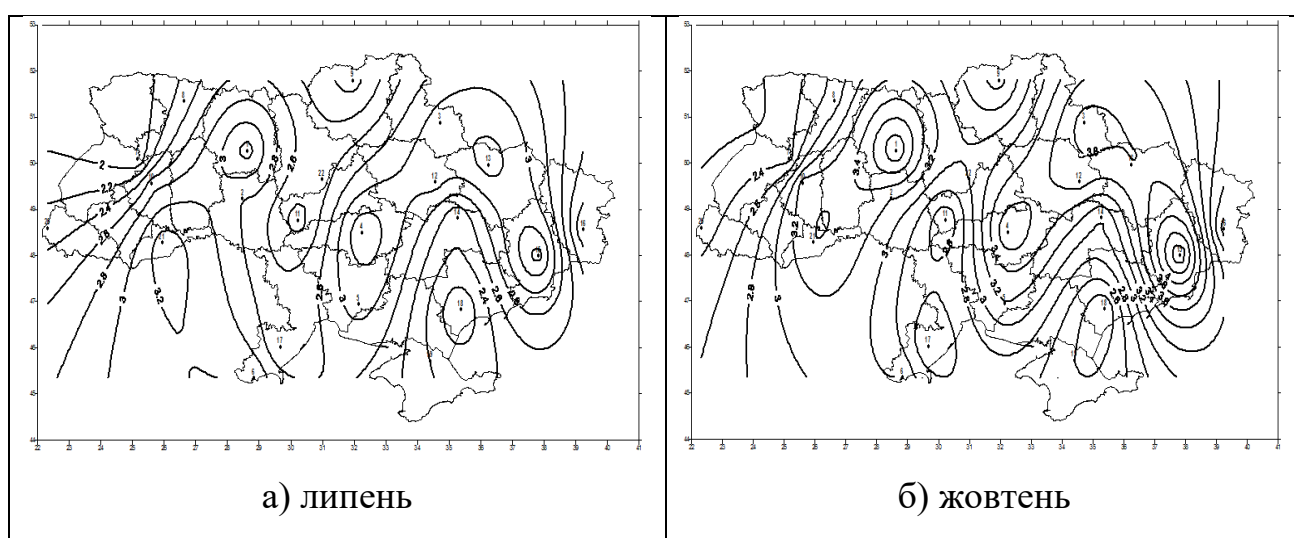


Рисунок 2.2 а,б – Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для липня та жовтня, побудований за даними 27-х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 р.р.)

- зони з великими швидкостями вітру, на сході і заході України, розділені улоговиною, шириною в 200-300 км, з середньомісячними швидкостями не більше 2,5-3,0 м/с. Улоговина, у вигляді меридіонально спрямованої смуги, простягається від південного (Одеська область) до північного регіону України (Чернігівська область).

Швидкість вітру. Важливою характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру. Найбільша середня місячна швидкість вітру спостерігається майже на всій території України в лютому (50-55 %), іноді цей максимум

доводиться на січень, листопад або грудень (10-15 %) і лише в окремих випадках – на березень, квітень (4-5 %).

Найменша швидкість вітру відмічається влітку. В липні-серпні на більшій частині території швидкість вітру зменшується до мінімальних значень.

Мінливість швидкості вітру за окремі місяці незначна, за винятком Українських Карпат. Загальний характер збільшення швидкості вітру (на півночі до 3-4 м/с, на півдні до 5-6 м/с) відмічається з півночі на південь і обумовлено температурною неоднорідністю, а також сезонними баричними циркуляційними процесами в поєднанні з орографічними особливостями місцевості.

Відмінність швидкості вітру між північними і південними районами в холодний період року досягає 3,5 м/с, влітку і восени вона зменшується і дорівнює 2,8 м/с, а весною – 2,3 м/с. Середня швидкість вітру майже на всій території за останні роки зменшилася на 10-35 %.

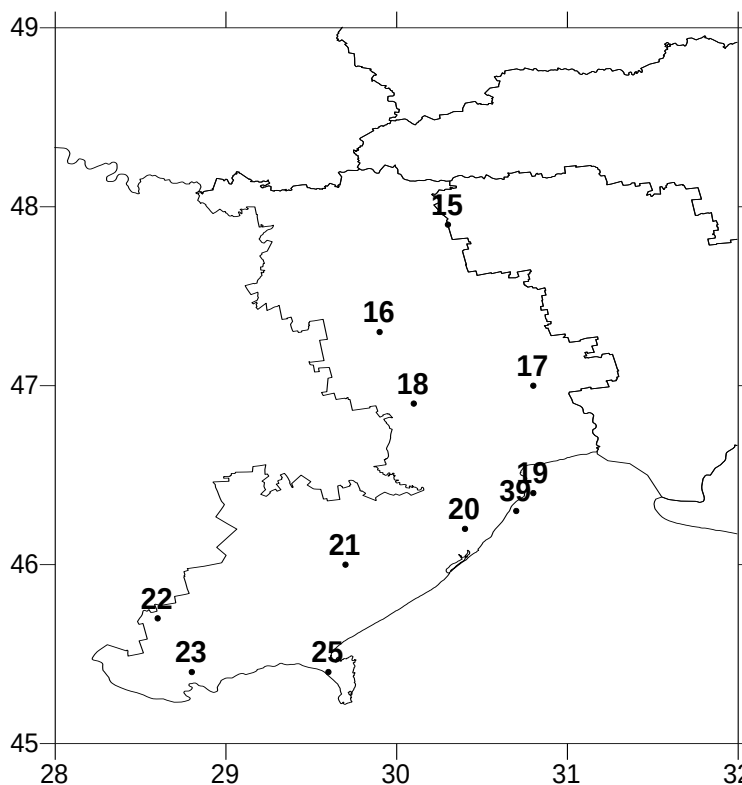
Проте, на окремих станціях (Чернігів, Житомир, Тернопіль, Вінниця, Дніпропетровськ, Ужгород, Чернівці, Сімферополь) спостерігається збільшення швидкості вітру, тому зменшення швидкості вітру слід пояснювати не тільки суб'єктивними причинами, але й впливом змін динамічних макро-циркуляційних процесів [1].

З РЕЖИМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

3.1 Вихідна інформація та методи дослідження

Для дослідження режиму швидкості вітру в якості вихідної інформації використовувались дані строкових спостережень на тринадцяти станціях півдня України, за період 2000-2018 р.р.

На рис. 3.1 представлена карта-схема розташування станцій, по яких проводилося дослідження.



15-Любашівка, 16-Затишшя, 17-Сербка, 18-Роздільна, 19-Одеса, 39-Чорноморськ, 23- Ізмаїл, 25- Вилкове, 21- Сарата, 20- Білгород-Дністровський, 22- Болград

Рисунок 3.1 – Карта-схема розташування станцій

Дані спостережень містять інформацію про швидкість вітру.

Методами дослідження є загальні статистичні методи обробки вибірових статистичних сукупностей, що спираються на врахування властивостей та природи метеорологічних сукупностей.

На основі статистичних сукупностей можна знайти статистичні оцінки. Відомо, що властивості випадкових величин можуть характеризуватися початковими (ν), центральними (μ) та основними (r) моментами [14].

Оцінкою першого початкового моменту є середнє значення

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i; \quad (3.1)$$

або

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i p_i; \quad (3.2)$$

Оцінкою центрального моменту є середнє квадратичне відхилення

$$\mu_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 * m_i. \quad (3.3)$$

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою і позначають S_x^2 :

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \hat{\mu}_2. \quad (3.4)$$

Очевидно, статистична оцінка середнього квадратичного відхилення цієї величини є:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (3.5)$$

Статистична оцінка основного моменту для випадкової величини X розраховується за формулою:

$$\hat{r}_l = \frac{\hat{\mu}_l}{S_x^l}. \quad (3.6)$$

Очевидно, що $r_1 = 0$, та $r_2 = 1$.

Тому обчислюються тільки статистичні оцінки третього та четвертого моменту:

$$\hat{r}_3 = \frac{\hat{\mu}_3}{S_x^3}; \quad (3.7)$$

$$\hat{r}_4 = \frac{\hat{\mu}_4}{S_x^4}. \quad (3.8)$$

Як відомо, оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частот і називається коефіцієнтом асиметрії:

$$\hat{r}_3 = As. \quad (3.9)$$

Крива розподілу має правосторонню асиметрію за умови $As > 0$, і лівосторонню – за умови $As < 0$. Вона є симетричною відносно центру розподілу, якщо $As = 0$.

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою нормального розподілу, може бути витягнутою або сплюснутою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу E :

$$E = \hat{r}_4 - 3. \quad (3.10)$$

У першому випадку $E > 0$, у другому – $E < 0$.

За умов нормального розподілу $r_3 = 0$; $E = 0$.

Інколи при статистичних дослідженнях метеорологічних рядів необхідно визначити їх модальне значення M_o та медіану M_e .

Медіана – значення випадкової величини, яке розділяє область існування цієї величини на дві частини.

Медіану розраховують за формулою:

$$M_e = x_e + \frac{c * (\frac{n}{2} - m^*)}{m_e}, \quad (3.11)$$

де

n – об'єм вибірки.

m^* - накопичена частота до медіанного інтервалу;

x_e, c, m_e – відповідно початок, довжина та частота медіанного інтервалу.

3.2 Статистичний аналіз часових рядів швидкості вітру на півдні України

У ході дослідження були розраховані середні місячні швидкості вітру для центральних місяців сезонів та отримані основні значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої швидкості вітру за період 2000-2018 р.р. для станцій Одеської області за відповідним алгоритмом.

Результати розрахунків для центральних місяців сезонів представлені в табл. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4. Аналіз таблиць показує, що в цілому для Одеської області характерні слабкі вітри. Найбільші швидкості вітру спостерігаються взимку (січень) та навесні (квітень). Влітку (липень) та восени (жовтень) швидкості вітру біли меншими.

Як видно найбільші з максимальних швидкості вітру спостерігається в січні саме на станції Білгород-Дністровський (6,7 м/с), а найменше на станції Сарата (2,8 м/с). Середньомісячні значення для інших місяців мають відповідне розташування, найбільші значення швидкості вітру спостерігається саме на станції Білгород-Дністровський (4,6 м/с), а найменші на станції Сарата (2 м/с).

Таблиця 3.1 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру в січні за період 2000-2018 р.р.

Станція/ Оцінка	Любашівка	Затишя	Сербка	Роздільна	Одеса	Білгород - Дністровськи	Сарата	Болград	Ізмаїл	Вилково	Чорноморськ
$X_{\max}$	4,2	3,8	3,8	3,2	4,4	<u>6,7</u>	2,8	3,2	4,1	4,9	5,5
$X_{\min}$	2,6	2,2	1,3	1,8	2,6	<u>3,5</u>	1,0	1,8	2,0	1,2	2,6
A	1,6	1,6	2,5	1,4	1,8	3,2	1,8	1,4	2,1	3,7	2,9
$\bar{x}$	3,3	3,2	2,6	2,4	3,4	<u>4,6</u>	2,1	2,5	3,2	2,5	4,1
S_x^2	0,20	0,21	0,52	0,20	0,27	0,69	0,21	0,12	0,20	0,58	0,68
S_x	0,45	0,46	0,72	0,44	0,52	0,83	0,46	0,35	0,45	0,77	0,83
M_e	3,4	3,3	2,5	2,4	3,4	4,2	2,0	2,5	3,2	2,4	4,1
$r_3 = A_s$	-0,03	-0,88	0,14	0,09	0,13	0,87	-0,35	0,01	-0,52	1,77	0,22
E	-0,48	0,31	-0,42	-1,43	-0,77	0,94	0,20	0,17	2,17	5,79	-0,51

Таблиця 3.2 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру в квітні за період 2000-2018 р.р.

Станція/ Оцінка	Любашівка	Затишя	Сербка	Роздільна	Одеса	Білгород - Дністровський	Сарага	Болград	Ізмаїл	Вилково	Чорноморськ
$X_{\max}$	4,4	4,3	4,7	3,3	3,8	<u>5,8</u>	2,9	3,5	4,7	3,2	4,4
$X_{\min}$	2,6	2,5	1,4	1,6	2,3	<u>3,5</u>	1,3	2,1	2,6	1,6	2,3
A	1,8	1,8	3,3	1,8	1,5	2,3	1,7	1,4	2,1	1,6	2,2
$\bar{x}$	3,4	3,2	2,7	2,4	2,9	<u>4,6</u>	2,1	2,6	3,4	2,3	3,1
S_x^2	0,25	0,28	0,86	0,24	0,40	0,52	0,23	0,13	0,34	0,24	0,42
S_x	0,50	0,53	0,93	0,49	0,38	0,72	0,48	0,36	0,58	0,49	0,65
M_e	3,2	3,1	2,4	2,5	2,9	4,5	2,0	2,6	3,2	2,3	3,0
$r_3 = A_s$	0,48	0,92	0,94	0,04	0,60	0,26	0,13	0,80	1,20	0,18	0,70
E	-0,44	0,10	0,24	-0,29	0,99	-0,85	-0,72	0,74	0,93	-0,93	-0,29

Таблиця 3.3 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру в липні за період 2000-2018 р.р.

Станція/ Оцінка	Любашівка	Затишя	Сербка	Роздільна	Одеса	Білгород - Дністровський	Сарата	Болград	Ізмаїл	Вилково	Чорноморськ
$X_{\max}$	3,0	3,1	3,2	2,6	2,8	<u>5,8</u>	2,8	2,6	3,8	3,3	3,1
$X_{\min}$	1,9	1,9	1,1	1,5	1,9	<u>2,9</u>	1,4	1,7	2,2	1,1	1,8
A	1,1	1,3	2,0	1,1	0,9	2,9	1,4	0,9	1,6	2,2	1,3
$\bar{x}$	2,4	2,5	2,1	2,1	2,3	<u>4,1</u>	2,0	2,2	3,0	1,7	2,6
S_x^2	0,13	0,14	0,41	0,09	0,08	0,48	0,19	0,07	0,22	0,22	0,17
S_x	0,36	0,37	0,64	0,30	0,28	0,69	0,44	0,27	0,47	0,47	0,42
M_e	2,4	2,6	2,2	2,0	2,3	3,9	1,9	2,1	3,0	1,7	2,5
$r_3 = A_s$	-0,08	-0,13	-0,06	0,14	0,34	0,89	0,34	0,25	0,18	2,40	-0,35
E	-1,19	-0,94	-1,19	-0,70	-0,54	1,33	-1,30	-0,99	-0,73	8,51	-0,56

Таблиця 3.4 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру в жовтні за період 2000-2018 р.р.

Станція/ Оцінка	Любашівка	Затишя	Сербка	Роздільна	Одеса	Білгород - Дністровський	Сарата	Болград	Ізмаїл	Вилково	Чорноморськ
$X_{\max}$	3,2	3,6	3,9	2,8	4,4	<u>5,9</u>	2,6	2,6	3,6	2,8	4,4
$X_{\min}$	1,7	2,2	1,1	1,6	2,6	2,9	1,4	1,8	2,5	1,6	2,5
A	1,6	1,4	2,8	1,2	1,8	3,0	1,2	0,8	1,1	1,2	1,9
$\bar{x}$	2,7	2,8	2,2	2,3	3,2	<u>4,3</u>	1,9	2,2	3,0	2,0	3,4
S_x^2	0,15	0,15	0,58	0,13	0,33	0,52	0,13	0,07	0,12	0,13	0,31
S_x	0,39	0,34	0,76	0,36	0,58	0,72	0,36	0,26	0,34	0,36	0,55
M_e	2,8	2,8	1,9	2,3	3,0	4,3	1,9	2,2	3,0	1,9	3,3
$r_3 = A_s$	-1,01	0,59	1,12	-0,30	0,83	0,19	0,35	-0,12	0,30	0,90	0,48
E	1,55	0,52	0,84	-0,48	-0,75	0,34	-0,62	-1,18	-1,08	0,15	-0,61

Загалом, протягом всіх сезонів мінімальні середньомісячні швидкості вітру спостерігались у південній та північній частинах області (Вилково, Болград, Сарата, Роздільна, Сербка, Одеса, Любашівка).

В липні швидкості вітру мають найменші значення. На рис. 3.2 для порівняння представлені криві розподілу середньої швидкості вітру на всіх станціях для центральних місяців сезонів.

v , м/с

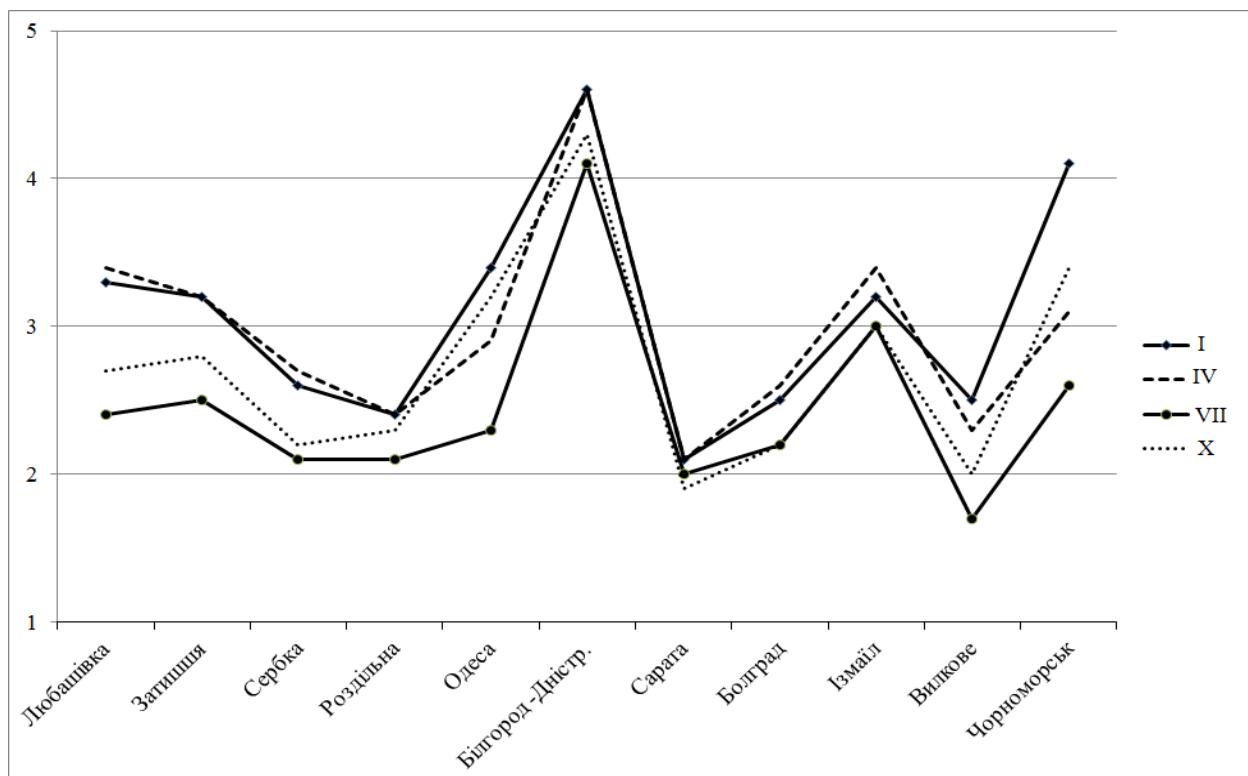


Рисунок 3.2 – Середні швидкості вітру для центральних місяців сезонів

Як видно найбільше максимальне значення в липні спостерігається саме на станції Білгород-Дністровський (5,8 м/с). Найбільше середні значення в липні (рис. 3.2) спостерігається на станції Білгород-Дністровський (4,1 м/с), а найменше на станції Вилкове (1,7 м/с) [15].

Подалі був проведений порівняльний аналіз полів середніх швидкостей вітру для станцій Одеської області за минулий кліматичний період (кліматична норма швидкості вітру 1961-1990 р.р.) (рис.3.3) та за період 2000-2018 р.р. (рис. 3.4).

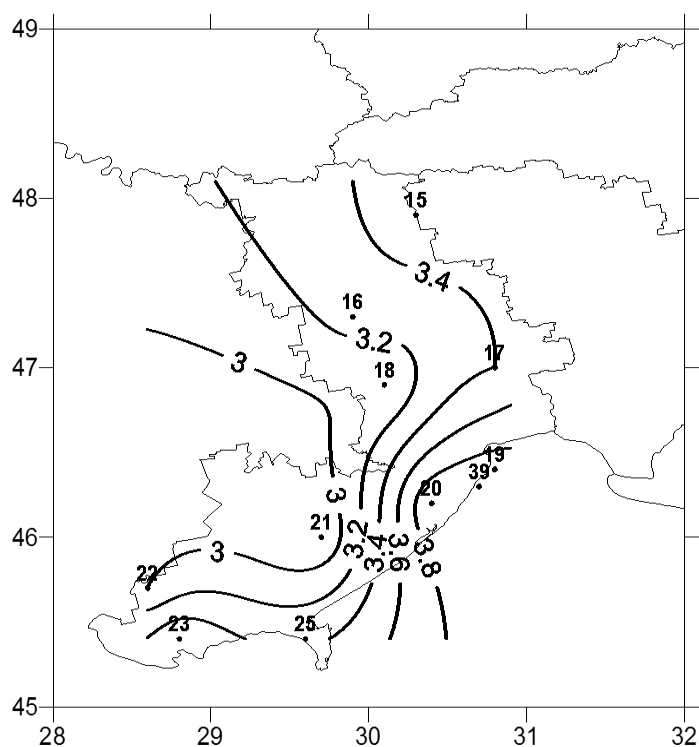
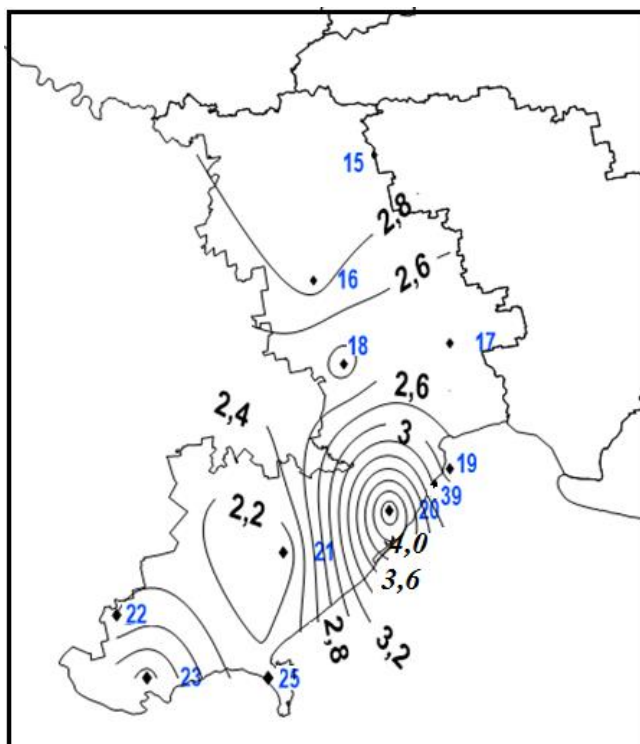


Рисунок 3.3 – Поле середніх швидкостей вітру за минулий кліматичний період (кліматична норма швидкості вітру 1961-1990 р.р.)



Як видно, характер розподілу ізоліній поля середніх швидкостей вітру за період 2000-2018 р.р. значно змінюється. На півночі Одеської області ізолінії розташовуються майже зонально й значення середніх швидкостей вітру зменшуються по всій території в порівнянні з полем середніх швидкостей вітру за минулий кліматичний період, що може бути пов'язано з перебудовою баричного поля та посиленням антициклонічної циркуляції на території України. Відхилення від кліматичної норми середніх швидкостей вітру зображено на рис. 3.5.

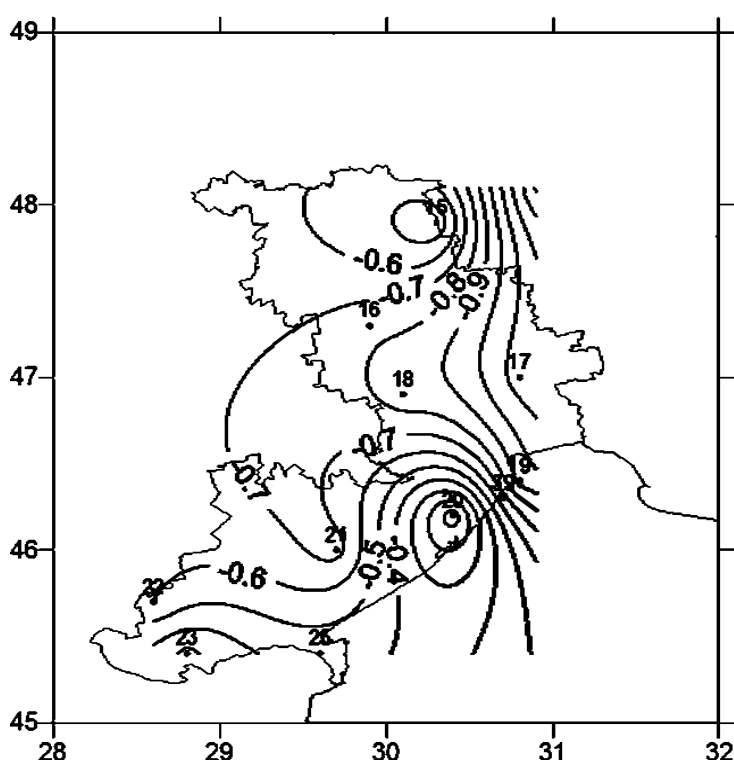


Рисунок 3.5 – Відхилення від кліматичної норми середніх швидкостей вітру

Подалі розглянемо та проаналізуємо значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру для центральних місяців сезонів.

Значення середньоквадратичних відхилень, що є характеристикою мінливості метеорологічної величини, на всіх станціях незначні, найбільші значення спостерігаються в зимовий період (табл. 3.1) на станціях Білгород-Дністровський (0,83 м/с), Чорноморськ (0,83 м/с), Вилково (0,77 м/с) та Сербка

(0,72 м/с). В квітні (табл. 3.2) найбільші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються на станціях Вилкове (0,93 м/с) та Білгород-Дністровський (0,72 м/с). Значення середньоквадратичних відхилень влітку (табл. 3.3), значно менші ніж для зимового періоду, на всіх станціях. На станції Болград вона найменша, що простежується впродовж всього року (рис. 3.6).

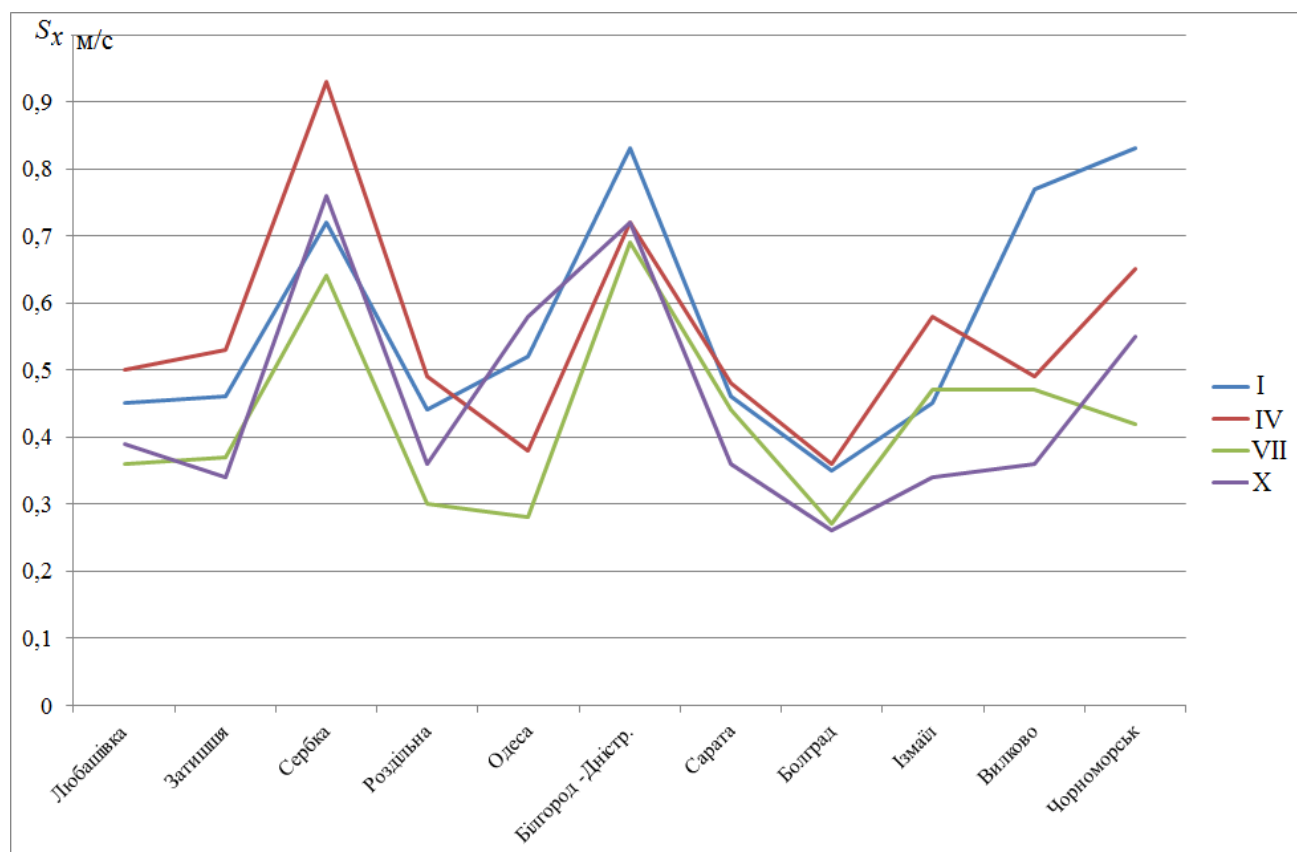


Рисунок 3.6 – Значення середніх квадратичних відхилів для центральних місяців сезонів

Третій основний момент, який є коефіцієнтом асиметрії кривої розподілу випадкової величини на більшості станцій має додатні значення, особливо на станціях Білгород-Дністровський та Вилкове, а значить має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу (характеризує, що найбільш ймовірними будуть тенденції до збільшення швидкості вітру). На станціях Любашівка, Затиштя, Сарата та Ізмаїл взимку (табл. 3.1) коефіцієнт асиметрії кривої розподілу випадкової величини має від'ємні значення, а значить має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

В квітні (табл. 3.2), відмінним є те, що коефіцієнт асиметрії кривої розподілу випадкової величини на всіх станціях має додатні значення, найбільші на станціях Ізмаїл, Затишшя та Сербка. В липні (табл. 3.3) ситуація подібна з січнем, відмінним є те, що коефіцієнт асиметрії кривої розподілу випадкової величини має від'ємні значення на станціях Любашівка, Затишшя, Сербка та Чорноморськ.

В жовтні (табл. 3.4) третій основний момент, знову для більшості станцій має додатні значення, а значить має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу (рис. 3.7).

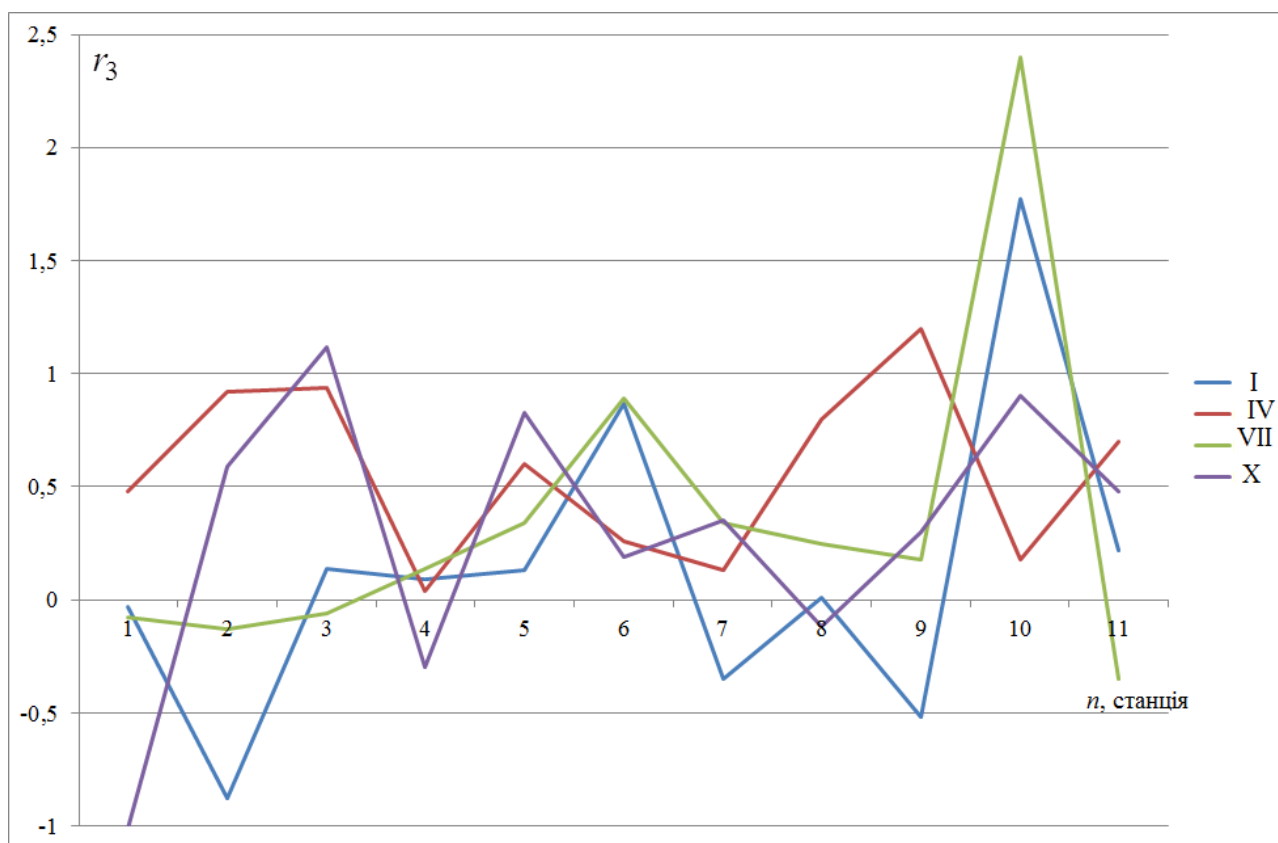


Рисунок 3.7 – Значення коефіцієнта асиметрії для центральних місяців сезонів

Значення коефіцієнта ексцесу, який є мірою сплюснутості або витянутості кривої розподілу відносно нормального розподілу змінюється на протязі року. Взимку для більшості станцій він додатній, таке значення вказує на те, що крива розподілу витягнута відносно нормального розподілу. Для інших сезонів він в більшості випадків має від'ємні значення, відповідно вказує на те, що крива

розподілу сплюснута відносно нормального розподілу. Треба відмітити, що в липні і січні він досягає найбільших додатних значень на станції Вилкове (рис. 3.8).

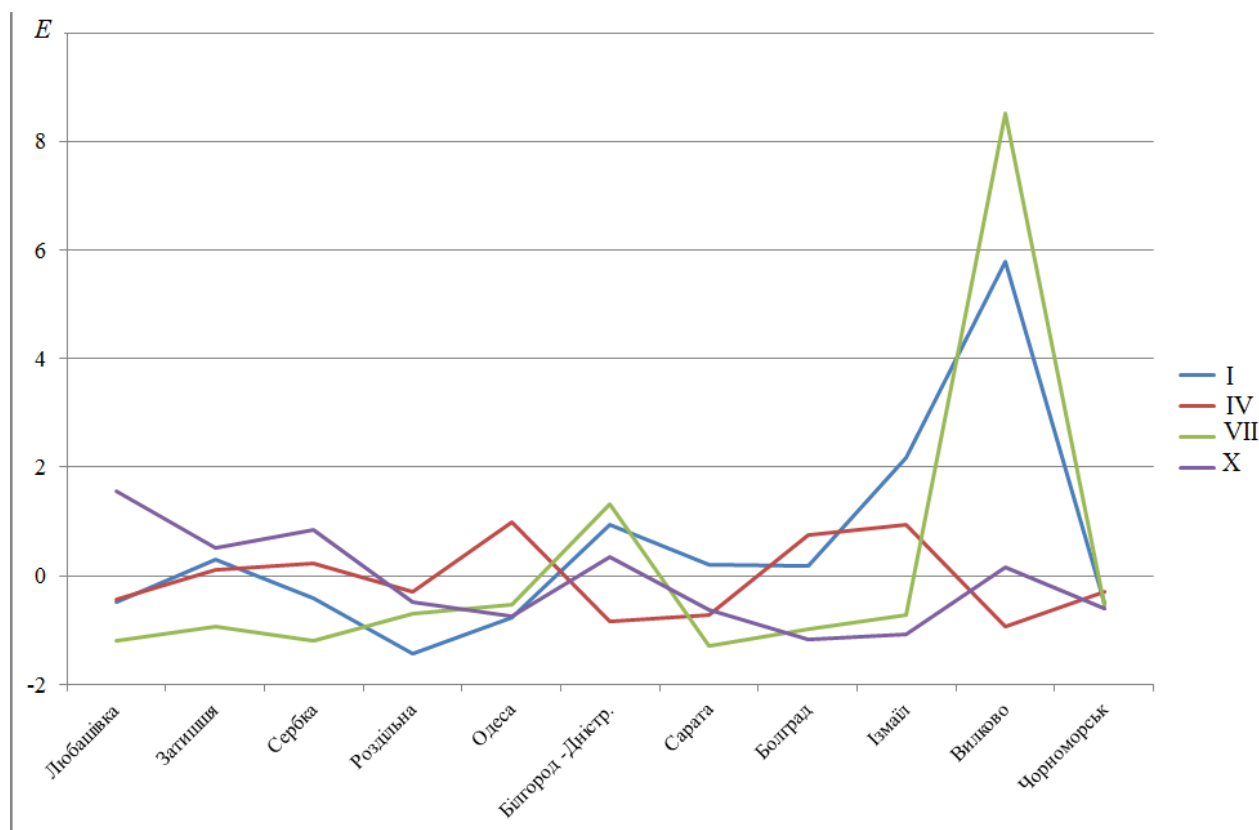


Рисунок 3.8 – Значення коефіцієнта ексцесу для центральних місяців сезонів

В подальшому дослідженні був проведений більш детальний статистичний аналіз швидкості вітру для всього зимового періоду 6 станцій півдня України, на яких відмічаються найбільші середньомісячні швидкості вітру: Любашівка, Білгород-Дністровський, Ізмаїл, Чорноморськ, Миколаїв, Херсон.

Результати розрахунків в табл. 3.5, де представлені значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру для зимового періоду 2000-2018 р.р.

Таблиця 3.5 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу швидкості вітру для зимового періоду 2000-2018 р.р.

Станція/ Оцінка	Любашівка			Білгород- Дністровський			Ізмаїл			Чорноморськ			Миколаїв			Херсон		
	ХІІ	І	ІІ	ХІІ	І	ІІ	ХІІ	І	ІІ	ХІІ	І	ІІ	ХІІ	І	ІІ	ХІІ	І	ІІ
$X_{\max}$	12	13	12	21	19	20	15	17	14	17	17	22	15	16	16	15	15	17
A	12	13	12	21	19	20	15	17	14	17	17	22	15	16	16	15	15	17
$\bar{x}$	3,2	3,4	3,3	4,7	4,8	4,9	2,8	3,1	3,1	3,7	4,0	3,6	4,4	4,4	4,4	3,1	3,2	3,2
S_x^2	3,4	4,0	3,1	10,1	9,9	9,1	4,8	5,8	4,4	7,7	9,8	6,9	5,7	6,5	5,2	4,2	5,0	4,1
S_x	1,8	2,0	1,8	3,2	3,2	3,0	2,2	2,4	2,1	2,8	3,1	2,6	1,7	2,5	2,3	2,1	2,2	2,0
M_e	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0
$r_3 = A_s$	0,82	0,91	0,67	0,93	0,79	0,70	1,28	1,19	1,11	1,44	1,34	1,43	0,49	0,61	0,37	1,28	1,21	1,03
E	0,98	1,16	1,07	1,13	0,66	0,78	1,81	1,36	1,69	2,34	1,60	3,12	0,39	0,63	0,26	2,84	1,83	2,00

Як видно з табл. 3.5 найбільші середньомісячні значення швидкості вітру спостерігаються на станції Білгород-Дністровський та Миколаїв. На станціях Чорноморськ, Білгород-Дністровський Херсон та Миколаїв сильні вітри (≥ 15 м/с) були відмічені впродовж всієї зими. Найбільш екстремальні швидкості вітру (≥ 20 м/с) зафіксовані на станції Білгород-Дністровський та Чорноморськ.

Для багатьох практичних цілей необхідна детальна оцінка швидкості вітру. Тому розглядають ймовірність різних градацій швидкості вітру. Ймовірність надається у відсотках від загальної кількості спостережень за вітром з урахуванням і штилів. Ці дані дозволяють скласти уявлення про емпіричний розподіл швидкості вітру. Тому в подальших дослідженнях будуть отримані ймовірності швидкостей вітру для всіх станцій регіону.

3.3 Динаміка режиму швидкості вітру на території Одеської області

Більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Багаторічні змінення характеру кліматоформуючих факторів приводить до виникнення трендів, а також великомасштабних коливань.

Для дослідження динаміки швидкості вітру, виявлення періодичностей та трендів у часових рядах швидкостей вітру на території Одеської області були побудовані графіки багаторічних коливання середньомісячних значень за досліджуємий період, які представлені на рис. 3.9-3.19.

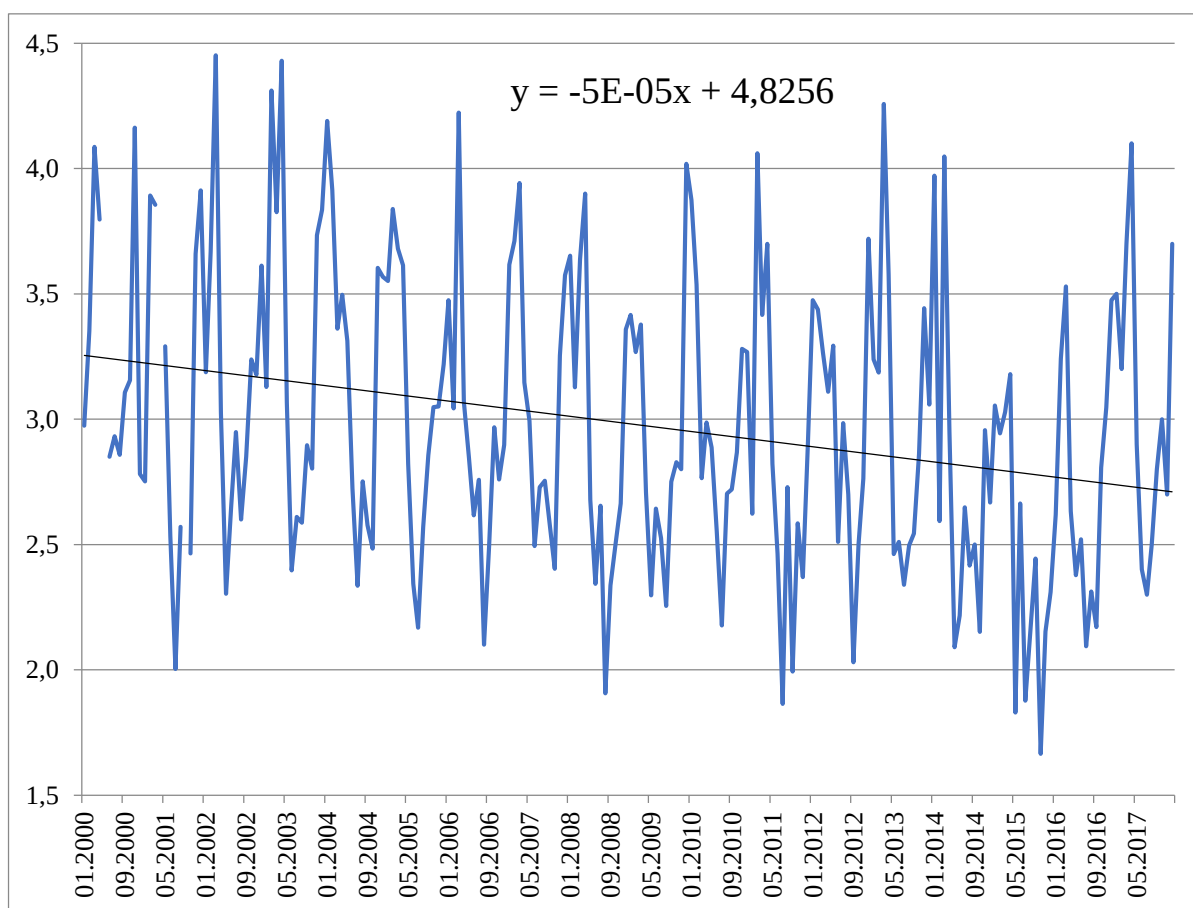


Рисунок 3.9 – Багаторічні коливання швидкості вітру
на ст. Любашівка 2000-2017 р.р.

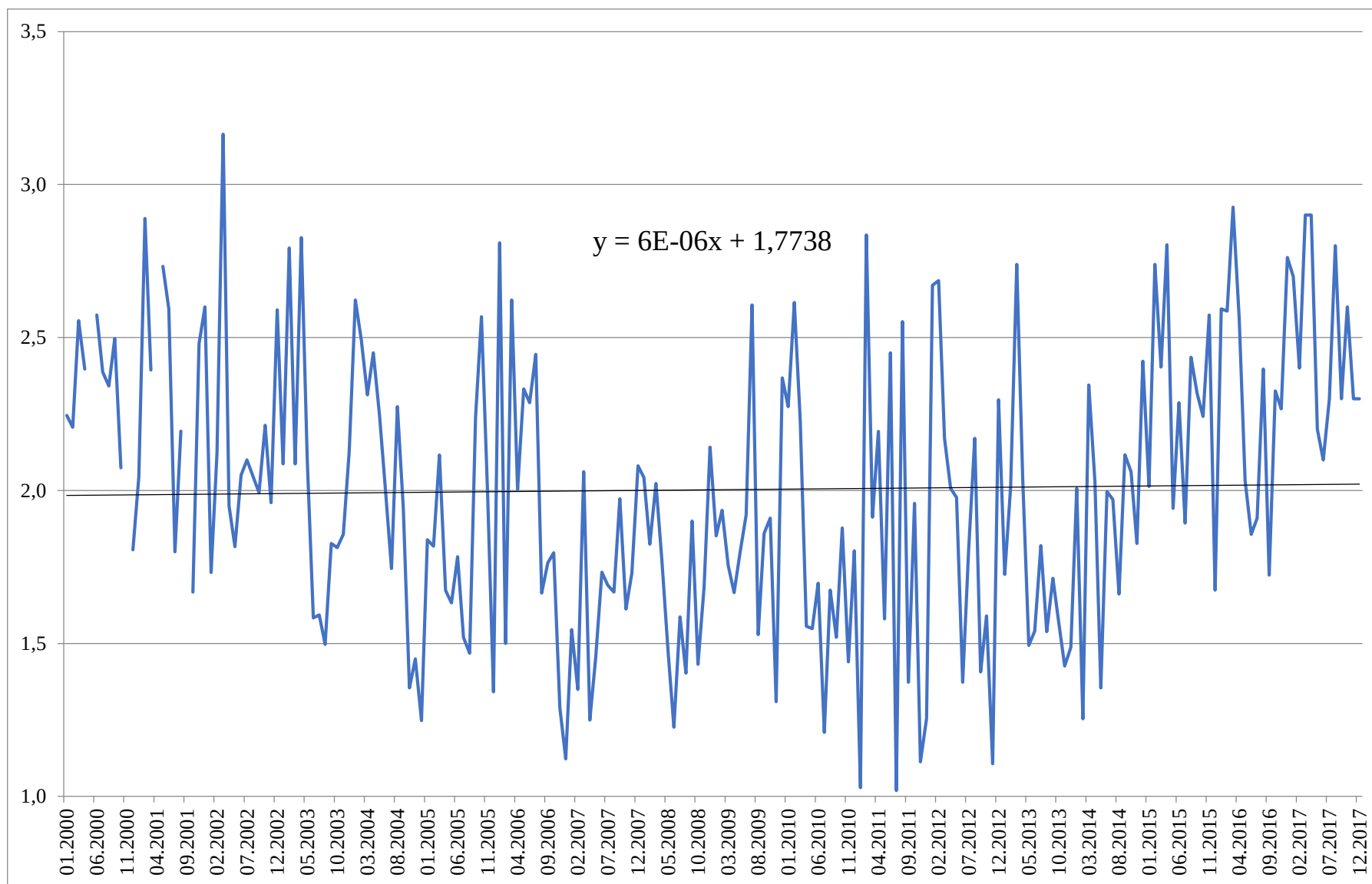


Рисунок 3.10 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Сарата 2000-2017 р.р.

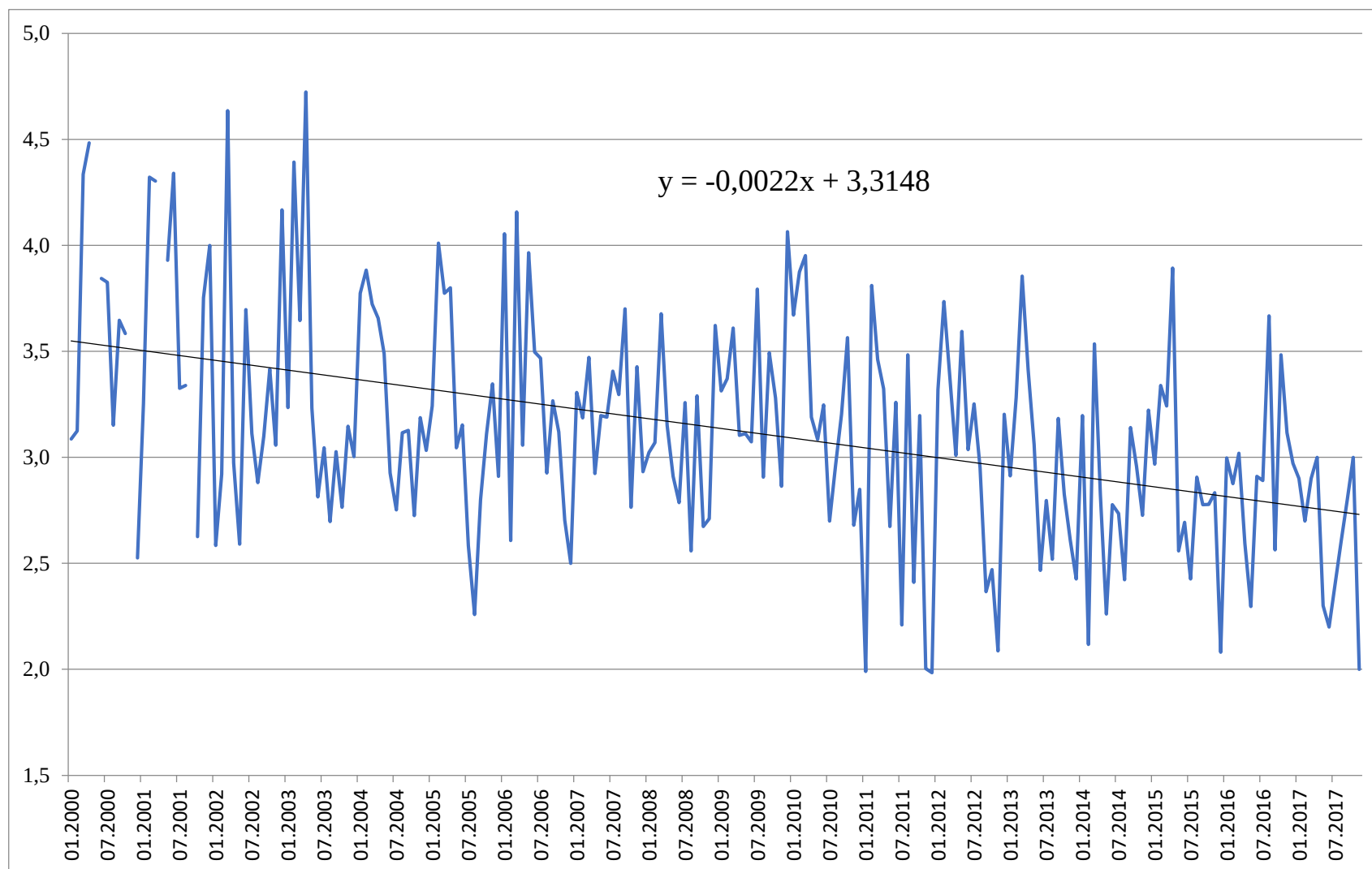


Рисунок 3.11 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Ізмаїл 2000-2017 р.р.

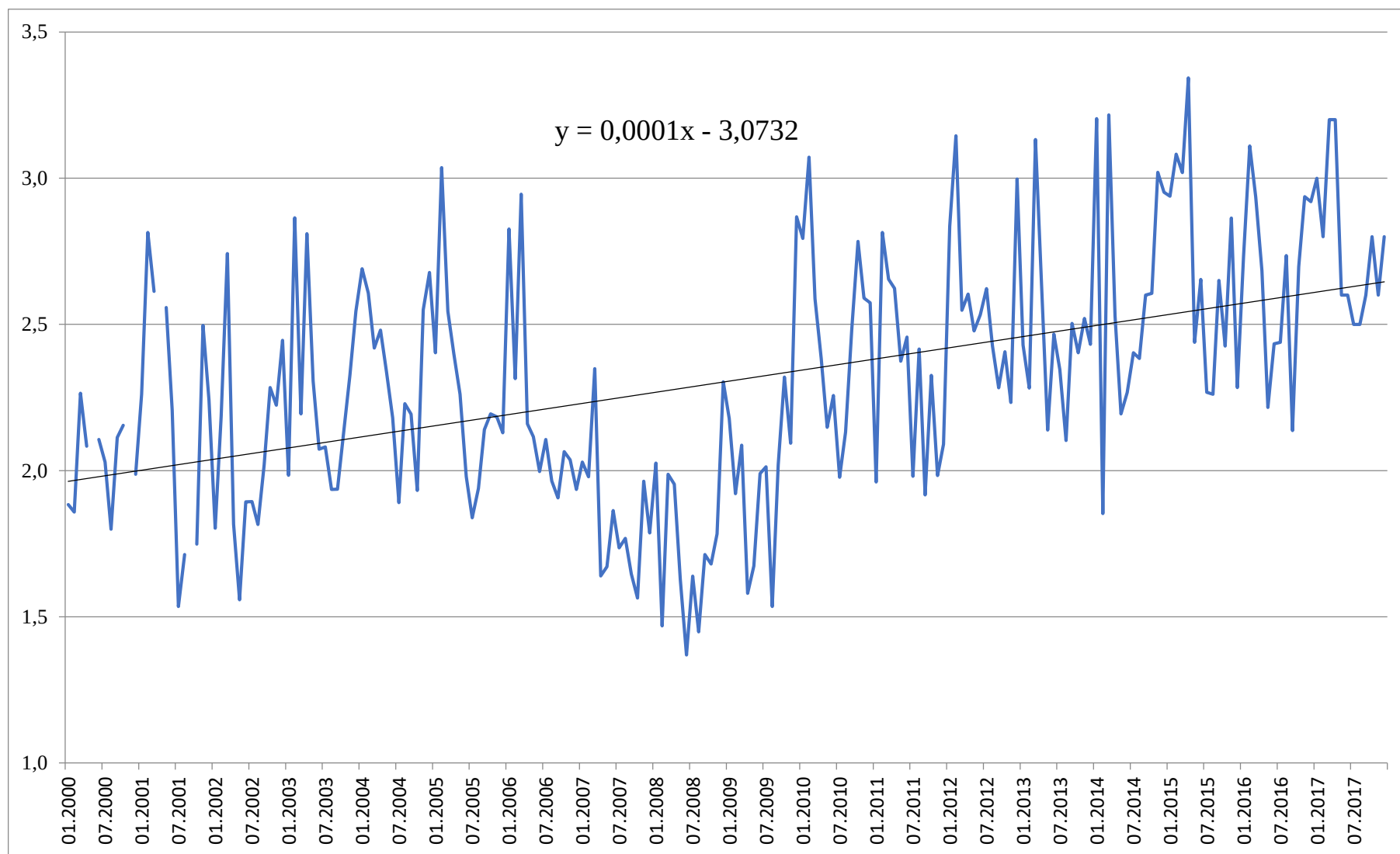


Рисунок 3.12 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Роздільна 2000-2017 р.р.

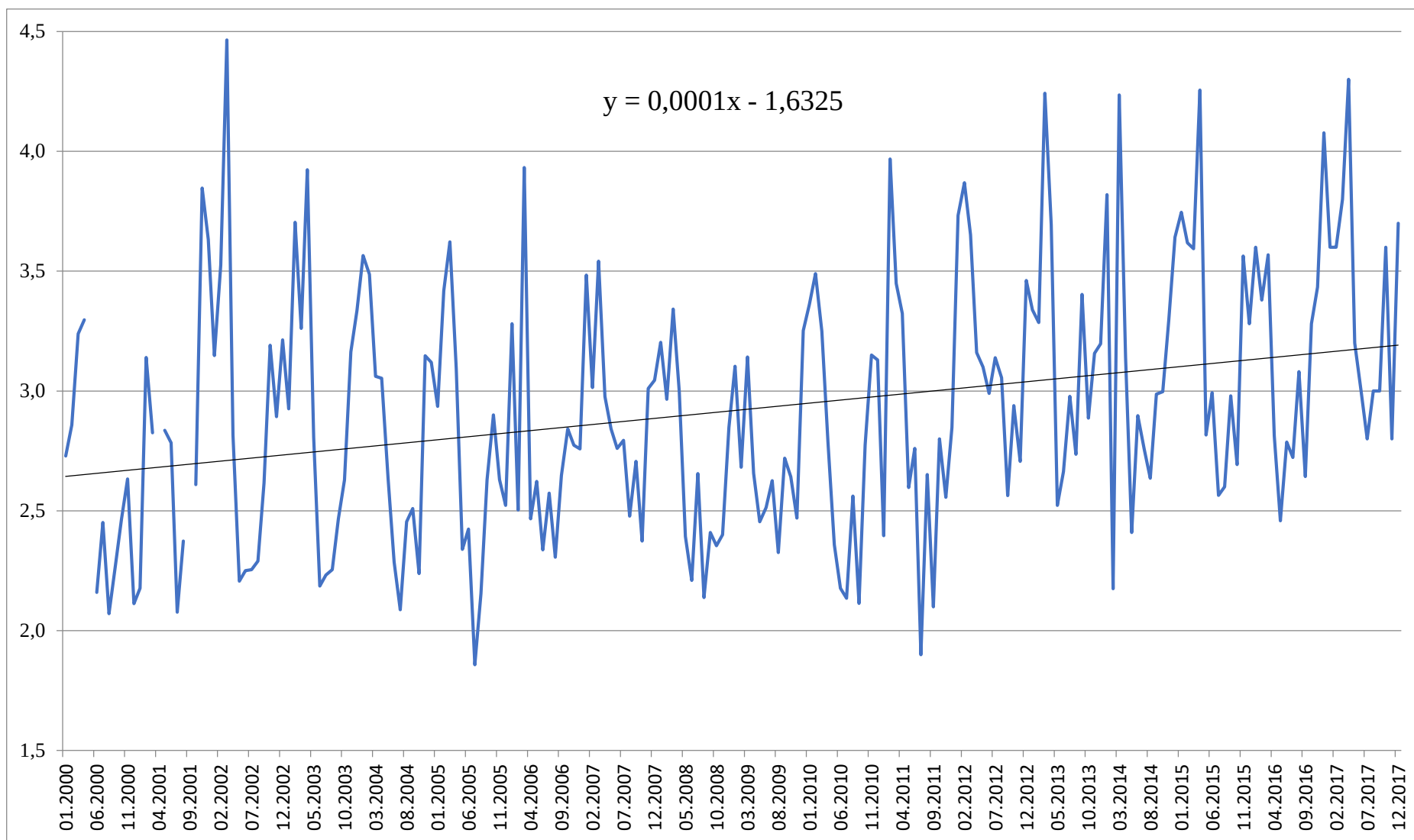


Рисунок 3.13 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Затишся 2000-2017 р.р.

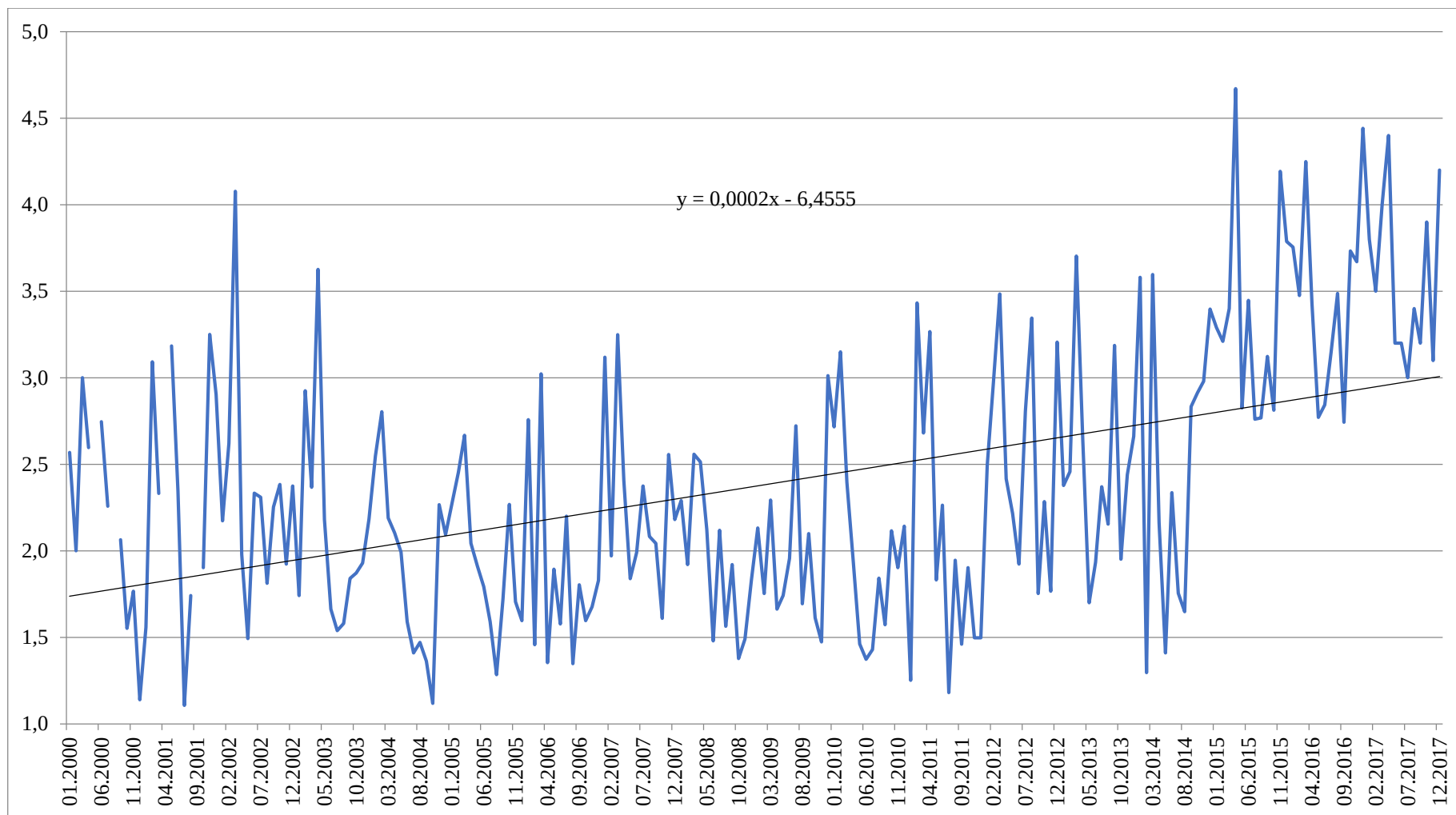


Рисунок 3.14 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Сербка 2000-2017 р.р.

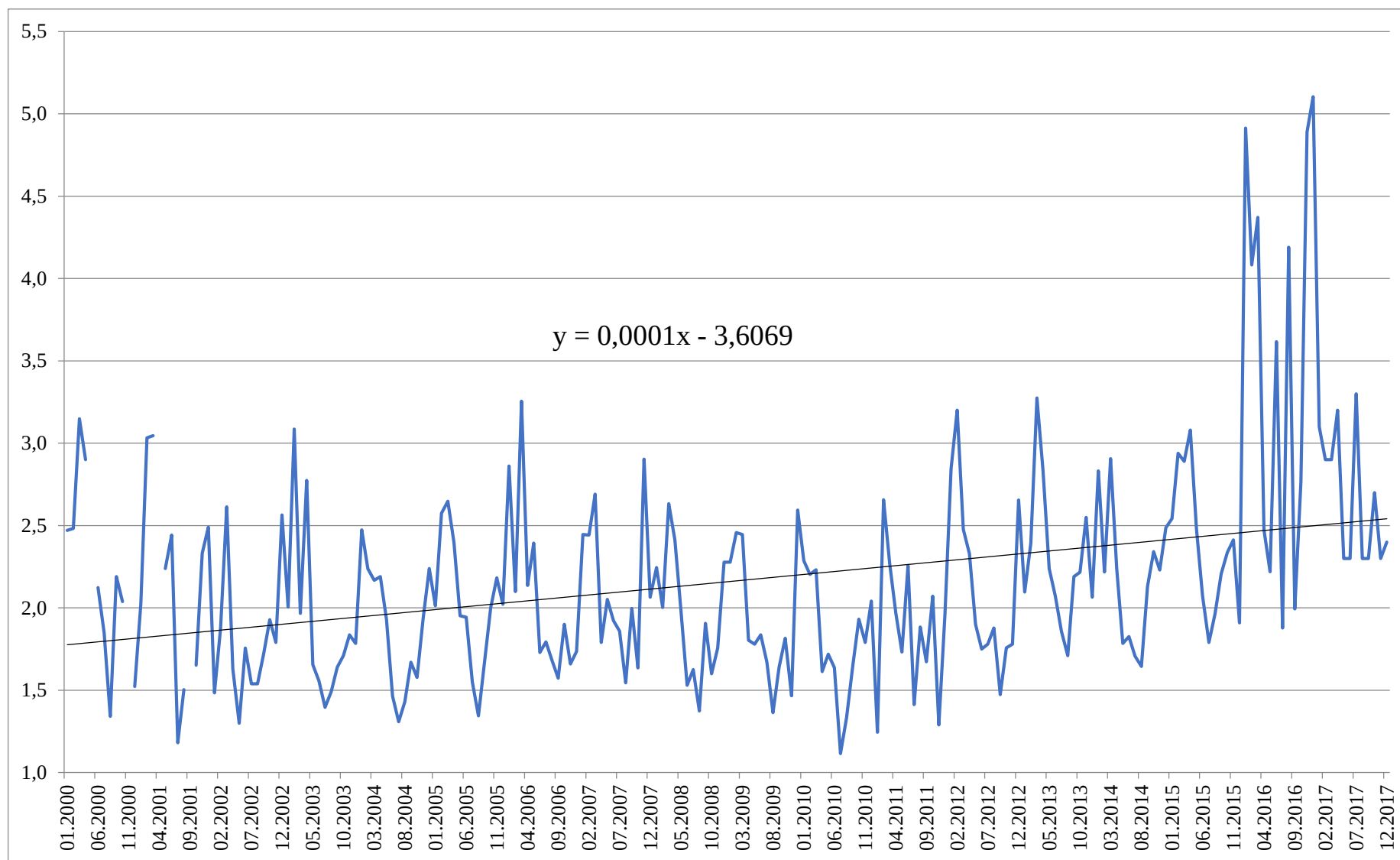


Рисунок 3.15 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Вилкове 2000-2017 р.р.

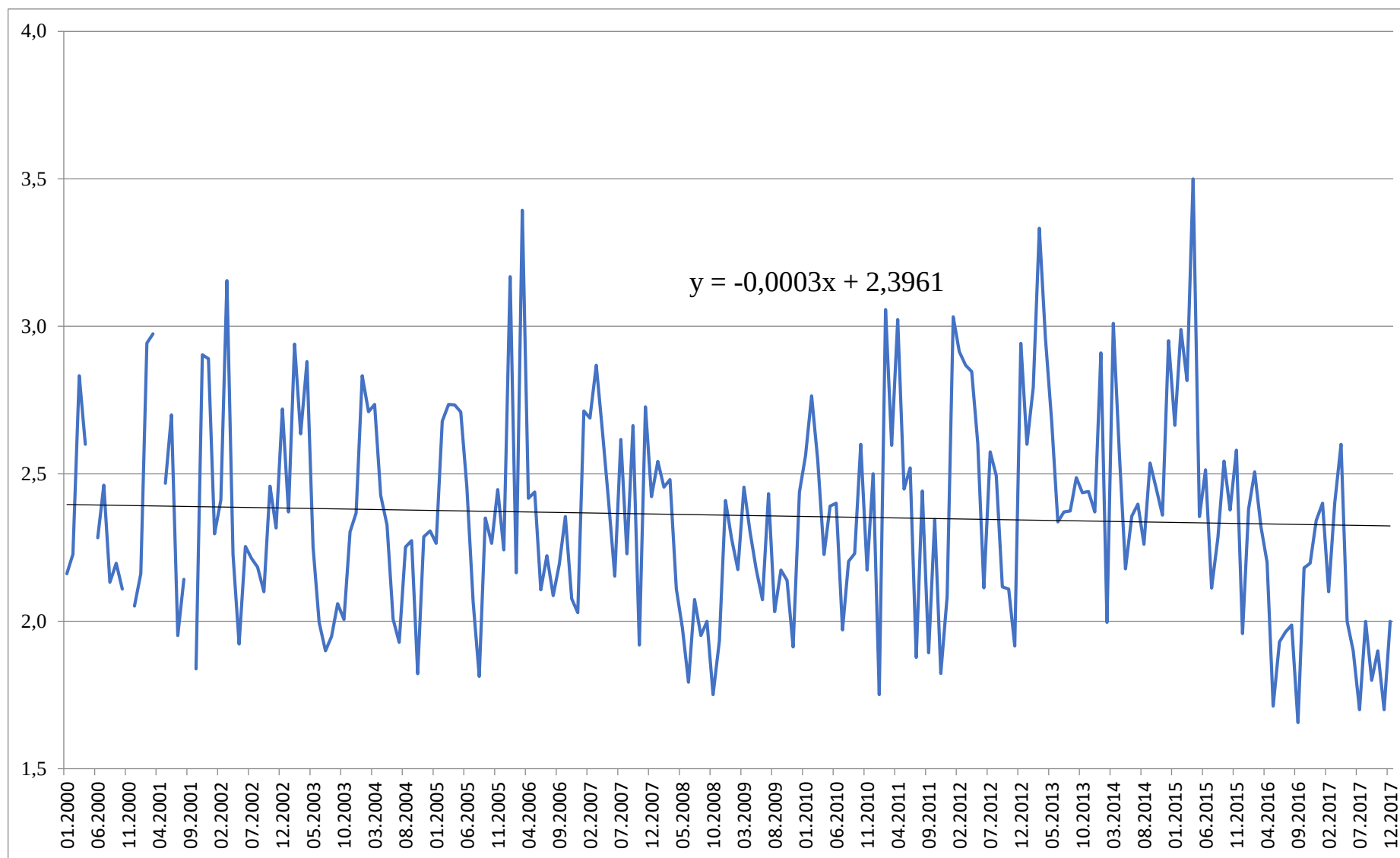


Рисунок 3.16 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Болград 2000-2017 р.р.

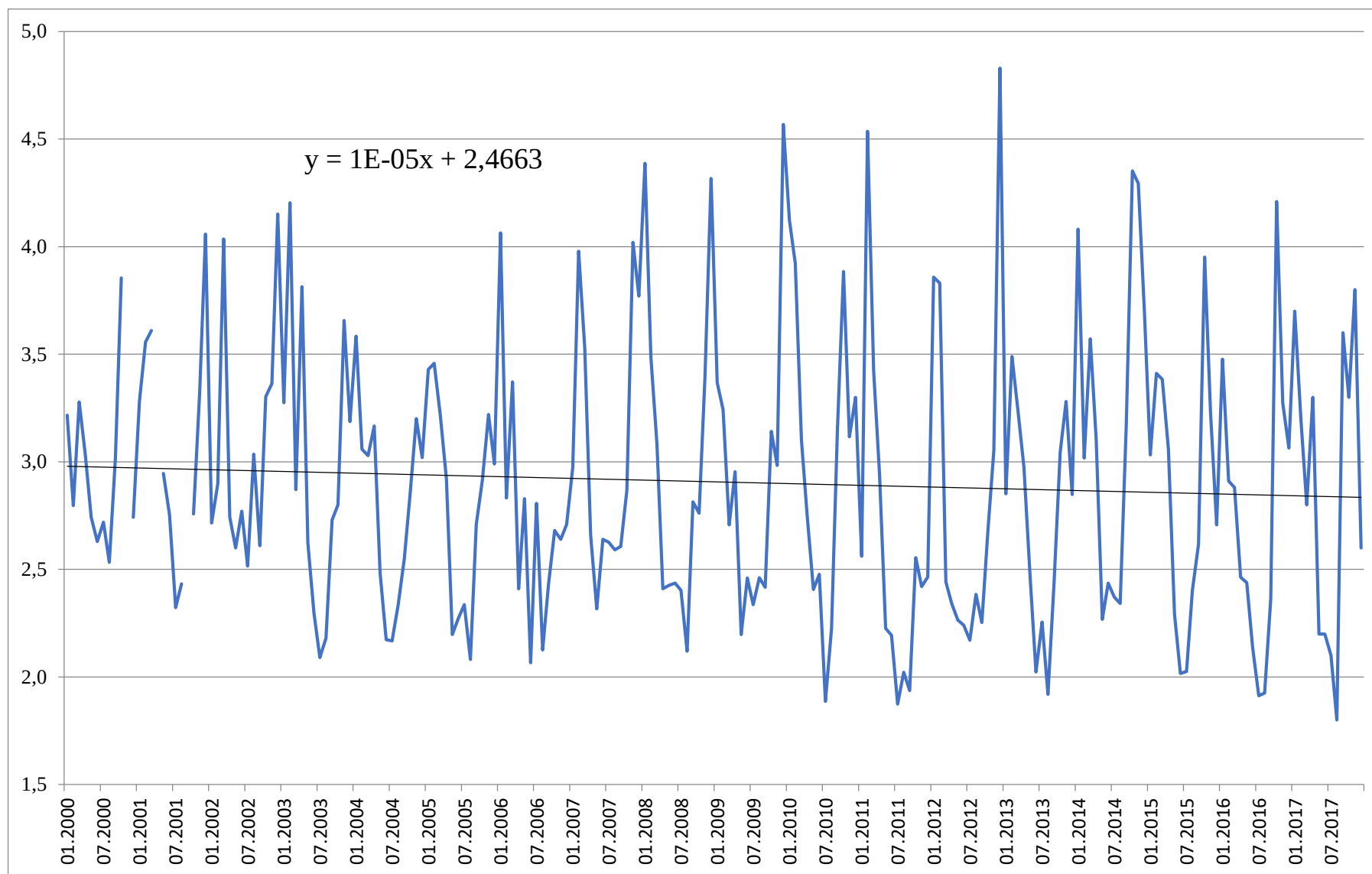


Рисунок 3.17 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Одеса 2000-2017 р.р.

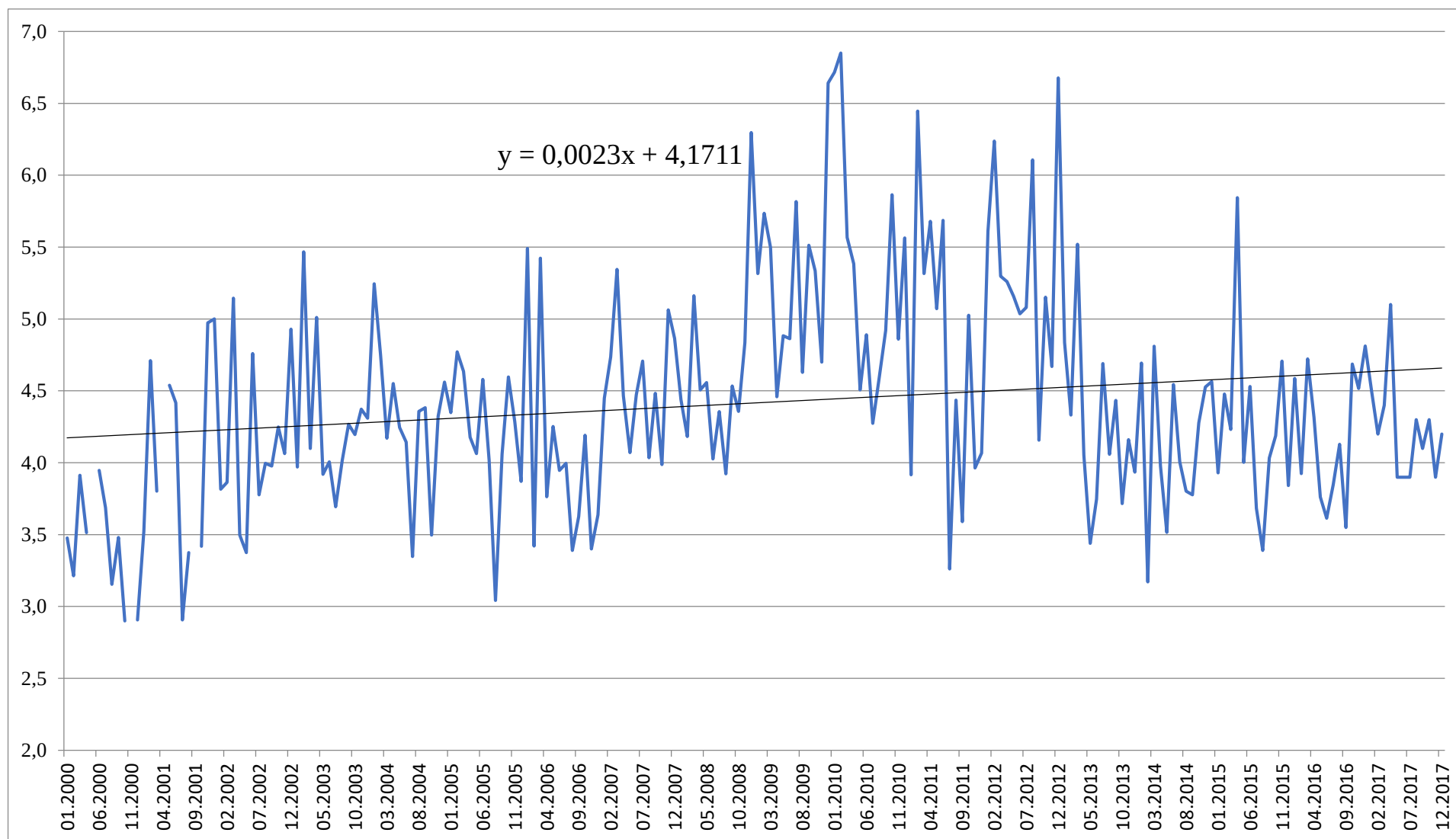


Рисунок 3.18 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Білгород-Дністровський 2000-2017 р.р.

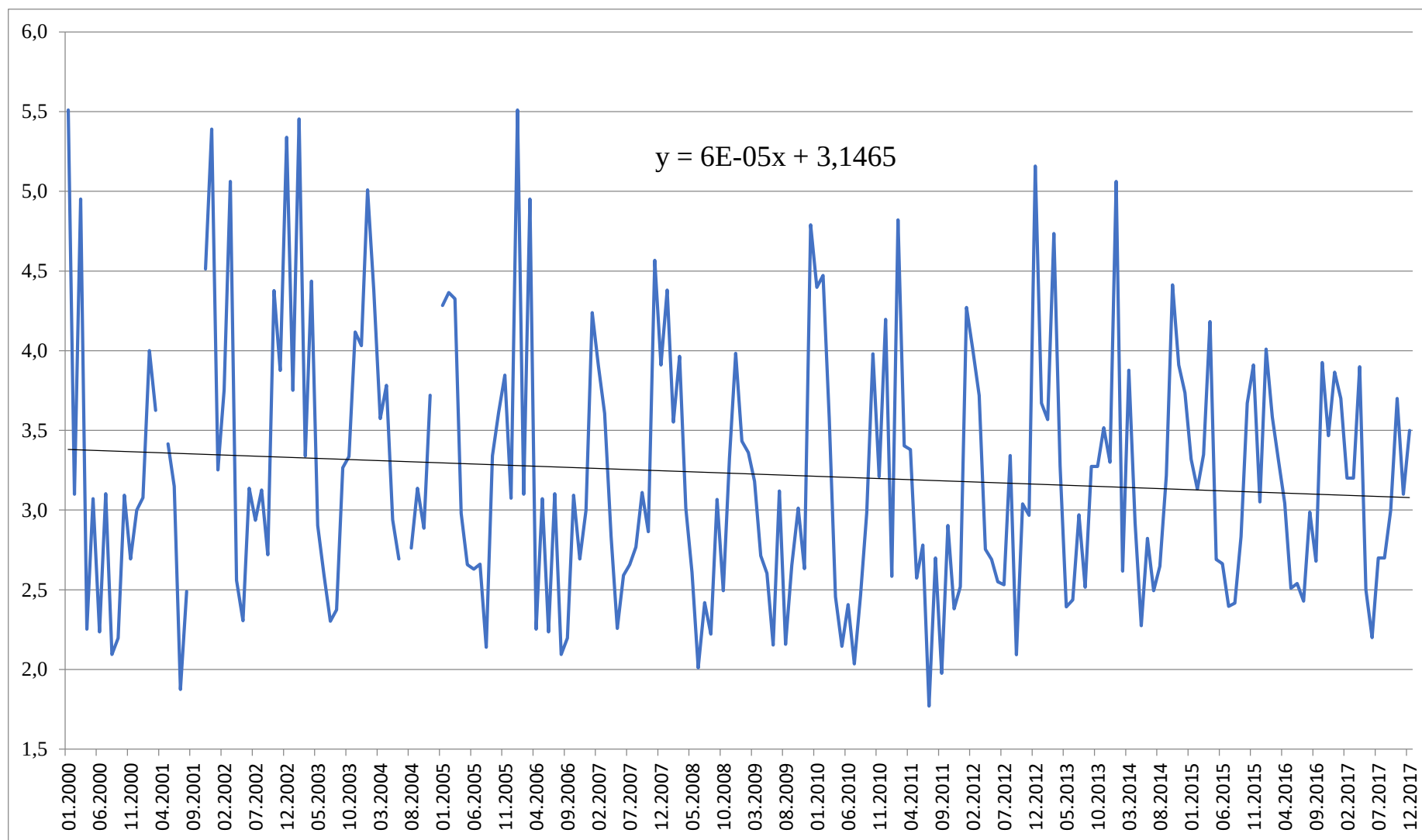


Рисунок 3.19 – Багаторічні коливання швидкості вітру на ст. Чорноморськ 2000-2017 р.р.

Як видно, коливання швидкості вітру на території Одеської області не однозначні, спостерігаються тренди зменшення амплітуди коливань на станціях Любашівка, Ізмаїл, Болград, Одеса, Чорноморськ, Сарата, а тренди росту на станціях Роздільна, Затишша, Сербка, Білгород-Дністровський та Вилкове. Рівняння трендів представлені на рисунках, які розраховані за методом найменших квадратів за допомогою програми Excel.

Також аналіз графіків багаторічних коливань швидкості вітру дає підстави вважати, що кожен з них утримує в собі періодичні компоненти. По піках амплітуд, які виділяються із загального рівня виявляється квазірічне коливання швидкості вітру для всіх станцій. Також треба відмітити, що ряди багаторічних коливань швидкості вітру мають і інші статистично значущі приховані періодичності, визначити які можливо за допомогою інтегрального перетворення Фур'є, що заплановано в подальших дослідженнях.

Визначення довгоперіодних коливань (5 і 10 років), зустрічається в таких відомих осциляціях, як Північноатлантичне коливання (ПАК), Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК) і Північно-Тихоокеанське коливання (ПТОК), а також у часових рядах параметрів сонячної активності (числах Вольфа). Деякі дослідження вказують на позитивну кореляцію між зростанням сонячної активності та розвитком сильних антициклонів, а також посиленням циклонних вихорів в широтній зоні 40-60°. У багатьох зв'язків Сонця та погоди відмічений вищий ступінь кореляції протягом зимового періоду, коли пряма дія сонячного випромінювання менш істотна. Ясно також те, що такий вплив на погоду не однаковий й навіть не однозначний в різних частинах планети.

3.4 Ймовірність розподілу швидкості вітру у зимовий період на півдні України

Для багатьох практичних цілей необхідна детальна оцінка швидкості вітру. Тому досліджують ймовірність різних градацій швидкості вітру. Ймовірність надається у відсотках від загальної кількості спостережень за вітром з урахуванням і штилів. Ці дані дозволяють скласти уявлення про емпіричний розподіл швидкості вітру. В даному дослідженні були отримані ймовірності швидкостей вітру для 8 станцій на півдні України у зимовий період, де швидкості вітру досягають найбільших значень (табл. 3.6 – 3.13).

Аналіз отриманих результатів показав, що на більшості станцій переважають вітри, що не перевищують 5 м/с. Найчастіше такі швидкості можна спостерігати влітку.

Таблиця 3.6 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на ст. Одеса [16]

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	41,0	38,0	37,0
3-5	47,6	47,8	52,4
6-8	10,4	12,3	9,9
9-11	0,8	1,7	0,5
12-14	0,1	0,1	0,1

Як видно з табл. 3.6 на станції Одеса вітер зі швидкістю 3-5 м/с має найбільшу повторюваність за весь зимовий період. Швидкість вітру 0-2 м/с частіше спостерігаються в грудні 41%, швидкості 3-5 м/с – в лютому 47,8%, а швидкості 6-8 м/с – в січні. Значні швидкості вітру понад 12 м/с відмічаються впродовж всієї зими.

На станції Ізмаїл (табл. 3.7) найбільша ймовірність швидкості вітру 0-2 м/с спостерігається в грудні 58%, 3-5 м/с – в лютому 38,4%, 6-8 м/с – в січні 13,4%, а сильні штормові вітри, що перевищують 15 м/с ймовірніші в січні.

Таблиця 3.7 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станції Ізмаїл

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	58,0	52,7	47,6
3-5	28,9	30,4	38,4
6-8	10,8	13,4	12,2
9-11	2,0	3,0	1,4
12-14	0,2	0,4	0,3
15-17	0,0	0,1	0,0

На станції Любашівка (табл. 3.8) градація швидкості вітру 0-2 м/с найчастіше спостерігається в січні та грудні, 3-5 м/с – в грудні, а 6-8 м/с – в лютому 14,4%. Швидкості вітру більше за 15 м/с найбільш ймовірні в грудні.

Таблиця 3.8 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станції Любашівка

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	43,6	43,6	41,7
3-5	41,5	39,9	41,0
6-8	11,0	11,7	14,4
9-11	2,8	4,0	2,6
12-14	0,9	0,7	0,3
15-17	0,2	0,0	0,0

На станції Роздільна (табл. 3.9) швидкість вітру в діапазоні 0-2 м/с має найбільшу повторюваність (більше 50%) за весь зимовий період, а в лютому повторюваність складає 59,6%. Максимальні швидкості вітру не перевищують 11 м/с, які частіше спостерігаються в лютому.

Таблиця 3.9 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станції Роздільна

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	57,1	58	59,6
3-5	37,6	35,3	36,7
6-8	5,1	6,6	3,6
9-11	0,1	0,1	0,2

В табл. 3.10 на станції Херсон швидкість вітру 0-2 м/с частіше спостерігається в січні 45,3%, 3-5 м/с та 6-8 м/с – в лютому. Відмічаються сильні вітри більші за 15 м/с, які найбільш ймовірні в грудні.

Таблиця 3.10 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станції Херсон [17]

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	44,3	45,3	41,3
3-5	43,6	40,8	46,3
6-8	10,2	10,9	11
9-11	1,4	2,6	1,4
12-14	0,4	0,4	0,2
15-17	0,1	0,0	0,0

На станції Миколаїв (табл. 3.11) швидкість вітру 0-2 м/с спостерігається з ймовірністю 20-23% впродовж всього зимового періоду, а швидкість вітру швидкості 3-5 м/с має вдвічі більшу ймовірність, швидкості 6-8 м/с та 9-11 м/с порівняно з іншими станціями, також має більший відсоток повторюваності.

Таблиця 3.11 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станція Миколаїв [17]

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	21,1	22,7	20,1
3-5	49,5	48,1	49,9
6-8	24	22,8	25,9
9-11	4,8	5,6	3,9
12-14	0,6	0,8	0,2
15-17	0,1	0,0	0,0

Розглядаючи розподіл ймовірностей швидкості вітру у зимовий період на станції Чорноморськ (табл. 3.12) треба відмітити, що значення ймовірності швидкості вітру в градації 0-2 м/с майже однакові впродовж всієї зими, швидкості 3-5 м/с частіше в лютому 42,8%, 6-8 м/с – в січні 13%. Штормові швидкості вітру більші за 15 м/с відмічені у всіх зазначених місяцях й найбільший відсоток спостерігається в січні, який є більшим в порівнянні попередніми станціями.

Як показали наші дослідження найбільші швидкості вітру спостерігаються на станції Білгород-Дністровський, розглянемо більш детально зимовий період даної станції (табл. 3.13).

Я видно з табл. 3.13, швидкість вітру 0-2 м/с частіше спостерігаються в грудні, швидкості 6-8 м/с відмічаються майже з однаковою ймовірністю впродовж всієї зими, сильні вітри, що перевищують 15 м/с ймовірніші в грудні.

Тільки на станції Білгород-Дністровський відмічаються дуже сильні вітри, що перевищують 20 м/с частіше в грудні.

Таблиця 3.12 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станція Чорноморськ [16]

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	40,5	40,1	40,2
3-5	42,1	37,1	42,8
6-8	10,4	13,0	12,1
9-11	5,0	6,7	3,5
12-14	1,5	2,1	0,9
15-17	0,5	1,0	0,4

Таблиця 3.13 – Розподіл ймовірності (%) швидкості вітру різних діапазонів у зимовий період на станція Білгород – Дністровський

Градації	Місяці		
	Грудень	Січень	Лютий
0-2	26,5	24,9	23
3-5	39,3	39,1	39,5
6-8	22,3	23,0	25,5
9-11	7,9	9,4	9,7
12-14	3,2	3,0	2,0
15-17	0,6	0,4	0,5
18-20	0,1	0,2	0,1
21-23	0,1	0,0	0,0

В якості прикладу наведемо порівняльні гістограми розподілу відповідних ймовірностей швидкості вітру (рис. 3.20-3.22) та відповідних частот швидкості вітру по градаціях на станціях для зимового періоду (рис. 3.23-3.29).

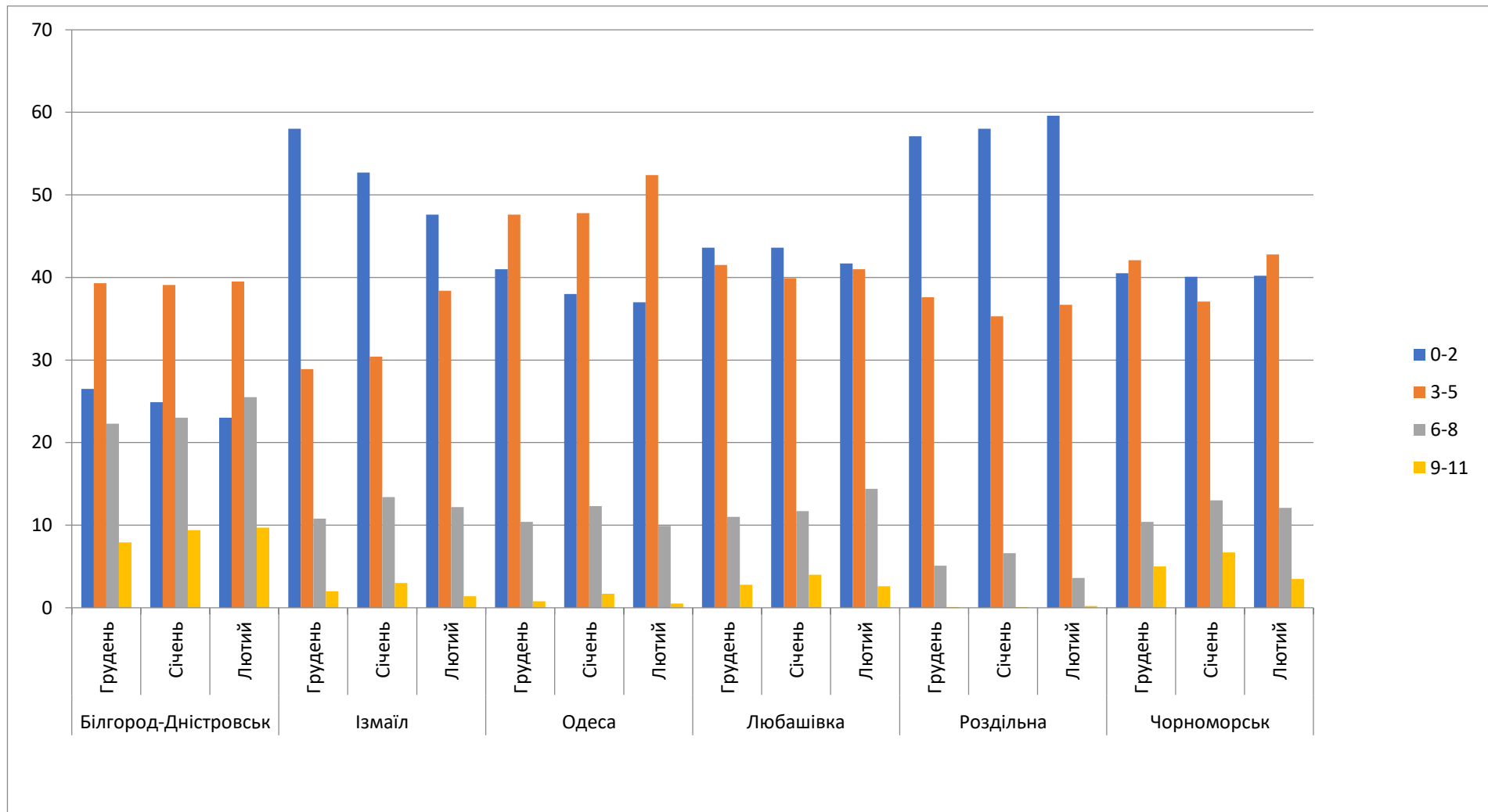


Рисунок 3.20 – Розподіл ймовірності швидкості вітру різних градацій для зимового періоду на станціях Одеської області

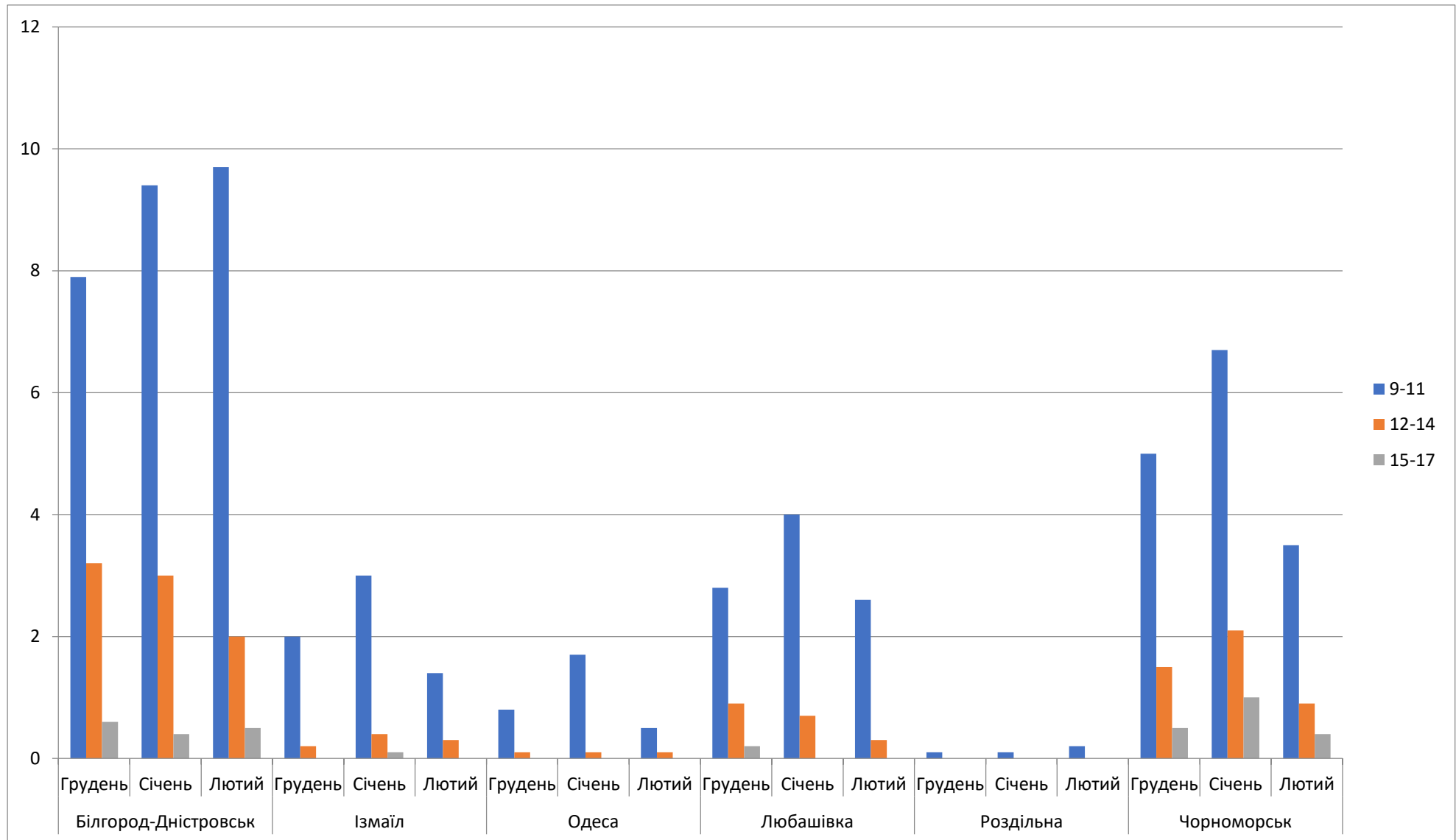


Рисунок 3.21 – Розподіл ймовірності швидкості вітру різних градацій для зимового періоду на станціях Одеської області

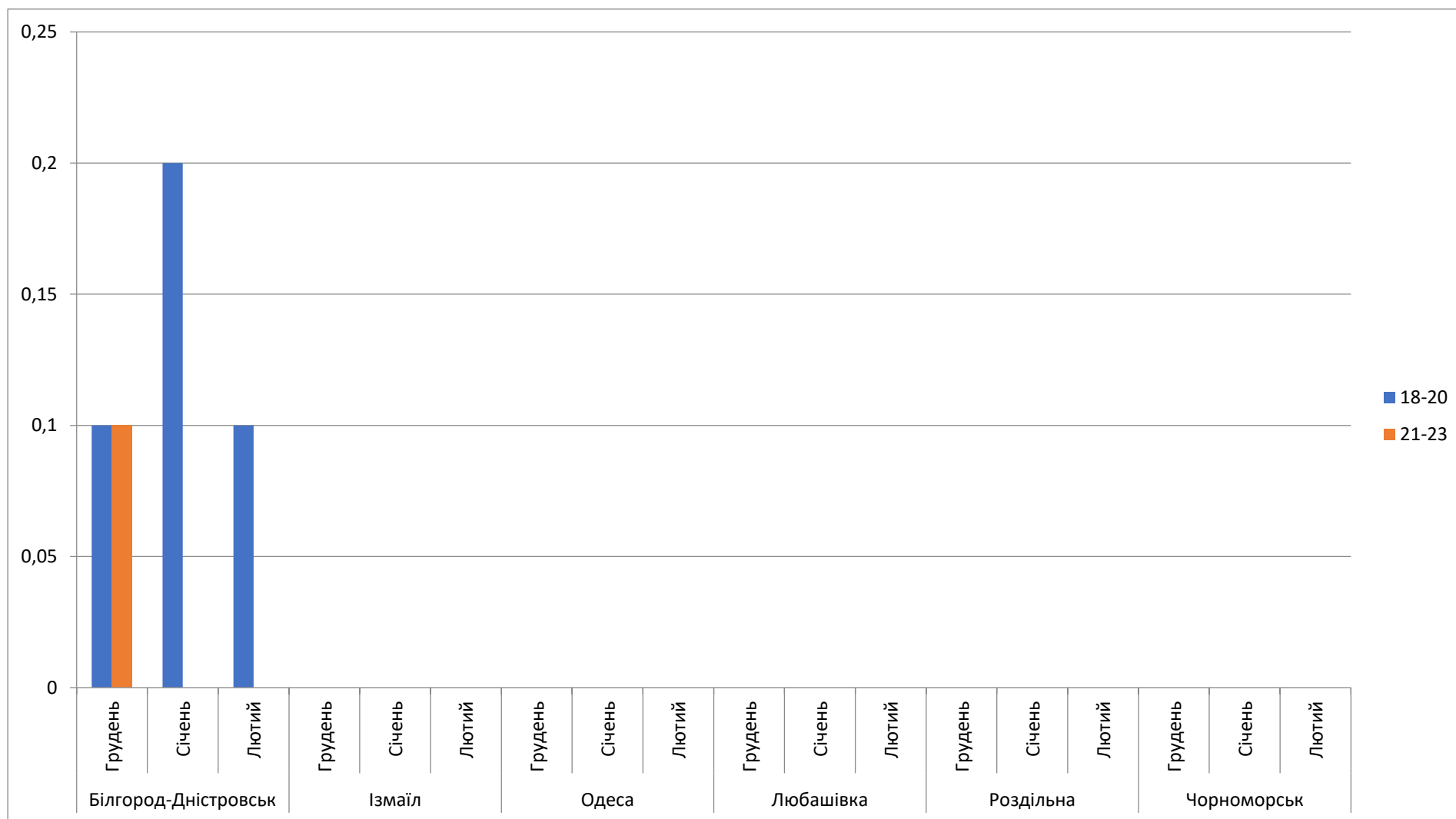


Рисунок 3.22 – Розподіл ймовірності швидкості вітру різних градацій для зимового періоду на станціях Одеської області

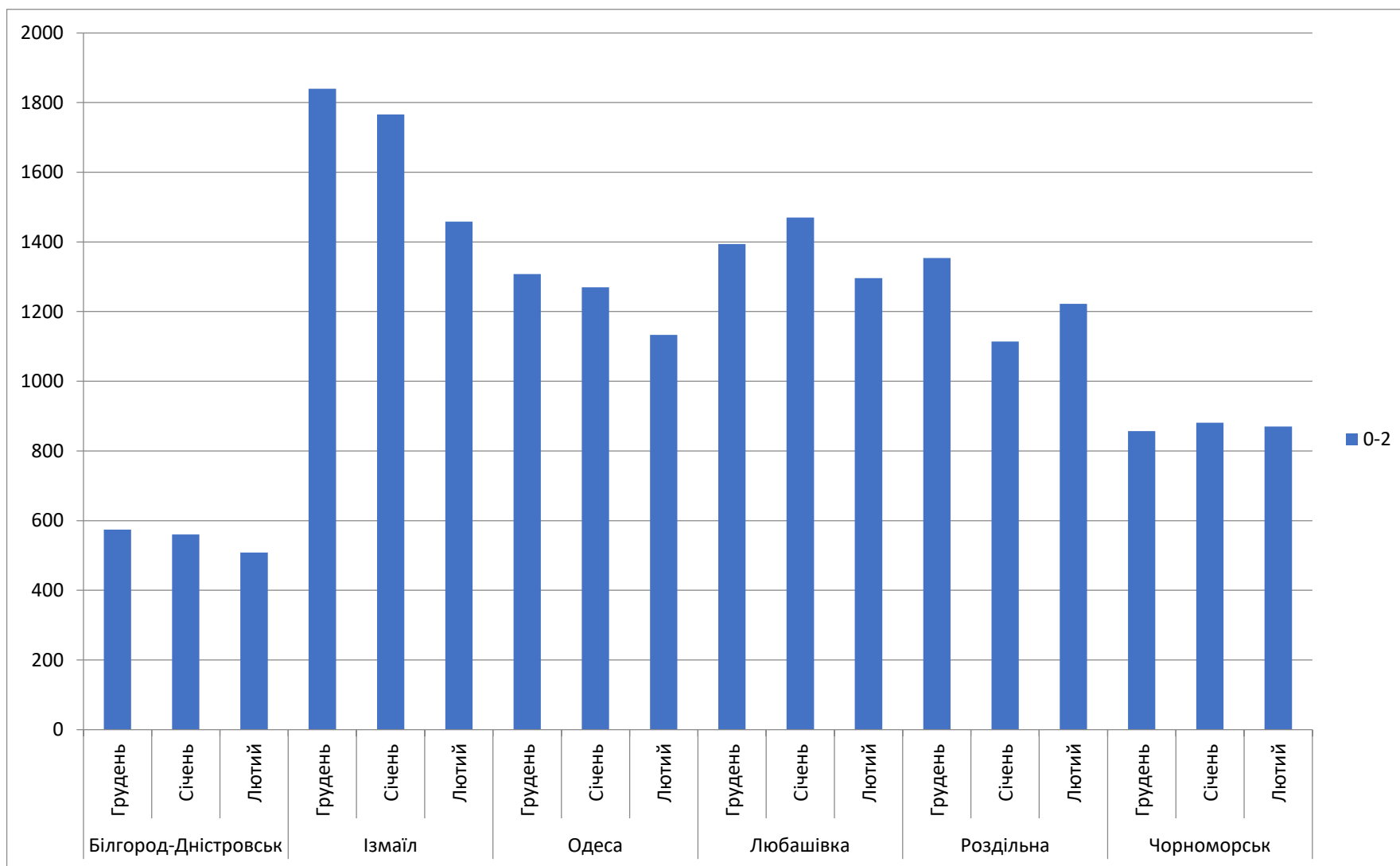


Рисунок 3.23 – Розподіл частот швидкості вітру градації 0-2 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області

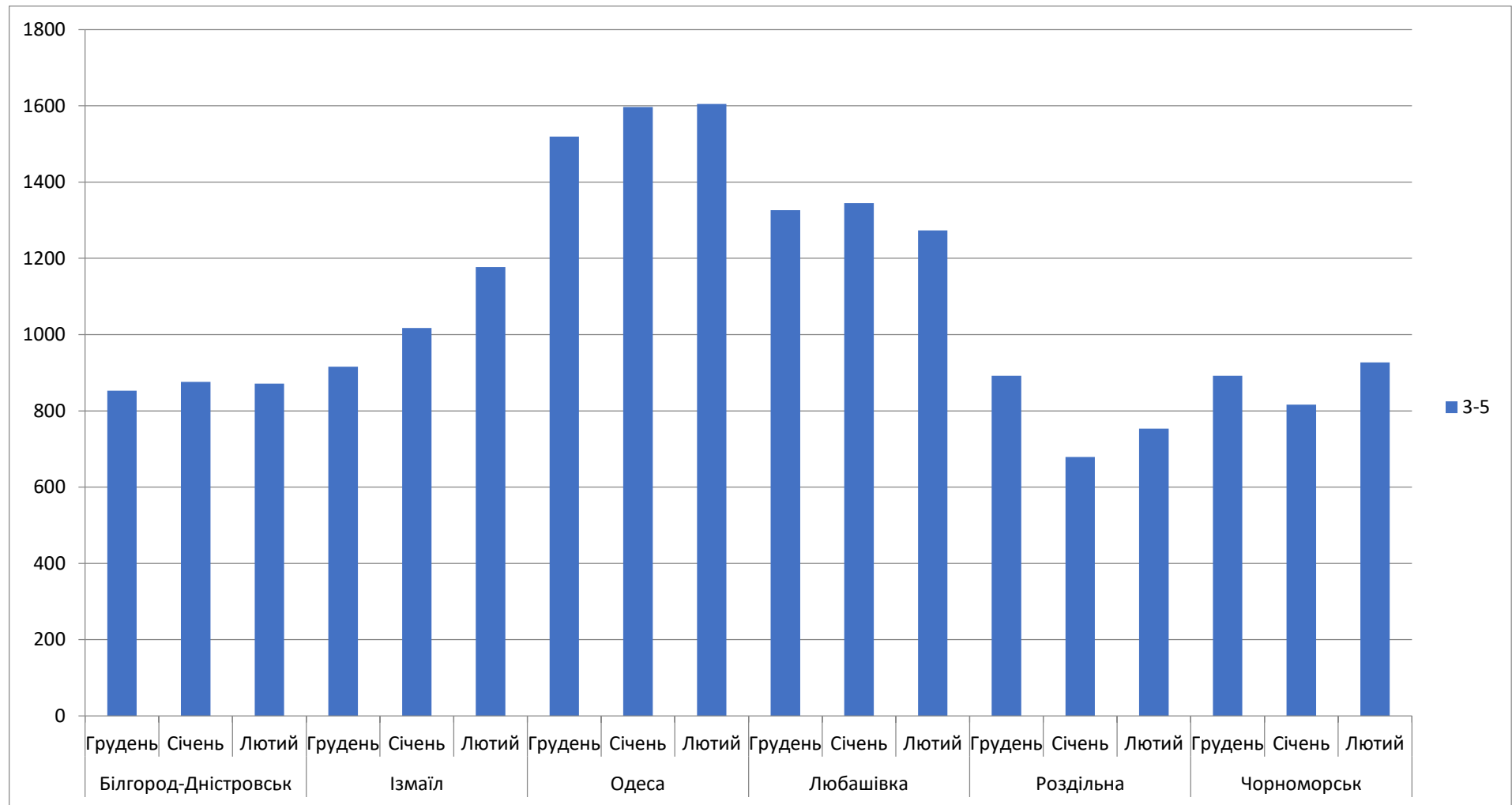


Рисунок 3.24 – Розподіл частот швидкості вітру градації 3-5 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області

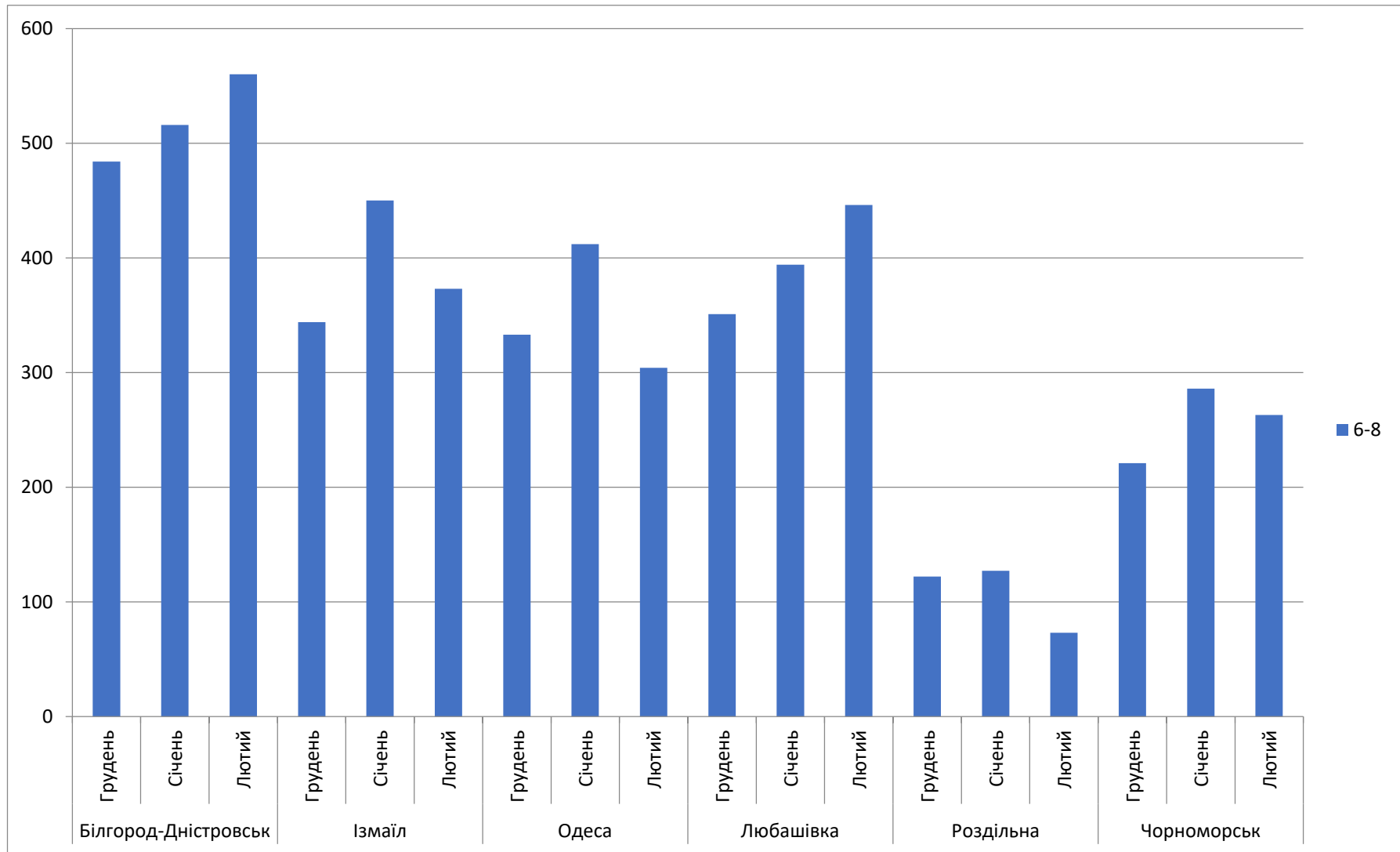


Рисунок 3.25 – Розподіл частот швидкості вітру градації 6-8 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області

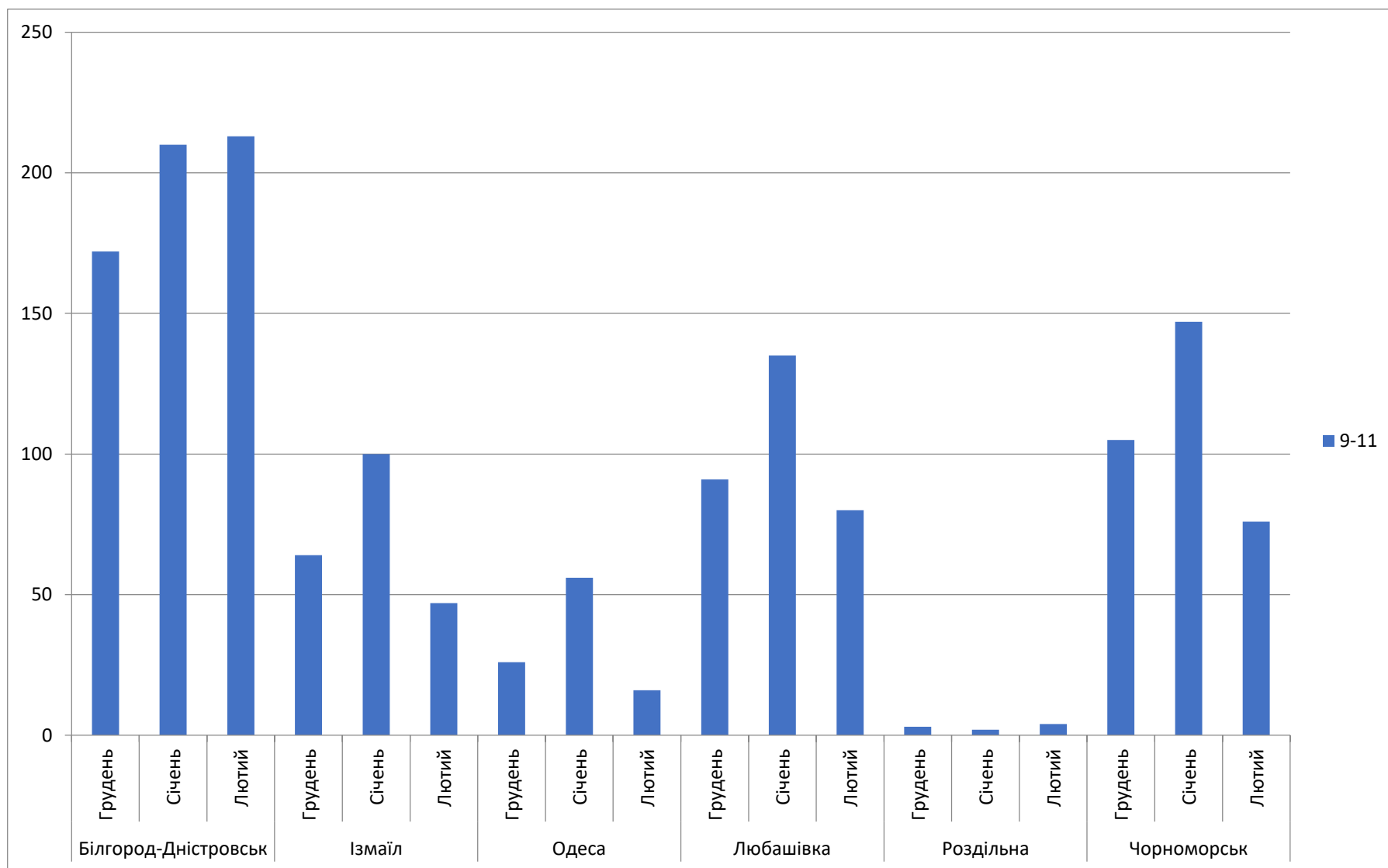


Рисунок 3.26 – Розподіл частот швидкості вітру градації 9-11 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області

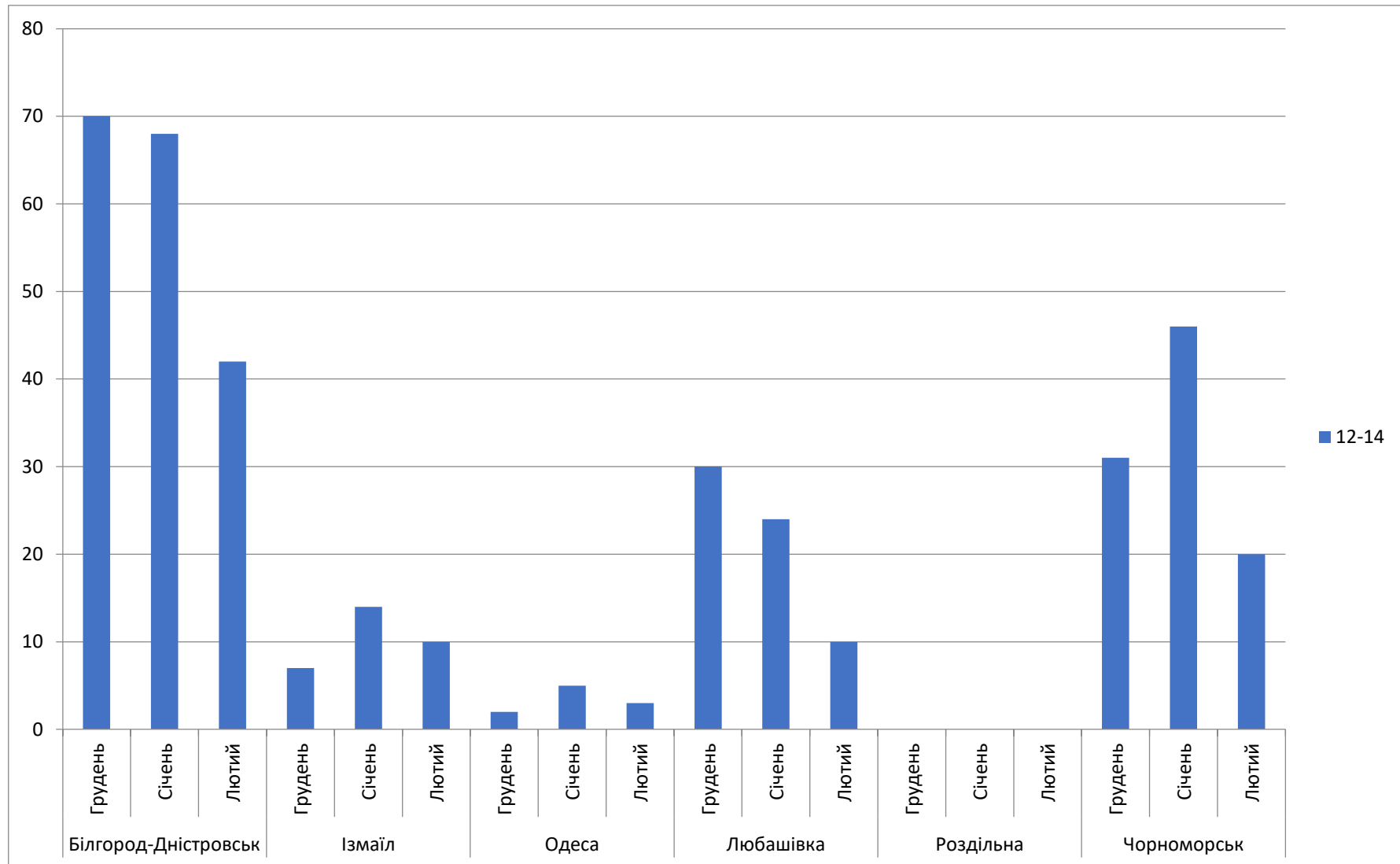


Рисунок 3.27 – Розподіл частот швидкості вітру градації 12-14 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області

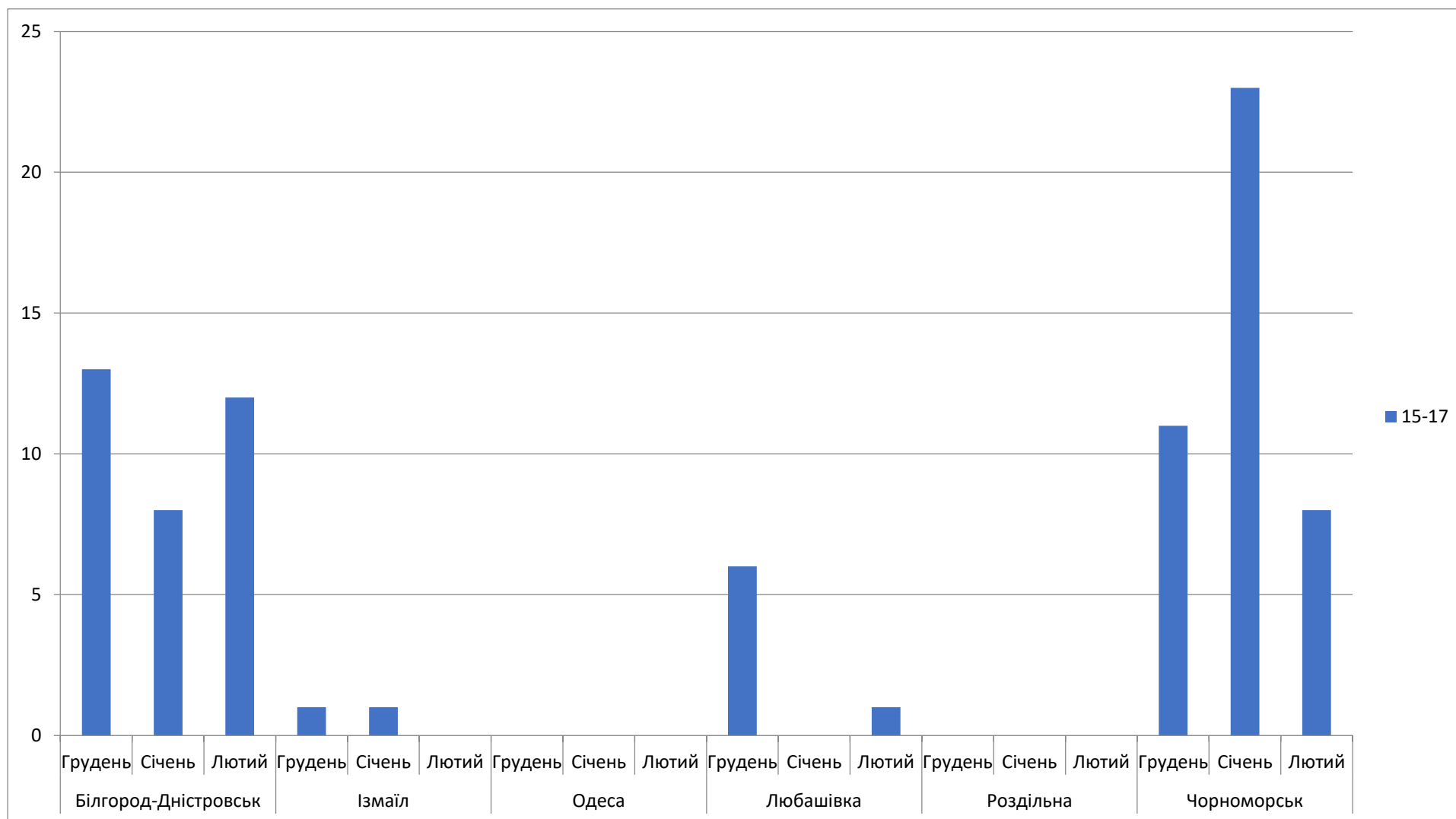


Рисунок 3.28 – Розподіл частот швидкості вітру градації 15-17 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області



Рисунок 3.29 – Розподіл частот швидкості вітру градації 18-20 та 21-23 м/с для зимового періоду на станціях Одеської області

Аналіз отриманих результатів показав, що на більшості станцій переважають вітри, що не перевищують 5 м/с. Вітер зі швидкістю 0-2 м/с найчастіше спостерігається на станціях Херсон, Роздільна, Ізмаїл та Любашівка протягом усього зимового періоду. На всіх інших станціях переважає вітер в межах 3-5 м/с. Найчастіше такі швидкості вітру можна зустріти на станції Миколаїв (табл. 3.12) з ймовірністю майже 50 %.

Розглядаючи розподіл частот швидкості вітру в зимовий період на станціях, треба відмітити, що найчастіше швидкості вітру в градації 6-8, 9-11 та 12-14 м/с спостерігаються на станції Білгород-Дністровський.

Як показали дослідження найбільші швидкості вітру спостерігаються на станціях Чорноморськ та Білгород-Дністровський. Сильні вітри, що перевищують 15 м/с найчастіше спостерігаються саме на станції Чорноморськ в січні кількість випадків досягає 23, а на станції Білгород-Дністровський – 13. На станції Білгород-Дністровський відмічаються дуже сильні вітри, що перевищують 18 м/с 3 випадки в грудні й 4 в січні, а також вітри більші 20 м/с один випадок в грудні на станції Білгород-Дністровський й в лютому на станції Чорноморськ.

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження режиму швидкостей вітру на півдні України можна зробити наступні висновки:

1. Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії та завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць у світі з використання енергії вітру.

2. Виявлені особливості просторових розподілів середньомісячних швидкостей вітру за даними «кліматичної норми»:

- наявність двох зон найбільших швидкостей вітру в Харківській і Донецькій області і в східних областях північного регіону, а саме в Житомирській області;
- зони великих швидкостей вітру розділені між собою улоговиною, шириною у 200-300 км, відносно слабких швидкостей вітру 2,5-3,0 м/с, яка у вигляді меридіонально спрямованої смуги простягається від південного (Одеська обл.) до північного регіону України (Чернігівська обл.).

3. Порівняльний аналіз полів середніх швидкостей вітру для станцій Одеської області за минулий кліматичний період (кліматична норма швидкості вітру 1961-1990 р.р.) та за період 2000-2018 р.р. показав, що характер розподілу ізоліній поля середніх швидкостей вітру змінюється. На півночі Одеської області ізолінії розташовуються майже зонально і значення середніх швидкостей вітру зменшуються по всій території в порівнянні з полем середніх швидкостей вітру за минулий кліматичний період, що може бути пов'язано з перебудовою баричного поля та посиленням антициклонічної циркуляції на території України.

4. Проведений статистичний аналіз часових рядів швидкості вітру на півдні України за період 2000-2018 р.р. Найбільш максимальні швидкості вітру впродовж всього року спостерігаються на станції Білгород-Дністровський, а найменше на станції Сарата та Вілково.

Значення дисперсії, що є характеристикою мінливості метеорологічної величини, на всіх станціях незначні. В літній період дисперсії значно менші ніж в зимовий період на всіх станціях. Найбільші значення спостерігаються на станції Білгород-Дністровський, а на станції Болград вона найменша, що простежується впродовж всього року.

Третій основний момент, який є коефіцієнтом асиметрії кривої розподілу випадкової величини на більшості станцій впродовж всього року має додатні значення, особливо на станціях Білгород-Дністровський та Вилково, а значить має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Значення коефіцієнта ексцесу для більшості станцій від'ємний, відповідно крива розподілу сплюснута відносно нормального розподілу.

5. Досліджено річну динаміку швидкості вітру на станціях Одеської області. Спостерігаються тренди зменшення амплітуди коливань швидкості вітру на станціях Любашівка, Ізмаїл, Болград, Одеса, Чорноморськ, Сарата, а тренди росту на станціях Роздільна, Затишся, Сербка, Білгород-Дністровський та Вилково.

6. Розглянуто ймовірність різних градацій швидкості вітру на 8 станціях півдня України, де відмічаються найбільші швидкості вітру. Аналіз отриманих результатів показав, що на більшості станцій переважають вітри, що не перевищують 5 м/с. Вітер зі швидкістю 0-2 м/с найчастіше спостерігається на станціях Херсон, Роздільна, Ізмаїл та Любашівка протягом усього зимового періоду. На всіх інших станціях переважають швидкості вітру в межах 3-5 м/с. Найчастіше такі швидкості вітру можна зустріти на станції Миколаїв з ймовірністю майже 50%. Значні швидкості вітру, більші за 15 м/с спостерігаються на станціях Любашівка, Ізмаїл та більш часто на станціях Білгород-Дністровський та Чорноморськ. Тільки на станції Білгород-Дністровський відмічаються дуже сильні вітри, що перевищують 20 м/с і частіше в грудні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
2. A review on the young history of the wind power short-term prediction. A. Costa, A. Crespo, J. Navarro, G. Lizcano, H. Madsen, and E. Feitosa // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 12. – No. 6. – Aug. 2008. – P. 1725-1744.
3. Ешманова Н.В., Степанова Н.Е. Оценка климатологически оптимального режима использования ветровой энергии // Тр.ВНИИГМИ МЦД. – 1985. – Вып. 125. – С. 10-19.
4. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: [монографія] / колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.]; за ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. – Одеса: Вид. „ТЕС”, 2015. – 520 с.
5. Кліматичний кадастр України. – Київ.: Видавництво Раєвського. – 2006. – 400 с.
6. Метеорологія і кліматологія. Підручник / Під редакцією професора С.М. Степаненка. – Одеса, ТЕС, 2008. – 534 с.
7. Подгуренко В.С. Анализ развития ветроэнергетики в Украине // Энергетика и электрификация. – 2000. – №10. – С. 40-51.
8. Степаненко С.Н Математическое моделирование мезомасштабных процессов и явлений в атмосфере. – Одесса, 2001. – 280 с.
9. Шефтер Я.І. Використання енергії вітру 2 видання, перероб, і доп.. <http://ac.gov.ru/>. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации.
10. Global Wind Energy Council; BP Statistical Review of World Energy, June 2013.
11. <http://www.litsoch.ru/referats/read/308452/>
12. <http://gis-meteo.org.ru>
13. <http://msd.in.ua/rozvitok-vitroenergetiki-v-ukra%D1%97ni/>

14. Школьний Є.П., Лосєва І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] /- К.: Міносвіти України, 1999.- С. 9-39.
15. Галич Є.А., Курган В.О. Особливості вітрового режиму на півдні України / X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії» // Збірник наукових праць. – Переяслав-Хмельницький, 2018 р. – С. 46-49.
16. Галич Є.А., Курган В.О. Особливості вітрового режиму на півдні України / II Міжнародна науково-практична конференція «TOPICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE»//Збірник наукових праць. – Болгарія, 2019 р. с. – 275-282.
17. Галич Є.А., Курган В.О. Особливості режиму швидкості вітрового на півдні України / DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SCIENCE» 20-22 листопада, Ванкувер, Канада // Збірник наукових праць.— 2019. - С. 588-594.