

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «Особливості вітрового режиму Лівії»

Виконав студент 2 курсу групи МЗМ-19
спеціальності 103 –«Науки про Землю»
Алі Салех Алі Абудавах

Керівник к.геогр.н., доцент
Агайар Елліна Вікторівна

Рецензент д.геогр.н., професор
Ляшенко Галина Віталіївна

Одеса 2020 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

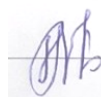
Спеціальність 103- «Науки про Землю»

(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Прокоф'єв О. М.



«26» жовтня 2020 року

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

Алі Салех Алі Абудавах

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Особливості вітрового режиму Лівії

керівник роботи Агайар Елліна Вікторівна к. геогр.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від №124-С від 16.10.2020 р

2. Строк подання студентом роботи 7 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані восьмиastroкових спостережень на метеостанціях Лівії за період 2015-2019 рр. 2. Середньомісячні швидкості та напрямки приземного вітру за даними архіву NCEP / NCAR

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд сучасних літературних джерел за темою дослідження. 2. Аналіз повторюваності основних характеристик вітру на станціях Лівії 2015 -2019 рр. 3. Розрахунок статистичних характеристик вітрового режиму над досліджуванім регіоном. 4. Порівняльний аналіз середньомісячної швидкості та напрямку приземного вітру за даними архіву NCEP / NCAR з даними фактичних спостережень на восьми метеорологічних станціях Лівії, через побудову карт поля вітру за період 2015-2019 рр.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1-1.2 – карти регіону дослідження; Рис. 1.3-1.7 – кліматичні карти Лівії; Рис. 2.1 – схема розміщення пунктів дослідження на території Лівії; 2.2-2.10 – характеристики вітрового режиму Лівії. 2015-2019 рр; Рис. 3.1-3.2 – порівняльний аналіз середньомісячної швидкості та напрямку приземного вітру за даними архіву NCEP / NCAR з даними фактичних спостережень на восьми метеорологічних станціях Лівії; Рис. 3.3-3.4 – карти поля швидкості та напрямку приземного вітру.

6. Консультанти розділів роботи

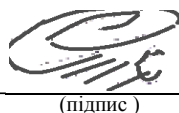
Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	26.10.2020	92	відмінно
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	листопад 2020	92	відмінно
3.	<i>Визначення особливостей вітрового режиму Лівії за період 2015-2019 рр</i>	листопад 2020	92	відмінно
4.	<i>Обробка даних архіву реаналізу NCEP / NCAR</i>	листопад 2020	92	відмінно
5.	<i>Аналіз основних статистичних параметрів швидкості вітру</i>	листопад 2020	92	відмінно
6.	<i>Моделювання поля приземного вітру</i>	листопад 2020	92	відмінно
7.	<i>Рубіжна атестація</i>	17.11.2020	92	відмінно
8.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку.</i>	25.11.2020	92	відмінно
9.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	30.11.2020	92	відмінно
10.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	04.12.2020	92	відмінно
11.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору</i>	6-10.12.2020		
12.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	грудень 2020		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92	відмінно

Студент



(підпис)

Алі Салех Алі Абудавах.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Агайяр Е.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Особливості вітрового режиму Лівії»

Автор: Алі Салех Алі Абудавах

Актуальність Вітер являється однією з основних та мінливих характеристик стану атмосфери, з дією якого пов'язано багато природних процесів та атмосферних явищ. Тому є доцільним простежити динаміку вітрового режиму Лівії з огляду на сучасні кліматичні зміни.

Метою даної роботи є вивчення вітрового режиму на території Лівії в епоху кліматичних змін; визначення особливостей циркуляційних процесів, які формують зміни швидкості та напрямку вітру; порівняння даних архіву NCEP / NCAR за такими параметрами, як середньомісячна швидкість та напрямок приземного вітру з даними фактичних спостережень на восьми метеорологічних станціях Лівії, та побудова карт вітрового поля за цей період.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:

- визначений режим приземного вітру над територією Лівії за період 2015-2019 рр.;
- проведено порівняльний аналіз середньомісячної швидкості та напрямку приземного вітру за даними архіву NCEP / NCAR з даними фактичних спостережень на восьми метеорологічних станціях Лівії;
- побудовані карти вітрового поля.

Об'єкт дослідження – швидкість та напрямок вітру над територією Лівії

Предмет дослідження – характеристики режиму вітру над територією Лівії

Методи дослідження –

- Просторово-тимчасове узагальнення даних;
- Синоптико-кліматичний аналіз;
- Статистичний аналіз;
- Математичне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для території Лівії:

- визначений сучасний вітровий режим над всієї територією Лівії;
- встановлений характер змін швидкості та напрямку вітру над Лівією;
- проведено порівняння даних NCEP / NCAR Reanalysis 1 з даними фактичних спостережень за приземним вітром за період 2015-2019 рр. на восьми метеорологічних станціях Лівії, та побудовані карт вітрового поля за цей період.

Практичне значення отриманих результатів. Статистичні характеристики вітрового режиму є частиною кліматологічної інформації для об'єктів господарської діяльності на території Лівії, а врахування змін вітрового режиму сприятиме вдосконаленню прогнозу погоди.

Магістерська робота в обсязі 52 сторінки складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 32 джерел, додатку, містить 32 рисунок та 2 таблиці.

Ключові слова: напрямок вітру, швидкість вітру, реаналіз NCEP / NCAR, циркуляційні умови, Лівія.

Abstract

Thesis Topic: " Features of the wind regime of Libya"

Author: Ali Saleh Ali Abudawah

Relevance: Wind is one of the main and changing characteristics of the atmosphere, which is associated with many natural processes and atmospheric phenomena. Therefore, it is advisable to trace the dynamics of the wind regime in Libya in view of current climate change.

Aim of the Thesis: to study of the wind regime in Libya in the period of climate change; to determine the features of circulation processes that form change in wind speed and direction; to compare of NCEP / NCAR archive dataset on parameters such as average monthly wind speed and direction with meteorological observations at eight Libyan meteorostations, and to construct of wind field maps for this period.

According to the stated goal, the following **tasks** have been solved:

- determined the regime of surface wind over the region of Libya for the period 2015-2019;
- comparative analysis of the average monthly speed and direction wind are performed according to the NCEP / NCAR reanalysis data and surface weather observations at eight stations of Libya;
- maps of the wind are constructed.

Object of the Study: wind speed and direction over the territory of Libya.

Subject Matter of the Study: characteristics of the wind regime of Libya.

Methods of Research:

- spatial-temporal generalization of data,
- synoptical, climatological and statistical analysis,
- mathematical modeling

Scientific Novelty of the Obtained Results

In this thesis, for *the first time* for the territory of Libya:

- the current wind regime over the entire region of Libya is determined;
- the nature of changes in wind speed and direction over Libya is established;
- NCEP / NCAR archive dataset on parameters such as average monthly wind speed and direction with meteorological observations at eight Libyan meteorostations are compared.

Practical Significance of the Obtained Results. Statistical characteristics of wind regime are a part of the climatological information for the objects of economic activities in the territory of Libya. Moreover, clear understanding of the changes of the wind regime will improve further weather forecasts.

The Master thesis has 52 pages, consists of 3 sections, conclusions block, a list of references with 32 sources, 1 applications, contains 32 figures and 2 tables.

Keywords: wind direction, wind speed, NCEP/NCAR Reanalysis, circulating conditions, Libya

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Характеристика території дослідження	9
1.1 Фізико-географічна характеристика Лівії	9
1.2 Клімат Лівії	13
1.3 Місцеві вітри.....	19
2 Вітровий режим Лівії	22
2.1 Аналіз режиму вітру на території Лівії в період 2015-2019 рр	22
2.2 Розподіл швидкості вітру за градаціями.....	30
2.3 Просторово-часова мінливість вітру	31
3 Порівняльний аналіз вітрових характеристик за даними реаналізу НСЕР / NSAR і фактичним спостереженнями в Лівії.....	35
3.1 Статистичні характеристики вітрового режиму над досліджуваним регіоном.....	35
3.2 Кліматичні поля приземного вітру.....	41
Висновки	46
Перелік посилань.....	50
Додаток А.....	51

ВСТУП

В даний час спостерігаються істотні зміни клімату як на окремих територіях, так і в глобальному масштабі [18, 20, 25]. Такі флуктуації кліматичної системи супроводжуються різкою зміною макроциркуляційних процесів в атмосфері і зміною погодних умов. Ступінь вивченості цих процесів грає основну роль у вирішенні питання теорії клімату, в тому числі і регіонального.

Поля вітру біля поверхні землі формуються взаємодією общециркуляційних механізмів з місцевими фізико-географічними і кліматичними характеристиками даного регіону. Різноманітний ландшафт Лівії призводить до формування своєрідного регіонального режиму вітру. Вивченню вітрового режиму Лівії був присвячений ряд наукових робіт [16-20, 23], але варто повернутися до цього питання, з огляду на сучасні кліматичні зміни.

Актуальність проблеми визначається тим що вітер є важливим показником атмосфери, інформація про який важлива практично для всіх галузей економіки, особливо в епоху глобальної зміни клімату. В свою чергу, для успішного моделювання кліматичних змін вирішальне значення мають метеорологічні дані, які використовуються в якості атмосферного форсінга.

Метою магістерської роботи є визначення режиму формування приземного вітру на восьми метеорологічних станціях Лівії, розташованих в різних регіонах країни, порівняння цих даних з даними архіву NCEP / NCAR Reanalysis 1 за період з 2015 по 2019 рр. та побудова карт вітрового поля за цей період.

В якості вихідного матеріалу для розрахунку характеристик вітру використані дані метеорологічних спостережень, що містять відомості про кількість випадків різних напрямків і швидкостей вітру та числі штилів. До аналізу залучено восьмистрокові метеорологічні спостереження з архіву інтерактивної бази gr5. [27], дані архіву NCEP / NCAR Reanalysis 1 за період з 2015-2019 рр. [32] і дані Atmospheric Science Data Center [21] за 2005-2014 рр.

Об'єкт дослідження – швидкість та напрямок вітру над територією Лівії.

Предмет дослідження – характеристики режиму вітру над територією Лівії.

Методи дослідження – просторово-тимчасове узагальнення даних, синоптико-кліматичний аналіз, статистичний аналіз, математичне моделювання.

Дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків та переліку посилань.

У вступі формується мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про регіон дослідження та формування вітрового режиму на території Лівії.

Другий розділ присвячений характеристиці параметрів сучасного вітрового режиму Лівії у порівнянні з даними попереднього кліматичного періоду.

У третьому розділі проведено порівняння даних ре аналізу архіву NCEP / NCAR з фактичними спостереженнями за вітром на восьми станціях Лівії і побудовані модельні поля вітру для кожного місяця.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 32 літературних джерел.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к. геогр. н., доц. Агайар Е. В.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Фізико-географічна характеристика Лівії

Держава Лівія знаходиться на північному сході Африки. Розташована між 19° і 33° північної широти і 9° та 26° східної довготи. Омивається на півночі водами Середземного моря. Загальна площа країни $1.759.540 \text{ км}^2$. Загальна протяжність сухопутного кордону - 4.383 км. У тому числі з такими країнами як: Алжир - 982 км, Чад - 1.055 км, Єгипет - 1.150 км, Нігер - 354 км, Судан - 383 км, Туніс - 459 км. Берегова лінія країни - 1.770 км.



Рис. 1.1. Політична карта Лівії[29]

Лівія включає три історичні області - Тріполітанію, Киренаїку і Феццан. Адміністративно-територіальний поділ (с 2007 року) - 22 адміністративних

району (провінції, шаабі): Бенгазі (адм. центр - Бенгазі), Ваді-ель-Хаят (Аубарі), Ваді-ель-шати [Брак (Ель-Бірак)], Гат (Гат), Дерна (Дерна), Марзук (Марзук), Місрата (Місрата), Налут (Налут), Сабха (Сабха), Сурт [Сурт (Сирт)], Тріполі (Тріполі), Ез-Завія (Ез-Завія), Ель-Бутнан (Тобрук), Ель-Вахат (Аджабдія), Ель-Джебель-ель-Ахдар (Ель-Байда), Ель-Джебель-ель-Гарбі (Гарьян), Ель-Джіфара (Ель-Азізія), Ель-Джуфра (Хун), Ель-Куфра (Ель -Куфра), Ель-Маргаб (Хомс), Ель-Мардж (Ель-Мардж), Ен-Нугат-ель-Хумс (Зувара).

У Лівії панують безплідні і плоскі рівнини на північному сході з величезною Лівійською пустелею, західна частина покрита піднесеним плато з пустелями Ідехан-Мурзук на півдні і Аубарі на півночі. Найвища точка - Бікко Бітті (Bikku Bitti) 2.267 м, найнижча - 24 м нижче рівня моря. Населення Лівії в 2006 році було оцінено Генеральним управлінням документації та інформації (GDDI) на рівні 5 323 991 і в 2010 році оцінювався в 6 901 830 осіб з прогнозованим населенням за 2025 рік близько 10 мільйонів чоловік. Орна земля становить 1%, але при величезній території і такій кількості населення достатня для забезпечення країни продовольством. На узбережжі Середземного моря знімають кілька врожаїв на рік [2, 4].

Більш 9/10 території зайнято пустельними і напівпустельними просторами Сахари (на сході під назвою Лівійська пустеля). Плато і рівнини (200-600 м) чергуються улоговинами (до 131 м нижче рівня моря), невисокими (до 1200 м) гірськими масивами і хребтами з вимерлими вулканами (рис. 1.2). Вище піднімаються лише північні відроги нагір'я Тібесті на південному сході та крайньому півдні, де розташована найвища точка лівійської території - пік Бітті (2267 м). Серед мінерально-сировинних багатств виділяються доведені запаси нафти - 4130 млн т і природного газу - 1314 млрд м³ (на початок 2001, відповідно перші і треті за величиною в Африці). Інші ресурси розвідані слабо. Відомо про запаси залізної руди обсягом близько 5,7 млрд т, магнезійних (загальні запаси 7,5 млн т) і калійних (1,6 млн т) солей, наявність фосфатів, гіпсу та сировини для виробництва цементу, а також про інші мінерали [13, 22].

В геологічному відношенні територія Лівії являє собою частину північного схилу стародавньої Африканської платформи, складеної в В

геологічному відношенні територія Лівії являє собою частину північного схилу стародавньої Африканської платформи, складеної в основі докембрійськими кристалічними породами. Виступи цього кристалічного фундаменту оголюються на півдні, в центрі та на південному сході Лівії.

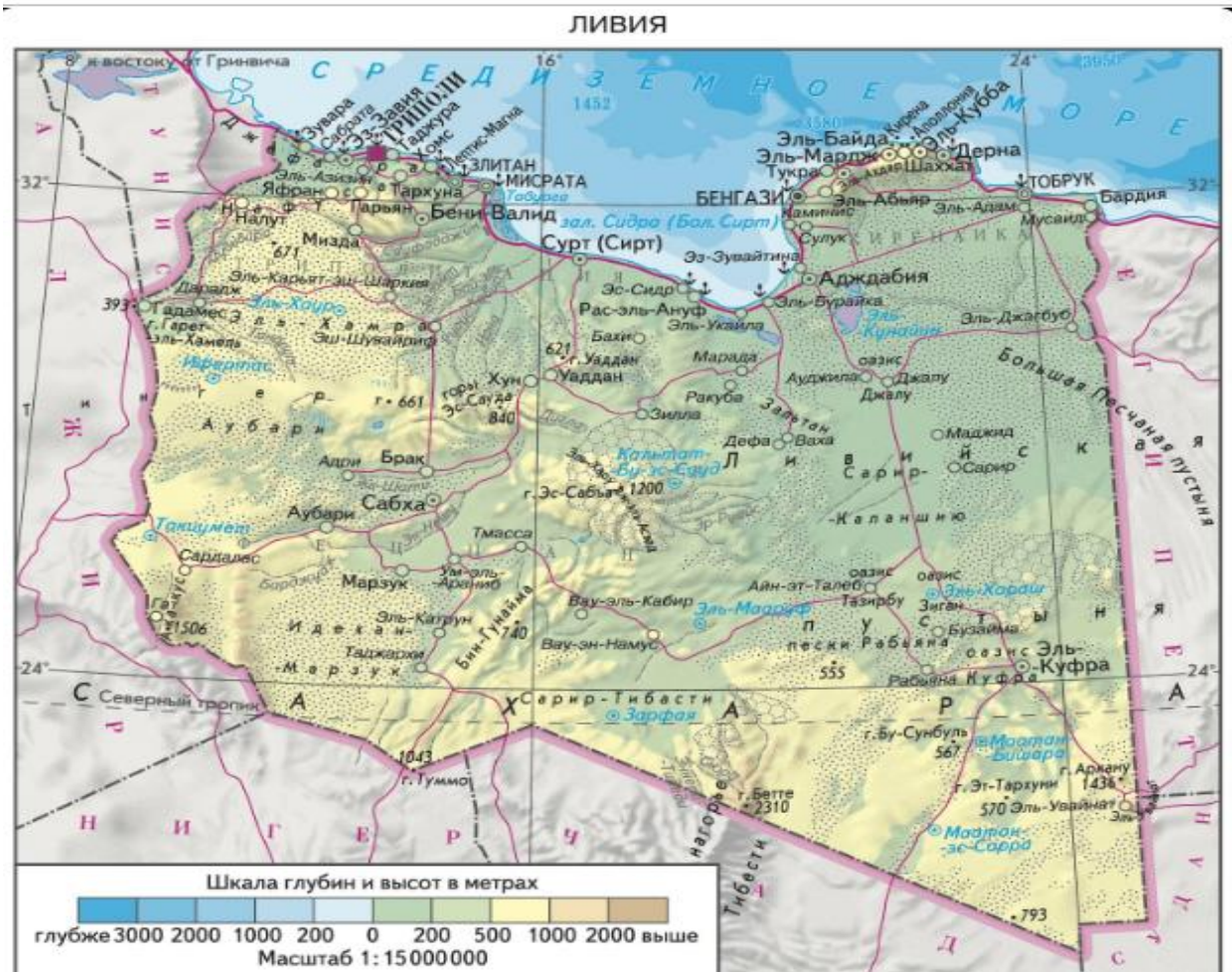


Рис. 1.2. Географічна карта Лівії[30]

Великі впадини стародавнього фундаменту (Ель-Хамра, Мурзук, оазис Куфра, Східно-Лівійська і ін.) заповнені осадовими морськими і континентальними відкладеннями, а з поверхні найчастіше прикриті скупченнями пісків. Центральна частина Лівії пересічена тектонічними розломами, в області яких вулканічні породи виходять на поверхню. Узбережжя Середземного моря також облямовано розломами, а до затоки Сидру з південного сходу примикає величезний розлом - грабен, заповнений вапняками і іншими морськими відкладеннями мезозойської-третинноговіку.

Велика частина території країни - плато і рівнини з висотами до 200-600 м, розділені на окремих ділянках обширними низинами. На північному заході, в Триполітанії, виділяється плато Ель-Хамра – складена крейдяними вапняками кам'яниста пустеля. Північний край плато закінчується уступом Нефуса (висота до 719 м), який круто обривається до прибережної рівнини - продовження туніської низовини Джефара. На півдні це плато різко піднімається над величезними улоговинами Феццан, заповненими гігантськими скупченнями пісків (едейени) - Убара, Мурзук.

Піщані гряди досягають тут в довжину десятків і сотень кілометрів, а в висоту 150-200 м. Ці два найбільших піщаних масиву Західної Лівії розділяє вузький і невисокий гірський хребет Амсак-Сеттафед. Західна Лівія відокремлена від східної частини країни окремими гірськими масивами і хребтами: гори Туммо біля кордону з Нігером (1043 м), плато Бен-Гунейма (740 м) і масив Ель-Харудж-ель-Асвад (1200 м) в центрі країни.

На півночі Кіренаїки гори Барка-ель-Байда (середні висоти 500-600 м) окреслені біля узбережжя плато Ель-Ахдар (до 878 м). Назва це означає "зелені гори" і виникло тому, що тут найбільш пишна в країні субтропічна рослинність. Природа гір сильно контрастує з навколишньої гори Барка-ель-Байда безводної пустелею.

Вся східна частина країни, крім гір Барка-ель-Байда, зайнята суворими пустелями Сахари, зазвичай об'єднуються під назвою Лівійська пустеля. На півночі її простягаються низинні галечниково-щебеністие, майже мертві простору серіри. На сході, біля кордонів з Єгиптом, і на півдні це майже суцільно піщані пустелі. На крайньому півдні, біля кордонів з Чадом, знову з'являються кам'янисті оголені простору серіри, а в відрогах вулканічного нагір'я Тібесті, призахідного в Лівію з Чаду, знаходиться найвища точка країни - древній вулкан Бетте (2267 м).

На південь від гір Барка-ель-Байда простягається тектонічна впадина, рівень якої місцями знижується до рівня моря, а поблизу кордону з Єгиптом, в оазисі Ель-Джагбуб, висотні позначки навіть на кілька метрів нижче рівня моря. У знижених місцях Лівійської пустелі, де можна добувати підземні води навіть самими примітивними засобами, здавна виникли найбільші - оазиси Ель-Джагбуб, Тазербо, Куфра і ін.

1.2. Клімат Лівії

На узбережжі Лівії клімат середземноморський субтропічний, на півдні - пустельний тропічний з різкими сезонними і добовими коливаннями температур і низькою вологістю повітря (рис. 1.3).

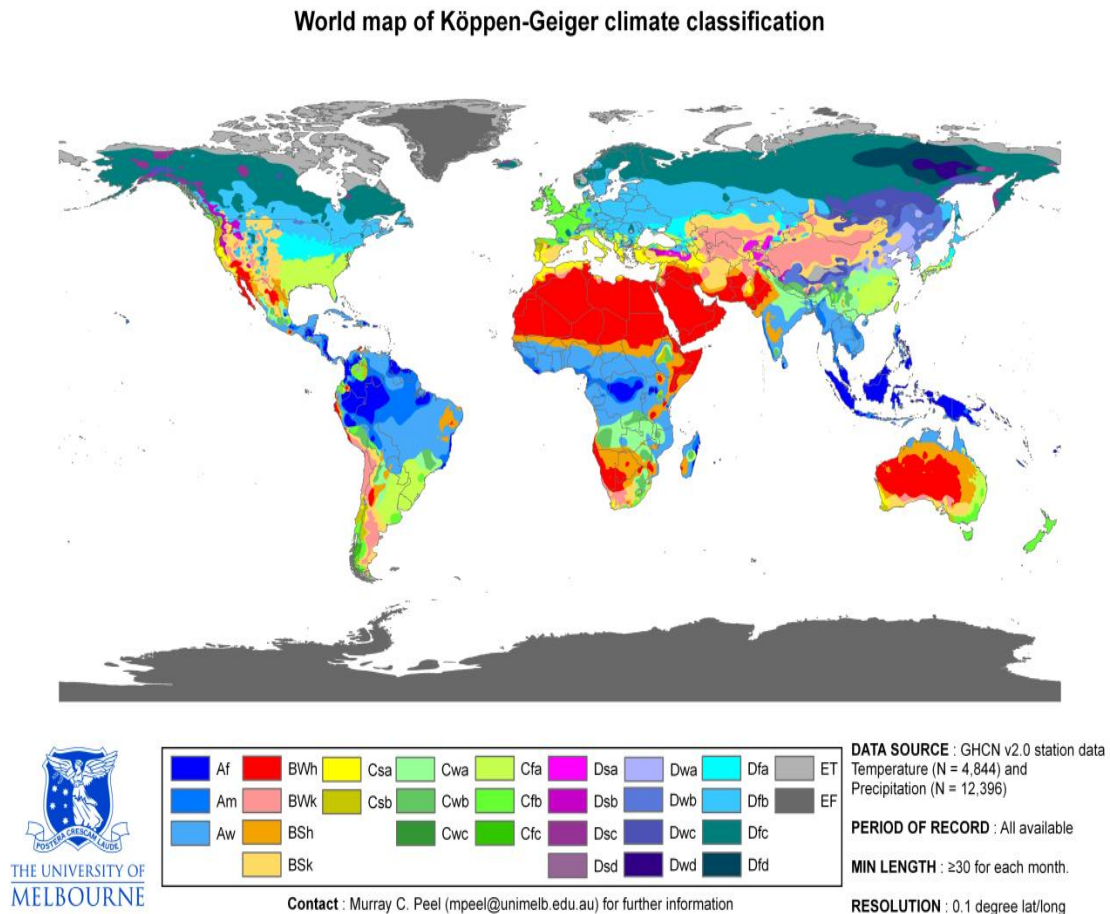


Рис. 1.3. Кліматична карта світу [31]

За даними реаналізу Національного дослідного центру атмосфери і океану США (NOAA Research) [26, 28] середні температури липня – на півночі 27-29 ° С і 32-35 ° С на півдні, січня – на півночі 11-12 °С, на півдні 15-18 °С (рис.1.4-1.5). Літні температури вдень вище 40-42 °С, іноді вище 50 °С.

У 1922 в 80 км на приморській рівнині Джеффара (Тріполітанія) в Ель-Азізії була зафіксована рекордно висока температура 57,8 °С. Цей температурний рекорд протримався 90 років. У 2012 р. комісія Всесвітньої

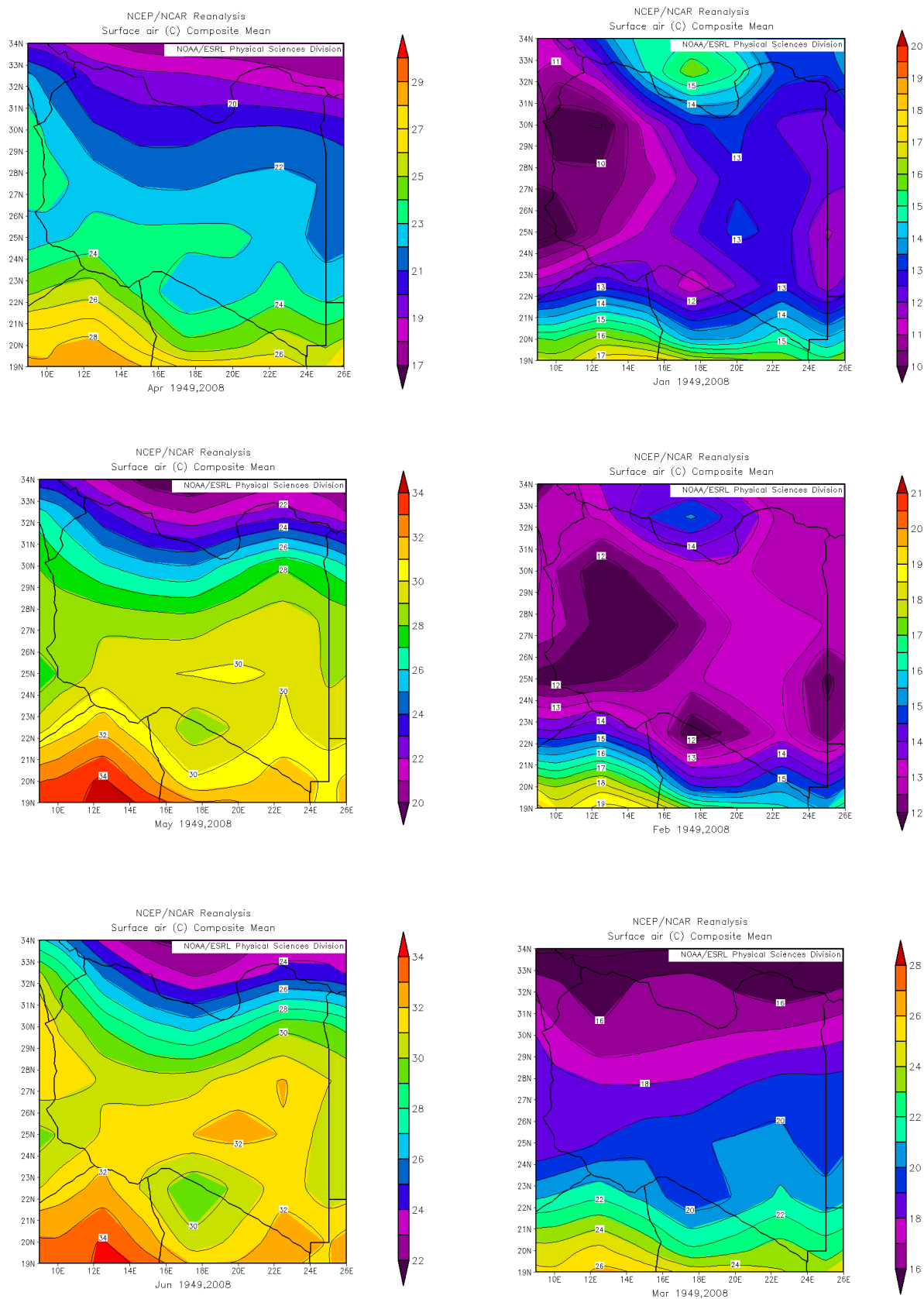


Рис. 1.4. Середньомісячна температура повітря в Лівії за період з 1949- 2008 рр. Січень-червень.

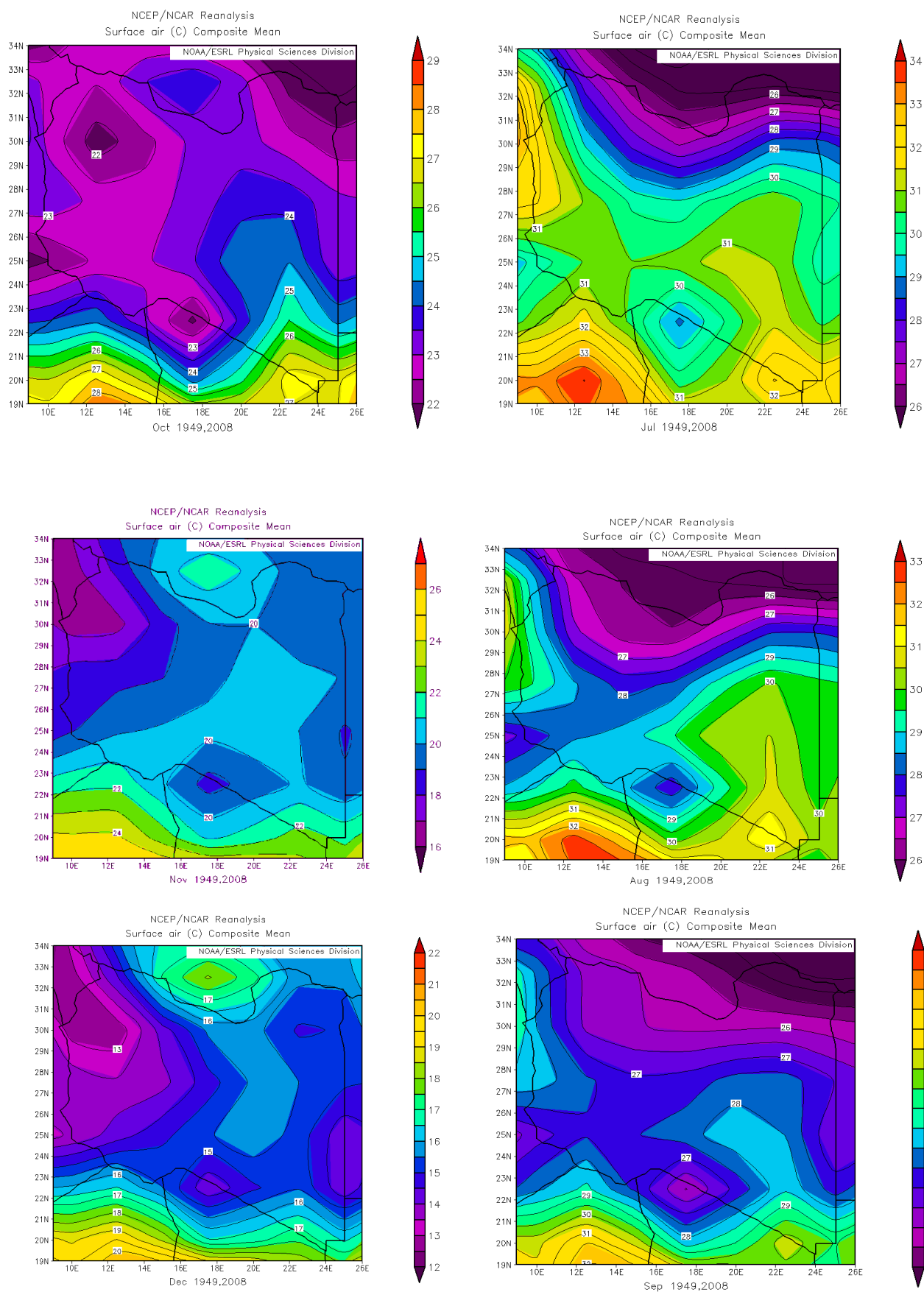


Рис. 1.5. Середньомісячна температура повітря в Лівії за період з 1949- 2008 рр. Липень-грудень.

метеорологічної організації, вважаючи цей результат завищеними, оголосила новий полюс спеки, зафіксований в липні 1913 року в Долині смерті в Каліфорнії. Він дорівнює 56,7 °С. У прибережних районах країни випадає найбільша кількість опадів. Середня річна кількість опадів в Бенгазі - 250 мм, в Тріполі - 360 мм. Дещо більше опадів випадає в прилеглих горах і на плато Барка-ель-Байда. На решті території знаходяться райони, де випадає менше 150 мм опадів на рік. На узбережжі дощі випадають в зимові місяці, а літо дуже сухе і спекотне, практично без опадів. У пустельних районах нерідко випадає всього 25 мм опадів у рік і часті жаркі сухі вітри з пиловими бурями - гинули і хамсин.

У літню пору кліматичний режим в Лівії визначається стійкою зоною високого тиску - відрогом Азорського максимуму, який зміщується з центру Сахари на північ і розташовується над акваторією Середземного моря. Температура повітря в цей період року досягає максимальних значень, понад 30 ° С. Кількість опадів мінімально (з травня по серпень випадає близько 2% річної норми).

В осінньо-зимово-весняний період центр антициклону розташовується над Сахарою і кліматичні умови в прибережній зоні визначаються циклонічної діяльністю висхідних повітряних мас помірних широт. Серії циклонів над Центральною Європою іноді зміщуються на південь, що викликає опади, кількість яких з жовтня по березень в середземноморської зоні Лівії становить 85-90% річної норми з чітко вираженим максимумом в зимові місяці. Внутріконтинентальна пустельна частина Лівії в цей період залишається під впливом антициклону і вітрів південних румбів.

Різкий контраст сезонних кліматичних показників температури і опадів посилюється орографічeskими бар'єрами: нагор'ями Джебель аль-Нефус і Джебель аль-Ахдар піднятими над рівнинною поверхнею на 700-800 м. Середньорічна кількість опадів в приморській зоні Триполітанії коливається від 205.6 мм в п. Аль-Азізія до 329 мм у м Тріполі на узбережжі Середземного моря. У нагор'ях Джебель аль-Нефус і Джебель аль-Ахдар випадає відповідно 338 і 593 мм. За даними NOAA Research[28] середньодобова кількість опадів (рис. 1.6, 1.7) має чітку тенденцію до зменшення кількості опадів в період з липня по грудень. У зимові місяці (грудень, січень, лютий) опади спостерігаються тільки на узбережжі. Їх

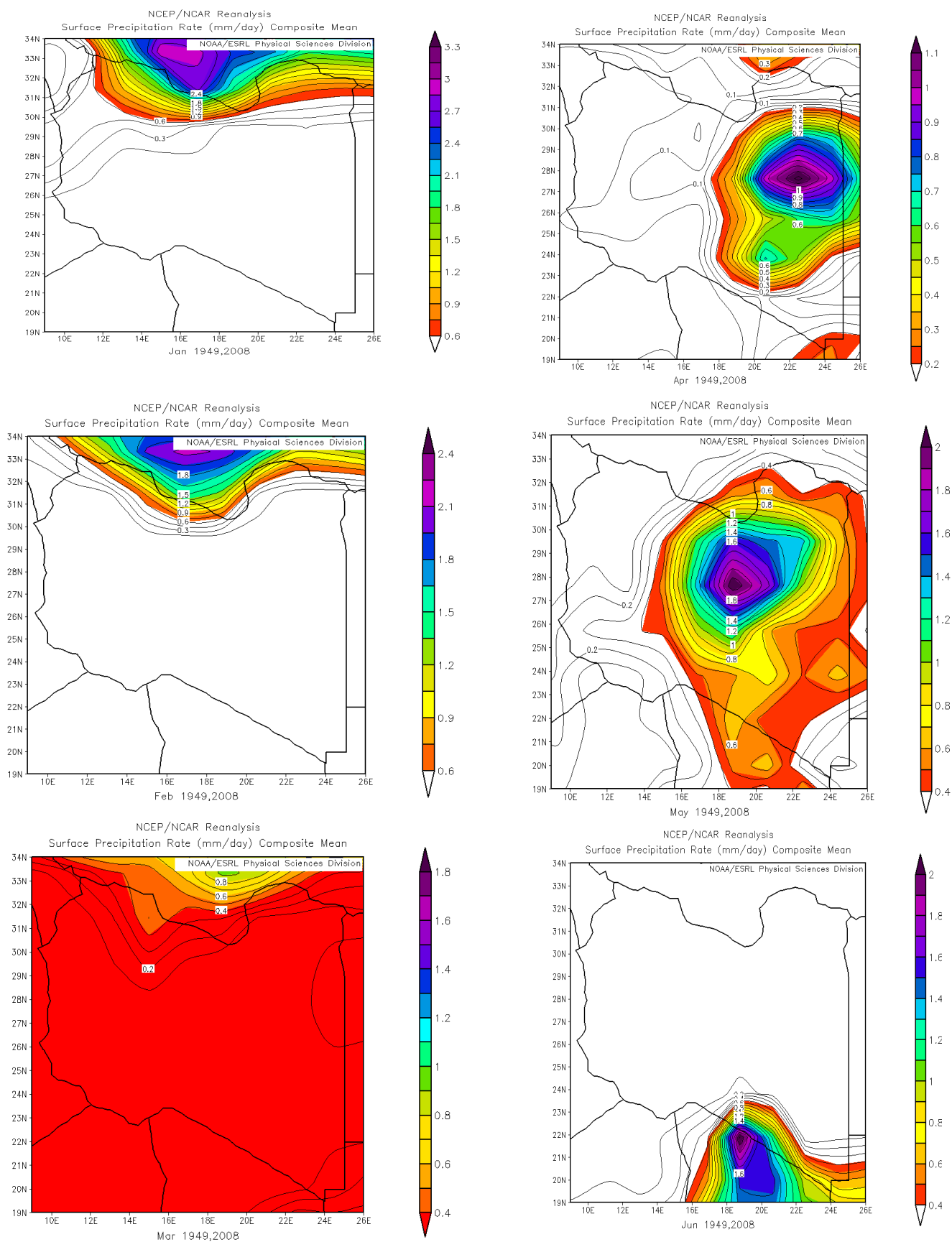


Рис. 1.6. Середньодобовакількість опадів в Лівії за період з 1949- 2008 рр.
Січень-червень.

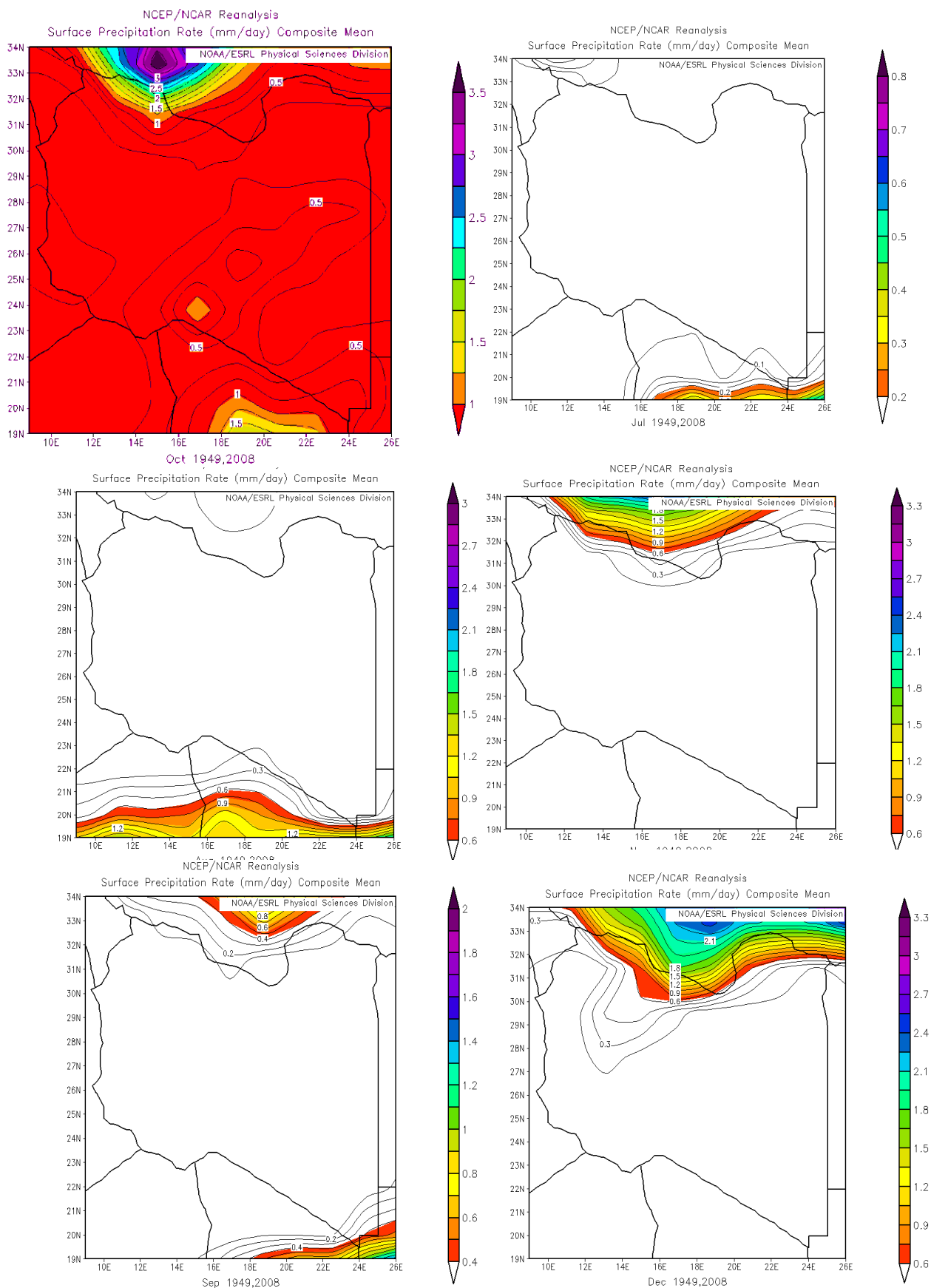


Рис. 1.7. Середньодобова кількість опадів в Лівії за період з 1949- 2008 рр.
Липень -грудень.

середньодобова кількість варіює від 0,5 до 3 мм. Найбільш дощовими місяцями є квітень і травень, коли опади спостерігаються і над континентальної територією країни. Але їх кількість не перевищує 2,5 мм/добу.

На південному макросхилі нагір'я Джебель аль-Нефус, зверненому до пустелі Сахара, кількість опадів різко зменшується. Уже через 50-60 км від лінії вододілу їх випадає не більше 100 мм / рік. У населеному пункті Мізда (Mizdah) випадає в середньому 64 мм. Ще південніше в зоні щебнисто-кам'янистого пустельного плато Хамада аль-Хамра за даними А. Fantoli [24] випадає менше 50 мм. По роках опади розподіляються також нерівномірно. В окремі роки їх випадає до двох середньогодових норм або, навпаки, в кілька разів менше.

За винятком окремих прибережних районів, гір і оазисів територія Лівії відрізняється крайньою сухістю клімату і непридатна для ведення сільського господарства.

1.3 Місцеві вітри

Сухі вітри, звані «гіблі», «шергі», «самум», «хамсін», «сірококко» і ін., походження яких пов'язують з фєном, добре відомі в північно-африканських країнах [5,13,14]. Разом з тим, саме в Лівії вони найбільш гарячі, що несуть з високою швидкістю масу піщаного матеріалу з Сахари, який переноситься циклонами в Західну і Східну Європу за багато сотень і тисячі кілометрів.

Напрямок вітру в Лівії найбільшу частину року має південні румби. У Тріполі дуже слабкі вітри спостерігаються тільки 6.8% днів у році, а більше половини року (50.4%) дмуть вітри зі швидкістю від 3 до 14 м / с (Soil studies, 1980). По периферії лівійських гамад (кам'янистих пустель) в Алжирі виділяється Великий Східний Ерг, а на сході країни піщана Лівійська пустеля, складена грядовими пісками субмеридионального простягання (Beadnell, 1910). Між цими потужними піщаними акумуляціями в центральній частині Лівії розташований широкий коридор щебнисто-кам'янистих гамад, які ступенями опускаються до прибережних рівнин. Формування лівійського

коридору гамад безумовно пов'язано з діяльністю спрямованих і постійних вітрів південних румбів, а також «гіблі». Останні дмуть всього кілька днів в році і найбільш часто в травні. Повне відчуття «дихання Сахари» в цей час істотно змінює весь вигляд ландшафтів: справжнє сонячне затемнення в зв'язку з запиленістю атмосфери. Зі швидкістю сильного вітру «гіблі» несуть крупнопилевату фракцію і дрібний пісок на великі відстані, тим самим формуючи на своєму шляху позбавлені рослинності щебністо - кам'янисті гамади.

Генезис «гіблі» зазвичай пов'язують з фєновим ефектом, котрий і обумовлює полюс спеки в п. Аль-Азізія (Fantoli, 1952; Nuttonson, 1961; Segaier, 1977 і ін.). Фєновий характер «гіблі» відображає лише сам факт процесу формування гарячих короточасних вітрів. Він не розкриває причини виникнення фєна в Лівії, його повторюваність, напрямок, швидкість і тривалість, пов'язані з варіабельністю атмосферних процесів над пустелею Сахара і акваторією Середземного моря.

Виникнення «гіблі» пов'язують з такими факторами, як:

1. Загальна циркуляція атмосфери. Над североафриканским континентом протягом усього року переважає антициклональний режим. Утворення «гіблі» приурочено тільки до осінньо-весняного сезону, з пануванням вітрів з Сахари. «Гіблі» ніколи не буває влітку, оскільки в цей період відбувається зміна вітрів на північні румби, в зв'язку зі зміщенням антициклону до акваторії моря, а також вкрай рідко (1 раз в 7-10 років) в зимові місяці. «Гіблі» - є найбільш типовим при зміні літньої спеки на відносно прохолодний період і, навпаки, прохолодного на спекотний літній.

2. Формування глибокого циклону. «Гіблі» формується тільки тоді, коли глибокий циклон з тиском в центрі менше 980 гПа. проходить транзитом на схід- північний схід над Середземним морем поблизу узбережжя Лівії, іноді зміщуючись в затоку Сидру. Чим ближче центр глибокого циклону до узбережжя Лівії, тим більше ймовірно виникнення «гіблі» і його інтенсивність.

3. Формування баричного градієнта. У період проходження глибокого циклону над Середземним морем між ним і антициклоном в центрі Сахари виникає максимальний відноснорічного режиму баричний та термічний градієнти. При проходженні передньої частини циклону вітер спочатку

посилюється до максимального, потім в тилової периферії циклону він слабшає, змінюючи напрямок напротилежне. Швидкість проходження циклону над акваторією моря визначає тривалість «гіблі».

4. Особливості орографії Лівії. До них відносяться нагір'я Ахаггар і Тібесті і специфічний рельєф гамад. В антициклоні холодний і сухе повітря, стікаючи по схилах нагорій і ескарпів(крутий уступ або обрив, який розділяє ділянки з пологим нахилом земної поверхні) гамад, адиабатически нагрівається і, розганяючись, перетворюється в гарячий вітер - фєн.

Фєн максимально посилюється в районі останнього ескарпу висотою в сотні метрів, що відокремлює нагір'я Джебель аль-Нефус від приморської рівнини Джеффара. В результаті на рівнину «гіблі» приходить як гарячий, сильний вітер, що несе хмари піску і пилу та висушує все. Поєднання цих факторів визначає час і періодичність виникнення «гіблі», яке зазвичай не перевищують 2-3-х на рік. Швидкість вітру прямо пропорційна глибині циклону, а тривалість «гіблі» безпосередньо пов'язана як з потужністю, так і з часом проходження циклону над акваторією моря. Якщо циклон стаціоналізується над морем в районі затоки Сидр, то тривалість збільшується до 3-4 днів.

2 ВІТРОВИЙ РЕЖИМ ЛІВІЇ

2.1 Аналіз режиму швидкості вітру на території Лівії в період з 2015-2019 рр.

Вітер являється однією з основних та мінливих характеристик стану атмосфери, яка значно впливає на роботу гідрометеорологічної служби. З дією вітру пов'язано багато природних процесів та атмосферних явищ. Він є важливим джерелом енергетичних ресурсів території. З посиленням вітру пов'язані шквал, смерч, пилова та піщані бурі.

Відомо [1,5,9], що поля вітру біля поверхні землі формуються взаємодією общеціркуляційних механізмів з місцевими фізико-географічними і кліматичними характеристиками даного регіону. Різноманітний ландшафт Лівії призводить до формування своєрідного регіонального режиму вітру. Вивченню вітрового режиму Лівії був присвячений ряд наукових робіт [16-20, 23], але варто повернутися до цього питання, з огляду на сучасні кліматичні зміни.

На Лівію впливають атмосферні депресії в зимовий час та північно-східні вітри влітку. Лівія також зазнає вітрів "гіблі", сухого і гарячого вітру, який дме з півдня кілька разів на рік, особливо від пізньої весни протягом літнього сезону [4]. У межах території розташовано 22 синоптичні станції (наземні станції), а найстарішій станції - близько 50 років. Час спостереження на цих синоптичних станціях дотримується міжнародних рекомендацій основних стандартних часів [22]. Ці синоптичні станції використовують чашковий анемометр для вимірювання швидкості вітру. У Лівії вимірювання базується на 10-секундних поривах швидкості вітру.

Аналіз приземного режиму вітру проведено навосьми метеорологічних станціях Лівії, розташованих в різних регіонах країни, за період з 2015-2019 рр. (рис. 2.1, табл. 2.1).

В якості вихідного матеріалу для розрахунку характеристик вітру використані дані метеорологічних спостережень, що містять відомості про кількість випадків різних напрямків і швидкостей вітру та числі штилів. До аналізу залучено восьмирічні спостереження з архіву інтерактивної бази

рп5. [27] за період з 2015-2019 рр. і Atmospheric Science Data Center [21] за 2005-2014 рр.



Рис. 2.1. Схема розміщення пунктів дослідження на території Лівії

Таблиця 2.1 - Географічні та кліматичні характеристики метеостанцій Лівії[19]

№	Назва	Широта	довгота	висота	Рср,	Т ср	Vср
		⁰ N	⁰ E	м	гПа	⁰ C	м/с
1	Дерна	32,77	22,64	238	991	20,1	4,8
2	Зуара	32,88	12,08	3	1003	21,1	4,4
3	Ефрене	32,05	12,33	691	969	21,8	4,2
4	Місурата	32,42	15,05	32	1009	21,8	4,9
5	Годамес	30,15	9,50	360	973	22,8	3,9
6	Ель-Джагбубе	29,45	24,32	-2	1011	20,5	3,7
7	Ель-Куфра	24,20	23,29	413	969	23,5	3,9
8	Гат	24,97	10,17	978	900	23,0	4,0

Повторюваність різних напрямків вітру розрахована для кожного з восьми румбів за весь період років і виражена у відсотках до загальної кількості випадків вітру і штилів[10, 12, 15]. На деяких станціях знайдено прогалини без записів певний період, і це вирішувалося шляхом усереднення записи відповідних місяців. Не було відновлення незвичайних подій швидкості вітру.

Важливою характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру, яка визначається баричним градієнтом та умовами циркуляції атмосфери.

Аналіз режиму вітру на восьми станціях Лівії за період з 2015-2019 рр. показав, що найбільші середньомісячні швидкості вітру спостерігалися на прибережній станції Дерна, розташованій на північному сході країни. Амплітуда значень швидкості вітру варіювала від 5 до 8 м/с незалежно від сезону року (рис. 2.2). Найменші середньомісячні швидкості вітру спостерігалися на метеорологічній станції Гат, розташованій на південному-заході країни. Середня швидкість вітру змінювалася в межах 1,8 м/с, від 2,1 до 3,9 м/с. На інших станціях середньомісячна швидкість вітру коливалася в діапазоні 3-5 м/с протягом всього року. При цьому вираженого річного ходу зі збільшенням швидкості вітру в холодний період і зменшенням в теплий не спостерігалося.

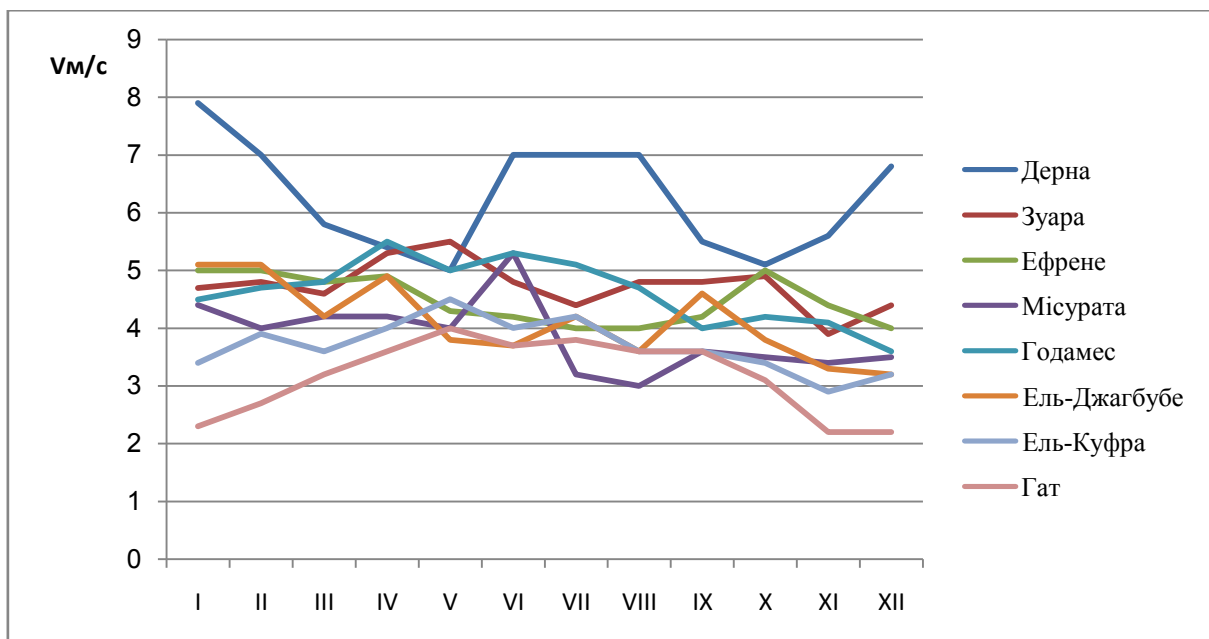


Рис. 2.2. Середньомісячна швидкість ($V_{\text{мес}}$, м/с) вітру на 8 станціях за період 2015-2019 рр.

Якщо розглянути розподіл середньорічної швидкості на досліджуваних восьми пунктах на території Лівії, в порівнянні з періодом 2005-2014 рр., можна відзначити, що на п'яти станціях (Дерна, Зуара, Ефрене, Гадамес і Ель-Джагбуб) спостерігається збільшення середньої швидкості вітру протягом останніх п'яти років. Найбільше зростання швидкості відзначається в Дарне на 1,6 м/с, на інших станція цей показник варіює від 0,1 до 0,5 м/с (рис. 2.3).

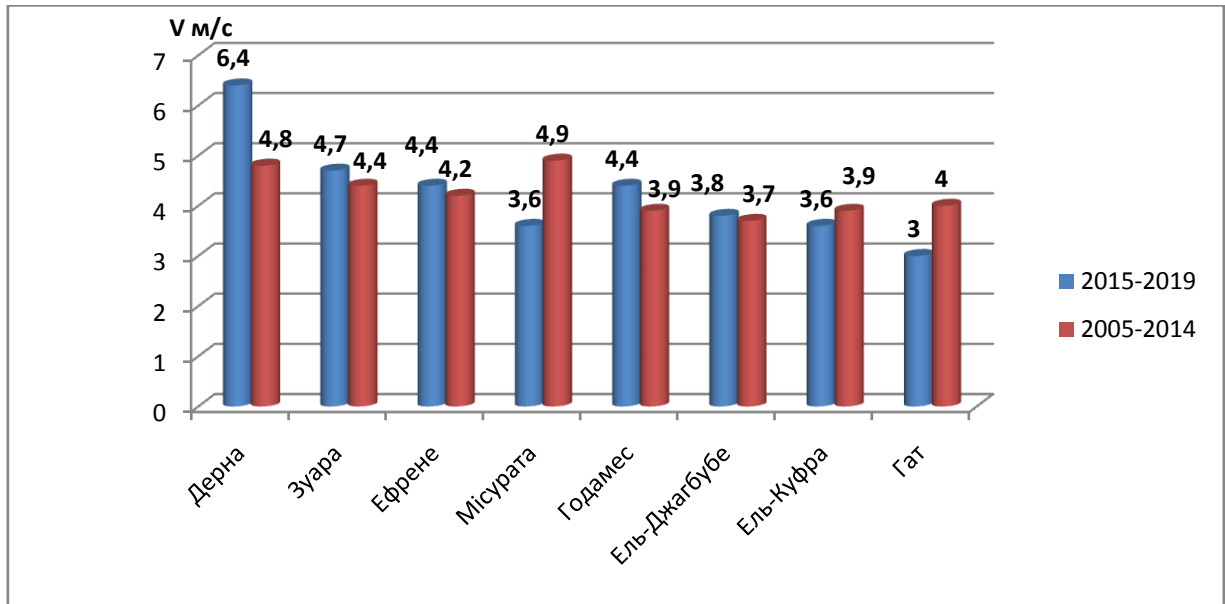


Рис. 2.3. Середньорічна швидкість ($V_{\text{мес}}$, м/с) вітру на 8 станціях за період 2005-2014 та 2015-2018 рр.

На станціях Місурата, Ель -Куфра і Гат спостерігається зворотний тренд, а саме, зниження середньорічної швидкості приземного вітру за останню п'ятирічку на 1,3 м/с в Мисурате, 1 м/с на метеостанції Гат і 0,3 м/с на ст. Ель-Куфра.

Оцінка максимальної швидкості вітру на розглянутих метеорологічних станція показала, що найбільші максимальні швидкості вітру спостерігалися в районах Тріполітанія (північно-західне узбережжя) і Кіренаїка (північно-східне узбережжя).

Так, на ст. Дарна, значення швидкості максимального вітру досягло 25 м/с в березні 2016 г. На ст. Місурата, в 2015 році, в вересні місяці зафіксована швидкість 21 м/с, ст. Зуара - 25 м/с в лютому 2019 р.(рис. 2.4.-2.6). На інших метеостанціях ці показники склали: ст. Гадамес і Ефрен - максимальна швидкість приземного вітру - 20 м/с в червні 2019 р (Гадамес),

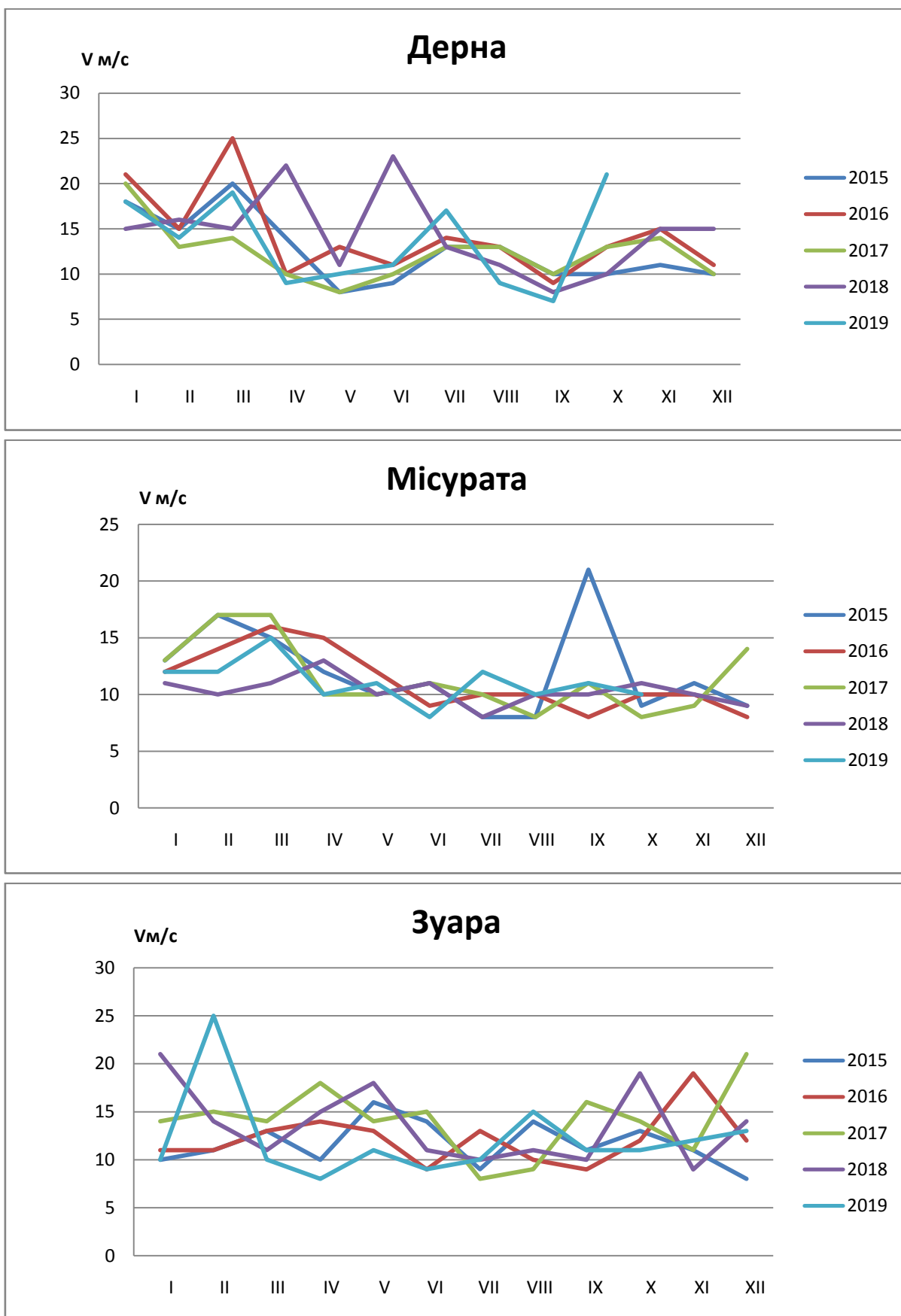


Рис. 2.4. Максимальна швидкість ($V_{\text{мес}}$, м/с) вітру на станціях Лівії за період 2015-2019 рр.

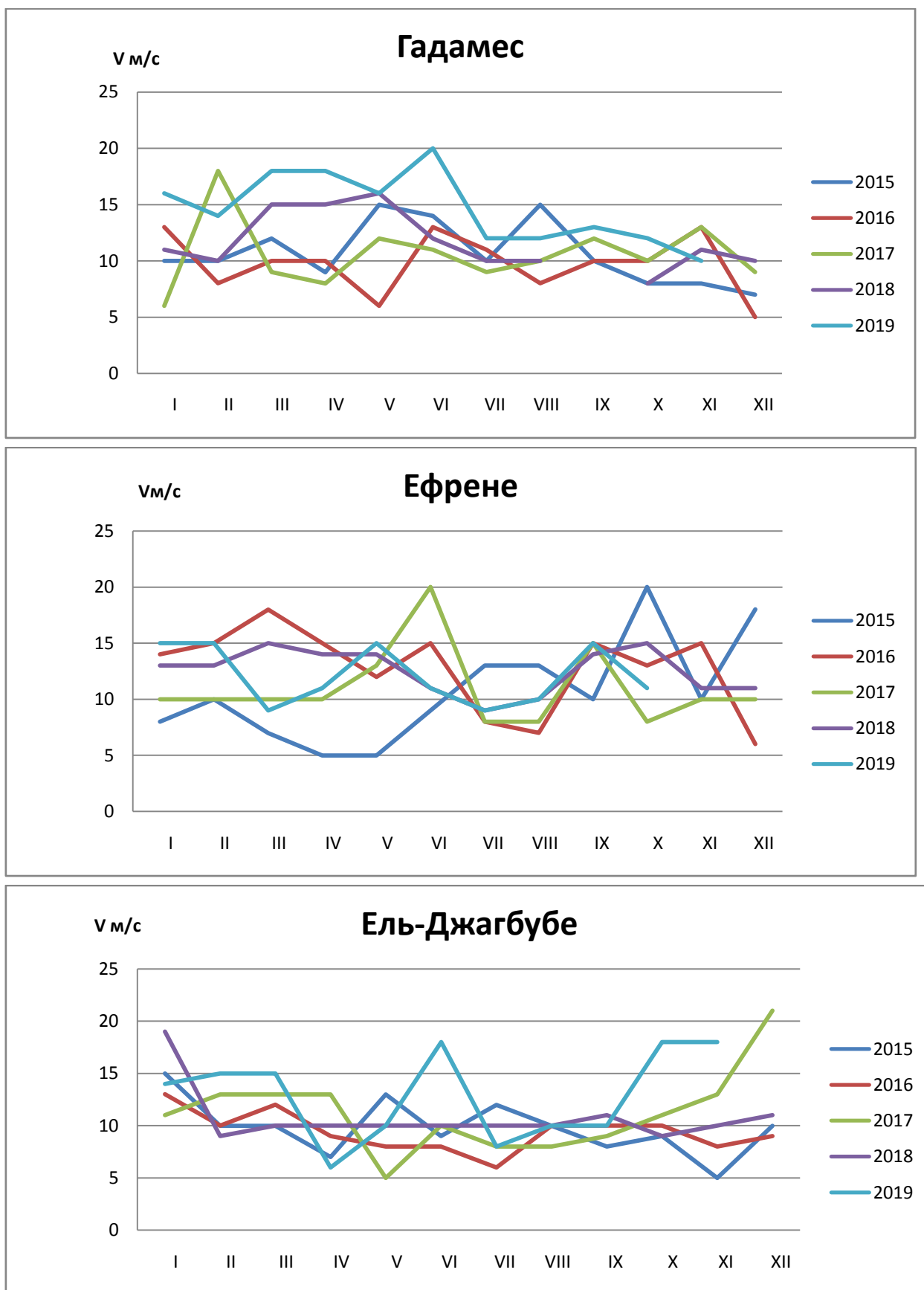


Рис. 2.5. Максимальна швидкість ($V_{\text{мес}}$, м/с) вітру на станціях Лівії за період 2015-2019 рр.

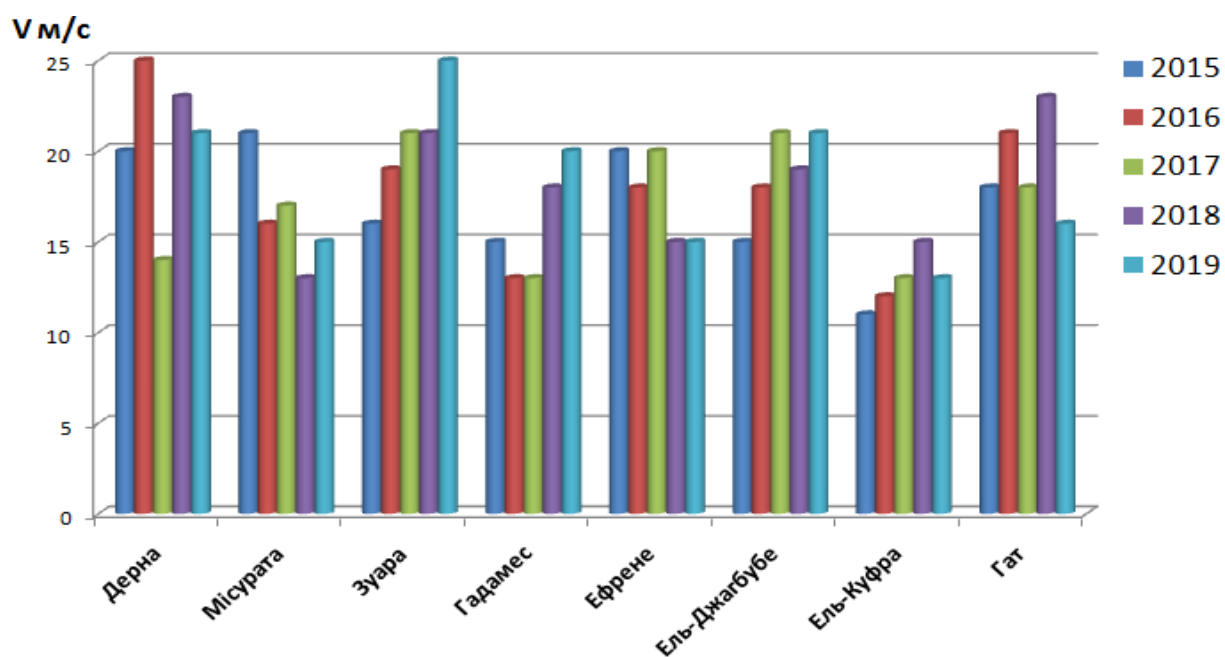
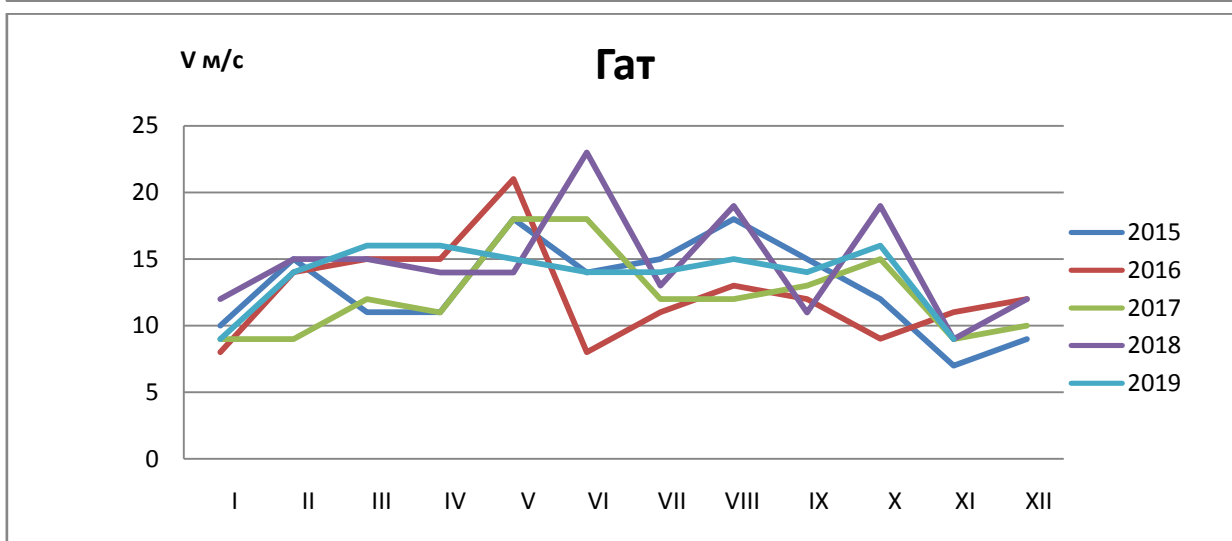
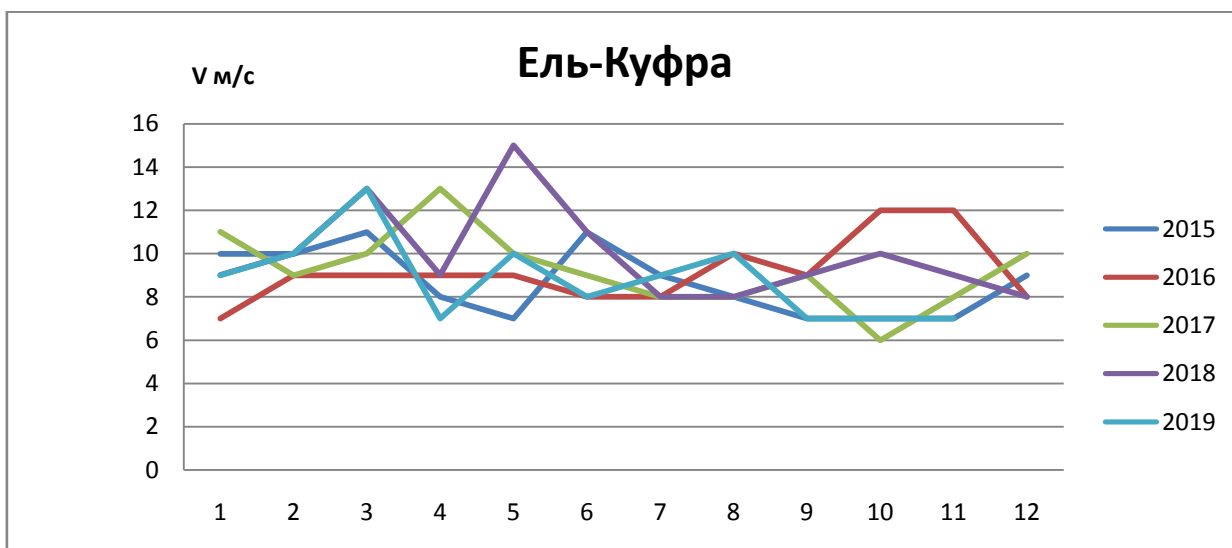


Рис. 2.6. Максимальна швидкість ($V_{\text{мес}}$, м/с) вітру на станціях Лівії за період 2015-2019 рр.

в червні 2017 та жовтні 2015 року (Ефрен). На ст. Гат влітку в червні 2018 р. зафіксовано 23 м/с, в районі Ель-Куфра максимальна швидкість вітру не перевищувала 15 м/с (травень 2018 г.).

На станції Ель-Джагбуб максимальний вітер спостерігався в грудні 2017 р. та в 2019 р. -21 м/с і в січні 2018 р.-19 м/с. Це місто розташоване в тектонічній впадині, рівень якої місцями знижується до рівня моря, а поблизу кордону з Єгиптом, в оазисі Ель-Джагбуб, висотні позначки навіть на кілька метрів нижче рівня моря. І хоча середній фон швидкості вітру на цій станції не перевищує 3,8 м/с, тобто спостерігаються слабкі вітри, проте можна спостерігати і таке екстремальне посилення вітру, можливо пов'язане з впливом регіональної циркуляції.

Вивчаючи швидкість вітру та його тривалість, передбачено, що Лівію можна класифікувати на чотири зони швидкості вітру у порядку зростання за щорічною максимальною швидкістю вітру. Тому найчастіша швидкість вітру в будь-якому місці країни повинна належати до однієї з чотирьох установлених зон [16]. Зони позначаються цифрами від 1 до 4 відповідно до порядку зростання основних швидкостей вітру зони.

За даними середньорічного розподілу швидкості приземного вітру на восьми станціях Лівії, за період з 2015 по 2019 рр. побудована карта розподілу вітру на даній території (рис.2.7).

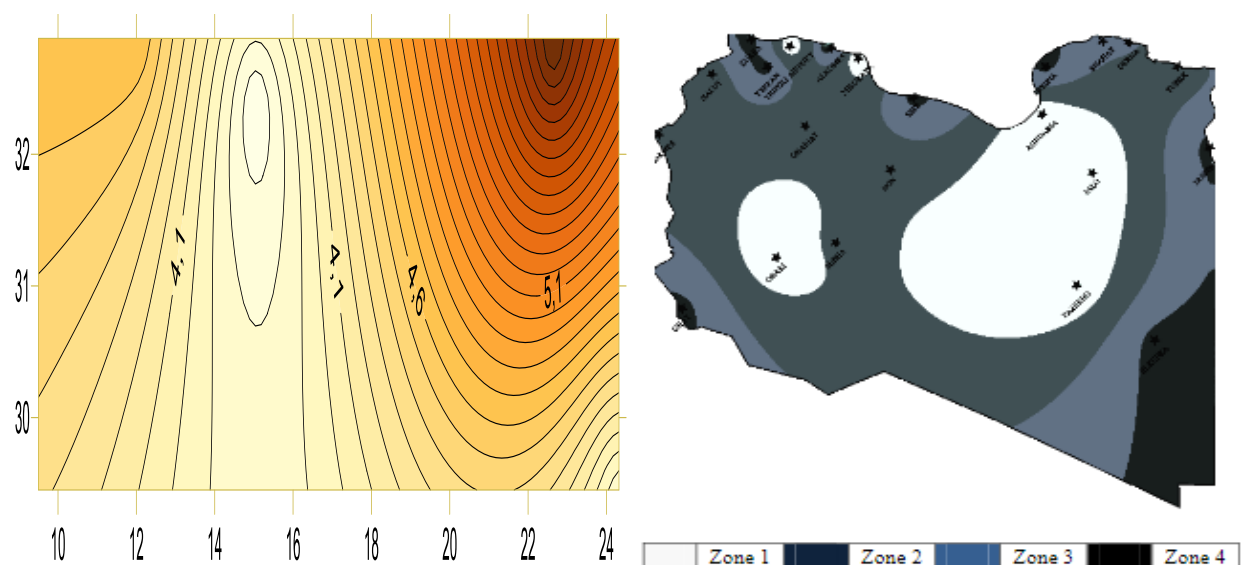


Рис. 2.7. Середньорічна розподіл значень швидкості вітру на території Лівії та вітрова карта Лівії[16].

Отримані дані добре корелюються з попередніми дослідженнями [16,19] і свідчать про те, що найбільші швидкості приземного вітру відзначаються в північно-східних і східних частинах Лівії, а також на північно-західному узбережжі в районі Тріполітанія.

2.2 Розподіл швидкості вітру за градаціями

Якщо розглянути розподіл швидкості вітру за градаціями протягом 2015-2019 рр. на всіх станціях, очевидно переважання градації 2-4 та 5-7 м/с, воно становить від 21 до 60% (рис. 2.8). Вітер зі швидкістю 1 м/с спостерігався не на всіх метеостанціях: його кількість змінювалося з 21,8% на ст. Дарна до 0,1% на ст. Гадамес. В Ель-Джагбубі не було відзначено випадків з такою швидкістю вітру.

Кількість випадків зі слабким вітром (до 4 м/с включно) досить вагоме на всіх станціях. Найбільших значень цей показник досягав на метеостанції Місурата 51,8 % - і Ель-Куфра - 63,3%, найменших на станції Ель-Джагбубе – 22,7 %.

Градація 5-7 м/с фіксувалася на всіх станціях, її кількість варьировала від 21,1 % в Ель-Куфрі до 38,7% на ст. Гадамес. Досить часто помірні швидкості вітру відзначалися на станціях Зуара - 36,8%, Ефрене- 33,2%, Ель-Джагбубі -32,3%.

Зі збільшенням швидкості вітру внесок кожної градації зменшується. Так швидкість вітру 8-10 м/с частіше спостерігалася на станціях, розташованих на північному заході території, а саме Зуара, Місурата і Дарна – 12,3, 5,7 та 5,3 %, відповідно. Варто відзначити також достатній внесок повторюваності цієї градації в Ель-Джагбубі – 11,0 %.

Сильний вітер (більше 15м/с) в зазначений період зафіксовано на всіх 8 станціях, його кількість змінюється від 1 до 5 %. Найчастіше вітер зі швидкістю більше 15 м/с спостерігається в районі станції Ефрен – 5% і Ель-Джагбуб - 3,6%. Найбільша кількість штилів відзначено на ст. Ель-Джагбуб - 31,2% (рис. 2.9), при тому, що і градація швидкості 5-7м/с також складає досить вагому частину від загального числа спостережень за швидкістю

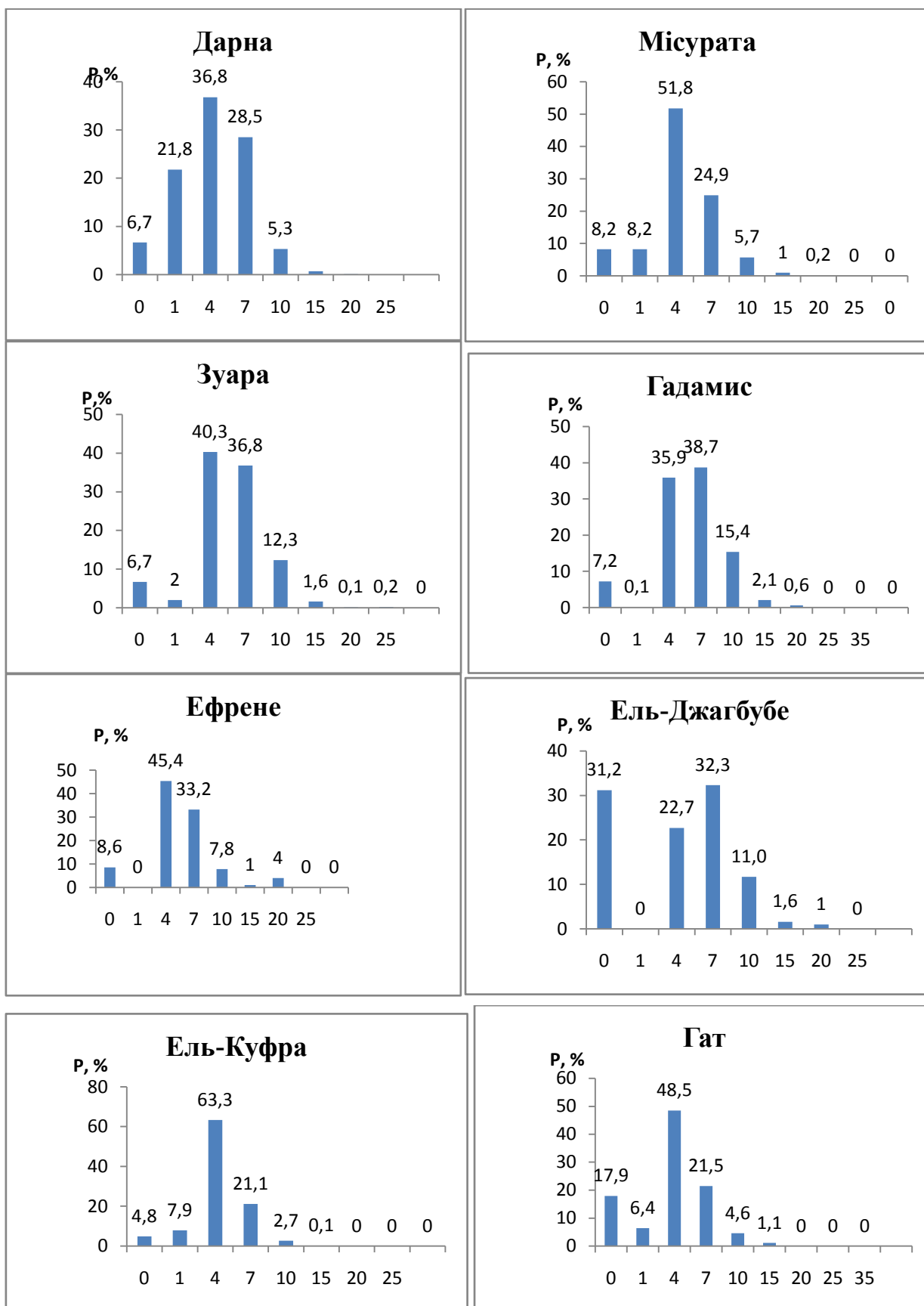


Рис. 2.8. Розподіл швидкості вітру за градаціями на станціях Лівії

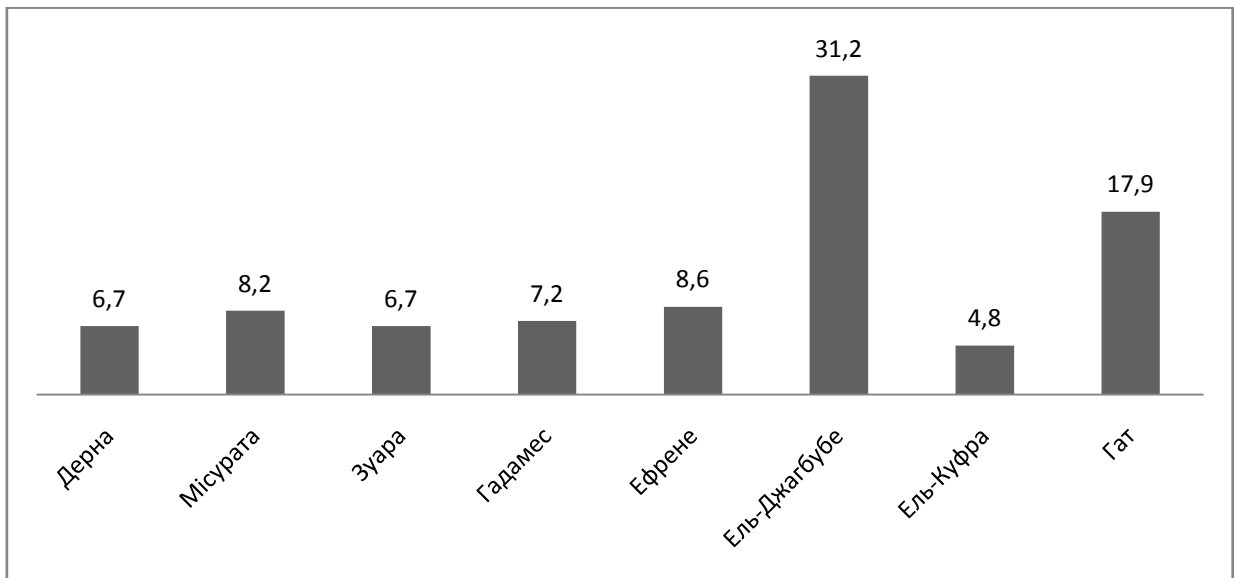


Рис. 2.9. Повторюваність штилів на станціях Лівії

вітру. Найімовірніше цей факт пов'язаний з регіональними умовами формування поля вітру на даній території, однак варто більш детально вивчити цю особливість, з урахуванням усіляких впливів на еволюцію вітрового режиму в цьому районі. На інших станціях спостерігався досить однорідний ряд повторюваності штилів їх кількість змінювалося від 6,7% в Дарне до 9% на ст. Гат.

Таким чином, розподіл швидкості вітру по градаціях на 8 станціях Лівії за період з 2015 по 2019 рр. демонструє переважання градації 4-7 м \ с. Максимальна кількість штилів - 31,2 % спостерігалась на метеостанції Ель-Джагбуб. Повторюваність сильного вітру (> 15 м\с) варіює від 0,6 до 1,6%.

2.3 Просторово-часова мінливість напрямку вітру

Просторовий розподіл переважаючого напрямку вітру залежить від поєднання циркуляційних і фізико-географічних умов регіону. Вітровий режим Лівії зумовлюється макроциркуляційними процесами в атмосфері та положенням баричних центрів над континентом Африка та Атлантикою.

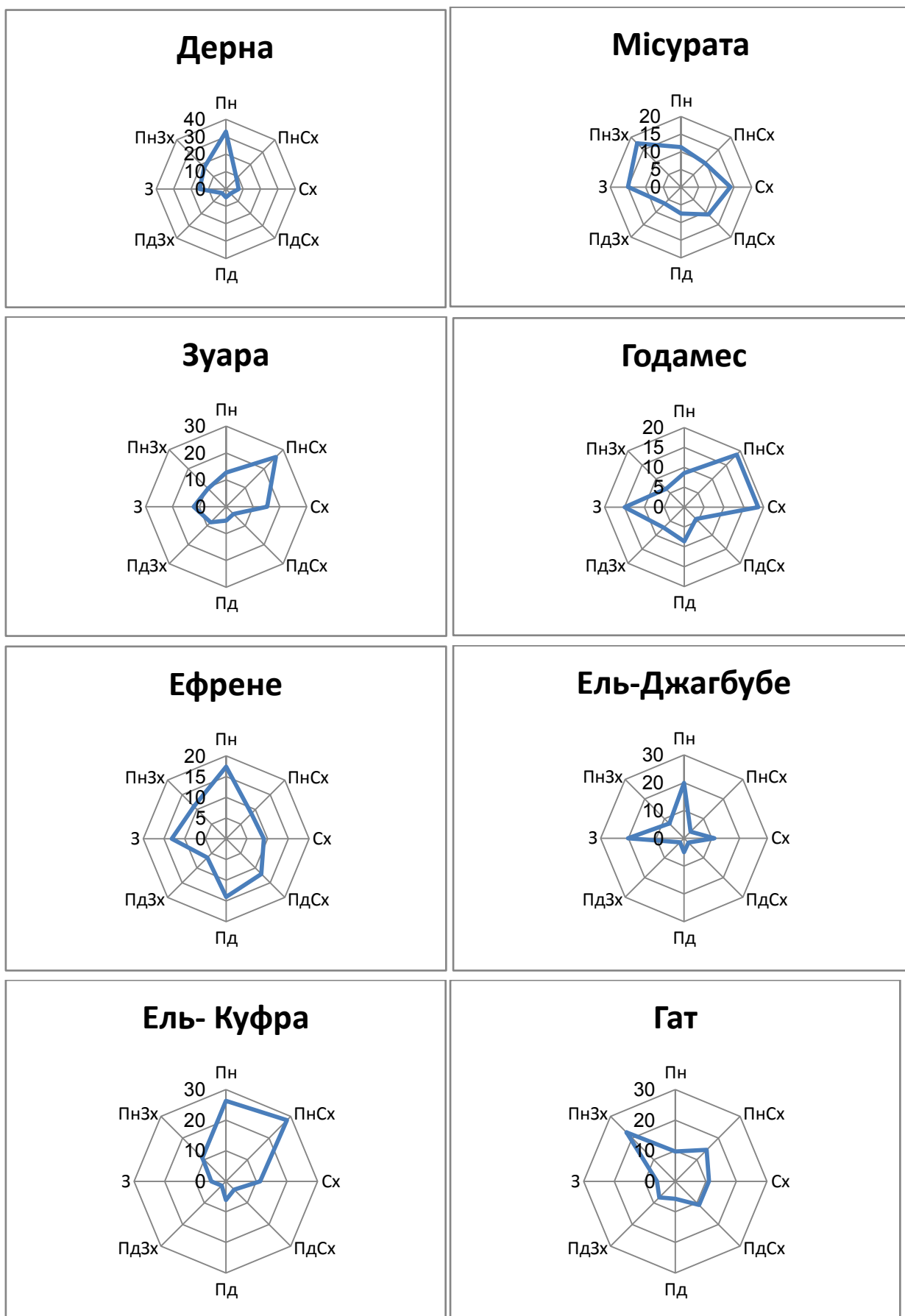


Рис. 2.10. Розподіл напрямків вітру на станціях. 2015-2018 рр.

Для наочного розгляду річного ходу повторюваності вітру різних напрямків проведено рознесення швидкості вітру по румбах та побудовані річні рози вітру для восьми метеостанції Лівії (рис. 2.10).

Аналіз отриманих роз вітрів показує очевидну перевагу північних і північно-східних вітрів на станціях Дерна, Гадамес, Зуара, Ефрене та Ель-Куфра. Великий відсоток вкладу північно-західного румба відзначений на метеостанції Місурата і Гат. Однак на станції Місурата спостерігається до 11% протилежного південно - східного напрямку, що є наслідком впливу бризової циркуляції що виникає на узбережжі. На станції Ель-Джагбубе панують вітри західного і північного напрямків, в рівних частках - близько 20%.

З наведеного аналізу випливає, що для восьми станцій Лівії, розташованих в різних географічних районах характерні деякі спільні риси розподілу повторюваності вітру за швидкостями і напрямками, але фізико-географічний фактор і місцеві вітри надають особливо значний вплив на формування вітрового режиму країни. Також варто відзначити високу повторюваність слабого (22-63%) та помірного (21-39%) вітру на всіх розглянутих метеорологічних станціях.

З ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДАНИМИ РЕАНАЛІЗУ NCER / NCAR І ФАКТИЧНИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ В ЛІВІЇ

3.1 Статистичні характеристики вітрового режиму над досліджуваним регіоном

Успішність реалізації різних погодних моделей залежить від репрезентативності вихідних даних. Дослідження достовірності різних наборів даних є досить актуальним питанням [3,7,8,11]. Метою даного розділу роботи є порівняння даних одного з найбільш популярного архіву NCER / NCAR за такими параметрами, як середньомісячна швидкість та напрямок вітру на території Лівії, з даними спостережень, отриманими з сайту метеорологічного сервісу gr.5 [27] за період з 2015 по 2019 рр. Для аналізу з архіву NCER / NCAR Reanalysis 1 [26, 32] були обрані щоденні значення зональної і меридіональної компонент швидкості вітру на висоті 10 м. Параметри приземного вітру були взяті безпосередньо зі спостережень на висоті метеорологічних станцій. Для порівняння щоденні дані з архіву NCER / NCAR були зіставлені з усередненими даними, отриманими на основі даних восьмирокових метеорологічних спостережень, виконаних на восьми станціях Лівії, розташованих в різних географічних регіонах країни (Дерна, Зуара, Ефрене, Місурата, Годамес, Ель-Джагбубе, Ель-Куфра і Гат). Для порівняння були обрані результати модельних розрахунків у вузлах сітки, як найближче розташованих до метеостанцій.

Сумарно на всіх станціях за період досліджень було виконано близько 119 000 спостережень за кожним з розглянутих в даній роботі параметром. Для порівняння даних розраховані такі статистичні параметри: середнє значення ряду, середня помилка, середньоквадратичне відхилення помилки (СКВ, σ), коефіцієнт взаємної кореляції (r) між даними реаналізу і фактичними спостереженнями з деталізацією по сезонах року.

Середня помилка (ME) показує, на скільки модельне значення часового ряду є помилковим (1). Величина середньої помилки лежить в межах від $-\infty$

до $+\infty$, найкращим показником середньої помилки прогнозованого ряду вважається величина $ME = 0$.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i) \quad (3.1)$$

де X_i – прогнозоване (модельне) значення, а Y_i – фактичне значення часового ряду.

Ступень зв'язку прогностичного та фактичного рядів була визначена за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.2)$$

Величина r змінюється в інтервалі від -1 до $+1$. При $r = \pm 1$ є абсолютна (функціональна) кореляція по усіх точках рядів. Випадок, коли $r = 0$ свідчить про відсутність лінійного зв'язку між двома рядами (хоча може бути присутнім нелінійне співвідношення) [12, 15].

Порівняння усереднених даних дозволяє нам зробити ряд припущень. По-перше, як і слід було очікувати, вітер за даними NCEP дещо слабше спостережуваного на станціях (табл. 3.1). Практично на всіх восьми станціях спостерігається від'ємне значення середньої помилки і тільки на метеостанціях Ефрене, Місурата і Гат фіксувалися позитивні відхилення в весняно-зимовий період (мах 1,3 м/с). Найбільш близькі значення СКВ

Таблиця 3.1- Статистичні характеристики рядів спостережень і даних реаналізу NCEP / NCAR для восьми станції Лівії

Сезон	Ряди	Статистичні характеристики			
		V _{сер}	ME	σ _x ²	г
Дарна					
зима	NCEP / NCAR	5,9		1,7	
	Фактичні дані	7,2	-1,3	0,7	0,94
весна	NCEP / NCAR	4,5		0,8	
	Фактичні дані	5,4	-0,9	0,3	0,99
літо	NCEP / NCAR	4,3		0,5	
	Фактичні дані	7,1	-2,8	0,1	0,60
осінь	NCEP / NCAR	4,0		0,2	
	Фактичні дані	5,4	-1,4	0,1	0,76

Продовження табл. 3.1					
Сезон	Ряди	$V_{сер}$	ME	σ_x^2	r
Зуара					
зима	NCEP / NCAR	3,5		0,2	
	Фактичні дані	4,6	-1,1	0,1	0,97
весна	NCEP / NCAR	3,7		0,1	
	Фактичні дані	5,1	-1,4	0,4	0,67
літо	NCEP / NCAR	3,2		0,4	
	Фактичні дані	4,7	-1,5	0,1	0,31
осінь	NCEP / NCAR	2,7		0,0	
	Фактичні дані	4,5	-1,8	0,6	0,99
Ефрене					
зима	NCEP / NCAR	3,4		0,2	
	Фактичні дані	4,7	1,3	0,7	0,82
весна	NCEP / NCAR	3,4		0,1	
	Фактичні дані	4,7	-1,3	0,2	0,85
літо	NCEP / NCAR	3,0		0,1	
	Фактичні дані	4,1	-1,1	0,1	0,92
осінь	NCEP / NCAR	2,7		0,1	
	Фактичні дані	4,5	-1,8	0,3	0,72
Місурата					
зима	NCEP / NCAR	4,8		0,3	
	Фактичні дані	3,9	0,9	0,4	0,44
весна	NCEP / NCAR	4,2		0,1	
	Фактичні дані	4,1	0,1	0,1	0,92
літо	NCEP / NCAR	3,1		0,5	
	Фактичні дані	3,8	-0,7	3,2	0,95
осінь	NCEP / NCAR	3,5		0,2	
	Фактичні дані	3,5	0,0	0,1	0,99
Годамес					
зима	NCEP / NCAR	2,8		0,1	
	Фактичні дані	4,3	- 1,5	0,7	0,64
весна	NCEP / NCAR	3,4		0,1	
	Фактичні дані	5,1	-1,7	0,3	0,91
літо	NCEP / NCAR	3,3		0,7	
	Фактичні дані	5,1	-1,7	0,2	0,50
осінь	NCEP / NCAR	2,5		0,1	
	Фактичні дані	4,1	-1,6	0,2	0,87

Продовження табл. 3.1					
Ель-Джагбубе					
зима	NCEP / NCAR	2,7		0,1	
	Фактичні дані	4,5	-1,8	2,4	0,50
весна	NCEP / NCAR	2,9		0,1	
	Фактичні дані	4,3	-1,4	0,6	0,78
літо	NCEP / NCAR	2,9		0,1	
	Фактичні дані	3,8	-0,9	0,2	0,99
осінь	NCEP / NCAR	2,3		0,1	
	Фактичні дані	3,9	-1,6	0,8	0,99
Ель-Куфра					
зима	NCEP / NCAR	2,5		0,1	
	Фактичні дані	3,5	-1,0	0,3	0,69
весна	NCEP / NCAR	3,1		0,0	
	Фактичні дані	4,0	-0,9	0,4	0,87
літо	NCEP / NCAR	2,9		0,1	
	Фактичні дані	3,9	-1,0	0,2	0,19
осінь	NCEP / NCAR	2,8		0,1	
	Фактичні дані	3,3	-0,5	0,3	0,96
Гат					
зима	NCEP / NCAR	2,9		0,1	
	Фактичні дані	2,4	0,5	0,1	0,14
весна	NCEP / NCAR	3,7		1,4	
	Фактичні дані	3,6	0,1	0,3	0,97
літо	NCEP / NCAR	3,1		0,1	
	Фактичні дані	3,7	-0,6	0,1	0,27
осінь	NCEP / NCAR	2,9		0,1	
	Фактичні дані	3,0	-0,1	1,0	0,46

середнього по даним NCEP / NCAR і спостережуваного рядів мають ряди на ст. Ефрене, Місурата і Гат (0,1). Кореляція даних про швидкість вітру на станціях і в NCEP досить висока. Так, коефіцієнт кореляції на прибережних метеостанціях в усі сезони варіює від 0,31 влітку на станції Зуара, до 0,99 на ст. Дарна і Місурата, навесні та восени. Відмінності статистичних параметрів рядів швидкості вітру на цих метеостанціях можуть бути пояснені орографічними ефектами, формою берегової лінії та впливом бризової циркуляції на формування режиму вітру.

На ст. Ель-Джагбубе розбіжність у статистичних параметрах середнього

за даними реаналізу і спостережених рядів швидкості вітру мають досить суттєві значення (-1,8 м/с). Ці відмінності можна пояснити тим, що дана область знаходиться у районі зі складним рельєфом місцевості, на південь від гір Барка-ель-Байда простягається тектонічна впадина, рівень якої місцями знижується до рівня моря, а поблизу кордону з Єгиптом, в оазисі Ель-Джагбуб, висотні позначки навіть на кілька метрів нижче рівня моря.

На ст. Ель-Куфра дані NCEP / NCAR добре відтворюють річний хід швидкості вітру, що виражено в малих відмінностях СКВ, для рядів середньої швидкості вітру різниця становить 0,1-0,2 м/с.м/с. Коефіцієнт кореляції демонструє, що між модельними і спостережуваними рядами існує добрий зв'язок в перехідні сезони (0,87-0,96) та досить слабкий в літку.

Розбіжності статистичних параметрів на ст. Гат можна пояснити складною орографією, яка створює дрібномасштабні ефекти, де режим швидкості вітру формується під впливом пустель Ідехан-Мурзук.

Різниця в розподілі середньорічної швидкості на досліджуваних станціях підтверджує припущення про занижені дані реаналізу (рис. 3.1), тільки на ст. Гат та Місурата, модельні дані і дані спостережень практично однакові.

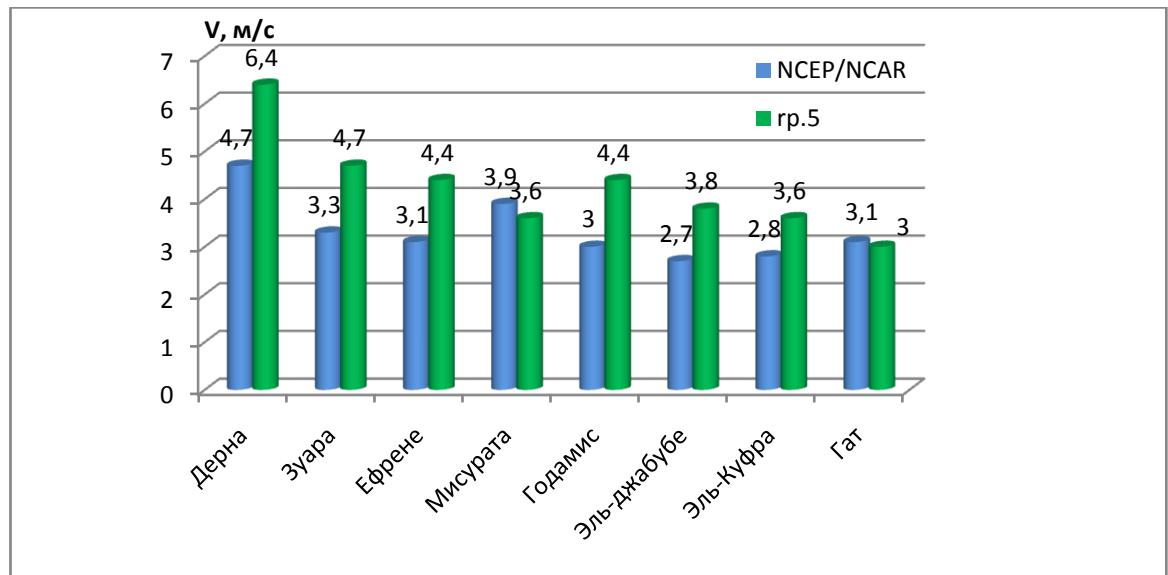


Рис. 3.1. Середньорічна швидкість вітру за період з 2015-2019 рр. на станціях Лівії.

Порівняння даних реаналізу з фактичними спостереженнями за напрямком вітру показали, що на ст. Дерна відзначається деяка асиметрія з

переважанням вітрів західного напрямку (вектор середньої помилки становить за напрямком 315°), в той час як за даними спостережень превалюють вітри північного напрямку (рис. 3.2).

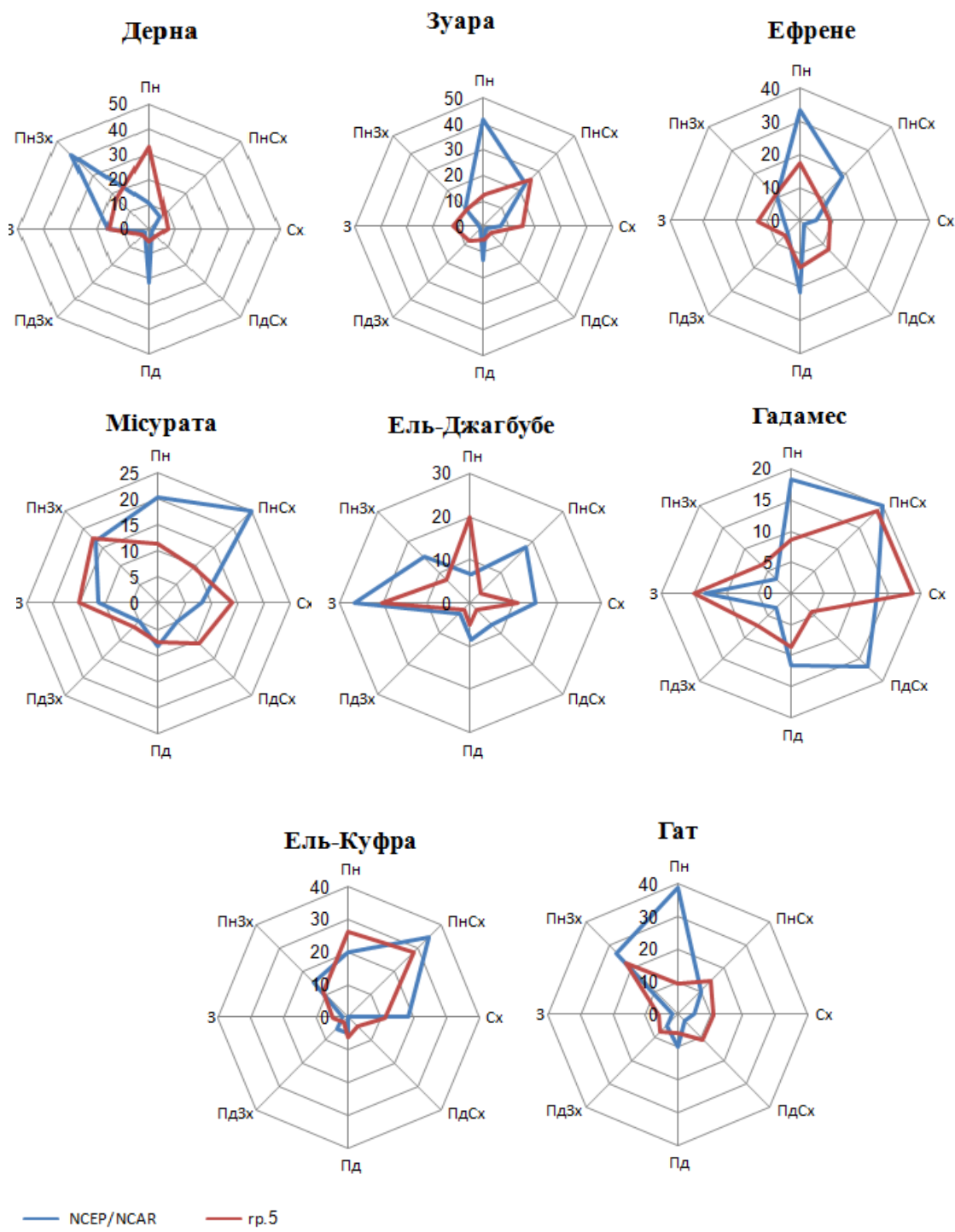


Рис. 3.2. Рози вітрів за даними спостережень на метеостанціях Лівії і даними ре аналізу NCEP / NCAR

На станції Зуара, розташованої на північно-західному узбережжі Лівії, також відмічається деяка розбіжність в панівних напрямках, за даними NCEP переважає північний румба, а фактично-східний. Розподіл інших напрямків приблизно однаковий.

На станція Ефрене, Гат, Ель-Куфра і Ель-Джагбубе простежується досить висока кореляція між фактичним і модельним напрямками приземного вітру. В районі Ель-Джагбубе відзначається практично симетрична роза вітрів, як за даними спостережень, так і по модельним даними, що видається більш реальним, оскільки станція розташована на відкритій місцевості в Лівійській пустелі нижче рівня моря (-2 м).

На метеорологічних станціях Місурата і Гадамес відзначається задовільна узгодженість спостережуваних і фактичних румбів. Відзначаються деякі розбіжності в процентному співвідношенні їх повторюваності.

Таким чином, деякі розбіжності можна пояснити складністю і різноманітністю рельєфу в районі станцій, а також репрезентативності між даними в вузлах сітки і метеорологічними вимірами. Також, всі станції знаходяться на різних висотах, а відповідно до логарифмічного закону зміни швидкості вітру з висотою в приземному шарі, на більш високих рівнях швидкість вітру буде вище. Резюмуючи все сказане, можна зробити висновок, що проведене порівняння не виявило істотних помилок в розрахунку вітру в NCEP і ці дані можна використовувати в якості вихідних при моделюванні.

3.2 Кліматичні поля приземного вітру

Для побудови карт поля швидкості і напрямку вітру використаний масив середньомісячних значень даних реаналізу NCEP / NCAR зональної U і меридіональної V компонент вектора швидкості приземного вітру за період з 2015 по 2019 рр., в вузлах сітки з кроком $1,885'$ по довготі та $1,935'$ за широтою [32]. Вихідні значення U та V інтерпольований в конкретні точки розташування станцій на території Лівії з чотирьох найближчих точок

сіткової області. За значеннями в кожному вузлі обчислена швидкість і напрямок і побудовані карти приземного вітру. Кольорові області характеризують значення модуля вектора швидкості. Ізотахи (ізолінії швидкості) дані з кроком 0,2 м/с. Напрямок вітру нанесено чорними стрілками.

Кліматичні карти ізотих отримані осередненням середньомісячних значень U і V за п'ять років. Відомо [6], що значення модуля швидкості вітру можна знайти декількома способами. У даній роботі розрахунки проводились за наступним алгоритмом: спочатку усереднюються U_{ij} і V_{ij} , де j - номер року (1,2,3,4,5), а i - номер місяця (1,2...12). Осереднення проводиться за формулами:

$$\bar{U}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N U_{ij} \text{ та } \bar{V}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N V_{ij} \quad (3.3)$$

потім по середнім значенням обчислюємо середньомісячну швидкість вітру:

$$V_{cp} = \sqrt{\bar{U}_i^2 + \bar{V}_i^2} \quad (3.4)$$

Сезонна мінливість кліматичного поля приземного вітру за розглянутий період часу (2015 -2019 рр.) на території Лівії відображена на картах, представлених на рис.3.3.

Аналіз розподілу середньомісячної швидкості вітру по території Лівії свідчить про тенденцію збільшення швидкості приземного вітру з південного заходу на північний схід. Зони з найбільшими швидкостями розташовані над північно-східним узбережжям країни в приморській зоні Кіренаїки.

У січні - лютому значення швидкості вітру в цьому районі змінюється від 6,8 до 5,3 м/с. На решті території швидкості вітру не перевищують 3-4 м/с.

У березні спостерігається кілька зон з вітром більше 4 м/с - це західне і північно-східне узбережжя Лівії, а так же південний схід країни в районі пустели Ідехан-Мурзук.

З квітня по червень спостерігається загальне зниження значення середньомісячної швидкості вітру, максимальні швидкості не перевищують 4,0 м/с на північному сході території.

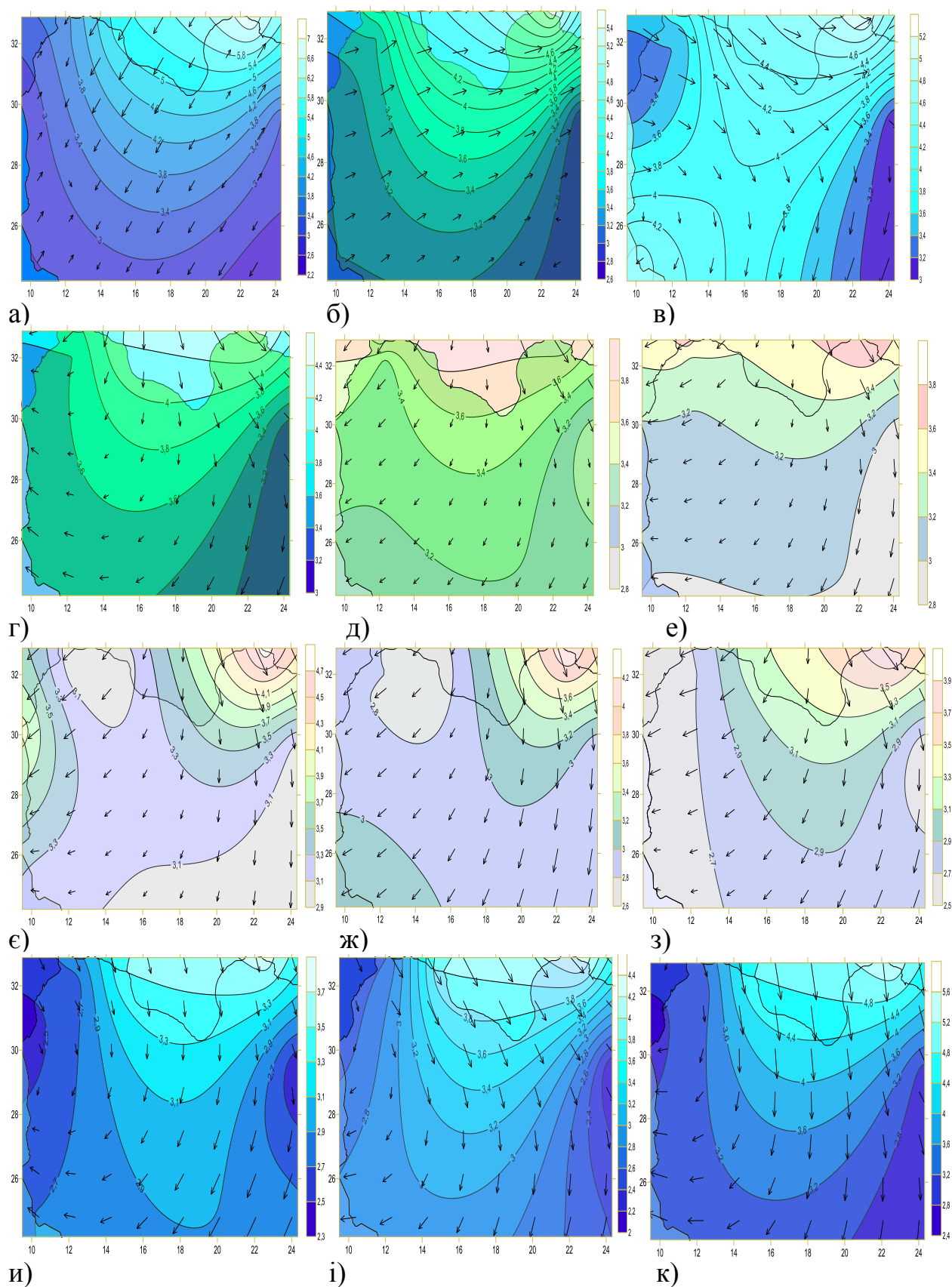


Рис. 3.3. Карты поля швидкості та напрямку приземного вітру для січня (а), лютого (б), березня (в), квітня (г), травня (д), червні (е), липня (є), серпня (ж), вересня (з), жовтня (и), листопада (і) і грудня (к).

У липні та серпні зона максимальних значень вітру стає більш інтенсивною, швидкості збільшуються до 4,7 м/с.

В осінні місяці також спостерігається незначне посилення швидкості вітру і формування другого центру з більш інтенсивними швидкостями приземного вітру на заході країни. Їх значення коливаються від 3,0 до 5,4 м/с.

Слабкі швидкості вітру (2,2-3,5 м/с) спостерігаються в усі сезони року над центральною частиною Лівії, де панують безплідні і плоскі рівнини нагір'я Ахаггар і Тібесті та специфічний рельєф гамад - система ярів, що виникають в результаті вітрової ерозії, які в значній мірі послаблюють загальний вітрової потік.

Найбільші значення швидкості приземного вітру відзначаються в районах прибережних зон, особливо у північно-східних берегів Лівії. Така тенденція зберігається як за даними реаналізу NCEP / NCAR (рис. 3.4 а), де середня швидкість вітру не перевищує 4,7 м/с, так і за фактичними спостереженнями 6,7 м/с. (рис. 3.4 б).

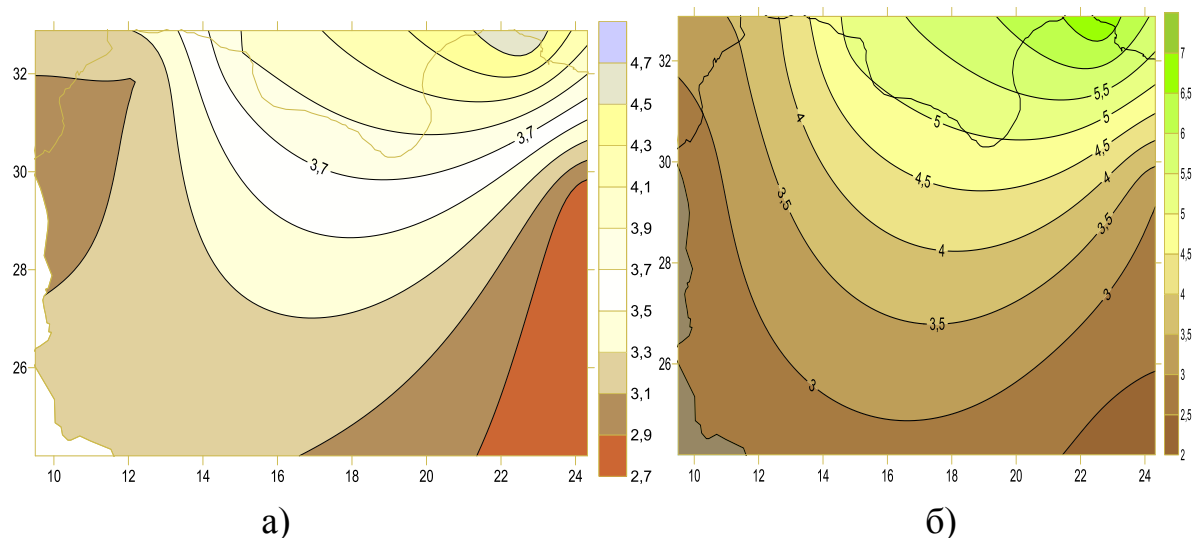


Рис. 3.4. Карти поля швидкості приземного вітру заданими NCEP\NCAR (а) та фактичними даними (б). 2015-2019 рр.

Розподіл ізотх свідчить про переважання північній і північно-східній складової напрямку вітру практично в усі сезони. Північно-східний пасат стійко спостерігається протягом всього року між 30 ° і 17 ° пн.ш. над територією не тільки Лівії, а й всієї північної Африки. Повітряні маси, які переносяться пасатним потоком, формуються в області підвищеного тиску тридцятих широт, що розташовується над північною Африки і Аравією.

Крайній субтропічний північ Лівії - середземноморське узбережжя - в зимовий період знаходиться під впливом полярного фронту. Полярно-фронтові процеси, особливо активні на північному заході, де зимові місяці є найбільш вологими на рік (рис.3.2 а). Однак, можливо проходження так званих хамсиних депресій, які в зимовий період супроводжуються холодним сильним і сухим вітром (холодний хамсин або гіблі) [14].

У лютому (рис.3.2 б) панівним напрямком вітру є західний і південно-західний, проте вже з початку весни, в березні (рис. 3.2 в), помітна перебудова баричного поля з циклонічної на антициклонічну циркуляцію, хоча вплив Середземноморської депресії на північні та заході території Лівії ще простежується переважанням західних вітрів.

У літню пору кліматичний режим в Лівії визначається стійкою зоною високого тиску - відрогом Азорського максимуму, який зміщується з центру Сахари на північ і розташовується над акваторією Середземного моря. У літній та осінній періоди по всій території Лівії, особливо в її східній частині відзначаються вітри північного і північно-східного напрямів, домінуючим потоком є північно-східний пасат, знову-таки настільки ж сухий [25], але зона його дії звужується: від середземноморських узбереж до 18-20 ° пн.ш. (рис. 3.2 г-з).

Варто відзначити, що в жовтні-грудні (рис.3.2 і-к) на північному заході території, над Тріполітанією переважають вітри західних румбів, але внутріконтинентальна пустельна частина Лівії в цей період все ще залишається під впливом антициклону і вітрів північних, та північно-східних румбів.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської роботи отримані наступні результати:

1. Найбільша середньомісячна швидкість вітру спостерігалася на прибережній станції Дерна - 6,4 м/с розташованої на північному сході країни. Найменша - на метеорологічної станції Гат - 3 м/с.

2. Виявлено, що в порівнянні з періодом 2005-2014 рр. швидкість приземного вітру збільшилася на станціях Дерна, Зуара, Ефрене, Гадамес і Ель-Джагбуб на 0,1-1,6 м/с. На станціях Місурата, Ель - Куфра і Гат спостерігається зворотний тренд, а саме, зниження середньорічної швидкості приземного вітру за останню п'ятирічку на 1,3 м/с в Мисурате, 1 м/с на метеостанції Гат і 0,3 м/с на ст. Ель-Куфра.

3. Отримано, що максимальні швидкості приземного вітру відзначаються в північно-східних і східних частинах Лівії, а також на північно-західному узбережжі в районі Тріполітанія. Така тенденція зберігається як за даними реаналізу NCEP / NCAR, де середня швидкість вітру не перевищує 4,7 м/с, так і за фактичними спостереженнями-6,4 м/с.

4. Розподіл швидкості вітру по градаціях на 8 станціях Лівії за період з 2015 по 2019 рр. демонструє переважання градації 4-7 м \ с. Максимальна кількість штилів - 31,2 % спостерігалась на метеостанції Ель-Джагбуб. Повторюваність сильного вітру (> 15 м/с) варіює від 0,6 до 1,6%.

5. Аналізуючи просторово-часову мінливість напрямку вітру за останні п'ять років можна відмітити очевидну перевагу північних і північно-східних вітрів на станціях Дерна, Гадамес, Зуара, Ефрене та Ель-Куфра.

6. Отримані результати порівняння даних реаналізу NCEP / NCAR про швидкість і напрямок приземного вітру з даними фактичних спостережень, виконаних на восьми станціях Лівії в період з 2015 по 2019 рр., показали відносно добру відповідність між фактичним і розрахованим вітром. Відзначається, що вітер за даними NCEP дещо слабше фактичного, що обумовлюється складністю і різноманітністю рельєфу в районі станцій, а також відповідністю між даними в вузлах сітки і метеорологічними вимірами.

7. На основі п'ятирічних середньомісячних значень зональної і меридіональної складових швидкості приземного вітру виконане дослідження внутрішньорічної мінливості поля вітру над територією Лівії. В результаті аналізу побудованих карт полів вітру можна відзначити, що в усі сезони основним фактором, який формує циркуляційне поле над досліджуваною територією є північно-східний пасат.

У зимові місяці над прибережною територією Лівії переважають північні та північно-західні вітри, які формуються внаслідок активної циклонічної діяльності над Середземним морем в цей період.

У літній період кліматичний режим в Лівії визначається стійкою зоною високого тиску - відрогом Азорського максимуму, по всій території Лівії, особливо в її східній частині, відзначаються вітри північного і північно-східного напрямів.



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Алі Салех Алі Абудах, Агайар Е. В. Характеристика вітрового режиму на станції Одеса-АМСЦ // Збірник статей за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ 15-18 квітня 2019 р. С. 193-198.
2. Бабаев А.Г., Зонн И.С., Дроздов Н.Н., Фрадкин З.Г. Пустыни. М. Мысль, 1986. 317 с.
3. Беляев К.П., Кулешов А.А., Смирнов И.Н. Анализ результатов моделирования динамики океана с применением различных методов усвоения данных наблюдений // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 37. 17 с. doi:10.20948/prepr-2018-37
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-37>
4. Белобров В. П. Климатические особенности пустынного почвообразования в Северной Ливии. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 81. 2015 г. с.138-159. DOI: 10.19047/0136-1694-2015-81-138-159
5. Бурман Э.А., Ивус Г. П. Влияние моря на статистическую структуру поля ветра в прибрежной полосе при разных значениях внешних параметров/ Труды ВНИИГМИ – МЦД. 1977. Вып. 52. С.79-89.
6. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 287 с.
7. Ель Хадрі Ю., Хохлов В. М., верифікація результатів регіональних кліматичних моделей стосовно режиму швидкості вітру і хмарності в Марокко // Вісн. ОДЕКУ. 2017. №22.
8. Еремеев В. Н., Букатов А. Е., Бабий М. В, Букатов А.А. Структура поля приземного ветра над мировым океаном. GEOINFORMATIKA. 2014. № 3 (51).
9. Ивус Г. П., Агайар Э.В. Фізико-статистичний аналіз і прогноз слабого вітру та інверсій температури над територією Північно-Західного Причорномор'я. Одеса: ТЕС. 2018. 201 с.
10. Казаков А.Л. Об использовании различной информации по ветру в прикладных исследованиях // Метеорологія, гідрологія та кліматологія. 2005. Вып. 49. С. 190-203.

11. Кулаков М.Ю., Макштас А.П., Шутилин С.В. Верификация данных реанализа NCEP/NCAR по результатам наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс». \Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 1(95).
12. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат. 1978. 296 с.
13. Петров М.П. Пустыни земного шара. Л.: Наука, 1973. 433 с.
14. Прох Л.З. Словарь ветров. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 312 с.
15. Школьный Є. П., Лоєва І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. Одеса, 1999. 578 с.
16. Abohedma M. B., Alsheba M. M. Wind Load Characteristics in Libya. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering. Vol. 4. No. 3. 2010.
17. Ageena, I.M. 2013. Trends and patterns in the climate of Libya 1945-2010. Department of Geography and Planning, School of Environmental Sciences. University of Liverpool, UK. (PhD Thesis)
18. Alsarraf H, Broeke. MVD Using the WRF Regional Climate Model to Simulate Future Summertime Wind Speed Changes over the Arabian Peninsula. J Climatol Weather Forecasting. 2015. 3: 144. doi:10.4172/2332-2594.1000144
19. AlnaasJ., Sharif A., Mukhtar M, Elbidi M. Mapping the Wind Power Density and Weibull Parameters for Some Libyan Cities. International Journal of Engineering Science. Vol. 5. No. 8. 2016. PP. 35-45.
20. Attia El-Tantawi. 2005. Climate change in Libya and desertification of Jifara Plain.
21. Atmospheric Science Data Center. Processing, archiving and distributing Earth science data at the NASA Langley Research Center. 2016 [cited 2019 11 Okt]; Available from: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>.
22. Dr.Salah.Bashier.Mossa, " Natural Climate ", Modern Academic Office, Alexandria, 2005 (In Arabic).
23. Fallis A., "Global Wind Statistics 2015. GWEC. Brussels. Belgium. 2015.
24. Fantoli A. Le piogge della Libia. Ufficio Studi del Ministero A.I. Roma, 1952.
25. Elfadli, K.I. 2009. Precipitation data of Libya. Climate Department. Libyan National Meteorological Center (LNMC) (available at

<http://www.omm.urv.cat/MEDARE/docs/PRECIPITATION%20DATA%20OF%20%20LIBYA3pdf>).

26. Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M.. The NCEP-NCAR 50-Years Reanalysis: Monthly Mean CD-ROM and Documentation // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2001. Vol. 82. P. 247–268.

[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<0247:TNNYRM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<0247:TNNYRM>2.3.CO;2)

27. URL: <http://rp5.ua/> Погода в мире (дата звернення 11.11.2019 р.).

28. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.p>

29. URL: http://www.freemapviewer.com/ru/map/Map-World_306.html

30. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/2172885>

31. URL: cdc.noaa.gov/cgi-bin/data/getpage.pl

32. Електронна база кліматичних даних.

URL: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.DAILY/Diagnostic+.above_ground+.u (дата звернення 10.10.2020 р.)

Додаток А

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)	Кількість кредитів
Наукові статті	
Університетські конференції, семінари, гуртки	
1. Конференція молодих вчених ОДЕКУ 25-19 травня 2020 р. Тема доповіді: Вітровий режим Лівії	0,75
2. Наукові гуртки та семінари 2019 р.	0,25
Опубліковані тези конференцій:	
1. Алі Салех Алі Абудовах, (Наук. керівник: Агайар Е.В). Вітровий режим Лівії \ Матеріали ХІХ наукової конференції молодих вчених 25-29 травня 2020 р.. ОДЕКУ. 2020	0,25
Участь у виконанні НДР	
Конкурсні роботи:	
1. Конкурс наукових робіт серед студентів ОДЕКУ за напрямком географічні науки (гідрометеорологія) у жовтні-листопаді 2019 рр., ОДЕКУ, м. Одеса:	0,75
2. Конкурс наукових робіт серед студентів Переяслав-Хмельницький ДПУ ім. Г. Сковороди за напрямком географічні науки у квітні-травні 2020 рр., м. Переяслав-Хмельницький	1,0
ВСЬОГО	3