

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра океанології та морського
природокористування

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Морський вітроенергетичний потенціал північно-західної
частини Чорного моря

Виконав магістр 2 року навчання
групи МНЗ-2ГО
спеціальності 103 Науки про Землю
освітньо-професійної програми
«Гідрографія»
Сагайдак Максим Миколайович

Керівник д.геогр.н., професор
Берлінський Миколай Анатолійович

Консультант _____

Рецензент д. геогр. наук, професор
Хохлов Валерій Миколайович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ Гідрометеорологічний інститут
Кафедра _____ океанології та морського природокористування
Рівень вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма _____ Гідрографія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри океанології та
морського природокористування
_____ Берлінський М.А.
“ _____ ” _____ 2021 року

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

Сагайдак Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Морський вітроенергетичний потенціал північно-західної частини Чорного моря

керівник роботи _____ Берлінський М.А., д.геогр.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи 1. Середньомісячні значення швидкості вітру на рівні 0,9950 sigma за період 2011-2020 рр. реанализа NCEP/NCAR (Visualize CDC Derived NCEP Reanalysis Products Surface Level Data; середньомісячні поля концентрації льодового покриття за період 2011-2020 рр. реанализу Visualize NOAA Optimum Interpolation (OI) SST V2

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

1. Огляд літературних джерел; розглянуто фактори, які впливають на роботу МВЕУ та умови навколишнього середовища, що враховують при їх проектуванні; 2. Розглянуто вітровий режим в Північно-Західному Причорномор'ї, та льодові та хвильові умови у ПЗЧМ; 3. Розрахована питома потужність вітрового потоку на висоті 50 та 100 м над водною поверхнею у ПЗЧМ, та виконано аналіз її просторового розподілу та його річних змін; визначено умови для розміщення МВЕУ у ПЗЧМ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Карти просторового розподілу у ПЗЧМ середньорічної швидкості вітру та середньомісячної питомої потужності вітрового потоку у 2011-2020 рр. 2. Карти просторового розподілу концентрації льодового покриття у 2011-2020 рр;

3. Графіки річного ходу швидкості вітру та питомої потужності вітрового потоку

Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі

завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Огляд літературних джерел та нормативних актів щодо розвитку морських секторів економіки у Європейському Союзі та Україні	26.10.2021 - 05.11.2021		
2.	Розглянуто фактори, які впливають на роботу морських вітроенергетичних установок та умови навколишнього середовища, що враховують при їх проектуванні	26.10.2021 - 05.11.2021		
3.	Короткий огляд баз даних та методів	26.10.2021 - 05.11.2021		
	Рубіжна атестація	16.11.2021-21.11.2021		
4.	Аналіз полів швидкості вітру та питомої потужності вітрового потоку	22.11.2021 - 29.11.2021		
5.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	30.11.2021 - 07.12.2021		
	Підготовка доповіді, презентації			
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент _____ **Сагайдак М.М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи _____ **Берлінський М.А.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

магістерської кваліфікаційної роботи Сагайдака М.М.

на тему «Морський вітроенергетичний потенціал північно-західної частини Чорного моря»

Актуальність теми. «Енергетична стратегія України на період до 2030 року» серед зазначених цілей має намір щодо підвищення енергетичної безпеки держави, підвищення ефективності споживання та використання енергопродуктів та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. У 2014 році Кабінетом міністрів України був прийнятий «Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» в якому зазначені кроки спрямовані на стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в Україні.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є огляд сучасних трендів у розвитку морегосподарської діяльності у Європі, та основних напрямків морського господарства та їх стану в Україні. Розрахунок морського теоретичного вітроенергетичного потенціалу та визначення вітрових умов (вітрових класів) над акваторією північно-західної частини Чорного моря, а також визначення ділянок акваторії, з найбільш сприятливими умовами для розміщення морських вітроенергетичних установок.

Для досягнення мети були вирішені такі задачі: виконано огляд літературних джерел та нормативних актів щодо розвитку морських секторів економіки у Європейському Союзі та Україні; розглянуто фактори, які впливають на роботу морських вітроенергетичних установок та умови навколишнього середовища, що враховують при їх проектуванні; виконано огляд вітрового режиму в Північно-Західному Причорномор'ї та льодових та хвильових умов у північно-західній частині Чорного моря; виконано розрахунок питомої потужності вітрового потоку на висоті 50 та 100 м над

водною поверхнею у північно-західній частині Чорного моря, та виконано аналіз її просторового розподілу та його річної зміни; визначено умови для розміщення морських вітроенергетичних установок у північно-західній частині Чорного моря.

Об'єктом дослідження є морський вітроенергетичний потенціал північно-західної частини Чорного моря. Предмет дослідження – просторово-часовий розподіл питомої потужності вітрового потоку.

Дослідження проведено за допомогою фізико-статистичного аналізу полів швидкості вітру.

Наукова новизна роботи. Вперше визначено просторовий розподіл питомої потужності вітрового потоку над північно-західною частиною Чорного моря.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні розміщення морських вітроенергетичних установок у північно-західній частині Чорного моря.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 72 найменування. Загальний обсяг роботи становить 90 сторінок, в тому числі 13 рисунків і 4 таблиць.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: блакитна економіка, морські вітроенергетичні установки, швидкість вітру, питома потужність вітрового потоку, північно-західна частина Чорного моря.

SUMMARY

master's qualification work of Sahaidak M.M. on the topic
"Marine wind energy potential of the north-western part of the Black Sea"

Actuality of theme. "Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030" among these goals intends to increase the energy security of the state, increase the efficiency of consumption and use of energy products and reduce the man-made load on the environment. In 2014, the Cabinet of Ministers of Ukraine adopted the "National Renewable Energy Action Plan until 2020" in which these steps are aimed at stimulating the development of renewable energy, the use of renewable energy sources and alternative fuels in Ukraine.

The purpose and objectives of the study. The aim of the work is to review current trends in the development of maritime activities in Europe, and the main directions of maritime economy and their state in Ukraine. Calculation of marine theoretical wind energy potential and determination of wind conditions (wind classes) over the water area of the north-western part of the Black Sea, as well as determination of areas of water area with the most favorable conditions for offshore wind power plants.

To achieve this goal, the following tasks were solved: a review of literature sources and regulations on the development of maritime sectors of the economy in the European Union and Ukraine; the factors influencing the operation of offshore wind turbines and environmental conditions that are taken into account in their design are considered; a review of the wind regime in the North-Western Black Sea coast and ice and wave conditions in the north-western part of the Black Sea; the calculation of the specific power of the wind flow at an altitude of 50 and 100 m above the water surface in the north-western part of the Black Sea was performed, and the analysis of its spatial distribution and its annual change was performed; conditions for the location of offshore wind farms in the north-western part of the Black Sea have been determined.

The object of the study is the marine wind energy potential of the northwestern part of the Black Sea. *The subject of research* is the spatio-temporal distribution of the specific power of the wind flow.

The study was conducted using physical and statistical analysis of wind speed fields.

Scientific novelty of the work. For the first time, the spatial distribution of the specific power of the wind flow over the north-western part of the Black Sea has been determined.

The obtained results can be used in designing the location of offshore wind turbines in the northwestern part of the Black Sea.

The work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of sources used, containing 72 items. The total volume of the work is 90 pages, including 13 figures and 4 tables.

KEYWORDS: blue economy, offshore wind power plants, wind speed, wind power density, northwestern part of the Black Sea.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 «БЛАКИТНА ЕКОНОМІКА: 10 РОКІВ, 100 ІННОВАЦІЙ, 100 МІЛЬЙОНІВ РОБОЧИХ МІСЦЬ».....	11
1.1 Принципи «блакитної» економіки у морському природокористуванні	12
1.2 Перехід на модель «блакитної» економіки у Європейському Союзі	15
1.3 Морське просторове планування.....	18
2 РОЗВИТОК МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ	20
3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
3.1 Методи оцінки вітроенергетичного потенціалу	32
3.2 Принципи проектування та розміщення морських вітрових установок	38
3.2.1 Сучасні технологічні тенденції.....	39
3.2.2 Проблеми проектування, пов'язані з морськими проектами.....	40
3.2.3 Вплив морського льоду на конструкції морських вітрових установок	44
3.2.4 Хвильове навантаження на морські вітрові установки	47
3.3 Режим вітру у Північно-Західному Причорномор'ї.....	48
3.4 Фізико-географічний опис північно-західної частини Чорного моря ...	51
3.4.1 Межі та районування.....	51
3.4.2 Батиметрія північно-західного шельфу Чорного моря.....	52
3.2.3 Гідрологічні характеристики вод ПЗЧМ	55
3.4.4 Льодовий режим	59
3.4.5 Хвильовий режим північно-західної частини Чорного моря	63
3.5 Вихідні дані.....	67
4 ВІТРОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ.....	68
4.1 Режим швидкості вітру	68
4.2 Питома потужність вітрового потоку.....	71
4.3 Річний хід питомої потужності вітрового потоку	73
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	85

ВСТУП

Сьогодні Україна імпортує близько 70 % обсягу природного газу власного споживання. Одночасно енергоємність вітчизняної економіки в 3-4 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, що робить Україну надзвичайно чутливою до умов імпортування природного газу та створює ризики у її енергетичній безпеці [1].

У вересні 2010 року був підписаний Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного співтовариства [2]. У 2013 році Кабінет Міністрів України розпорядженням від 24.07.2013 р. № 1071 схвалив оновлену «Енергетичну стратегію України на період до 2030 року» [3] основними цілями якої є:

- створення умов для надійного та якісного задоволення попиту на енергетичні продукти за найменших сукупних витрат, при цьому економічно обґрунтовано;
- підвищення енергетичної безпеки держави;
- підвищення ефективності споживання та використання енергопродуктів;
- зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище і забезпечення цивільного захисту у сфері техногенної безпеки ПЕК.

У 2014 році Кабінетом міністрів України був прийнятий «Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» [1] в якому зазначені кроки спрямовані на стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в Україні.

Використання відновлюваних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та поліпшення стану оточуючого природного середовища. Збільшення обсягів використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України дасть змогу

підвищити рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави.

Основними напрямками використання відновлюваних джерел енергії в Україні є: вітрова енергія, сонячна енергія, енергія річок, енергія біомаси, геотермальна енергія, енергія навколишнього природного середовища з використанням теплових насосів [1].

В даний час технології з використання енергії морського вітру стали основним напрямком у розвитку вітроенергетики. Через нижчу силу тертя над водою порівняно із землею поверхнею, швидкість вітру над морем зазвичай на 20 % вище, ніж за тих самих умов над прилеглими землями. Це сприяє отриманню від роботи морських вітрових електростанцій набагато більше енергії, ніж наземних. Морська вітрова установка має вищий коефіцієнт потужності, ніж її наземний аналог. Крім того, оскільки швидкість вітру над морською поверхнею відносно однорідна з меншими пульсаціями та турбулентністю, це дозволяє спрощувати системи управління морськими вітровими турбінами та знижує знос їх лопатей [4].

Станом на червень 2020 року, у Балтійському морі працюють двадцять берегових вітряних електростанцій – дев'ять з яких належать Данії, п'ять – Німеччині, чотири – Швеції та дві – Фінляндії. Загальна потужність цих вітряних електростанцій становить близько 2 ГВт. Очікувана потужність берегової вітроенергетики, встановленої у Балтійському морі, оцінюється приблизно 9 ГВт на 2030 р. [5].

Таким чином, розвиток морської вітрової енергетики міг би надати додаткові потужності енергії до енергосистеми України, а також зміцнити перехід національної енергетики на відновлювані джерела енергії, що допоможе знизити викиди вуглекислого газу в атмосферу і буде служити справі протидії зміні клімату на планеті.

1 «БЛАКИТНА ЕКОНОМІКА: 10 РОКІВ, 100 ІННОВАЦІЙ, 100 МІЛЬЙОНІВ РОБОЧИХ МІСЦЬ»

«Блакитна економіка: 10 років, 100 інновацій, 100 мільйонів робочих місць» – під такою назвою у 2010 році побачила світ фундаментальна праця Гюнтера Паулі, опублікована в рамках Доповіді Римському клубу [6]. Основна ідея даної роботи – необхідність перегляду загальної моделі світового економічного розвитку. Автором пропонується нова економічна модель, так звана «блакитна» економіка. Загальна концепція підходу «блакитної» економіки також включає цілу низку принципів, що стосуються управління інвестиціями в людський (інтелектуальний) капітал, раціональне природокористування та створення «розумних» ризикостійких регіональних еколого-економічних систем кластерного типу. На думку багатьох експертів, «блакитна» економіка є продовженням «зеленої» економіки [7].

Основні засади «блакитної» економіки:

1. «Природний каскад природних елементів, матерії та енергії. Відходів немає. Будь-який побічний продукт є джерелом нового продукту». «Розумна» поведінкова модель суб'єктів підприємництва в «блакитній» економіці передбачає насамперед генерацію раціональних каскадів, або розгалужених ланцюгів постачання матеріалів та енергій. Таким чином, якщо передбачається утворення будь-якого відходу на тій чи іншій технологічній стадії, слід організувати додаткове відведення в каскаді з додаванням цінністю використання цього відходу як сировини для виробництва нового корисного продукту або вироблення корисної енергії, як це органічно відбувається в природі. Така економічна поведінка супроводжується активним використанням результатів інноваційного мислення людини, а отже, підвищення «розумних» робочих місць. Успішне застосування таких практик дає певну додану цінність, при цьому забезпечується необхідний

рівень ресурсоефективності, який є одним із показників ризик-стійкого функціонування регіональних еколого-економічних систем кластерного типу.

2. «Постійне у природі – це зміна. Інновації відбуваються будь-якої миті». Цей принцип «блакитної» економіки закликає таким чином організувати регіональні еколого-економічні системи кластерного типу, щоб відповідні бізнес-одиниці, виробнича та логістична інфраструктури були готові до безперервних змін, запровадження проривних технологій, до еволюції.

3. «Нелінійність природних систем». Цей принцип вказує на те, що подібно до природних, регіональні еколого-економічні системи кластерного типу функціонують нелінійно, тому на зміну традиційному (так званому «ньютонівському») підходу приходить «квантовий». Під «квантовим» управлінням сталий розвиток регіональних еколого-економічних систем кластерного типу досягається за рахунок толерантного ставлення до невизначеності, умінню пристосовуватися до об'єктивних змін.

1.1 Принципи «блакитної» економіки у морському природокористуванні

Слід зазначити, що термін «блакитна» економіка має широке застосування. Щодо управління та використання морських ресурсів він розуміється як сукупність економічних секторів та пов'язаних із ними політик, які разом визначають, чи є використання океанічних ресурсів стійким.

Основним завданням «блакитної» економіки є визначення, яким чином економіка повинна розуміти та краще керувати багатьма аспектами стійкості океану, починаючи від стійкого рибальства та закінчуючи здоров'ям екосистем та забрудненням довкілля [8].

Друга значна проблема, вирішити яку покликана «блакитна» економіка, полягає в усвідомленні того, що стійке управління ресурсами океану потребує співпраці між національними державами, а також між державою та приватним сектором, у масштабах, яких не було досягнуто раніше.

Концепція «блакитної» економіки спрямована на сприяння економічному зростанню, соціальній інтеграції та збереженню чи покращенню умов життя з одночасним збереженням довкілля, стійкості океанів та прибережних районів. За своєю суттю це стосується поділу соціально-економічного розвитку на сектори, пов'язані із Світовим океаном та діяльністю, спрямованою на збереження навколишнього середовища та запобігання деградації екосистем. Вона ґрунтується на наукових висновках про те, що ресурси океану обмежені та що здоров'я океанів різко погіршилося через антропогенний вплив.

«Блакитна» економіка має різні компоненти [8], у тому числі усталені традиційні океанічні, такі як рибальство, туризм і морський транспорт, а також нові види діяльності, такі як морські (офшорні) відновлювані джерела енергії, аквакультура, видобуток корисних копалин на морському дні та морські біотехнології, а також біорозвідка. Ряд послуг, що надаються екосистемами океану, і для яких не існує ринків, також роблять значний внесок в економічну та інші види людської діяльності, а саме в захист узбережжя, видалення відходів та наявність біорізноманіття.

Для того, щоб вважатися компонентами «блакитної» економіки, діяльність повинна:

- забезпечувати соціальні та економічні вигоди для нинішнього та майбутніх поколінь;
- включати відновлення, захист і підтримку різноманітності, продуктивності, стійкості, основних функцій та внутрішньої цінності морських екосистем;

- ґрунтуватися на чистих технологіях, відновлюваних джерелах енергії та кругових потоках матеріалів, які скоротять кількість відходів та сприятимуть переробці матеріалів.

До усталених секторів «блакитної» економіки відносяться [8]:

- морські живі ресурси,
- морські неживі ресурси,
- морські відновлювані джерела енергії,
- портова діяльність,
- суднобудування та ремонт,
- морські перевезення,
- прибережний туризм.

Кожен сектор «блакитної» економіки ділиться на підсектори (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Усталені сектори «блакитної» економіки та їх підгалузі [8]

Сектор	Під-сектор
Морські живі ресурси	Первинне виробництво
	Переробка рибних продуктів
	Розповсюдження рибної продукції
Морські неживі ресурси	Нафта і газ
	Інші мінерали
Морська відновлювана енергія	Морська вітрова енергія
Портова діяльність	Вантаж і складування
	Портові та водні проекти
Суднобудування та ремонт	Суднобудування
	Обладнання та техніка
Морський транспорт	Пасажирський транспорт
	Вантажний транспорт
	Послуги для транспорту
Прибережний туризм	Проживання

	Транспорт
	Інші витрати

Крім усталених секторів «блакитної» економіки, значна увага приділяється пошуку нових інноваційних напрямів розвитку морегосподарської діяльності [8, 9]. До таких секторів, що виникають, відносяться:

- відновлювана енергетика (плавучі морські вітрогенератори, енергія хвиль і припливів, плавучі сонячні енергетичні установки та видобуток морського водню);
- «блакитна» біоекономіка;
- морські корисні копалини;
- опріснення;
- морська оборона, безпека та нагляд.

До перерахованих вище секторів можна додати нові напрямки, які сьогодні виділяються в окремі сектори – це дослідно-освітній сектор, а також сектор інфраструктури, який включає сектор підводних кабелів і нещодавно представлений сектор робототехніки.

Інноваційні морські відновлювані джерела енергії включають такі типи [8]: плаваючі морські вітроустановки, вироблення енергії хвиль і припливів, плавучі сонячні фотоелектричні енергоустановки (Floating Solar Photovoltaic energy, FPV) та офшорний видобуток водню. Всі ці напрями призвані допомогти Європейському союзу (ЄС) досягти цілей «Європейського зеленого курсу» (European Green Deal).

1.2 Перехід на модель «блакитної» економіки у Європейському Союзі

У 2019 році було представлено європейську стратегію зростання «Європейський зелений курс» [10]. Ця стратегія спрямована на перетворення

ЄС у справедливе та процвітаюче суспільство із сучасною, ресурсоефективною та конкурентоспроможною економікою, в якій у 2050 році не буде викидів парникових газів, а економічне зростання не буде пов'язане з використанням ресурсів. Також метою цієї стратегії є захист, збереження та примноження природного капіталу ЄС та захист здоров'я та благополуччя громадян від ризиків та впливів, пов'язаних із навколишнім середовищем.

Для реалізації «Європейського зеленого курсу» необхідно переосмислити політику забезпечення чистою енергією в економіці, промисловості, виробництві та споживанні, великомасштабній інфраструктурі, транспорті, продовольстві та сільському господарстві, будівництві, оподаткуванні та соціальних пільгах. Для досягнення цього необхідно підвищити значення захиста та відновлення природних екосистем, сталого використання ресурсів та покращення здоров'я людини.

«Блакитна» економіка відіграє важливу роль у трансформації економіки ЄС, без «блакитної» економіки неможливо задовольнити амбіції «Європейського зеленого курсу». Океан розглядається як ключове джерело для видобутку екологічно чистих видів енергії, стійкої та високопоживної їжі, чистої альтернативи пластику та багато іншого. У той же час сектори «блакитної» економіки мають зменшити вплив на клімат та навколишнє середовище та сприяти відновленню морських екосистем.

У 2018 році сім усталених секторів «блакитної» економіки ЄС виробили валову додану вартість на суму 176,1 млрд євро, що вище на 15 % порівняно з 2009 роком, і мають загальний товарообіг на суму 649,7 млрд євро зі збільшенням на 13 % (577,2 млрд євро у 2009 році) [8].

В усталених секторах «блакитної» економіки ЄС, включаючи охоплені підсектори, у 2018 році було зайнято майже 4,5 мільйона людей. Хоча цей показник лише на 1 % більший, ніж у 2009 році, кількість робочих місць у «блакитній» економіці ЄС в даний час вища, ніж до фінансової кризи 2008 року та на 12 % більше, ніж було у попередньому 2017 році. Збільшення

числа робочих місць пов'язано з розвитком прибережного туризму, в якому кількість робочих місць збільшилася на 20 % порівняно з 2017 роком. Сектор морських відновлюваних джерел енергії (вироблення та передача) все ще перебуває у фазі сильного розширення, враховуючи, що він відносно молодий. Кількість зайнятих у ньому працівників збільшилась у двадцять двічі, з 383 осіб у 2009 році до майже 9000 осіб у 2018 році [8].

Морська відновлювана енергетика включає енергію морського вітру та енергію океану. Морська відновлювана енергетика є важливим джерелом зеленої енергії та може зробити значний внесок у енергетичну стратегію ЄС до 2050 року. Більше того, цей сектор є великим потенціалом для сталого економічного зростання та створення робочих місць, підвищення безпеки енергопостачання та конкурентоспроможності за рахунок технологічних інновацій.

Енергетичні технології океану в даний час розробляються та протестовані на використання широкого спектру джерел чистої відновлюваної енергії, які пропонують моря та океани. Технології океану все ще перебувають у стадії дослідження та розробки, і на даний момент не є комерційно доступними. Вони включають: енергію хвиль, енергію приливів, видобуток енергії технологією на основі градієнта солоності та теплової енергії океану. Енергія хвиль та припливів в даний час є найбільш розробленим напрямком інноваційних технологій океану.

Морська (офшорна) вітроенергетика сьогодні є єдиним з поширених комерційних розгортань морської відновлюваної енергетики [8]. ЄС на даний момент є світовим лідером у галузі офшорної вітроенергетики з понад 90 % загальної встановленої потужності у світі. Починаючи лише з невеликої кількості демонстраційних вітрових електростанцій на початку 2000-х років, наразі загальна встановлена потужність морської вітроенергетики в ЄС становить 14,6 ГВт у 11 країнах. У 2020 році запроваджено 2,4 ГВт нових потужностей, доданих до енергомережі. Основними країнами-виробниками офшорної вітроенергетики в ЄС є Німеччина, Нідерланди, Бельгія та Данія.

Більше того, офшорні відновлювані джерела енергії прокладуть шлях для досягнення цілей Водневої стратегії ЄС (EU Hydrogen Strategy) [11] та «Стратегії морських відновлюваних джерел енергії» [12], які передбачають збільшення потужності морської вітроенергетики з поточного рівня (12 ГВт) до не менше 60 ГВт до 2030 року та до 300 ГВт до 2050 року. Розгортання морської вітроенергетики має бути доповнено отриманням 40 ГВт енергії з океану та інших нових технологій (наприклад, з плавучих сонячних фотоелектричних енергоустановок) до 2050 року.

1.3 Морське просторове планування

Морське просторове планування (Maritime Spatial Planning) – це комплекс аналітичних, оціночних та розрахункових заходів, спрямованих на обґрунтування формування та розвитку певних видів господарської діяльності та їх поєднань у тому чи іншому районі (ареалі) моря чи океану. Морське просторове планування є процесом виділення областей для людської діяльності, який забезпечить досягнення соціальних, економічних та екологічних цілей [13].

Використання морського простору та ресурсів включає вироблення енергії, розвідку та видобуток нафти та газу, видобуток сировини, морські перевезення та рибальство, об'єкти аквакультури, туризм, збереження екосистем та біорізноманіття, а також збереження підводної культурної спадщини. Ця конвергенція використання морського простору і нагромадженого тиску на прибережні ресурси вимагає комплексного підходу до планування та управління. У цьому контексті морське просторове планування вважається важливим інструментом для сталого розвитку «блакитної» економічної діяльності, а також відновлення стану європейського морського навколишнього середовища.

У 2014 році в ЄС було ухвалено директиву про морське просторове планування [13]. Директива є першою юридичною вимогою до планування морського простору з узгодженим, інтегрованим та транскордонним підходом, а також вимогою від держав-членів ЄС розробляти плани для вод, що знаходяться в їх юрисдикції. В управлінні вони повинні враховувати такі елементи: участь зацікавлених сторін, транскордонне співробітництво, застосування екосистемного підходу (використовуючи найкращі доступні дані та обмін інформацією), беручи до уваги взаємодію суші та моря, сприяючи співіснуванню діяльності та перегляду планів не рідше одного разу на 10 років.

Морське просторове планування може просувати досягнення економічного зростання за рахунок збільшення вартості виробництва та доданої вартості, а також за рахунок створення нових робочих місць на підприємствах, які працюють у секторах «блакитної» економіки.

2 РОЗВИТОК МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ

Територіальні води України, відповідно законодавства [14], включають прибережні морські води шириною 12 морських миль, відлічувані від лінії найбільшого відпливу як на материку, так і на островах, що належать Україні. Відповідно «Конвенції про континентальний шельф», ратифікованої 29.04.1958р., прибережна держава здійснює над континентальним шельфом (зона, що знаходиться поза територіальною зоною моря, до глибини 200 метрів, або, за цією межею, до такого місця, до якого глибина покриваючих вод дозволяє розробку природних багатств цих районів;) суверенні права з метою розвідки та розробки його природних багатств. До Українського Причорномор'я належать частина Чорного та Азовського морів (межах юрисдикції України) і прилеглі до них адміністративно-територіальні одиниці Одеської, Миколаївської, Харківської, Запорізької та Донецької областей, а також територію тимчасово окупованій Автономної Республіки Крим (АРК).

На сучасному етапі Україна надає величезного значення забезпеченню безпеки і стабілізації становища в Чорноморському регіоні, керуючись своїми національними інтересами, основами і принципами своєї зовнішньої політики. Для становлення і розвитку України одним з найважливіших факторів є ствердження її як морської держави.

До складу морегосподарського комплексу України входять морський і річковий транспорт, рибне господарство, суднобудування і судноремонт, машинобудування, газо- і нафтовидобувна промисловість, морські види рекреаційно-туристичної індустрії та інші галузі та підгалузі, що забезпечували її ефективну морську діяльність [15].

В 2009 році була розроблена «Морська доктрина України на період до 2035 року», яка містить стратегію та основні напрямки подальшого розвитку

України як морської держави. Відповідно до даної стратегії до пріоритетних напрямків провадження морегосподарської діяльності є [16]:

- розвиток торговельного мореплавства, та морського і внутрішнього водного транспорту в цілому;
- створення та розвиток національних судноплавних компаній і національного торговельного флоту;
- відродження суднобудування і судноремонту;
- розвиток, підвищення ефективності та забезпечення конкурентоспроможності морських портів України;
- розвиток інфраструктури внутрішніх водних шляхів, річкових портів та терміналів;
- вивчення, розвідка, видобування, використання, збереження невідновних та відтворення відновних ресурсів, які не відносяться до водних біоресурсів та мінімізації шкоди навколишньому природному середовищу під час експлуатації ресурсів моря;
- вивчення, збереження, невиснажливе видобування та сталє відтворення рибних та інших водних біоресурсів;
- проведення морських наукових досліджень;
- підготовка та перепідготовка моряків, науковців та інших фахівців, зайнятих морською діяльністю;
- забезпечення збалансованого розвитку приморських регіонів.

Україна має всі передумови для розвитку морського транспорту – велику протяжність морського узбережжя, морські шляхи, по яких здійснюються транспортні зв'язки економічних районів і міжнародні перевезення, незамерзаючі порти. Вигідне географічне положення України обумовлює значний потенціал Українського Причорномор'я, яке знаходиться на перехресті міжнародних транспортних осей [17]. За результатами досліджень англійського інституту «Рендел», за коефіцієнтом транзитності Україна займає перше місце в Європі.

В даний час в Україні є 13 континентальних морських портів – Рені, Ізмаїл, Усть-Дунайськ, Білгород-Дністровський, Чорноморськ, Одеса, Південний, Миколаїв, СК «Ольвія», Херсон, Скадовськ, Бердянськ, Маріуполь. 5 портів знаходяться на окупованій території Криму – Євпаторія, Севастополь, Ялта, Феодосія, Керч.

В умовах транзитивної економіки, починаючи з 1997 р., порти України функціонували з позитивною динамікою, але при цьому була недооцінена необхідність стратегічного планування, урахування зовнішньоекономічних пріоритетів. Все це багато разів призводило до помилкових рішень. Багато інвестиційних проектів, зокрема в будівництво газових, зернових терміналів, реалізувалися без урахування майбутнього забезпечення вантажопотоками навіть в найближчій перспективі. Звичайно, є в цьому і недоробка уряду, який не зміг забезпечити державні морські порти системою прогнозування вантажної бази. Рекордним для морських торговельних портів України став 2007 рік. Обсяг перевезення вантажів морським транспортом у 2007 році придбав рекордне значення і склав 9124 тис. т [18].

З 1991 року до 2017 року перевезення вантажів морським транспортом України скоротилась з 44002,2 тис. т до 2253,1 тис. т, тобто більш, ніж в 10 разів, а пасажирів – з 20789,5 тис. пасажирів до 28,6 тис. пасажирів.

Наступного часу дуже важливим є організація пасажирських перевезень на базі вдосконалення туристичного сервісу, а також експлуатаційних процедур, поліпшення обслуговування пасажирів. В тому числі це важливо впровадити на внутрішніх транспортних лініях. Для цього необхідно забезпечити поповнення вітчизняного флоту новими суднами та вдосконалити взаємодію із залізничним, автомобільним і повітряним транспортом.

Значна частка загального обсягу переробки (89,5 %) у 2018 році припала на 5 морських портів: «Південний» – 31,6 % (42,7 млн. т перероблених вантажів), Миколаївський – 21,6 % (29,2 млн. т), Одеський – 16,1 % (21,7 млн. т), Чорноморський – 15,9 % (21,5 млн. т) і Маріупольський

морський порт – 4,4 % (5,9 млн. т). Решта 10,5 % обсягу переробки (14,2 млн. т) була забезпечена Бердянським, Білгород-Дністровським, Ізмаїльським, Ренійським, Скадовським, Херсонським морськими портами, СМП «Ольвія», морським портом «Усть-Дунайськ».

Становлення України як морської держави і ефективне функціонування морегосподарського комплексу країни неможливо без нарощування потенціалу суднобудівної промисловості, яка є невід'ємною складовою сталого та ефективного функціонування морегосподарського комплексу України. Наявність сучасного конкурентоспроможного флоту не тільки забезпечить потреби держави в перевезеннях і фрахтову незалежність, а й є важливою складовою прискореної інтеграції України в світову економічну систему.

Однак у порівнянні з даними 1991 року ці показники демонструють критичні зміни, які відбулися в українському суднобудуванні. За останні 20 років обсяги суднобудування в Україні скоротилися у 10-15 разів [19].

Україна успадкувала потужний потенціал морського суднобудування [20]. Виробнича база суднобудування включала 11 суднобудівних заводів, 7 заводів з виробництва судових двигунів та іншого обладнання, 11 підприємств, які виготовляли судові інструменти, 25 галузевих дослідницьких інститутів. На сьогодні технологічна, наукова і дослідницька база суднобудівної галузі морально і фізично застаріла, знос основних фондів підприємств становить від 30 % до 60 % і більше.

За часів СРСР до 65 % продукції суднобудівних підприємств становили військові кораблі [20], які будувалися відповідно до державних замовлень, що знімало проблему фінансування. З 1992 року кількість державних замовлень як військових, так і цивільних, для підприємств суднобудування України катастрофічно скоротилася.

Відбулися радикальні зміни в структурі продукції суднобудування та, відповідно, у використанні основних факторів виробництва. Фактично не будуються складні великі кораблі і судна.

У 90-ті роки будувалися великі морозильні траулери-рибозаводи (ВМТР), транспортні рефрижератори, середні рибальські траулери (СРТ), невеликі судна високої складності, суховантажі, великі за розмірами і середні ролкери- газотурбоходи, судна на підводних крилах, плавучі самохідні крани високої вантажопідйомності – від 100 до 1600 тонн, судна високої складності та інноваційного рівня, військові судна – великі протичовнові кораблі (БПК), кораблі на підводних крилах і повітряній подушці, авіаносці, ракетні крейсери, плавучі технічні бази перезарядження реакторів атомних підводних човнів .

Здійснювалася також модернізація і ремонт кораблів і суден. Судноремонтні заводи, які мали 13 плавучих доків, здатні були виконувати ремонт практично всіх класів вітчизняних кораблів і суден [21].

В останні ж роки в Україні будувалися переважно неповнокомплектні судна. З причини відсутності державних замовлень українські заводи змушені переважно виконувати експортні замовлення. Через відсутність обладнання для випуску суден «під ключ» українські заводи будують переважно корпуси суден, що є економічно невигідним і екологічно брудною частиною виробничого циклу.

В результаті будівництва неповнокомплектних суден і відсутності державних замовлень виробничі потужності вітчизняного суднового машино- і приладобудування мають низький рівень завантаження, який не перевищує 25- 30 %.

Суднобудівна промисловість виконує важливу економічну і соціальну функції, сприяє розвитку багатьох суміжних галузей і видів виробництв, таких як чорна і кольорова металургія, енергопостачання, транспортна галузь, сприяє зайнятості населення.

Суднобудування визначало відносно високий соціально-економічний статус низки міст Українського Причорномор'я, таких як Миколаїв, Херсон, Керч, Севастополь, Феодосія та інші. За останні 20 років загальна

чисельність працівників підприємств суднобудівного комплексу скоротилася в 5 разів. Було втрачено 120-150 тис. робочих місць [21].

Особливою проблемою для українського суднобудування є недолік інвестування через ризики для інвесторів, які є результатом непослідовної податкової політики, бюрократичних формальностей, відсутності інвестиційного планування. Погіршила ситуацію і банківська криза. Особливістю суднобудування є тривалий цикл проектування і будівництва суден, висока капіталомісткість і низька рентабельність, що унеможливорює функціонування галузі без кредитної підтримки.

Рибогосподарський комплекс є багатогранною складовою національного господарського комплексу України. Інфраструктура рибного господарства включає видобуток риби (рибальство) і водних живих ресурсів, обробку та переробку водних живих ресурсів, рибництво, рибовідтворення, меліорацію водойм і охорону водних живих ресурсів.

Ведення рибного господарства здійснюється у рибогосподарських водних об'єктах, до яких відносяться канали, водосховища, озера, річки, моря, включаючи води континентального шельфу та виключної (морської) економічної зони України та інших держав.

Промисловий видобуток морських живих ресурсів відіграє значну роль у формуванні рибогосподарського комплексу України. Світовий океан щорічно надає до 20 % білкової їжі, є постачальником сировини для виготовлення біологічно активних речовин, лікарських препаратів. Морепродукти використовуються також як сировина для отримання висококалорійного борошна для тваринництва [19].

За останні 20 років в Україні вилов живих ресурсів скоротився більш, ніж у 10 разів. Так у 1995 році у виключних економічних зонах інших держав було доbito 279548 т біоресурсів, а в 2014 році – 20263 т.

В 2017 році вперше Генеральна комісія з питань рибальства в Середземному морі ФАО почала реалізацію в Україні крупного проекту із наукових досліджень та технічної допомоги українській рибній

промисловості. Однією з найважливіших складових проекту є навчання українських науковців, як проводити оцінку промислових рибних запасів у Чорному морі.

Проблема енергетичної безпеки могла б вирішитися за рахунок використання власних, в тому числі офшорних, ресурсів Українського Причорномор'я. Треба підкреслити, що об'єктом уваги геологорозвідки, як джерело запасів вуглеводнів, Чорномор-Азовський регіон став ще в 60-х років XX століття.

Глибоководні буріння на Голіцинській структурі почалися з 1971 року, яка у 1975 році дала перший промисловий газ. За оцінками Українського державного геологорозвідувального інституту, сумарні перспективні і прогнозні ресурси вуглеводнів в акваторії (з урахуванням Криму) становили 1438 млн. т. умовного палива.

В Україні були розроблені програми, в яких була обґрунтована стратегія пошуків родовищ вуглеводнів, оцінені перспективи нарощування власної бази ресурсів, умови повного забезпечення держави нафтою і газом і обґрунтовані джерела імпорту необхідних обсягів вуглеводнів. До таких програм відносяться Національна програма «Нафта і газ України до 2010 р.» (1993 р.), яка була уточнена у 2000 р. Державна програма з освоєння газогідратів Чорного моря (1995 р.), Державна програма «Освоєння вуглеводневих ресурсів Українського сектора Чорного і Азовського морів» (1995 р.).

У 2006 році уряд схвалив Енергетичну стратегію України до 2030 року, згідно з якою передбачається за 25 років скоротити споживання газу до 66 млрд. м³ і одночасно довести видобуток нафти до 5,5 млн. т [19].

Однак, починаючи з 2008 року, спостерігалось скорочення видобутку вуглеводнів на шельфі України, причинами якого стали зменшення фінансування геологорозвідувальних робіт, прийняття Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України з питань оподаткування», який накладав значну ренту на компанії-видобувачі, часті

зміни керівництва, відсутність прозорого залучення інвестицій, заснованого на суворому підпорядкуванні законодавству та інтересам держави.

Вже у 2008 р. спостерігалось скорочення видобутку газу (20,6 млрд. м³ проти 21 млрд. м³ у 2007 р). Щодо перспективного Одеського родовища (природні запаси – 30 млрд. м³), то з причин ринкової кон'юнктури відбулося зростання вартості його освоєння з 550 млн. грн. у 2005 році до 3-4 млрд. у 2008 році [19].

У 2011 році Україною була придбана нова бурова установка 5-го покоління «Петро Годованець», яка повинна була стати найбільш технологічною і глибоководною буровою платформою в Чорному морі і дозволити задіяти інтервал 76-120 метрів морського дна континентального шельфу України. (Румунські бурові установки можуть працювати на глибині до 91 м, а українські «Таврида» і «Сиваш» – тільки до 76 м). До 2015 року планувалося видобувати близько 3 млрд. м³ природного газу.

Турецька сторона висловила свою готовність сприяти придбанню Україною бурової платформи для освоєння турецького сектору шельфу Чорного моря на умовах підяду на бурові роботи або довгострокової оренди.

В результаті анексії Криму майно «Чорноморнафтогазу» було незаконно захоплено РФ. Конфлікт загострився в середині грудня 2015 року, коли дві самопіднімальні бурові установки (В-312 і В-319) були переміщені з Одеського шельфового родовища в територіальні води РФ. Печерським районним судом Києва за клопотанням Генеральної прокуратури було накладено арешт на бурові установки «Петро Годованець» і «Україна».

Держприкордонслужба України також повідомила, що на Одеському родовищі Чорного моря, на якому до евакуації працювали вивезені бурові установки, РФ встановлює бурову платформу «Таврида», яка також була захоплена в результаті анексії півострова. Нафтогаз України планує домагатися через міжнародні судові інстанції відновлення контролю над

активами, втраченими внаслідок російської окупації Криму, і відшкодування всіх понесених збитків.

Необхідно відзначити, що одним з ресурсів розвитку морегосподарського комплексу України є також розширення можливостей видобування і переробки сировинних ресурсів, у тому числі піщано-мушлевої суміші на глибоководних (40-50 м) родовищах.

До анексії Кримського півострова в приморському регіоні України перебувало понад 100 родовищ морських (у т. ч. лиманних) пісків. Найбільші з них «Одеська банка», Алібейське і Джарилгацьке, запаси яких 17,0 млрд. м³, 360 млн. м³ і 150 млн. м³ відповідно [22].

Українське Причорномор'я характеризується наявністю значного туристично-рекреаційного потенціалу, під яким розуміється стан туристично- рекреаційних ресурсів території, здатне задовольнити попит населення у відпочинку та туризмі.

Категорія «туристсько-рекреаційні ресурси» є інтегральною і включає в себе: природні ресурси; культурно-історичні ресурси; інфраструктуру туризму; трудові ресурси та інші соціально-економічні фактори, що сприяють реалізації туристично-рекреаційного потенціалу Українського Причорномор'я.

Природний рекреаційний потенціал Українського Причорномор'я формують клімат, заповідні ландшафти, морські і лиманові пляжі, лікувальні ресурси (мінеральні води, пелоїди, лиманна ропа, морська вода, тощо), історико-культурні об'єкти. Особливу рекреаційну цінність має прибережна смуга Чорного і Азовського морів.

Українське Причорномор'я має унікальну природу та історико-культурну спадщину – біосфері і природні заповідники, мережа природно-заповідних територій державного значення, національні природні парки, заказники, регіональні ландшафтні парки, ботанічні сади, нерухомі пам'ятки археології, історії, монументального мистецтва, архітектури та містобудування.

Незважаючи на процвітання деяких туристичних центрів регіону та велику кількість турфірм, галузь в цілому знаходиться в початковому стані виходу з кризи. Пріоритетна роль рекреаційно-туристичної сфери для розвитку регіональної і національної економіки недооцінена на всіх рівнях владних структур.

Починаючи з 2019 року, відновлено круїзну навігацію в Одесі. Туристичні оператори "Фенікс Райзен", "Азамара", "Кристал Крузес" та інші включають Одесу в маршрути своїх круїзів із заходом в Чорне море. В Одеському порту в 2013 році було 106 суднозаходів, в 2014 році – 28, в 2018 року в Одеському порту не було зафіксовано жодного заходу круїзних лайнерів під іноземним прапором. На 2020 рік анонсовано дев'ять заявок на судозаходи.

Навігаційно-гідрофізичне забезпечення морської діяльності в басейні Чорного і Азовського морів. Реалізація морського потенціалу України вимагає забезпечення безпеки ведення господарської діяльності у внутрішніх водах, територіальному морі та виключній економічній зоні України [23].

Сьогодні провідні країни застосовують багатофункціональні інформаційно-керуючі системи для підвищення безпеки транспортного судноплавства, інтермодальних контейнерних перевезень, рибальства, рятувальних операцій, функціонування портового господарства та ін.

Морська галузь і перш за все транспортний і промисловий флот вимагають надійного навігаційно-гідрографічного забезпечення. Для України важливим є створення єдиної національної системи навігаційно-гідрографічного забезпечення (НГЗ) мореплавства, тобто створення сприятливих в навігаційному відношенні умов для безпеки плавання транспортних, рибпромислових, спеціальних та інших суден.

Відповідальність перед урядом України за стан навігаційно-гідрографічного забезпечення суден, морських шляхів руху суден і їх інфраструктури, відповідно до національного законодавства, несло

Міністерство транспорту та зв'язку України та його підрозділи (в даний час Міністерство інфраструктури України).

До отримання Україною незалежності навігаційно-гідрофізичну складову безпеки морської галузі забезпечувала Гідрографічна служба Чорноморського флоту. З 1994 року управління навігаційно-гідрографічним забезпеченням мореплавства перейшло в Національне агентство морських досліджень і технологій (НАМІТ). Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 06.06.1997 р. «Про державну гідрографічної служби України» [23] у 1998 р. на базі НАМІТ була створена гідрографічна служба України, а у 2000 році – державна установа «Держгідрографія».

Військово-морська діяльність як фактор забезпечення реалізації морегосподарського потенціалу та національної безпеки України. Сучасні геополітичні умови продемонстрували гостру необхідність наявності Військово-Морських Сил Збройних Сил (ВМС ЗС) України, здатних захистити морські кордони України.

У мирний час на ВМС України покладалися завдання: створення необхідного комплексу ВМС і підтримання їх в готовності до стримування агресії з морського напрямку; боротьба з ворожими військово-морськими силами; знищення транспорту противника; підтримка інших видів Збройних Сил з морського напрямку; захист своїх військово-морських баз і морських комунікацій; захист цивільного судноплавства, участь у миротворчих операціях, виконання міжнародних зобов'язань України у військово-морській сфері.

До складу ВМС ЗС України входять надводні сили, морська авіація, берегові ракетні підрозділи, війська берегової оборони, морська піхота, частини логістичного забезпечення [19]. Будівництво бойових кораблів є пріоритетним завданням, інакше Україна може втратити статус морської держави. Найголовнішою перешкодою на цьому шляху є відсутність фінансування, а також традиційна непослідовність держави при реалізації довгострокових і технічно складних проектів.

Таким чином, незважаючи на достатню кількість об'єктивних умов, для того, щоб морегосподарська діяльність в Україні взяла на себе роль найважливішого чинника розвитку національної економіки, цього, на жаль, не відбулося.

Сьогодні розглядається декілька сценаріїв подальшого розвитку економіки України і відповідна до нього зміна споживання та виробництва енергоресурсів розглядаються з позиції сценаріїв економічного зростання і структури ВВП. Сценарії лежать у діапазоні від песимістичного, при якому реалізується безліч ризиків, пов'язаних із уповільненням виходу економіки із кризи, зниженням темпів відновлення світового попиту на продукцію металургії й інших галузей до оптимістичного. За базовий взято сценарій, при якому середнє зростання ВВП складе 5 % на рік до 2030 р. Обидва сценарії мають на увазі зростання промислового виробництва, що вимагатиме залучення додаткових енерговитрат. У той же час, сьогодні в усьому світі взято курс на декарбонізацію енергетики та дедалі активніший перехід на відновлювані джерела.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Методи оцінки вітроенергетичного потенціалу

Кліматична інформація, яка використовується для обґрунтування схем розміщення і проектування вітроенергетичних установок (ВЕУ) може бути поділена на три групи [24].

Перша група містить загальні кліматичні характеристики, за допомогою яких оцінюються теоретичний вітроенергетичний потенціал:

- 1) середня швидкість вітру (за рік і по місяцях);
- 2) амплітуда добового ходу швидкості вітру за сезонами року;
- 3) розподіл (повторюваність) швидкості вітру по градаціях;
- 4) вертикальний профіль середньої швидкості вітру;
- 5) густина повітря;
- 6) інтенсивність турбулентності вітрового потоку.

Сюди можна віднести поправочні коефіцієнти, що враховують зміну вітру по території, викликану неоднорідністю підстильної поверхні.

Рельєф місцевості, висота над поверхнею землі, шорсткість підстильної поверхні, наявність водойм, а також затінюючих елементів є факторами, що безпосередньо впливають на величину швидкості вітру. Наприклад, ліси і великі міста можуть значною мірою уповільнювати швидкість вітру, в той час як водні простори або території аеропортів не роблять такого ефекту. Виходячи з того, що ці умови можуть значно відрізнятися на різних станціях, для зіставлення середніх швидкостей вітру необхідно приводити їх до порівнянних умов. Зазвичай, за ці умови приймають умови відкритої рівної місцевості і висоту 10 м над поверхнею землі [25, 26].

За допомогою цієї групи кліматичних характеристик визначається питома потужність вітрового потоку, що характеризує теоретичний потенціал енергії вітру. Потужність вітрового потоку пропорційна густині повітря, площі поперечного перерізу потоку і швидкості вітру в третьому ступені [25]

$$N = \frac{1}{2} \rho V^3 A, \quad (1)$$

де N – миттєва потужність вітрового потоку, ρ – щільність повітря (при нормальному атмосферному тиску 1013 гПа і температурі повітря 15° С, густина повітря становить 1,226 кг/м³), V – швидкість вітру, A – площа поперечного перерізу, через яку проходить вітрової потік.

В наслідок кубічної залежності від швидкості вітру, потужність є вкрай мінливою величиною, що змінюється в широких межах. Середньорічна питома енергія вітру (енергія, що протікає за рік через поперечний переріз вітроколеса) є інтегральною характеристикою. Вона залежить від повторюваності швидкостей вітру, тобто від того, яку частку річного часу дув вітер з тією чи іншою швидкістю.

Маючи дані про середньорічні швидкості вітру, вертикальний профіль вітру, а також про повторюваність швидкостей вітру, можна дати енергетичну характеристику вітрового потоку будь-якій місцевості і на будь-якій висоті.

Для оцінки енергетичних ресурсів зазвичай розглядають потенційні, технічні та економічні ресурси.

Потенційними вітроенергетичними ресурсами є сумарна енергія руху повітряних мас, які переміщуються над даною територією протягом року.

Технічними вітроенергетичними ресурсами є частина потенційних ресурсів, яка може бути використана за допомогою наявних технічних

засобів. Тут відбувається також облік неминучих втрат при використанні вітрової енергії.

Необхідно відзначити, що середня швидкість є недостатньою характеристикою для оцінок природного і, в ще більшому ступені, технічного потенціалу вітрової енергії територій, який визначається потужністю вітрового потоку і середнім виробленням енергії заданим типом ВЕУ. При знаходженні цих характеристик, першорядне значення має повторюваність швидкості вітру в заданій точці території [27].

До наступної групи можна віднести спеціалізовані кліматичні характеристики, за допомогою яких здійснюється вибір оптимальних режимів роботи ВЕУ, тобто характеристики для оцінки реальних вітроенергетичних ресурсів. До них належать:

1) сумарна повторюваність діапазону робочих швидкостей, тобто коли ВЕУ виробляє електроенергію:

- діапазон швидкостей, за яких ВЕУ працює в режимі номінальної потужності;
- енергетичні затишшя – швидкості вітру нижче певного рівня (V_0), за яких ВЕУ не виробляє електроенергію;
- діапазон "буремних" (небезпечних) швидкостей – швидкості вітру, за яких проводиться відключення ВЕУ з метою уникнення поломки лопатей (вироблення електроенергії також дорівнює нулю);

2) безперервна тривалість відповідно діапазону робочих швидкостей, діапазону номінального режиму, енергетичних затишшів.

Остання група містить характеристики, які використовуються при розрахунку міцності і стійкості (вплив вітру) конструкцій ВЕУ. Вони містять:

- 1) розрахунковий вітровий тиск (вітровий натиск) і його зміна за висотою споруди;
- 2) інтенсивність турбулентності і коефіцієнт поривчастості вітру;
- 3) прискорення вітру в пориві;

4) розрахункові екстремальні значення ожеледно-ізморозових відкладень на поверхні опор і лопатей ВЕУ.

Оснoву вихідної інформації для визначення кліматичних характеристик вітроенергоресурсів складають матеріали регулярних спостережень на мережі метеорологічних станцій. Відповідно до рекомендацій ГГО ім. А.І. Восійкова [24], для отримання стійких значень середньої швидкості вітру достатнім є 10-річний ряд спостережень. На висоті 30 м швидкість вітру в середньому в 1,7 рази, а на висоті 100 м – в 2,4 рази вище ніж біля земної поверхні [28].

Вихідною вимогою до місця розгортання автономних ВЕУ і вітроелектричних станцій (ВЕС) є наявність високого вітроенергетичного потенціалу. У першому наближенні його можна характеризувати рівнем середньої річної швидкості вітру ≥ 5 м/с на висоті 10 м над підстильною поверхнею [29]. Однією з характеристик, які дають більш точну оцінку ефективності роботи ВЕУ є тривалість у часі діапазону робочих швидкостей. Для більшості типів ВЕУ, малої і середньої потужності цей діапазон становлять швидкості від 9 до 25 м/с. Роботу ВЕУ можна вважати достатньо ефективною, якщо відносна тривалість діапазону робочих швидкостей вітру (коефіцієнт використання) становить не менше 0,4 протягом сезону.

Крім того, місце для розміщення ВЕУ має характеризуватися невеликою повторюваністю енергетичних затишів, тобто для більшості ВЕУ це період часу, коли $v \leq 5$ м/с становить не більше 20-30 %.

Додаткова вимога – відсутність або незначна повторюваність ураганних вітрів ($v > 32,7$ м/с) і мале число штормових періодів ($v > 20,8$ м/с).

Слід мати на увазі, що не завжди великі значення середньої річної швидкості є гарантією високого вироблення електроенергії ВЕУ. Вітри гірських проходів несприятливі для вітроенергетики через велику повторюваність штормів.

До сприятливих умов для розміщення ВЕУ, відносяться: велика середньорічна швидкість вітру; відсутність високих перешкод з підвітряного

боку на відстані, що визначається висотою перешкоди; плоска вершина; височина (з пологими схилами) на плоскій рівнині або островах озер або морів; відкриті рівнини або узбережжі; гірська ущелина, яка утворює тунель [30].

Таким чином, можна сказати, що основною характеристикою, яка визначає вітроенергетичний потенціал території, виступає швидкість вітру. Як відомо, швидкість вітру формується під дією сили баричного градієнта, який визначається градієнтом тиску. Найменша швидкість вітру спостерігається в малоградієнтних баричних полях.

Питома потужність вітрового потоку є енергетичною характеристикою вітру, що залежить від повторюваності швидкостей вітру і характеру підстильної поверхні в конкретній місцевості. Швидкість вітру є випадковою функцією часу. Найточніший опис швидкості вітру можна отримати за допомогою розподілу Вейбула-Гудрича для умов рівнинної місцевості [31]:

$$f(u) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{v}{\beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{\beta} \right)^{\gamma} \right], \quad (2)$$

де v – швидкість вітру, β – параметр розподілу (м/с), відповідний за масштаб ($\beta = 1,1\bar{V}$), γ – параметр розподілу, який характеризує форму кривої. Параметр γ розраховується за формулою [32]

$$\gamma = C_V^{-1,086}, \quad (3)$$

де C_V – коефіцієнт варіації, ($C_V = \frac{\sigma}{\bar{V}}$). Розподіл Вейбулла, в випадку, коли параметр $\gamma = 1$, носить назву експоненціального розподілу, при $\gamma = 2$ – розподілу Релея, при $\gamma = 3$ розподіл наближається до нормального (Гауссового) [33]. Оскільки величини вітру, що спостерігаються,

демонструють частотні розподіли, які добре описуються за допомогою розподілу Релея, то виробники використовують даний розподіл при розрахунку стандартних показників продуктивності для вітряних турбін. На величину параметра γ впливає місцевий вітровий клімат і ландшафт місцевості, для якої здійснюють розрахунки. Низькі значення параметра $\gamma < 1,8$ притаманні вітровому клімату, переважно сформованому під впливом місцевих вітрів термічного походження. Високі значення параметру $\gamma > 2,5$ характерні для вітрового клімату, який відрізняється сталістю вітрових характеристик (наприклад, пасатів). Обидва параметри, β і γ , залежать від висоти над підстильною поверхні. До висоти 100 м їх значення зростають, вище 100 м величина параметру γ зменшується [34].

Питому потужність вітрового потоку можна оцінити за допомогою формули [31]:

$$N_E = \frac{1}{2} \rho \beta^3 \Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right), \quad \left[\frac{Bm}{m^2} \right] \quad (4)$$

де ρ – густина повітря (1,226 кг/м³), $\Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right)$ – гамма функція. Для розрахунку гамма функції було використано інтерполяційне вираження, яке при значеннях $x < 60$ має похибку менше 10^{-4} [35]:

$$\Gamma(x) \cong \frac{\sqrt{\frac{2\pi}{y}} \exp\{y[\ln(y) - 1] + \frac{1}{12y}\}}{x(x+1)(x+2)(x+3)(x+4)(x+5)}, \quad (5)$$

де $y = x + 6$.

Цей підхід був запропонований у ряді досліджень [32, 35] присвячених розрахунку вітроенергетичних показників, показав хороші результати і використовувався для планування розташування вітрогенераторів.

3.2 Принципи проектування та розміщення морських вітрових установок

Морський вітер відкриває величезні можливості для виробництва електроенергії у Європі. При розміщенні наземних вітряних електростанцій часто доводиться стикатися зі спорами про землекористування, шум і візуальні перешкоди. Перенесення вітряних електростанцій у море не лише усуває ці проблеми, а й дає інші важливі переваги, у тому числі:

- наявність великих безперервних ділянок, які підходять для розміщення великих вітряних електростанцій;
- більш висока швидкість вітру, яка зазвичай збільшується з віддаленням від берегу;
- менша турбулентність вітрового потоку, що дозволяє турбінам ефективніше виробляти енергію;
- зниження робочих навантажень на турбіну;
- нижче розташування рівня, на якому спостерігається зсув вітру, що дозволяє використовувати менш високі вежі.

Існуючі та очікувані технології обмежують потенціал для виробництва енергії вітру на шельфі. По-перше, дані про швидкість вітру для морських районів із глибиною понад 50 метрів не збиралися. По-друге, в даний час вітряні електростанції, за рідкісним винятком, розміщуються на мілководді з глибиною приблизно до 25 метрів [4].

Рекордне нарощування потужності офшорної вітроенергетики в світі на 5 ГВт були встановлено протягом 2020 року, внаслідок чого глобальна експлуатаційна потужність офшорної вітроенергетики становила приблизно 33 ГВт, що дозволяє зберегти темпи зростання, незважаючи на проблеми, спричинені COVID-19. У 2020 році було введено в експлуатацію 15 нових електростанцій, а це означає, що зараз у всьому світі працює понад 160 морських вітрових електростанцій. Великобританія залишається найбільшим ринком морської вітрової енергії у світі, із встановленою потужністю

морських вітрових енергетичних установок (МВЕУ) близько 10 ГВт, за нею йдуть Німеччина з приблизно 8 ГВт і Китай, який в даний час займає третє місце у світі, та має встановлену потужність МВЕУ близько 7 ГВт [36].

Прогнозується, що найближчими роками це зростання офшорної вітроенергетики прискориться з глобальним прогнозом на рівні приблизно 200 ГВт, прогнозованих установок до 2030 року. Цей прогноз зростання підтверджується появою додаткових 30 ГВт нових потужностей, які, як очікується, будуть виділені найближчими роками.

Нові технології видобутку екологічно чистої енергії на основі водню та плавучих МВЕУ, допоможуть декарбонізувати важкодоступні ділянки морського видобутку та дозволять розширити нові ринки, які раніше були обмежені географічними умовами, що вказує на світле майбутнє енергетики на основі морського вітру.

3.2.1 Сучасні технологічні тенденції

Тенденції у світовій вітроенергетиці підштовхують до створення більших багатомегаватних турбін. В даний час загальне вироблення енергії морськими вітровими електростанціями, обладнаними компанією Vestas, становить понад 740 МВт. Ці електростанції оснащені в основному турбінами V90 потужністю 3 МВт. В той же час продовжується робота над створенням потужніших вітрогенераторів потужністю 4,5 МВт і більше. Компанії REpower, Multibrid та Enercon проводять випробування турбін з діаметром ротора більше 100 м та потужністю 5-7 МВт. Компанія Nordex випускає спеціально розроблену для розміщення в морі турбіну N90 потужністю 2,5 МВт [34]. Компанія Siemens Gamesa продемонструвала роторну турбіну SG 8.0-167 DD потужністю 8 МВт і діаметром лопатей 167 м, спеціально розроблену для розміщення у глибоководних акваторіях морів, а також продемонструвала два продукти, спроектовані для

використання в морі – удосконалену компактну турбіну G10X потужністю 4,5 МВт, та спеціально розроблену бетонну вежу висотою 120 м, яка в майбутньому може бути основою для недорогих морських вітрогенераторів. Компанія планує в 2022 році розпочати випуск офшорної вітряної турбіни SG 11.0-200 DD потужністю 11 МВт, яка відрізняється високими характеристиками, швидким виведенням на ринок та низькими ризиками для морської вітроенергетики [37].

Поточна галузева тенденція до збільшення потужності турбін та розмірів лопатей ґрунтується на двох фундаментальних припущеннях. По-перше, тренд передбачає, що вартість фундаменту та інших елементів базису станції не збільшується лінійно з потужністю турбіни. По-друге, передбачається, що вартість експлуатації та обслуговування невеликої кількості великих турбін менша, ніж підтримка роботи великої кількості турбін малого розміру. Насправді офшорні електростанції майже повністю спростовують обидва припущення. Витрати на зведення фундаменту, за існуючих сьогодні технологій, значно зростають у міру віддалення електростанції від берега на більш глибокі ділянки. Аналогічним чином, витрати на експлуатацію та технічне обслуговування генераторів, також, збільшуються зі збільшенням їх видалення від берегу. Тому можна зробити висновок, що при проектуванні офшорних електростанцій, розмір турбіни є не єдиним важливим фактором, якщо збільшення розмірів ротора не супроводжується значним зменшенням його фундаменту, витрат на експлуатацію і технічне обслуговування, а також підвищенням надійності та доступності, щоб реалізувати потенціал і життєздатність морських вітряних електростанцій.

3.2.2 Проблеми проектування, пов'язані з морськими проектами

Для морського середовища потрібні значні інновації у конструкції вітряних турбін. Характеристика потенційних перешкод для розвитку та

визначення технологій для їх подолання буде важливим аспектом цих нововведень. Під час проектування морських вітрових установок виникають проблеми, які можна умовно поділити на три категорії: економічні виклики, проблеми, пов'язані з глибиною розміщення та проблеми дизайну корпусу [34].

Капітальні витрати на фундаменти морських вітрових установок зростають із збільшенням глибини моря. У той час як нинішні фундаменти наземних вітряних установок становлять близько 10 % або менше від загальних капітальних витрат на вартість фундаменту та зростають до 20 %, при простому переміщенні турбін на шельф. При цьому, фундаменти не вносять прямого вкладу в яке-небудь збільшення потужності, що виробляється, і таким чином, підвищена вартість будівництва фундаменту безпосередньо збільшує вартість електроенергії, яка виробляється.

Проблема так званого «25-метрового бар'єру» пов'язана з тим, що установка вітрогенератора на глибині понад 25 м потребує вирішення певних технічних завдань. Навіть у сприятливих ґрунтових умовах морського дна найбільш популярним є моноблочний фундамент. В даний час для фундаменту морської вітряної турбіни при її розміщенні на глибині 25 м необхідний блок діаметром близько 5,5 м і товщиною близько 90 мм, і діаметром близько 5 м і товщиною 50 мм, відповідно, при її розміщенні на глибині 10-12 м. Підсумкова вага такого блоку може становити близько 250 метричних тонн. Це породжує значні проблеми під час транспортування та встановлення таких об'єктів. Фактично, сьогодні обмежена кількість таких судів у світі може впоратися із встановленням палі подібних габаритів.

Крім іншого, величини навантажень на конструкції морських вітроустановок набагато перевищують навантаження на конструкції нафтогазовидобувних платформ. Це пов'язано із співвідношенням між перекидальним моментом і вертикальним навантаженням, відомим як «ексцентриситет», що є найважливішим фактором, що визначає геометрію та форму фундаменту під вітроустановку.

Значна увага при доборі місця розміщення морських вітроустановок надається хвильовому режиму на передбачуваний ділянці, що визначає критичні величини параметрів обтікання при взаємодії хвильового фронту з перешкодою (у даному випадку вежею вітроустановки) [34]. Обвалення хвиль відбувається, коли співвідношення між висотою хвилі та глибиною моря перевищує певну межу. Крім того, за певних обставин хвиля обривається як хвиля, що падає, а не як хвиля, яка може викликати значно більшу силу втомного навантаження на будь-який елемент конструкції. Так, у Великій Британії на експериментальній морській вітряній електростанції в Бліт-Харборі одна з веж була зведена в точці обвалення хвиль і витримувала значно підвищене втомне навантаження, ніж інші вежі.

Потенціал технічних, придатних для використання, ресурсів для морського вітру є фактором середньої швидкості вітру та глибини води. В даний час морські вітряні турбіни з фіксованим фундаментом можна встановлювати на глибині до 50 метрів. Тому зусилля інженерів проєктувальників спрямовані на розробку моделей турбін з плаваючим фундаментом, що потенційно дозволить їх установку на глибині до одного кілометра на основі технологій, що пропонуються в даний час [38] та значно розширить площу акваторій, придатних для розміщення таких установок.

Щоб отримати необхідну інформацію для планування введення в експлуатацію морської вітряної електростанції, потрібно кілька речей. Перша необхідна інформація – це характеристики вітру у морі. Додаткові необхідні дані для планування включають глибину води, течії, морське дно, міграцію наносів та дію хвиль, які викликають механічні та структурні навантаження на потенційні конфігурації турбін. До інших факторів відносяться солоність, зледеніння та геотехнічні характеристики морського дна.

Виходячи з методології, описаної у звіті «Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets» [38], можна зробити висновок, що для розміщення морських вітрових установок підходять акваторії, які відповідають таким умовам [39]:

1. Середньорічна швидкість вітру понад 7 м/с на висоті 100 м (5 м/с на висоті 10 м), для сучасних робочих характеристик морських вітряних турбін;
2. Глибина менше 50 м – для вітрових електростанцій із фіксованим фундаментом;
3. Глибина від 50 до 1000 м – для плавучих вітрових електростанцій;
4. Розташування ділянки розміщення МВЕУ на відстані не більше 200 км від берегу;
5. Суцільна площа ділянки акваторії $> 10 \text{ км}^2$;
6. Постійна планована потужність вітрового потоку від 3 МВт/км² для районів зі швидкістю вітру 7-8 м/с до 4 МВт/км² для районів зі швидкістю вітру. 8 м/с.

Встановлення та експлуатація морських вітряних установок регулюються як національним, так і міжнародним законодавством. Відповідною міжнародною правовою базою є UNCLOS (Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права), яка регулює права та обов'язки держав щодо використання Світового океану. Виходячи з [40] Морська зона, де розташовані офшорні вітряні турбіни, визначає, які нормативні правила застосовуються:

- У територіальних водах (до 12 морських миль від лінії узбережжя) прибережна держава має повний суверенітет, і тому регулювання встановлення морських вітрових установок повністю перебуває під національною юрисдикцією.

- Виняткова економічна зона (до 200 морських миль від вихідних умов) не є частиною території держави, але підлягає винятковій юрисдикції прибережної держави та управлінню для обраних цілей, однією з яких є виробництво енергії від вітру. Це означає, що в межах цієї зони прибережна держава має право встановлювати та експлуатувати морські вітряні електростанції та встановлювати навколо них зони безпеки, які повинні дотримуватися всіма судами, за умови, що про встановлення було надано належне повідомлення. Крім того, ні споруди, ні зони безпеки не можуть

перетинатися з морськими шляхами, які вважаються важливими для міжнародного судноплавства.

– За межами виняткових економічних зон знаходяться відкрите море чи міжнародні води. У цій зоні мета виробництва енергії прямо не згадується як свобода у відкритому морі, і тому правовий статус морських вітроенергетичних установок не зрозумілий.

Хоча морська вітроенергетика різко зросла за останні кілька десятиліть, все ще існує велика невизначеність, пов'язана з тим, як будівництво та експлуатація цих вітряних електростанцій впливає на морських тварин і морське середовище [41]. Загальні екологічні проблеми, які пов'язані з розвитком морської вітроенергетики, включають:

- ризик зіткнення морських птахів з лопатями вітряних турбін або їх витіснення з критичних місць проживання;
- підводний шум, пов'язаний із процесом встановлення однополярних турбін на морське дно;
- фізична присутність морських вітрових електростанцій, що змінюють поведінку морських ссавців, риб та птахів, із залученням або уникненням;
- потенційне порушення морського середовища ближнього та далекого поля внаслідок великих морських вітроенергетичних проєктів;
- ризик інтродукції інвазивних видів при буксируванні фундаменту з порту на майданчик [42].

Оскільки офшорна вітроенергетика є відносно новою галуззю, поки що немає ні доказів довгострокового впливу морської вітрової діяльності на навколишнє середовище, ні будь-яких досліджень кумулятивного впливу на діяльність декілька морських видів в тому самому районі [43].

3.2.3 Вплив морського льоду на конструкції морських вітрових установок

Морський лід – це частина морських умов, які, серед іншого, мають бути включені до процесу проектування опорних конструкцій морських вітрових установок.

Морський лід є важливим, але недостатньо вивченим джерелом навантаження на всі види берегових споруд. Складна механіка льоду, на яку впливає безліч чинників, вносить серйозну невизначеність в оцінку льодових навантажень на опорні конструкції МВЕУ. Нині така невизначеність пом'якшується консервативним підходом під час проектування. Однак завищені коефіцієнти запасу міцності роблять опорні конструкції більш високовитратними. Крім того, методи аналізу льодового навантаження на море, запропоновані в стандартах та посібниках не завжди відповідають унікальним динамічним характеристикам МВЕУ. Наприклад, динамічний вплив морського льоду на опорну конструкцію може викликати вібрацію всієї МВЕУ, включаючи її механізми та лопаті та, отже, збільшити їхнє втомне навантаження [44].

З польового досвіду добре відомо, що морські вітрові турбіни набагато менше страждають від впливу морського льоду на ділянках де він, в основному, складається з припаю на суші в порівнянні з льодом, що дрейфує. Структура сухопутного припаю зазвичай представляє собою оточення з більш-менш однорідного льоду. Крижаний покрив, що взаємодіє з конструкцією турбіни, виробляє широкий діапазон станів деформації, кожен з яких викликає різні реакції в структурі. Статичні навантаження викликані нерухомим контактом льоду з вежею турбіни, а поверхневі сили виникають через навантаження, що з'являються в результаті поєднання вітру, течії та теплового розширення, які повільно штовхають крижаний покрив до конструкції. Вежа поводить себе як одиночна ізольована точка кріплення, що чинить опір прикладеній рушійній силі, яка може бути більш менш розподілена по поверхні вежі [45]. Динамічні навантаження виникають від шматків плаваючого льоду або навіть крижаних полів, які можуть покривати

кілька квадратних кілометрів, ударяючись о конструкцію з помітною швидкістю (навіть понад 1 м/с).

Статичні та динамічні навантаження викликають різну реакцію конструкції. Отже, переважаючі морські льодові умови та механізм зледеніння необхідно знати заздалегідь, щоб правильно спроектувати тип фундаменту та деякі додаткові особливості, такі як [46]:

- бар'єри або огороження від динамічних впливів, які викликаються льодом (конструкції можуть бути спроектовані таким чином, щоб протистояти їм, забезпечуючи похилі поверхні основи на рівні моря. Це знижує тиск льоду, викликаючи вигин льоду та розбивання листів на дрібні шматочки);
- взаємодіючі фундаменти, що функціонують для запобігання руху крижаного покриву. Їхнє завдання – створити штучну зону «припаю» або розширення зони природного припаю. У таких випадках як статичні, і динамічні сили деякі основи залишаються невеликими.

Рекомендації [47] щодо врахування впливу морського льоду при проектуванні МВЕУ, розроблені в Данії, вимагають, щоб фундамент вітряної турбіни був спроектований з урахуванням горизонтальних та вертикальних льодових навантажень, включаючи статичні та динамічні навантаження. Повинні бути визначені навантаження морського льоду (величина та напрямок), враховуючи природу льоду, його механічні властивості, площу контакту льоду з конструкцією, форму, розмір конструкції та напрямок руху льоду. Навантаження від можливих скупчень перед фундаментом також оцінюються. До таких льодових навантажень відносяться:

- навантаження від жорсткого крижаного покриву, у тому числі від аорчних ефектів та коливань рівня води;
- навантаження від вморожених у конструкцію мас льоду;
- тиск від пакового льоду та крижаних стінок;
- термічний тиск льоду, пов'язаний з коливаннями температури у жорсткому крижаному покриві;

- можливі ударні навантаження під час танення льоду;
- навантаження через зледеніння.

З цих міркувань ясно, що в місцях з холодним кліматом у відкритому морі необхідно розглядати льодоутворення як основний фактор при аналізі ділянки для розміщення МВЕУ. Системи запобігання зледенінням на лопатях, точна герметизація, системи пом'якшення навантаження для морського льоду, діагностичні інструменти, пов'язані з холодними умовами, інтегровані для обліку ефектів льодових навантажень, будуть розумною частиною інвестицій в експлуатаційні витрати. Таким чином, необхідні точні інструменти для оцінки ризику зледеніння та встановлення впливу на проектувану установку.

3.2.4 Хвильове навантаження на морські вітрові установки

Хвильові навантаження впливають на нижню частину вежі морських вітроустановок. Поблизу зони вільної поверхні хвильові сили можуть досягати максимальних значень. Руйнування хвилі ініціюється, коли вона набирає більше енергії, стає нестабільною та розсіює енергію у формі турбулентності. У процесі обвалення хвилі енергія хвильової системи фокусується близько до гребеня хвилі та відбувається просторовий розкид хвильової енергії. Хвилі, що розбиваються, можуть виникати на різних ділянках в залежності від глибини, висоти хвиль, ухилу морського дна, хвильового періоду та їх крутості. Звичайне співвідношення висоти хвилі та глибини при обрушенні становить від 0,8 до 1,2. Хвилі, які розбиваються класифікуються як розливні, як хвилі, що занурюються, наганяють і схлопуються, де останні являють собою комбінацію занурення і підняття. Хвильові сили розливу та підняття можна апроксимувати квазістатичними силами. Хвилі, що розбиваються, які найбільш характерні для конструкцій морських вітряних установок мають структуру розливної хвилі чи хвилі, що занурюється [48]. Властивості хвилі, що розбивається, також залежать від

взаємодій: вітер – хвиля, хвиля – хвиля і хвиля – течія. Є дві основні невизначеності в силі хвилі, що розбивається: кінематика потоку і взаємозв'язок між потоками і силою хвилі, що розбивається. Обрахунок впливу хвиль на конструкції вітроустановок проводиться на стадії проектування на основі існуючих моделей та будівельних стандартів [49, 50].

3.3 Режим вітру у Північно-Західному Причорномор'ї

Результати спостережень на берегових метеорологічних станціях Північно-Західного Причорномор'я (Усть-Дунайськ, Білгород-Дністровський, Чорноморськ, Одеса, Південний, Очаків, Хорли, Чорноморське, Тарханкутський маяк, Євпаторія) показують, що середня багаторічна величина швидкості вітру знаходиться в межах від 4,0 м/с (Чорноморськ) до 5,5 м/с (Одеса). Найбільші швидкості вітру спостерігаються над відкритими ділянками моря 6,7 м/с (о. Зміїний) та 7,4 м/с (Суліна) [51].

Порівняльний аналіз швидкості вітру [52, 53] показав, що її середні величини за періоди 1961-1980, 1981-1990 та 1991-2000 рр. на станціях північно-західного узбережжя Чорного моря зменшилися на 0,5-1,3 м/с. Середньомісячні показники швидкості вітру зменшилися на досліджуваних стаціях [52] збільшилася і повторюваність слабого вітру на узбережжі.

Швидкість вітру має добре виражений річний хід з максимумом у холодний період року та мінімумом у теплий (табл. 3.1). Взимку амплітуда швидкості вітру в Північно-Західному Причорномор'ї становить 5,0-6,4 м/с, влітку відповідно 3,3-4,6 м/с [53]. Виходячи з того, що швидкість вітру в районі кожної станції залежить не тільки від пори року, але і від умов рельєфу узбережжя, що оточує станцію, тому на таких відкритих станціях як Хорли і Тарханкутський маяк в найбільш вітряні роки середньомісячні швидкості вітру взимку досягають 9,0-11,4 м/с. Штормові вітри зі швидкістю понад 20 м/с спостерігаються будь-якої пори року та в будь-якому районі

узбережжя. Абсолютні максимуми швидкості вітру взимку та навесні можуть досягати 25-30 м/с, а в окремих випадках були зафіксовані швидкості 37-40 м/с (в районах Одеси та м. Тарханкут).

Таблиця 3.1 – Середньомісячні та середньорічні швидкості вітру (м/с)
на берегових станціях Північно-Західної частини Чорного моря [53]

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Усть-Дунайськ, 1984-2005 рр.													
$V_{сер}$	5,7	5,8	5,9	5,3	4,8	4,8	4,6	4,6	5,1	5,6	5,8	6,0	5,3
σ	0,78	0,98	0,73	0,61	0,60	0,51	0,56	0,38	0,51	0,83	1,14	0,89	0,36
$V_{мін}$	3,5	4,3	4,8	4,1	3,5	3,6	3,3	3,9	3,8	4,1	4,1	4,3	4,6
$V_{макс\ абс}$	22	20	22	16	20	16	17	15	20	23	20	25	25
Белгород-Дністровський, 1945-2005 рр.													
$V_{сер}$	4,2	4,4	4,4	4,3	4,0	3,9	3,8	3,7	3,8	3,9	4,3	4,2	4,1
σ	0,73	0,73	0,78	0,71	0,61	0,48	0,48	0,45	0,56	0,65	0,62	0,68	0,31
$V_{мін}$	2,2	3,1	2,6	2,9	3,2	3,0	2,5	2,8	2,8	2,9	3,0	2,6	3,4
$V_{макс}$	6,2	5,8	5,9	6,1	6,0	5,0	4,9	4,9	5,7	5,3	5,5	6,8	5,1
Чорноморськ, 1961-2005 рр.													
$V_{сер}$	4,8	4,7	4,5	3,9	3,5	3,3	3,3	3,3	3,6	3,6	4,7	4,7	4,0
σ	1,22	1,13	1,0	0,79	0,72	0,64	0,74	0,75	0,72	0,72	0,99	0,90	0,66
$V_{мін}$	2,6	1,9	2,4	2,4	1,8	1,7	1,6	1,4	2,3	2,3	2,7	2,7	2,9
$V_{макс}$	8,0	8,2	6,5	5,6	5,2	4,7	4,9	4,8	5,4	5,4	7,4	7,3	5,5

Продовження таблиці 3.1

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Одеса, 1915-2005 рр.													
$V_{сер}$	6,2	6,2	5,9	5,2	4,9	4,9	4,7	4,6	5,0	5,7	6,4	6,3	5,5
σ	1,17	1,16	0,90	0,93	0,78	0,76	0,75	0,70	0,77	1,11	1,02	1,26	0,69
$V_{мін}$	3,1	3,8	3,6	3,2	3,3	3,5	3,0	3,3	3,4	3,9	4,0	3,5	4,2
$V_{макс}$	9,7	9,7	7,8	7,6	6,9	6,7	6,3	6,6	6,9	8,8	9,1	9,8	6,7
Південний, 1981-2005 рр.													
$V_{сер}$	5,1	5,2	5,0	4,5	4,3	4,4	4,2	4,2	4,6	4,8	5,4	5,3	4,7
σ	0,80	0,82	0,66	0,71	0,43	0,47	0,46	0,55	0,52	0,53	0,73	0,70	0,31
$V_{мін}$	3,4	3,5	3,1	3,1	3,5	3,5	3,2	2,8	3,2	3,6	3,1	3,8	3,7
$V_{макс}$	6,7	7,0	6,0	5,9	4,9	5,6	5,1	4,9	5,3	5,8	6,5	6,6	5,0
Очаків, 1926-2005 рр.													
$V_{сер}$	5,0	5,2	5,2	4,5	4,3	4,0	3,9	3,8	4,0	4,4	4,9	4,9	4,5
σ	1,24	1,47	1,47	0,82	0,95	0,88	0,75	0,75	0,65	1,09	0,99	1,17	0,73
$V_{мін}$	1,9	1,8	1,8	1,9	1,5	2,4	2,2	2,4	2,5	2,7	3,0	2,1	3,0
$V_{макс}$	8,2	8,8	8,8	6,5	6,4	5,5	5,8	6,0	5,6	7,8	7,8	8,2	6,4
Хорли, 1905-2005 рр.													
$V_{сер}$	5,4	5,7	5,7	5,6	5,2	5,1	4,7	4,5	4,7	4,9	5,3	5,3	5,2
σ	1,27	1,43	1,11	1,16	1,06	1,07	0,95	0,99	1,04	1,11	1,17	1,21	0,87
$V_{мін}$	2,4	3,3	3,3	3,5	3,2	3,2	2,9	2,5	2,9	2,8	3,1	2,6	3,6
$V_{макс}$	8,6	11,0	8,8	9,0	8,0	8,0	7,2	6,8	7,1	7,3	9,0	8,0	7,2
Чорноморське, 1928-2005 рр.													
$V_{сер}$	5,9	6,2	6,0	4,8	4,2	4,2	4,2	4,2	4,4	5,0	5,6	5,9	5,0
σ	1,15	1,37	1,14	0,91	0,86	0,90	0,71	0,62	0,71	0,99	1,11	0,91	0,61
$V_{мін}$	3,3	3,9	3,7	3,1	2,4	2,6	2,6	3,0	3,0	3,1	3,4	4,0	3,8
$V_{макс}$	8,7	9,8	9,9	7,2	7,7	7,3	6,1	5,6	6,8	7,9	9,3	7,9	7,0
Тарханкутський маяк, 1887-1995 рр.													
$V_{сер}$	6,0	5,7	5,3	4,5	3,7	3,7	3,5	3,8	4,2	5,0	5,5	5,8	4,6
σ	1,58	1,47	1,36	1,19	1,15	1,13	1,12	1,04	1,18	1,20	1,39	1,46	0,99
$V_{мін}$	2,6	2,6	1,3	1,4	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2	2,7	1,9	2,0	2,5
$V_{макс}$	10,5	9,4	8,9	7,1	6,4	6,4	6,5	6,1	7,0	7,8	10,3	9,2	7,5
Євпаторія, 1915-2005 рр.													
$V_{сер}$	5,5	5,6	5,2	4,5	4,0	3,7	3,6	3,6	3,8	4,4	5,1	5,4	4,5
σ	1,26	1,47	1,02	0,86	0,72	0,63	0,69	0,57	0,64	0,91	1,20	1,20	0,54
$V_{мін}$	3,4	3,3	3,7	2,8	2,4	2,5	2,1	2,3	1,9	2,4	2,6	3,4	3,1
$V_{макс}$	9,1	11,4	8,6	7,4	6,2	5,4	5,0	5,6	5,6	7,6	8,9	8,8	5,7

Розрахунок повторюваності швидкості вітру за градаціями показав, що найчастіше спостерігається слабкий вітер (0-5 м/с) на таких станціях як Очаків та Білгород-Дністровський, і становить 76 і 74 %, відповідно. Найбільша сумарна повторюваність вітрів швидкістю понад 10 м/с відзначена у районі Усть-Дунайська (8,7 %), мису Тарханкут (8,5 м/с), Одеси (7,3 %) та Євпаторії (6,2 %). Влітку на узбережжі переважає маловітряна погода, при якій повторюваність слабого вітру (до 5 м/с) становить 60-70 %.

Сезонні зміни поля тиску зумовлюють сезонні зміни у полі вітру. У квітні та травні на Чорноморському узбережжі України спостерігаються вітри південної складової. При встановленні літнього типу баричного поля (червень-серпень) по всій території Північно-Західного Причорномор'я переважають західні та північно-західні вітри [51].

3.4 Фізико-географічний опис північно-західної частини Чорного моря

3.4.1 Межі та районування

Насамперед означимо, що ми будемо розуміти під північно-західною частиною Чорного моря (ПЗЧМ). У літературі під ПЗЧМ [54] мають на увазі мілководну шельфову частину Чорного моря, яка розташована на північ від лінії, що проведена між мисами Тарханкут на сході та Каліакра на південному заході (рис. 3.1). У цій роботі під ПЗЧМ ми розглядатимемо ділянку, розташовану на північ від лінії м. Херсонес – м. Каліакра.

Північно-західні береги Чорного моря від дельти Дунаю до Севастопольської бухти – невисокі. В цьому місті до моря підходить рівнина палеозойської Східноєвропейської платформи, висота якої не перевищує 10 м на півдні та збільшується до 40-50 м на півночі. Платформа



Рис. 3.1 – Розташування північно-західної частини Чорного моря

складена породами платформного чохла, представленого переважно осадовими породами неогеново-четвертинного віку. Рівнина порізана балками, місцями закінчується біля моря урвищами і низинними піщаними смугами суші – пересипами, що відокремлюють від моря великі сольові озера та лимани. Особливо багато лиманів поблизу Одеси. Одні лимани повністю відокремлені від моря, інші, часом сполучаються з ним. Лимани, що утворилися в гирлах багатоводних річок (Дністер, Південний Буг, Дніпро) мають постійний вихід до моря. Найбільші лимани – Дніпровсько-Бузький, Дністровський, Хаджибейський, Куяльницький, Березанський – майже всі мілководні та кілька сотень років тому були затоками глибиною 20-30 м [51].

3.4.2 Батиметрія північно-західного шельфу Чорного моря

Більшу частину ПЗЧМ займає шельфова зона, або материкова мілина, яка представляє безпосереднє продовження суші, що опинилася під водами моря [55]. Найбільше переважають глибини 0-100 м (рис. 3.2), але місцями доходять до 160 м. Ширина шельфу ПЗЧМ сягає понад 200 км, в той час як в

інших частинах моря шельф з глибиною менше 100 м має ширину 2,2-15 км. Як було зазначено вище, північно-західна шельфова зона охоплює південний край Східноєвропейської палеозойської та епіпалеозойської Скіфської платформ, має слабкий нахил та плоскорівнинний абразійно-аккумулятивний рельєф. На північно-західному шельфі далеко (приблизно 100-120 км від берегу) простежуються долини річок Дунаю, Дністра, Дніпра та Південного Бугу. Про походження підводних долин та каньйонів немає єдиної думки. Більшість дослідників Чорного моря вважають, що утворення підводних долин пов'язане з неотектонічними рухами, що викликали зниження ерозійного базису під час регресії (відступу) моря.

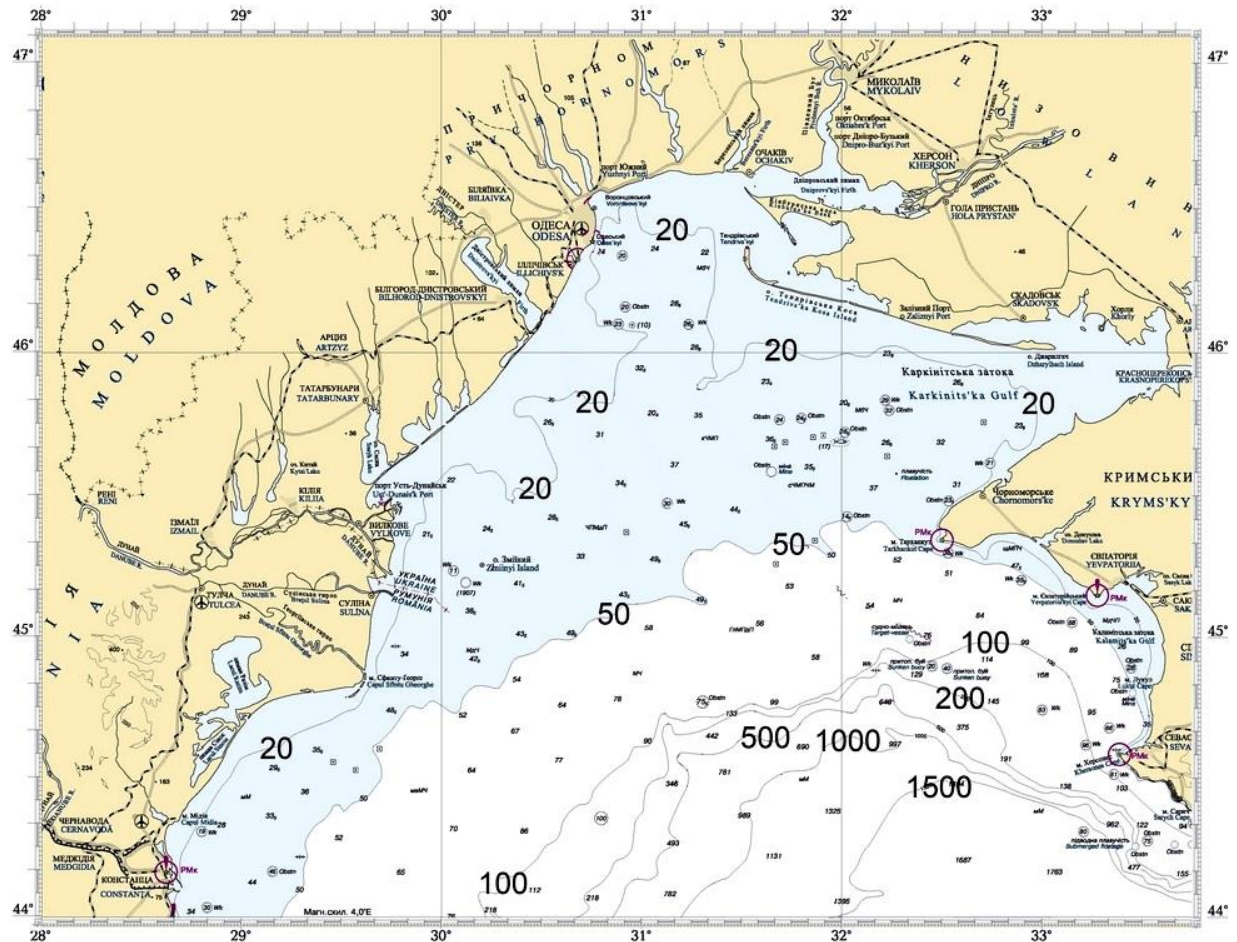


Рис. 3.2 – Батиметрична карта ПЗЧМ

За даними численних геологічних експедицій [56] всю площу шельфу займає алювіальна рівнина. Найбільш вирівняною та пологою частиною мілководдя є прилегла до берега зона глибин 30-40 м (більше 1/3 усієї площі району), утворена в результаті інтенсивного абразійно-аккумулятивного хвильового впливу. Ця зона характеризується значеннями кутів нахилу дна 1-2'. Решта мілководдя вирівняна слабше і має більшу крутість, яка зростає в напрямку брівки мілини, де кути нахилу досягають 10-12'. Глибина зовнішнього краю мілини змінюється в межах від 100 до 160 м. На тлі плоскої рівнини шельфу виділяються кілька великих пологих улоговин, розділених невисокими підводними височинами. Форма улоговин нагадує добре розроблені долини великих річок. Їх ширина досягає 10-15 миль, а відносні перевищення плоских пагорбів, що їх розділяють, становить 7-10 м. Схили підводних долин дуже пологі, їх крутість рідко досягає значень в 1°. Найбільшою долиною є Дніпровська, вона простягається на 280 км від Одеської банки через весь шельф, материковий схил і закінчується на абісальному дні. Менш протяжною (240 км) є Дністровська долина. Окрім алювіальних форм, що становлять основу північно-західного шельфу, відзначаються ділянки абразійних терас, невеликі банки та підводні берегові вали з амплітудою у кілька метрів. Між ізобатами 45 і 60 м виділяється терасоподібна поверхня, яка звужується в напрямку західного узбережжя Криму, а потім простежується вузькою смугою до мису Тарханкут. На поверхні тераси спостерігаються широкі та валоподібні форми висотою до 5 м [57].

Загалом, досить поглянути на розташування ізобат у ПЗЧМ, щоб переконатися, що більша частина акваторії шельфу має глибини до 50 м (орієнтовно по лінії м. Тарханкут – м. Каліакра), значна частина розташовується до ізобати 100 м (приблизно по лінії м. Херсонес – м. Каліакра), а за 100-метровою глибиною (біля берегів Румунії та Болгарії за 150-метровою глибиною) спостерігається згущення ізобат, тобто швидке збільшення глибин при віддаленні від найближчого берега. Визначений у

межах від м. Херсонес до м. Каліакра північно-західний шельф займає 16 % акваторії Чорного моря ($68\,390\text{ км}^2$) та всього 0,7 % обсягу вод ($3\,555\text{ км}^3$), максимальна ширина шельфу досягає 220 км [58].

Ізобату 100 м, яка становить середній кордон області поширення трансформованих річкових вод на північно-західному шельфі, А.М. Тамайчук [59] розглядає як природний географічний кордон, що відокремлює один від одного, якісно різні природні комплекси північно-західної частини Чорного моря та глибоководної частини моря. Хороший збіг з ізобатою 100 м виявляє і зовнішня межа основної чорноморської течії, проведена за екстремумами її меандрів на узагальненій схемі циркуляції вод Чорного моря [60].

3.2.3 Гідрологічні характеристики вод ПЗЧМ

Як було сказано вище, серед додаткових характеристик при проектуванні розміщення вітрових морських установок використовують такі характеристики як наявність течії, геотехнічні характеристики морського дна, міграцію, хвильовий вплив, а також солоність і зледеніння.

Найважливішою особливістю ПЗЧМ є наявність гирлових областей чотирьох великих річок (Дунай, Дніпро, Дністер, Південний Буг) [61], прісний стік яких істотно впливає на просторово-часову мінливість термохалинної структури. Домінуючий вплив на динаміку та термохалинну структуру вод (мінливість циркуляції, проникнення річкових вод, апвелінг тощо) надають вітрові умови, під які швидко підлаштовуються вітрові течії. Згідно [59], особливості термохалинної структури вод ПЗЧМ визначає рельєф дна, для якого характерна наявність великої кількості щодо мілководних областей – банок, заток, бухт, лиманів, які різною мірою сполучаються з морем. Вплив рельєфу дна звичайно важливий для прибережної частини ПЗЧМ (зокрема, району Каркінітської затоки або Дніпро-Бузького лиману), але навряд чи він має велике значення для

відкритої частини шельфу. Коротко описуючи динаміку вод ПЗЧМ, слід зробити висновок, що вона відносно проста лише в зимовий період, коли струмінь основної чорноморської течії захоплює весь північно-західний шельф і з погляду гідрохімії «вентилує» його, відносячи води стоку Дніпра, Дністра та Дунаю на південь. У решту сезонів динаміка вод ПЗЧМ, особливо в прибережній зоні, визначається вітровими течіями, які дуже швидко змінюють напрямок, пристосовуючись до змін поля вітру. При цьому в теплий період року регулярно виникають ситуації, коли розпріснені води розповсюджуються по всій акваторії шельфу, досягаючи узбережжя Криму, і не тільки західного краю м. Тарханкут, а й доходять до м. Херсонес [62].

Моніторинг Дніпро-Бузької приустьової ділянки, проведений у 1988-1999 роках [63] дозволив виділити в його Одеському районі такі особливості формування гідролого-гідрохімічного режимів:

- домінування більшу частину року вітрових течій, які визначають циркуляцію водних мас – вздовж берегове перенесення та водообмін з центральною частиною шельфу;
- сезонну мінливість ступеня впливу прісного стоку Дніпра та Південного Бугу;
- систематичний розвиток вітрового апвелінгу, який забезпечує водо- та масообмін між поверхневими та придонними водами у весняно-літній період, коли ці шари розділені пікнокліном.

При виході з Дніпро-Бузького лиману річкові води розтікаються по поверхні моря у вигляді «язика», який при домінуванні північних та північно-західних вітрів прямує на південний захід, розпріснення біля берегів Одеси не простежується, а солоність залишається у звичайних межах – 14-16 ‰. При домінуванні вітрів східної чверті «язик» розпріснених вод простягається вздовж північного узбережжя до берегів Одеси, знижуючи солоність до 10-12 ‰, а у виняткових випадках до 3 ‰.

У приустьовому районі Дунаю спостерігаються гідрологічні ситуації, при яких відбувається нагін вод відкритої частини шельфу. При цьому

вздовж зони берегового апвелінгу в приустьовій області, відбувається поширення річкового стоку далеко на північний схід і притискання стоку до берега не більше ніж на 5 миль від гирла з поширенням поверхневих розпріснених вод на південь уздовж берегів Румунії. У першому випадку прісноводний стік «максимально» впливає на розподіл гідрологічних і гідрохімічних характеристик. Розпріснення в цьому районі в іншій мірі проявляється у всій товщі вод, солоність придонних вод не перевищує 17,9 ‰, а поверхневих – 15 ‰. У ситуації із «замиканням» стоку Дунаю у вузькій уздовж береговій смузі завдяки дії нагінних вітрів майже весь приустьовий район заповнюється водами відкритого шельфу, а прісноводний стік притискається до берегу. У такому випадку солоність поверхневих вод становить менше 17,5 ‰ тільки вздовж берегової смуги, а в 10-15 милях від гирла Дунаю перевищує 17,9 ‰. У разі апвелінгу, розпріснені поверхневі води з солоністю 16,5-16,6 ‰ біля берега замінюють придонні води відкритої частини шельфу із солоністю близько 18 ‰ [55].

Порівняно з приустьовими районами ПЗЧМ, структура, динаміка та мінливість вод Каркінітської затоки, яка відрізняється своєрідними фізико-географічними та гідрологічними характеристиками, вивчалися значно менш інтенсивно. З північного заходу та заходу в затоку надходять розпріснені шельфові води, з півдня та південного заходу – солоні, при цьому характерно нерівномірне надходження залежно від сезону та вітрових умов. Ранньою весною в затоку починається надходження розпріснених вод, яке інтенсифікується влітку. На початку осені цей процес слабшає і взимку (коли посилення основної чорноморської течії «ізолює» Каркінітську затоку від річкового стоку) майже припиняється. Проникнення вод у східну мілководну частину затоки значно утруднене внаслідок її ізольованості. Води основної частини затоки можуть надходити у східну частину через Бакальську протоку лише у вузькому інтервалі напрямків вітрів від західного до південно-західного. В результаті мілководна східна частина затоки в літньо-осінній період до 2 місяців може залишатися без істотного водообміну з

глибоководною частиною, в якій час оновлення верхнього шару вод у весняно-літній період не перевищує двох тижнів [64].

В цілому, вертикальний розподіл солоності вод ПЗЧМ має такі особливості: в середньому на поверхні моря солоність становить від 17,58-18,09 ‰ і зростає з глибиною до 22,33 ‰. Стійких вертикальних екстремумів солоності, як у багатьох районах Світового океану, у Чорному морі немає. Характерною рисою вертикальної халинної структури є наявність двох галоклінів – сезонного в шарі 0-30 м і постійного (основного) в шарі 50-100 м. Сезонний галоклін добре виражений у період з квітня по вересень, максимум вертикального градієнта солоності поступово заглиблюється протягом цього періоду з поверхні моря до глибини 20 м, значення градієнта ПЗЧМ можуть досягати 2 ‰ на 1 метр. Максимум вертикального градієнта в постійному галокліні розташовується на 50-70 м, значення градієнта знаходяться в діапазоні 0,03-0,06 ‰ на 1 метр. Визначаються випадки коли максимумами градієнта можуть перевищувати 0,1 ‰ на 1 метр.

Головна особливість сезонного ходу солоності у Чорному морі це зменшення солоності наприкінці весни – на початку літа. Мінімальний солезапас у шарі 0-100 м припадає на липень, через місяць після досягнення мінімуму поверхневої солоності та через два місяці після максимуму прісного балансу. У літній період процес перерозподілу річкових вод, що надійшли в море за період весняної повені, супроводжується зменшенням інтенсивності загальної циркуляції та вітрового перемішування, що сприяє розвитку сезонного галокліну. Максимальний солезапас спостерігається взимку (березень), коли відбувається активне вітрове і конвективне перемішування у поверхневому шарі, а посилення загальної циркуляції моря забезпечує підйом глибинних вод підвищеної солоності. Сезонний хід солоності в прибережних районах, близьких до усть великих річок, відрізняється від районів відкритого моря, наприклад, в Одеському регіоні або поблизу гирла Дунаю мінімум солоності спостерігається у квітні-травні. На віддаленні 100-150 км, вже у центрі північно-західного шельфу чи

Каркінітській затоці [64] сезонний хід солоності аналогічний районам відкритого моря – мінімум спостерігається у липні.

3.4.4 Льодовий режим

Чорне море розташоване в порівняно низьких широтах, тому лід спостерігається в основному в північно-західній частині і тільки в помірні та суворі зими. Поява льоду відбувається при зниженні температури води до температури замерзання, значення якої різні у різних частинах акваторії. У Скадовську, Sterегущому, Хорлах, Приморському лід найчастіше з'являється при температурі води від $-0,8$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$. В Очакові при $-0,1$ – $-0,2^{\circ}\text{C}$ [51].

Перша поява льоду відбувається в грудні – початку січня. Насамперед лід утворюється в бухтах та лиманах. У відкритих районах моря перша крига може бути як місцевого походження, так і принесеною. Для Чорного моря характерна неодноразова поява та зникнення криги протягом зими. Щорічне утворення припаю спостерігається лише в лиманах та затоках. Повне замерзання відкритих районів ПЗЧМ (в Одесі, Тендрівська коса, в Каркінітській затоці) відбувається лише в дуже суворі зими (рис. 3.3). Початок злому або першого зрушення припаю спостерігається зазвичай у лютому – на початку березня. Насамперед весняне відкриття відбувається біля входу до Дніпровського лиману та в районі Одеси, чому сприяє підтікання теплих вод, дія південних вітрів та відносно мала товщина припаю. Руйнування припаю в ПЗЧМ відбувається зазвичай швидко (протягом кількох днів) і дати остаточного руйнування припаю припадають на кінець лютого – початок березня. Остаточне очищення моря спостерігається у березні [53].

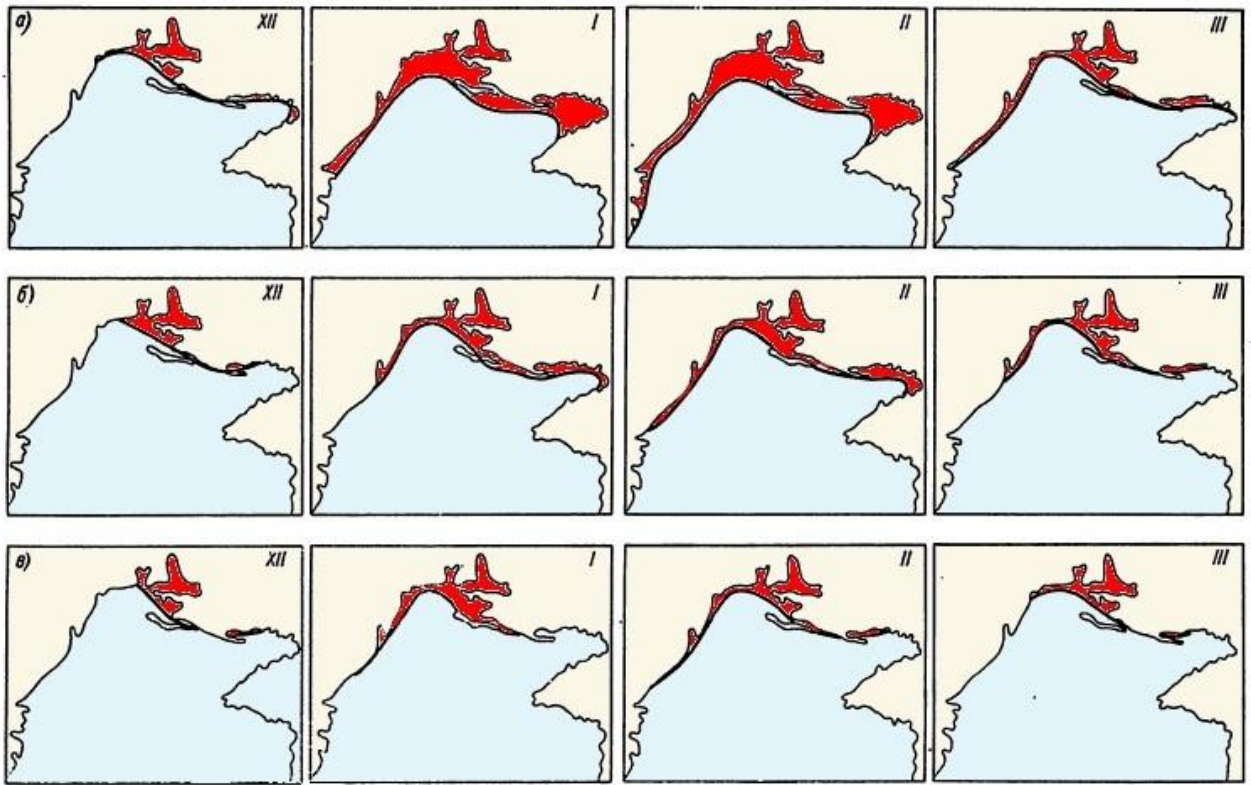


Рис. 3.3 – Середній розподіл льоду у грудні, січні, лютому та березні:

(а) – суворя зима, (б) – помірна зима, (в) – м'яка зима [51]

Однією з основних характеристик льодового режиму моря є льодовитість, під якою розуміють площу сумарного поширення крижаного покриву у всіх замерзаючих районах.

Зазвичай у суворі зими (рис. 3.3 – 3.4) лід з'являється у грудні, а в деяких північних районах наприкінці листопада. У грудні льодом зайнята невелика частина ПЗЧМ: райони поблизу Дніпровського лиману, північ Каркінітської затоки, лимани. У січні відбувається збільшення кількості льоду. Край його зміщується на південь, з'являється вздовж західного узбережжя, аж до гирла Дунаю. Майже вся Каркінітська затока зайнята льодом. Максимального розвитку крига сягає у лютому.

Помірна зима відрізняється м'якшими льодовими умовами (рис. 3.3). У другій половині грудня утворюється крига у Дніпровському лимані, Ягорлицькій затоці. У січні покривається льодом значна частина

Каркінітської, Джарилгацької і Тендрівської заток, а також північно-західне узбережжя акваторії. У лютому відбувається незначне збільшення площі льоду, в основному за рахунок північних районів, після чого починається процес танення.

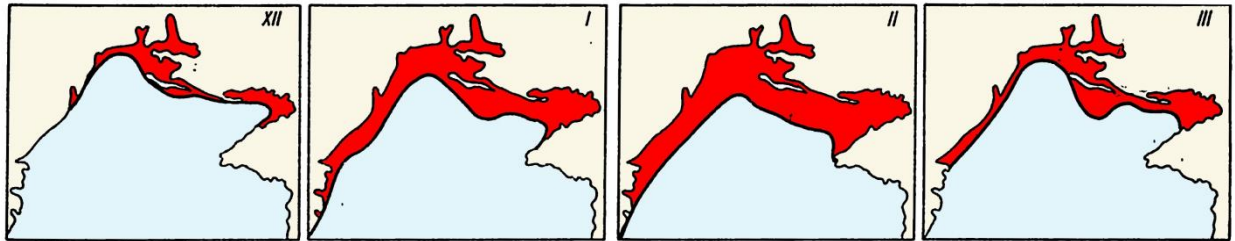


Рис. 3.4 – Максимальне поширення льоду у грудні, січні, лютому та березні [51]

Для м'яких зим характерна мала кількість льоду, який протягом зими кілька разів зникає. У м'які зими лід утворюється лише в Дніпровському лимані, Ягорлицькій, Тендрівській та Джарилгацькій затоках. Зазвичай у грудні лід з'являється лише у Дніпровському лимані, потім (у січні) покриваються плавучим льодом усі зазначені вище затоки, а в лютому вже починається танення, яке завершується на початку березня [51].

Товщина льодового покриття в помірні зими може досягати 5-10 см, у суворі зими – 30-45 см (рівний лід). У сувору зиму зі зламаного припаю утворюються великі важкопрохідні крижані поля, товщина льоду в яких за рахунок підсмоктування та торосистості може досягати 1 м [65].

На рисунку 3.5 наведена інформація про розподіл морського льоду в ПЗЧМ із грудня по березень для періоду 2011-2020 рр., яка отримана з аналізу Visualize NOAA Optimum Interpolation (OI) SST V2 [66]. Дані місячні поля NOAA OI.v2 SST отримані шляхом лінійної інтерполяції полів щотижневої оптимальної інтерполяції (OI) версії 2 у добових полів з подальшим усередненням добових значень протягом місяця. Поле льоду показує приблизне середньомісячне значення концентрації льоду,

розраховане на основі аналізу температури поверхні моря. Концентрація льоду надається у відсотку площі вкритої льодом.

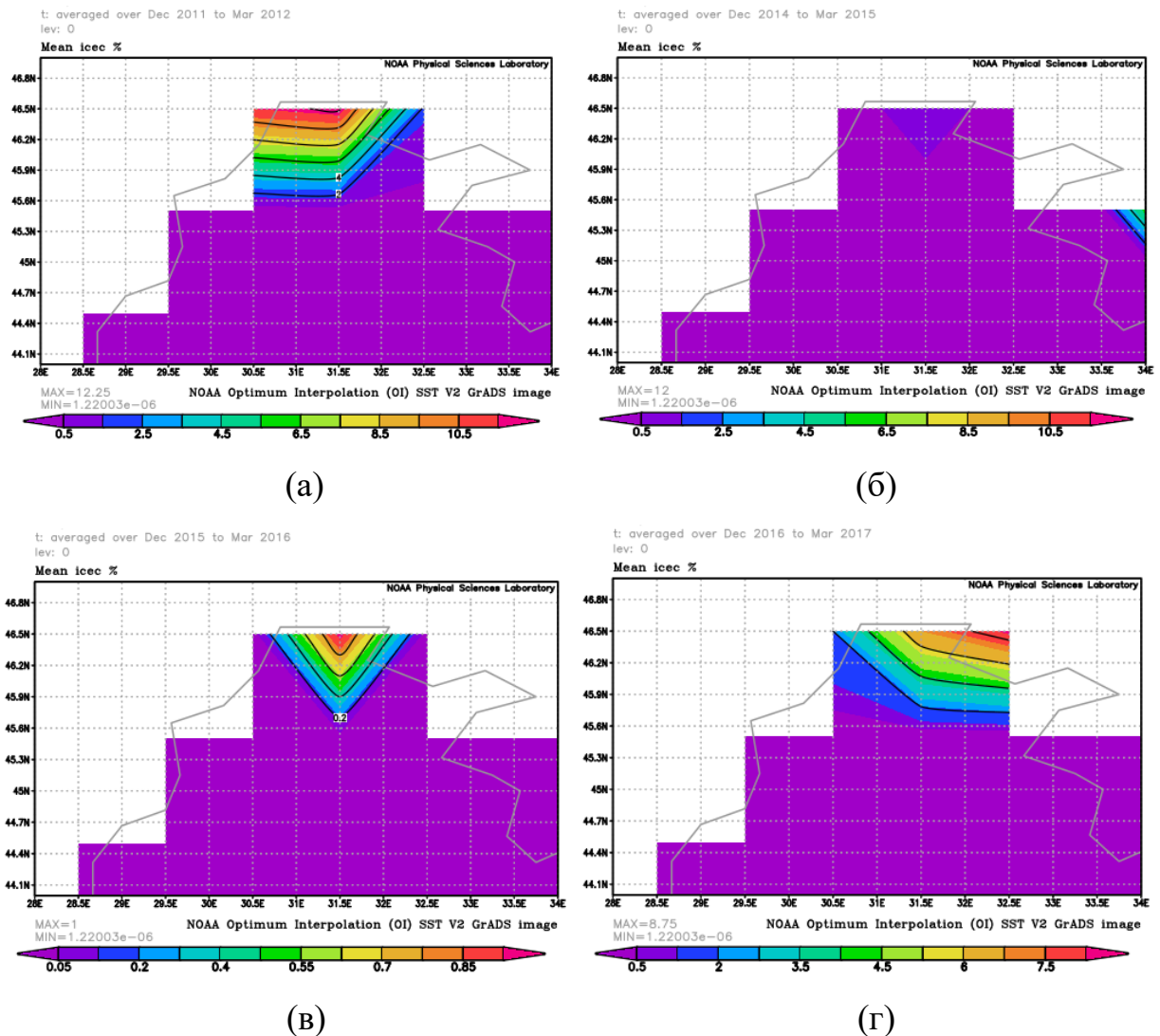


Рис. 3.5 – Середній за сезон (з грудня по березень) відсоток площі покритої льодом (%): (а) – 2011-2012 рр., (б) – 2014-2015 рр., (в) – 2015-2016 рр., (г) – 2016-2017 рр.

Так, за десятирічний період з 2011 по 2020 рік лід відзначався у шістьох зимових (з грудня по березень) сезонах: 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013, 2014-2015, 2015-2016 та 2016-2017 рр. та значно варіювала площу його поширення (рис. 3.5). Найбільша концентрація льоду відзначалася лише в самій північній частині ПЗЧМ і складала 10-11 % у зимовому сезоні 2011-2012 року та 6-7 % у зимовому сезоні 2016-17 року.

3.4.5 Хвильовий режим північно-західної частини Чорного моря

Північно-західна частина є одним із найбільш штормових районів Чорного моря. Максимальна розрахована середня висота хвилі у ПЗЧМ можлива 1 раз на 50 років становить 6,8 м, а середній період 12 с. Найбільш спокійним періодом року є весняно-літній період, найбільш штормовим – осінній (жовтень-грудень).

У таблиці 3.2 представлено повторюваність різних градацій висоти хвиль по місяцях року [53]. Так, найбільша повторюваність за рік хвиль висотою 0,1-2,5 дм відзначається на хвилемірних постах у Південному (47,3 %), Хорлах (50,4 %), Чорноморську (54,4 %), Чорноморському (57,1 %) та Євпаторії (63,9 %). Переважання хвилювання 2 балів (висота 2,6-7,4 дм) спостерігається у пункті Херсонеський маяк (41,6 %), Тарханкутський маяк (42,1 %), Одеса (44 %) та Усть-Дунайськ (47 %).

Протягом року на частку хвилювання 3 балів (висота 7,5-12,5 дм) припадає від 4,3 % (Хорли) до 23,2 % (Херсонеський маяк). Найбільша його повторюваність на західному та північному берегах ПЗЧМ відзначається у листопаді-грудні та лютому-березні, на східному узбережжі з грудня до лютого.

Середньорічна повторюваність хвилювання 4 бали варіює від 0,16 % (Хорли) до 19 % (Херсонеський маяк). Протягом року максимум хвиль висотою 12,6-20,0 дм припадає на період із листопада по лютий.

Що стосується хвилювання 5 балів, то на всіх хвилемірних постах його середньорічна повторюваність не перевищує 0,47 %, за винятком поста Херсонеський маяк, де 5-ти бальне хвилювання спостерігається у 3,4 % випадків.

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Тарханкутський маяк, 1965-1995 рр.												
0	1,4	0,9	1,8	1,7	3,5	2,0	2,1	2,2	1,7	1,9	0,4	0,5	1,9
1 бал, 0,1 - 2,5	30,3	30,1	36,6	36,7	45,4	45,5	50,3	50,6	42,3	38,2	37,0	32,1	41,3
2 бали, 2,6 - 7,4	43,1	45,7	39,6	45,4	41,0	43,4	39,2	39,1	43,0	41,8	44,9	42,7	42,1
3 бали, 7,5 - 12,5	18,7	19,1	18,0	14,4	9,0	7,8	7,7	7,7	11,6	15,4	14,6	19,0	12,5
4 бали, 12,6 - 20,0	6,1	3,7	4,0	1,7	0,9	1,3	0,7	0,4	1,2	2,3	2,2	5,2	2,0
5 балів, 21 - 35	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0,2	0,3	0,7	0,5	0,2
> 5 балів	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
	Євпаторія, 1952-2011 рр.												
0	0,69	0,73	0,67	1,00	1,21	1,27	1,59	1,44	0,96	1,22	0,65	0,63	1,05
1 бал, 0,1 - 2,5	50,8	49,4	52,6	58,1	68,1	72,5	77,6	79,8	71,5	64,6	52,9	49,4	63,9
2 бали, 2,6 - 7,4	30,6	32,2	32,2	30,5	25,2	21,8	18,0	16,7	22,4	24,8	32,5	31,6	25,8
3 бали, 7,5 - 12,5	13,5	13,0	11,2	8,1	4,3	3,9	2,4	1,8	4,1	7,0	9,5	13,4	7,0
4 бали, 12,6 - 20,0	4,2	4,5	3,3	2,3	1,1	0,5	0,4	0,3	1,1	2,4	4,2	4,7	2,1
5 балів, 21 - 35	0,26	0,24	0,09	0,04	0,02	0,02	0	0	0	0,03	0,18	0,26	0,08
> 5 балів	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,03	0,01
	Херсонеський маяк, 1954-2011 рр.												
0	0,03	0,03	0,15	0,15	0,27	0,02	0,02	0	0,04	0,03	0,03	0,03	0,07
1 бал, 0,1 - 2,5	3,7	6,1	7,6	13,6	19,6	19,3	16,6	16,0	14,4	11,9	7,9	4,0	12,3
2 бали, 2,6 - 7,4	28,5	27,5	38,2	45,2	50,4	49,0	51,4	50,1	45,3	40,6	32,4	26,3	41,6
3 бали, 7,5 - 12,5	28,5	26,3	24,8	23,1	18,9	20,0	19,5	20,9	23,3	23,5	26,1	27,7	23,2
4 бали, 12,6 - 20,0	29,4	31,9	25,2	16,2	10,0	10,6	11,2	11,4	14,4	19,8	26,8	32,8	19,0
5 балів, 21 - 35	8,4	7,1	3,9	1,7	0,8	1,0	1,1	1,5	2,2	3,7	5,8	8,3	3,4
> 5 балів	1,39	1,19	0,22	0,15	0,1	0,11	0,25	0,16	0,36	0,42	1,01	0,98	0,48

3.5 Вихідні дані

Як вихідні дані для розрахунку питомої потужності вітрового потоку P_e були використані дані про швидкість вітру на рівні 0,9950 sigma (відповідає висоті 42 м над рівнем моря за стандартних умов атмосфери [67]) за період 2011-2020 рр. реаналізу NCEP/NCAR (Visualize CDC Derived NCEP Reanalysis Products Surface Level Data) [68]. Дані реаналізу (системи асиміляції), отримані за допомогою глобальної спектральної моделі NCEP, яка включає 28 вертикальних рівня з просторовою роздільною здатністю 210 км. Дані представлені у вигляді значень у вузлах регулярної сітки з кроком 2,5 x 2,5 градуси для регіону, обмеженого координатами: 26-42° сх.д. і 40-48° пн.ш. Дана версія реаналізу розроблена Відділом фізичних наук (Physical Sciences Division) лабораторії з вивчення Землі (Earth System Research Laboratory) Національне управління океанічних і атмосферних досліджень США. Даний тип реаналізу отримано шляхом накопичення фактичних значень, виміряних на метеостанціях, результатах радіозондування атмосфери, супутникових спостережень тощо.

4 ВІТРОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

4.1 Режим швидкості вітру

Аналіз середньої річної швидкості вітру за період 2011-2020 рр. (рис. 4.1) показав, що над акваторією північно-західної частини Чорного моря відзначається помірний вітер швидкістю від 5,1 м/с біля берегів Румунії до 6,3 м/с в області, яка розташована на широті 45° на південь від мису Тарханкут. Загалом швидкість вітру збільшується із північного заходу на південний схід.

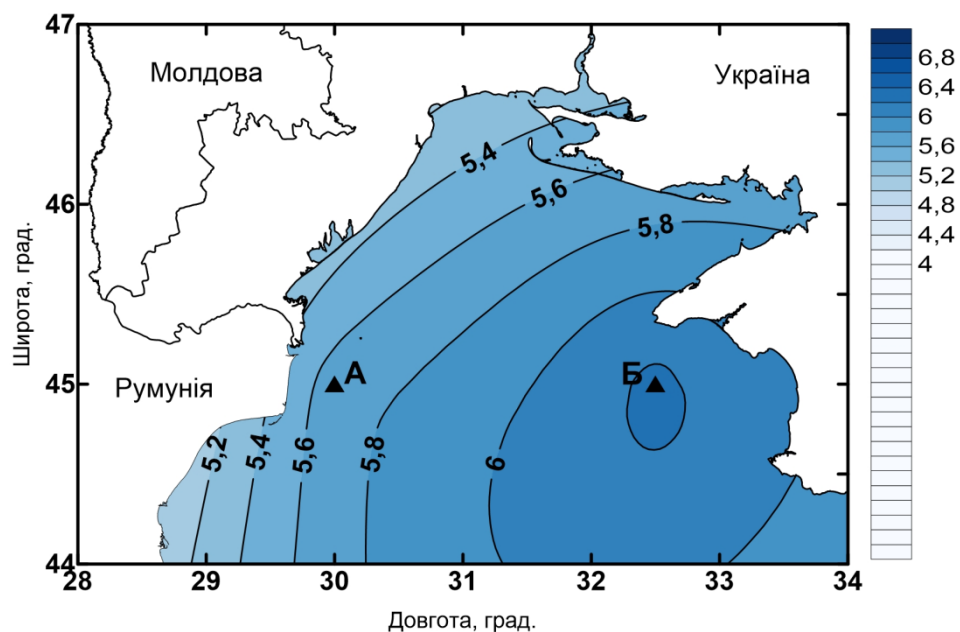


Рис. 4.1 – Середня швидкість вітру (м/с) на висоті 50 м над рівнем моря за період 2011-2020 років

Як було зазначено раніше, вихідною вимогою до місця розгортання автономних вітроенергетичних установок та вітроелектричних станцій у першому наближенні є величина середньої річної швидкості вітру на висоті

10 м над підстильною поверхнею рівною або більше ніж 5 м/с [29]. При перерахуванні швидкості вітру на висоту 50 м це значення становить 6,3 м/с [69]. З чого можна зробити висновок, що цій умові задовольняє лише ділянка, розташована південніше мису Тарханкут, де відзначається вітер вище 6,2 м/с.

Для аналізу річного ходу швидкості вітру було обрано дві точки, розташовані над акваторією північно-західної частини Чорного моря (рис. 4.2). Точка А (координати: 45 ° пн.ш.; 30° сх.д.) знаходиться на відстані 28,5 км на схід від дельти річки Дунай, точка Б (координати: 45 ° пн.ш.; 32,5° сх.д.) лежить у 39 км на південь від мису Тарханкут. Як видно з рисунка 7, річний хід швидкості вітру в даних точках має схожий характер, з найбільшими значеннями взимку та найменшими в період із травня до липня. Максимальна швидкість вітру спостерігається в лютому і становить 6,9 м/с (точка А) та 7,8 м/с (точка Б). Мінімальна швидкість вітру відзначається у точці А у липні (4,3 м/с), у точці Б у травні та липні (4,7 м/с). Таким чином, річна амплітуда швидкості вітру в точці А становить 2,6 м/с, а точці Б – 3,1 м/с.

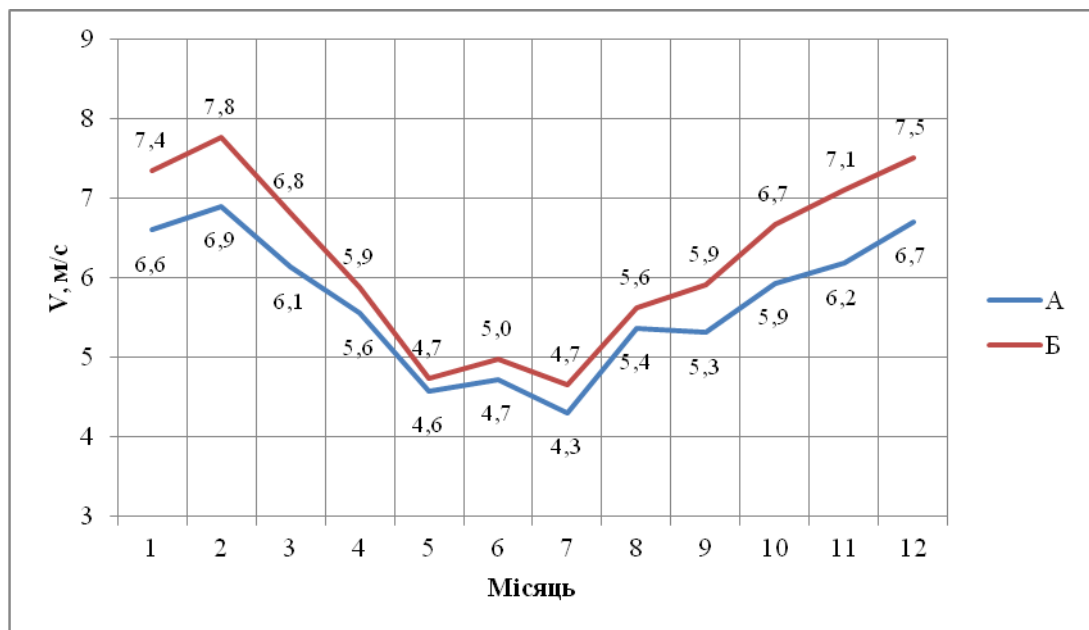


Рис. 4.2 – Річний хід швидкості вітру (м/с) на висоті 50 м над рівнем моря у точках А і Б у період 2011-2020 рр.

Формування вітрового режиму протягом року зумовлено міжсезонними змінами в циркуляційних процесах, а також місцевими особливостями підстильної поверхні. Для північно-західної частини Чорного моря в річному ході тиску в цьому регіоні чітко виділяються два періоди – холодний (жовтень-квітень) і теплий (червень-серпень). Травень і вересень є перехідними місяцями.

До основних особливостей циркуляції над південною частиною Східної Європи в холодне півріччя відноситься розвиток циклонів на середземноморській гілці ПФЗ, що обумовлює зростання швидкості вітру в цей період.

У квітні починається перебудова баричного поля з зимових типів на літні. Тиск над морями зростає, посилюється Азорський антициклон, та відбувається зменшення баричних градієнтів і ослаблення циркуляції в Чорноморському регіоні, що викликає зменшення швидкості вітру.

У тепле півріччя спостерігається зниження активності атмосферних процесів, викликане зміщенням на північ ПФЗ і зниженням циклонічної діяльності над південними морями, та переважання антициклонічного типу циркуляції [70]. З червня по серпень відбувається значне посилення Азорського антициклону і його поширення на схід. У цей період він охоплює всю територію України і тиск знижується із заходу на схід. В цей період баричний градієнт змінює знак на зворотний [71]. Навесні і влітку часто спостерігаються сідловини та розмиті поля тиску. При розвитку таких малоградієнтних полів над північним заходом Чорноморського регіону переважає слабкий вітер та штилі [52].

Таким чином, посилення вітру у зимові місяці пов'язане з розвитком циклонічної активності на ПФЗ, що призводить до збільшення баричних градієнтів над північно-західною акваторією Чорного моря. Зменшення швидкості вітру в теплий період року пов'язане з перебудовою баричного

поля, усуненням ПВФЗ на північ, переважанням антициклонічних полів, у тому числі малоградієнтних, та ослабленням циркуляційних процесів.

4.2 Питома потужність вітрового потоку

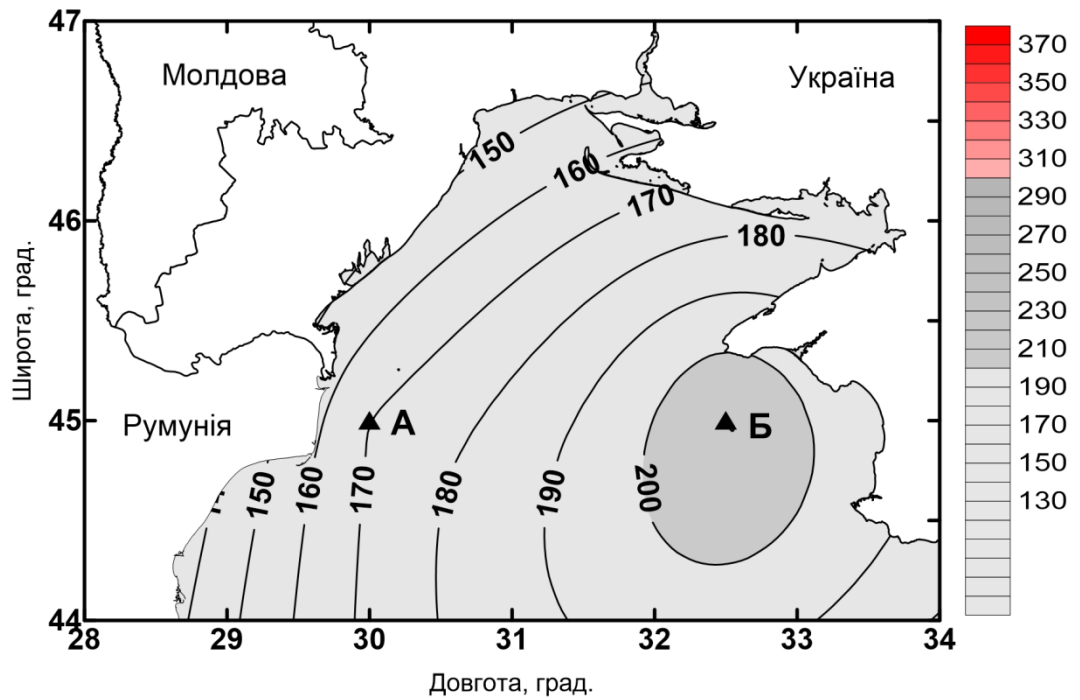
Для оцінки вітроенергетичного потенціалу територій виділяють сім класів за значенням питомої потужності вітрового потоку (Ne) (табл. 4.1). Територія придатна для розміщення великомасштабних вітрових установок має мати вітроенергетичний клас 4 або вище [34].

Таблиця 4.1 – Вітроенергетичні класи [34]

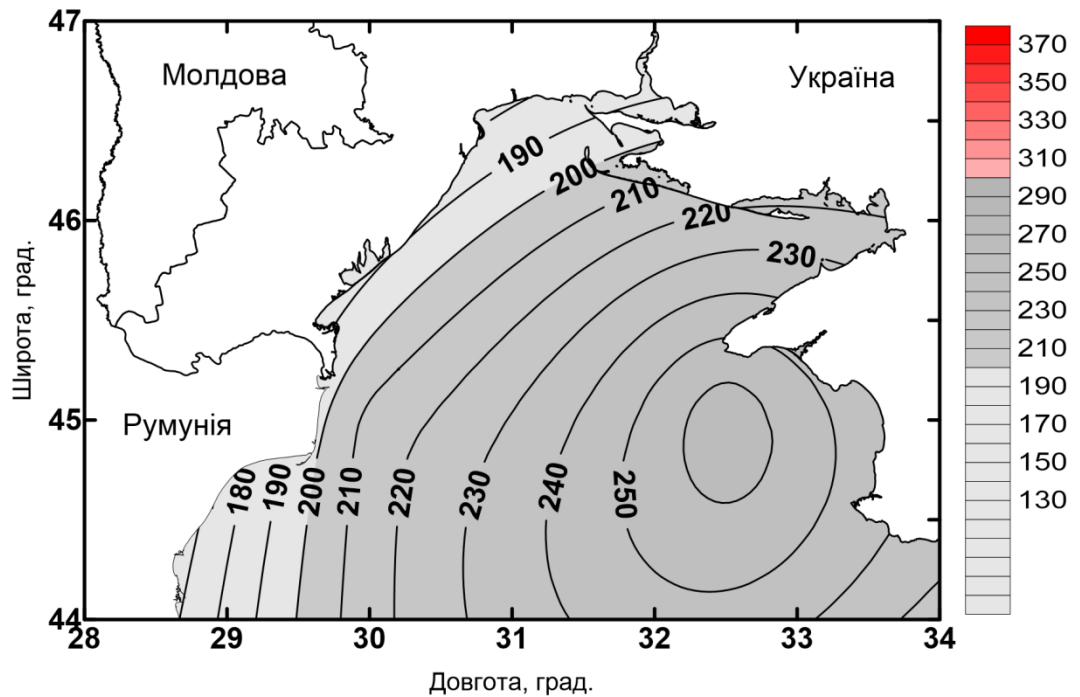
Вітровий клас		Висота 50 м	
		Питома потужність (Ne), Вт/м ²	Середньорічна швидкість вітру (V), м/с
1	Низький	< 200	< 5,6
2	Незначний	200-300	5,6-6,4
3	Середній	300-400	6,4-7,0
4	Значний	400-500	7,0-7,5
5	Відмінний	500-600	7,5-8,0
6	Видатний	600-800	8,0-8,8
7	Досконалий	>800	> 8,8

На рисунку 4.3а наведено просторовий розподіл питомої потужності вітрового потоку на висоті 50 м над підстильною поверхнею (у нашому випадку над рівнем моря). Виходячи з критеріїв, наведених у таблиці 4.1 більша частина акваторії північно-західної частини Чорного моря має низькі вітроенергетичні ресурси ($Ne < 200$ Вт/м²), і тільки в південно-східній частині

досліджуваної області розрахунки показали наявність незначного (200-300 Вт/м²) вітрового потенціалу.



(a)



(б)

Рис. 4.3 – Середньорічна Ne (Вт/м²) за період 2011-2020 рр.:

(а) – на висоті 50 м, (б) – на висоті 100 м над рівнем моря

Як було зазначено в пункті 3.2.1, сьогодні основна тенденція в конструкції морських вітрогенераторів – це збільшення їх розмірів та потужності, і відповідно збільшення висоти осі вітрової турбіни до 100 метрів і більше над поверхнею.

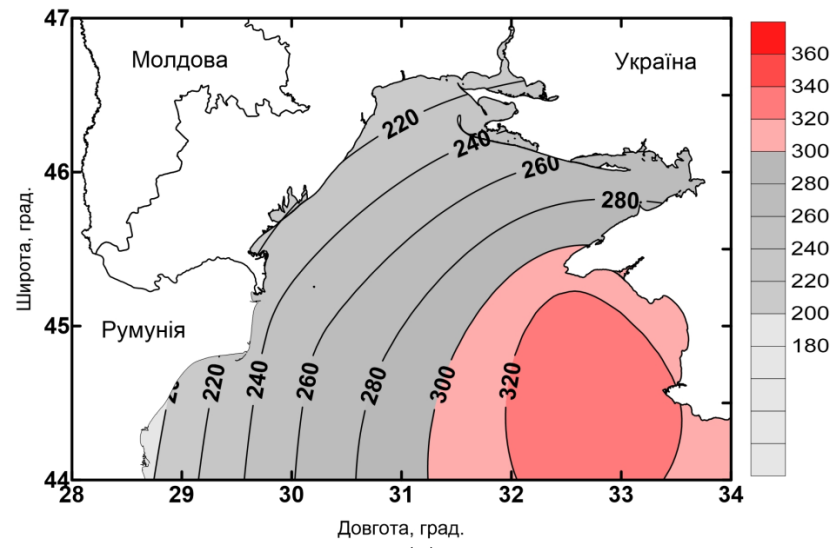
На рисунку 4.3б наведено просторовий розподіл середньої питомої потужності вітрового потоку за період 2011-2020 рр. над акваторією північно-західної частини Чорного моря. Зі збільшенням висоти до 100 м площа акваторії з низьким ($< 200 \text{ Вт/м}^2$) вітровим потенціалом скорочується до смуги ширина якої не перевищує 40 км вздовж північного та західного берегів. Теоретичний вітровий потенціал більшої частини акваторії можна охарактеризувати як незначний ($200\text{-}300 \text{ Вт/м}^2$).

4.3 Річний хід питомої потужності вітрового потоку

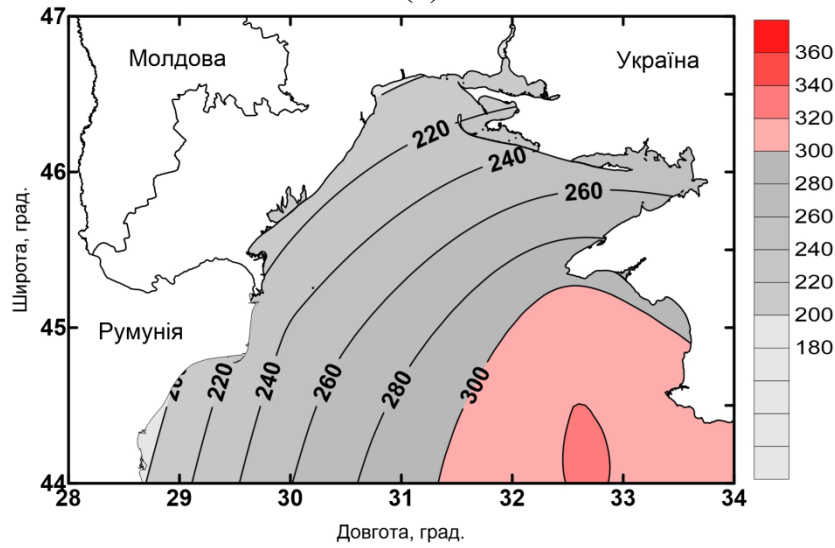
Як було зазначено раніше, посилення вітрової активності над північно-західною частиною Чорного моря відзначається в зимові місяці, потім з березня по квітень спостерігається її зменшення і в період з травня по липень швидкість вітру досягає своїх мінімумів. Далі, в осінній період вітер посилюється.

На рисунку 4.4 представлено просторовий розподіл питомої потужності вітрового потоку у зимові місяці. У цей час спостерігаються найсприятливіші умови до роботи вітрових установок, оскільки відбувається посилення вітру. У всі три місяці у північній та західній частинах акваторії зберігаються умови з незначним вітровим потенціалом ($200\text{-}300 \text{ Вт/м}^2$). У грудні-січні у південно-східній частині акваторії відзначаються умови, які характеризуються середніми запасами віроенергетичних ресурсів (від 300 до 335 Вт/м^2). У лютому практично у всій східній половині акваторії питома потужність

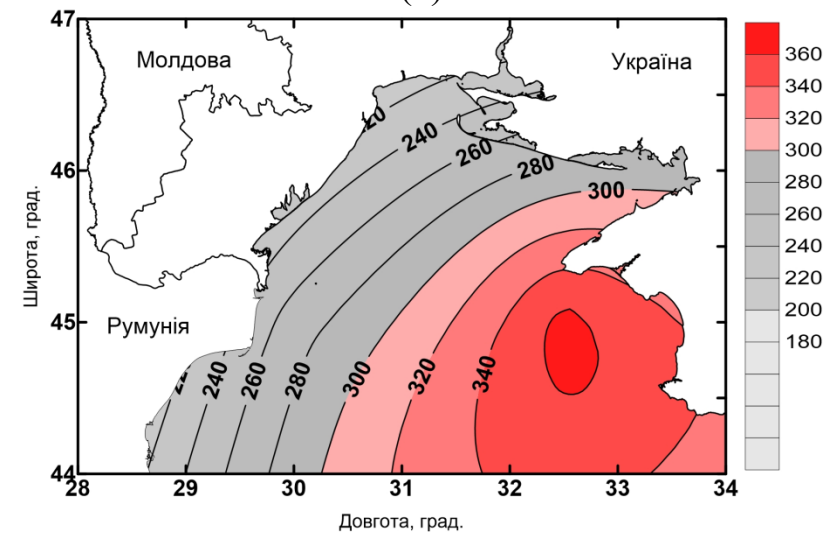
вітрового потоку демонструє величини від 300 Вт/м^2 , а у південно-східній частині її значення досягають максимальної середньомісячної величини і складають 367 Вт/м^2 .



(а)



(б)



(в)

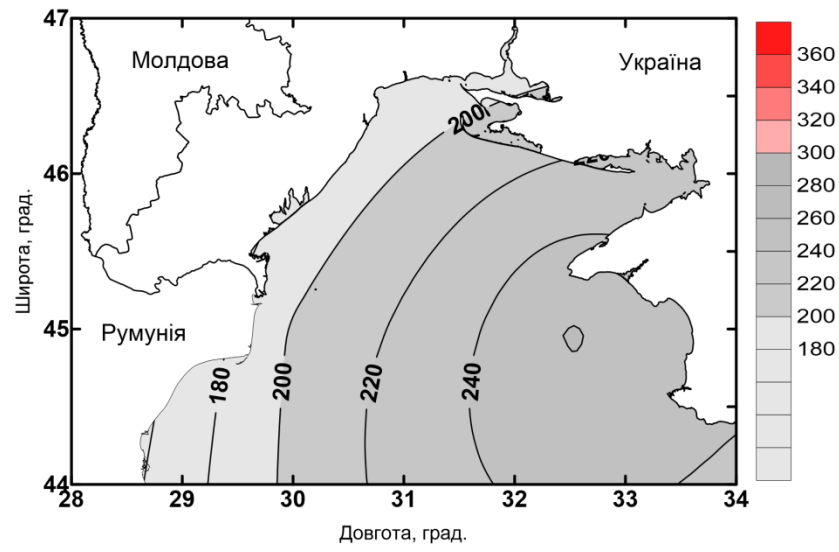
Рис. 4.4 – Середньомісячна Ne (Вт/м²) на висоті 50 м у 2011-2020 рр.:
(а) – грудень, (б) – січень, (в) – лютий

З квітня до травня відбувається перебудова баричного поля, що призводить до послаблення циркуляційних процесів у літні місяці. У березні (рис. 4.5) над більшою частиною акваторії північно-західної частини Чорного моря, величина питомої потужності вітрового потоку має значення від 200 до 260 Вт/м², що характеризує вітрові запаси як незначні. У квітні величина Ne зменшуються та у травні місяці не перевищують 116 Вт/м².

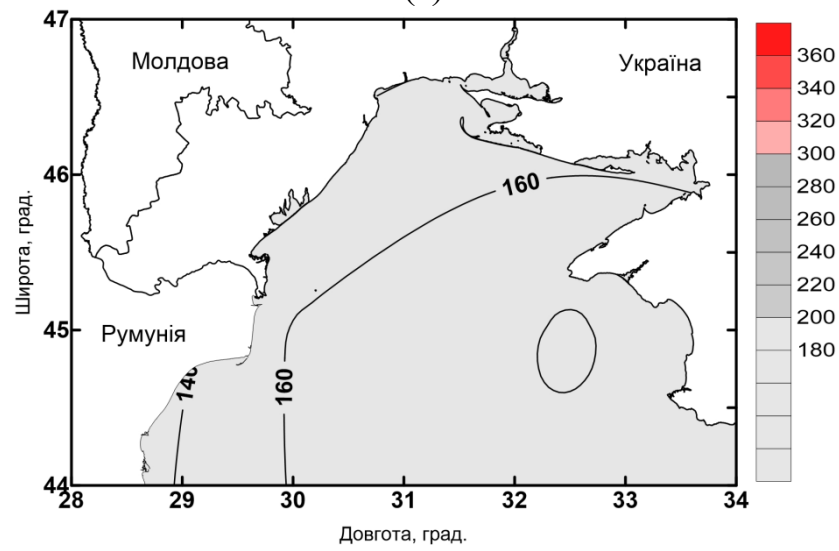
У червні (рис. 4.6) величина Ne вище ніж у травні та липні, що спричинено зростанням нестійкості атмосфери в цей період та розвитком конвективних процесів [72] з чим пов'язане збільшення швидкості вітру. У серпні величина питомої потужності вітрового потоку збільшується над усією акваторією ПЗЧМ і становить від 130 до 163 Вт/м².

В осінній період відбувається перебудова баричного поля на зимовий тип циркуляції, ПВФЗ зміщується на південь, збільшується повторюваність проходження циклонів через північно-західне Причорномор'я [71]. У вересні (рис. 4.7) над північно-західною акваторією Чорного моря величина Ne знаходиться в межах від 120 до 183 Вт/м². У жовтні область з низькими вітровими запасами ($Ne < 200$ Вт/м²) займає західну половину акваторії, тоді як у східній частині величина Ne має значення від 200 до 243 Вт/м². У листопаді у більшій частині акваторії величина питомої потужності вітрового потоку приймає значення вище 200 Вт/м², а у південно-східній частині від 260 до 285 Вт/м². При цьому вздовж північного та західного берегів Чорного моря величина Ne становить від 170 до 200 Вт/м².

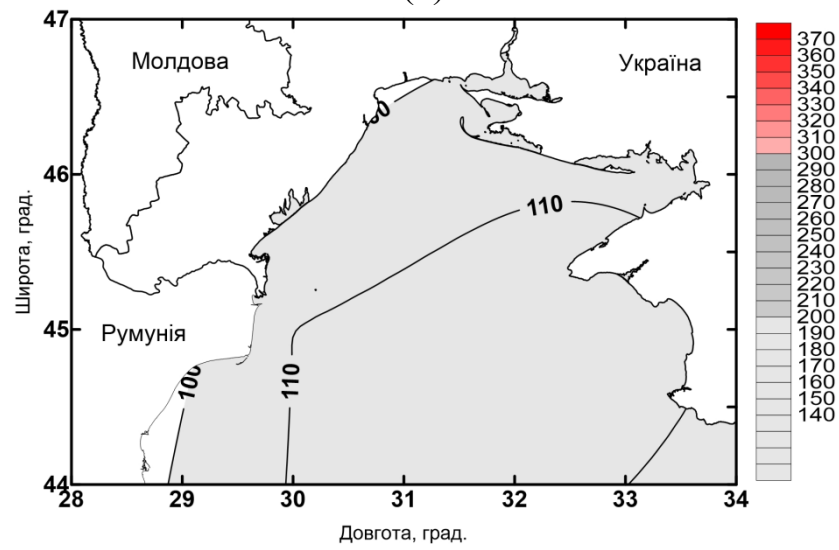
Таким чином, можна сказати, що протягом року більша частина акваторії північно-західної частини Чорного моря має незначні та низькі вітроенергетичні ресурси і лише у південно-східній частині в період з грудня до лютого за величиною питомої потужності вітрового потоку відзначається середній вітровий клас.



(a)



(б)



(в)

Рис. 4.5 – Середньомісячна Ne (Вт/м²) на висоті 50 м у 2011-2020 рр.:
(а) – березень, (б) – квітень, (в) – травень

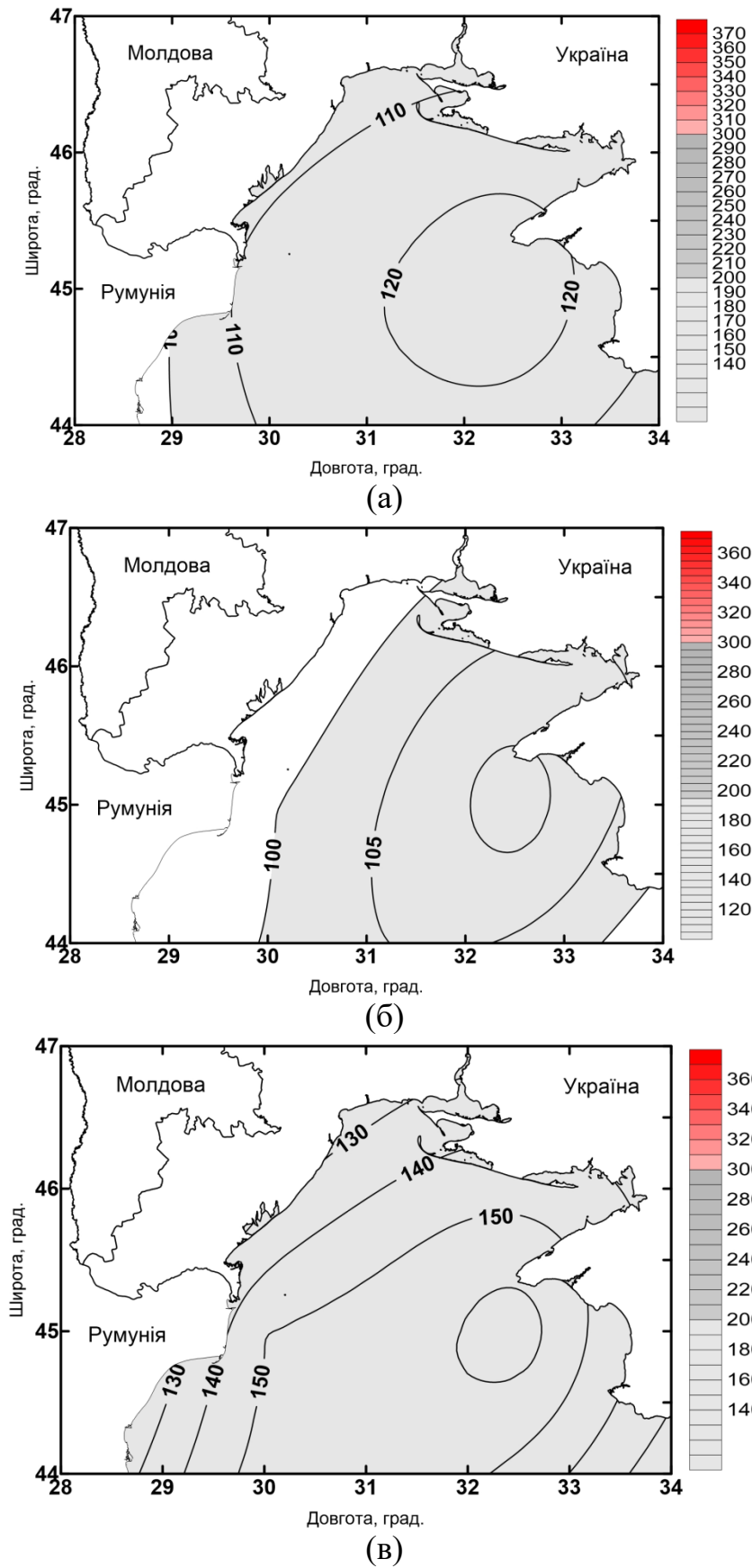
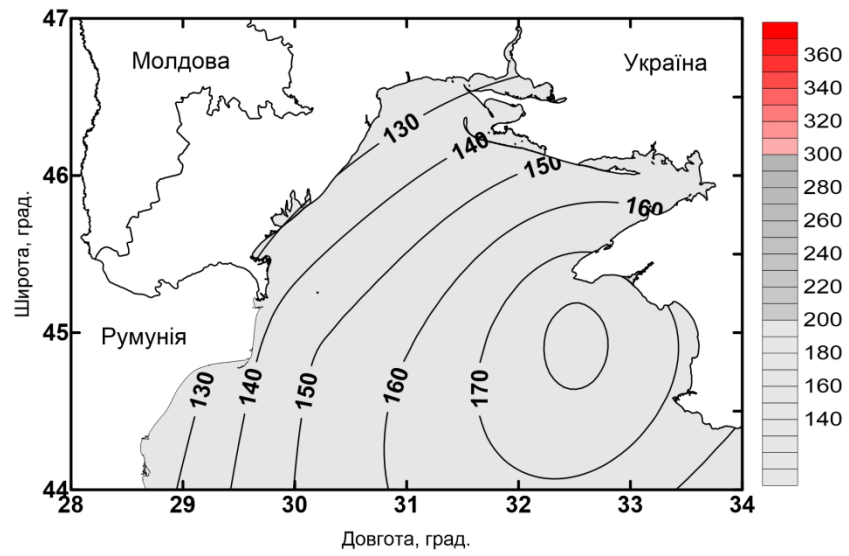
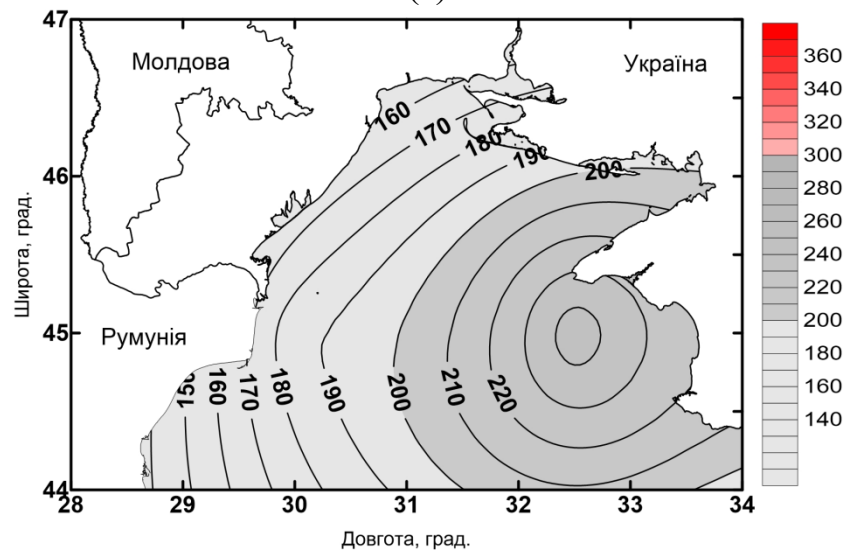


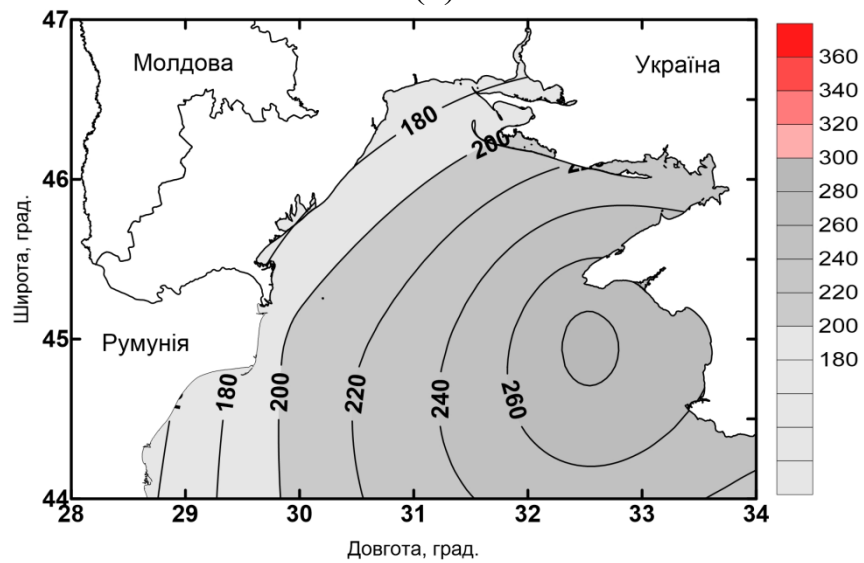
Рис. 4.6 – Середньомісячна N_e (Вт/м^2) на висоті 50 м у 2011-2020 рр.:
(а) – червень, (б) – липень, (в) – серпень



(a)



(б)



(в)

Рис. 4.7 – Середньомісячна Ne (Вт/м²) на висоті 50 м у 2011-2020 рр.:

(а) – вересень, (б) – жовтень, (в) – листопад

На рисунку 4.8 представлений річний хід питомої потужності на висоті 50 м над водною поверхнею в точці А (координати: 45° пн.ш.; 30° сх.д.) і точці Б (координати: 45° пн.ш.; 32,5° сх.д.).

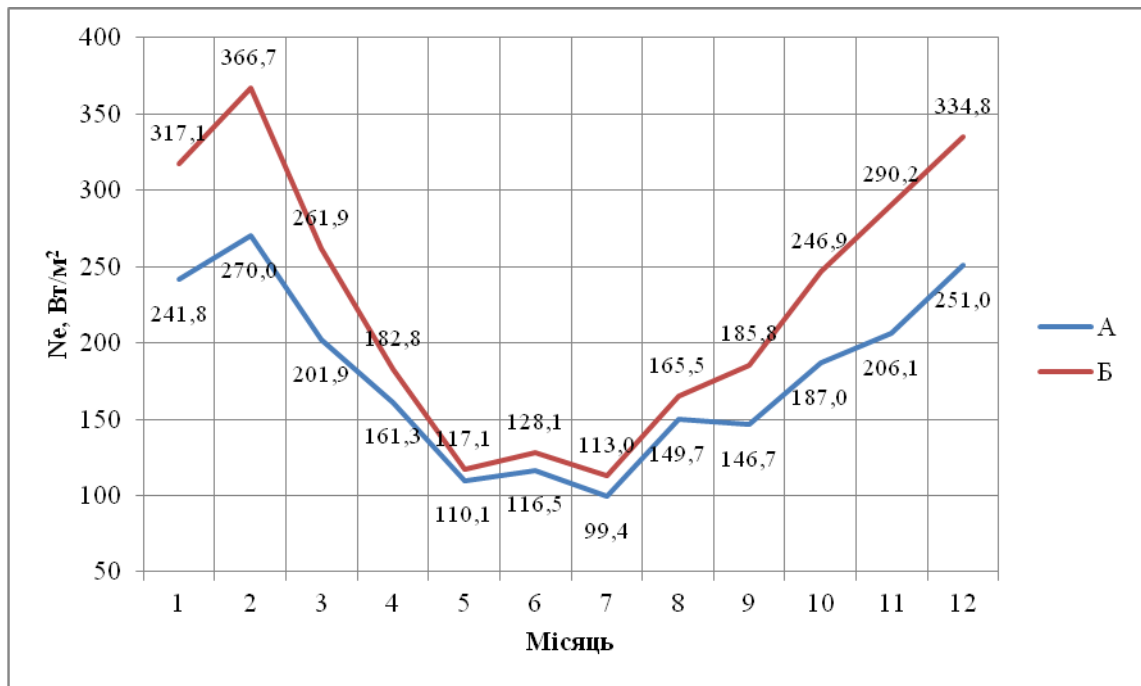


Рис. 4.8 – Річний хід Ne (Вт/м²) на висоті 50 м у 2011-2020 рр.

Максимальні значення питомої потужності в обох точках відзначаються в лютому і становлять 270 Вт/м² у точці А та 367 Вт/м² у точці Б. Мінімум середньомісячної питомої потужності спостерігається у липні та становить 99,4 та 113,0 Вт/м² відповідно. Слід зазначити, що у точці Б половина року із жовтня по березень величина питомої потужності відповідає критерію середніх вітрових запасів.

ВИСНОВКИ

1. Більшість ПЗЧМ відповідає умовам розміщення МВЕУ – глибина менше 50 м і віддаленість від берегу не більше 200 км. Північно-західний шельф Чорного моря має глибини до 50 м (орієнтовно по лінії м. Тарханкут – м. Каліакра). Горизонтальні розміри ПЗЧМ становлять близько 210 км за довготою (між м. Тарханкут та о. Нова Земля). Дно шельфу є плоскою рівниною, на якій виділяються кілька великих пологих улоговин, розділених невисокими підводними височинами.

2. Величина середньої швидкості вітру у 2011-2020 рр. над акваторією ПЗЧМ має значення від 5,1 м/с біля берегів Румунії до 6,3 м/с в області, яка розташована на широті 45° на південь від мису Тарханкут. Збільшення швидкості вітру спостерігається у лютому, ослаблення у літні місяці.

3. За величиною середньорічної питомої потужності вітрового потоку ПЗЧМ характеризується як територія з низьким вітровим класом ($Ne < 200 \text{ Вт/м}^2$), і лише південно-східна частина ПЗЧМ має вітровий клас з незначним ($200\text{-}300 \text{ Вт/м}^2$) вітровим потенціалом.

При збільшенні висоти до 100 м площа акваторії з низьким ($Ne < 200 \text{ Вт/м}^2$) вітровим класом скорочується до смуги ширина якої не перевищує 40 км вздовж північного та західного берегів. У цьому більшості акваторії має незначний вітровий клас ($200\text{-}300 \text{ Вт/м}^2$).

4. У грудні-січні у південно-східній частині акваторії відзначаються умови, що характеризуються середніми запасами віроенергетичних ресурсів (від 300 до 335 Вт/м^2). У лютому практично у всій східній половині акваторії питома потужність вітрового потоку демонструє величини вище 300 Вт/м^2 , а південно-східній частині її значення досягають максимальної середньомісячної величини – до 367 Вт/м^2 .

5. Льодове покриття спостерігається з грудня до березня уздовж берегів. У найсуворіші зими в лютому максимально поширюється на 40-70 км від берегу, при цьому його крайка зміщується на південь уздовж західного узбережжя, аж до гирла Дунаю, а Каркінітська затока майже вся зайнята льодом. Спостереження за льодовим покриттям в останнє десятиліття показало, що крига утворюється не в усі роки.

6. Найбільш підходящою для розміщення МВЕУ з фіксованим фундаментом є південно-західна частина Каркінітської затоки, де відзначаються найвищі значення питомої потужності вітрового потоку над ділянками з глибиною менше 50 м суцільною площею понад 10 км², а льодове покриття відзначається лише в найсуворіші зими.

Для плавучих МВЕУ найбільше підходить для розміщення ділянка акваторії південніше м. Тарханкут, де відзначаються найкращі вітрові показники, не фіксується льодове покриття, а глибини не перевищують 1000 м.

7. Враховуючи зростання швидкості вітру з грудня до лютого, при якому зазначені ділянки характеризуються середніми вітровими запасами, а також зростання споживання електроенергії в зимовий період на опалення, встановлення та підключення МВЕУ до гібридного енергетичного комплексу може частково компенсувати нерівномірність надходження енергоресурсів та підвищити надійність енергопостачання споживачів у Північно-Західному Причорномор'ї.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10.2014. № 902-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#n135> (дата звернення: 10.09.2021).
2. Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: Закон України від 15.12.2010 р. №. 2787-VI (2787-17). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_a27#Text (дата звернення: 10.09.2021).
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 1071-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#n3> (дата звернення: 10.09.2021).
4. Europe's onshore and offshore wind energy potential: An assessment of environmental and economic constraints. [Swart R.J. Coppens C. Gordijn H. Piek M. et al.] EEA Technical report No 6/2009. Copenhagen. European Environment Agency, 2009. 85 pp. DOI 10.2800/11373
5. Wind energy in Europe: Scenarios for 2030 [Nghiem A., Pineda I.] Tech. Rep. Brussels: Wind Europe, 2017. 32 pp. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-Europe-Scenarios-for-2030.pdf> (дата звернення: 10.09.2021).
6. Гюнтер П. Синя Економіка. "Grafiche Nordest", 2012. 320 с.
7. Швец А.С. Обеспечение ресурсоэффективности в «синей» экономике: добавленная ценность логистического управления отходами // Логистика сегодня. 2013. № 4. С. 202-210.
8. European Commission (2021). The EU Blue Economy Report. 2021. Publications Office of the European Union. Luxembourg. URL:

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0b0c5bfd-c737-11eb-a925-01aa75ed71a1> (дата звернення: 10.09.2021).

9. Jouffray J.-B., Blasiak R., Norstro A.V., Osterblom H., Nystro M. The Blue Acceleration: The Trajectory of Human Expansion into the Ocean // Perspective. 2020. Vol. 2(1). P. 43-54.

10. Communication From The Commission. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019 COM (2019) 40 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:640:FIN> (дата звернення: 10.09.2021).

11. Communication From The Commission. EU Hydrogen strategy. Brussels, 8.7.2020. COM(2020) 301 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301> (дата звернення: 10.09.2021).

12. Communication From The Commission. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brussels, 8.7.2020 COM(2020). URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf (дата звернення: 10.09.2021).

13. Establishing a framework for maritime spatial planning: Directive 2014/89/EU. of 23 July 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0089> (дата звернення: 10.09.2021).

14. Про державний кордон України: Закон України від 05.08.2021 р. № 1777-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-12#Text> (дата звернення: 10.09.2021).

15. Трунін К. Структура море господарського комплексу України. Збірник наукових праць НУК. 2014. №1. С. 120-125. <http://jnn.nuos.edu.ua/article/view/24673> (дата звернення: 10.09.2021).

16. Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 7.10.2009 р. № 1307. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.09.2021).

17. Украина – держава морская: монография / Макогон Ю.В., Лысый А.Ф., Гаркуша Г.Г., Грузан А.В., под ред. Ю.В. Макогона. Донецк, 2010. 391 с.

18. Транспорт і зв'язок України 2011: статистичний збірник. За редакцією Власенко Н.С. К.: Державна служба статистики України, 2012. 273 с.

19. Степанова Е.В. Украинское Причерноморье: на пути к экономическому возрождению : монография / Е.В. Степанова; [науч. ред. Б.В. Буркинский]; НАН Украины, Ин-т пробл. рынка и эконом.-эколог. исслед. Одесса: ИПРЭЭИ НАНУ, 2016. 348 с.

20. Потенціал суднобудівельної галузі України / І.В. Познанська, П.І. Гнатюк // Економічні інновації: Зб. наук. пр. Одеса: ІПРЕД НАН України, 2011. Вип. 43. С. 261-268.

21. Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів: Закон України від 08.07.2011 р. № 3677-VI (із змінами, внес. Законом від № 5462-VI (5462-17) від 16.10.2012). Відомості Верховної Ради України, 2012, №17. С. 155.

22. Рекреационная география: идеи, методы, практика [Текст]: сб. научных трудов / отв. ред.. А.А. Ткаченко. Тверь: Научная книга, 2006. 144 с.

23. Про державну гідрографічну службу України Постанова Кабінету Міністрів № 537 від 06.06.1997. Офіційний вісник України, 1997, №23. С. 100.

24. Методические указания «Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок». РД 52.04.275-89. М.: Госкомгидромет, 1991. 57 с.

25. Квитко А.В. Характеристики ветра, особенности расчёта ресурса и экономической эффективности ветровой энергетики // Научный журнал КубГАУ. 2014. №97(03). С. 1-12.

26. Млявая Г.В. Влияние параметров шероховатости подстилающей поверхности на скорость ветра // *Ecologia și Geografia. Buletinul AȘM. Științele vieții*. 2014. № 2(323). С. 181-187.
27. Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Использование климатических баз данных для оценки природно-ресурсного и технического потенциала ветровой энергии // *Вестник аграрной науки Дона*. 2010. № 1. С. 27-32.
28. Дробышев А.Д., Пермяков Ю.А. Ветровая энергия и её возможный вклад в ресурсосбережение и экологию Прикамья: Учебное пособие. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997. 112 с.
29. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 80 с.
30. Ветроэнергетика / Под ред. Д. де Рензо: Пер. С англ.; под ред. Я.И. Шефтера. М.: Энергоатомиздат, 1982. 272 с.
31. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: 2008. 336 с.
32. El Hadri Y., Khokhlov V., Slizhe M. et al. Wind energy land distribution in Morocco in 2021-2050 according to RCM simulation of CORDEX-Africa project // *Arab J Geosci*. 2019. 12:753. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4950-7>
33. Udalov S.N., Zubova N.V. Simulation of Wind Speed in the Problems of Wind Power // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2013. 6(2). P. 150-165. <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/9697>
34. Tong W. (ed.) *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*. Southampton: Boston: WIT Press, 2010. 725 pp.
35. Голдаев С.В., Радюк К.Н. Расчет производительности ветроэнергетической установки большой мощности по усовершенствованной методике // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015. Т. 326. № 8. С. 17-32.

36. World bank group: Offshore wind development program. URL: <https://pubdocs.worldbank.org/en/120581592321163692/WBG-Offshore-Wind-Program-Overview.pdf> (дата звернення: 10.09.2021).

37. Siemens Gamesa offshore growth strategy. URL: <https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/offshore> (дата звернення: 10.09.2021).

38. Key Factors for Successful Development of Offshore Wind in Emerging Markets (English). Washington, D.C.: World Bank Group. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/343861632842395836/Key-Factors-for-Successful-Development-of-Offshore-Wind-in-Emerging-Markets> (дата звернення: 10.09.2021).

39. World Bank. 2019. Going Global: Expanding Offshore Wind To Emerging Markets (English). Washington, D.C.: World Bank Group. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets> (дата звернення: 10.09.2021).

40. Конвенція Організації Об'єднаних Націй по морському праву: Конвенція ратифікована Законом України N 728-XIV (728-14) от 03.06.99 г. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_057#Text (дата звернення: 10.09.2021).

41. Wind Energy and the Environment. Tethys. URL: <https://tethys.pnnl.gov/wind-energy> (дата звернення: 10.09.2021).

42. Keene M. Comparing offshore wind turbine foundations. Windpower Engineering & Development. URL: <https://www.windpowerengineering.com/comparing-offshore-wind-turbine-foundations/> (дата звернення: 10.09.2021).

43. Bergstrom L. et al. Effects of offshore wind farms on marine wildlife – a generalized impact assessment // Environ. Res. Lett. 2014. 9(3). DOI:10.1088/1748-9326 / 9/3/034012

44. Popko W. Impact of Sea Ice Loads on Global Dynamics of Offshore Wind Turbines. Zugl.: Hannover, TIB, Diss., 2020. 209 с.

45. Mroz A., Holnicki-Szulc J., Karna T. Mitigation of ice loading on off-shore wind turbines., II ECCOMAS thematic conference on smart structures and materials, Lisbon, Portugal, July 18-21, 2005. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/46545035/mitigation-of-ice-loading-on-off-shore-wind-turbines-smart-tech> (дата звернення: 10.09.2021).

46. Battisti L., Fedrizzi R., Brighenti A., Laakso T. Sea ice and icing risk for offshore wind turbines // Proceedings of the OWEMES 2006, 20-22 April, Civitavecchia. Italy. 2006. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.576.800&rep=rep1&type=pdf> (дата звернення: 10.09.2021).

47. Recommendation for Technical Approval of Offshore Wind Turbines. Recommendation for Offshore Wind Turbines. The Danish Energy Agency's Approval Scheme for Wind Turbines, 2001. URL: <https://silo.tips/download/recommendation-for-technical-approval-of-offshore-wind-turbines> (дата звернення: 10.09.2021).

48. International Electrotechnical Commission (IEC), 2009. IEC 61400-3: Wind Turbines – Part 3: Design Requirements for Offshore Wind Turbines, 1st Edition. 263 pp.

49. Alagan Chella M., Torum A., Myrhaug D. An Overview of Wave Impact Forces on Offshore Wind Turbine Substructures // Energy Procedia. 2012. Vol. 20. P. 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.03.022>

50. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 46 с.

51. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Л: Гидрометеиздат, 1991. 430 с.

52. Ивус Г.П., Агайар Э.В. Физико-статистический анализ и прогноз слабого ветра и инверсий температуры над территорией Северо-Западного Причерноморья: монография / Одесса. ОДЕКУ, Одесса: ТЭС, 2018. 202 с.

53. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Севастополь, 2012. 421 с.
54. Зайцев Ю. П. Екологічний стан шельфової зони Чорного моря біля узбережжя України (огляд) // Гідробіол. журн. 1992. 28 (4). С. 3-18.
55. Кондратьев С. И. Гидрохимия северо-западного шельфа Черного моря в современный период // Система Черного моря. М.: Научный мир, 2018. С. 119-145. doi:10.29006/978-5-91522-473-4.2018.119
56. Геология шельфа УССР: Среда. История и методика изучения / Под ред. В.И. Мельника, Л.И. Митина. Киев: Наук. думка, 1982. 180 с.
57. Авдеев А.И., Белокопытов В.Н. Морфометрические характеристики и расчлененность рельефа дна северной части Черного моря // Мор. гидрофиз. журн. 2011. № 4. С. 44-63.
58. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. Севастополь: НАН Украины, Морской гидрофизический институт, 2011. 212 с.
59. Тамайчук А.Н. Особенности пространственной структуры северо-западной части Черного моря // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Сер. Геогр. 2009. Т. 22 (61). № 2. С. 139-147.
60. Титов В.Б. Характеристики Основного Черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в российском секторе Черного моря // Океанология. 2002. Т. 42. № 5. С. 668-676.
61. Тучковенко Ю.С., Торгонская О.А. Моделирование эвтрофикации вод северо-западной части Черного моря // Математичні машини і системи. 2007. № 1. С. 111-116.

62. Ильин Ю.П. Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Черного моря // Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 242-251.

63. Берлинский Н.А., Богатова Ю.И., Большаков В.Н., Гаркавая Г.П., Теплинская Н.Г. Факторы формирования качества морской среды в прибрежной зоне Одесского региона в современных условиях // Екологічні проблеми Чорного моря: 36. Матеріалів до 4-го Міжнар. Симпозіуму. 2002 р., Одеса. Одеса: ОЦНТЕІ, 2002. С. 36-40.

64. Пухтяр Л.Д. Сезонные распреснения и осолонения вод Каркинитского залива // Морской гидрофиз. журнал. 2007. № 4. С. 24-39.

65. Жидкова Н.І. Льодові умови на Чорному морі у зими різної суворості / Збірник. робіт. ГОІН. Лабораторія південних морів. Гідрометеорологічні дослідження південних морів та Атлантичного океану. М: Гідрометеоздат, 1972. Вип. 2. С. 103-111.

66. The Physical Sciences Laboratory. NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html> (дата звернення: 10.09.2021).

67. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

68. The Physical Sciences Laboratory. NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surface.html> (дата звернення: 10.09.2021).

69. El Hadri Y., Khoklov V.N., Slizhe M.O. Regional climate models projections of wind speed in Morocco for period 2020-2050 // Asian Journal of Environment & Ecology. 2018. 6(3). P.1-7. DOI: 10.9734/AJEE/2018/41112

70. Регіональна синоптика (конспект лекцій) / Семенова І.Г. Одеса, ОДЕКУ, 2002. 62 с.

71. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.

72. Балабух В.А., Ягодинець С.М., Малицька Л.В., Скульбіденко Н.Н. Регіональні особливості кількісних критеріїв інтенсивності конвекції // Праці наукового семінару «Проблеми довгострокового прогнозування погоди». Київ: Ніка-Центр, 2012. С.108-118.