

УДК: 551.553.6, PACS: 92.60.Aa

РЕЖИМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В ТАНЖЕРІ У 2021-2050 РОКАХ

Юсеф Ель Хадрі, В. М. Хохлов

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

Вступ. Марокканська енергетична система дуже залежить від зовнішніх енергетичних ринків. Тому сучасна марокканська енергетична стратегія спрямована на розгортання проєктів в галузі поновлюваних технологій. Марокко багата на вітрові ресурси.

Метою даної публікації є визначення характеристик вітрового режиму в 2021-2050 роках в Танжері для оцінки вітрового потенціалу.

Результати. В цьому дослідженні були використані дані регіональних кліматичних моделей (РКМ) з високим просторовим дозволом проєкту CORDEX. Результати моделювання РКМ по сценарію RCP 4.5 подані в прямокутній системі координат з просторовим дозволом ≈ 44 км. Для аналізу був використаний ансамбль з 11 кліматичних моделей. Для перевірки РКМ застосовувались ретроспективні симуляції для періоду 2011-2016 рр., а для перевірки прогнозів РКМ за швидкістю вітру використовувалися спостереження на метеостанції Танжер. Виконаний аналіз дозволяє зробити висновок, що середні за ансамблем моделей ряди середньомісячних значень близькі до середніх значень спостережуваних метеорологічних параметрів. Моделі відображають кліматичні параметри з різним ступенем точності, їх результати можуть бути використані для аналізу майбутніх станів кліматичної системи в цьому регіоні. Середня швидкість вітру для періоду 2021-2050 рр. на станції Танжер буде складати 5,1 м/с, що більше поточного значення на 0,6 м/с. На території регіону Танжер - Тетуан - Ель-Хосейма прогнозується швидкість вітру 4,5 м/с і більше. Порівняння значення швидкості вітру, розрахованої РКМ, з даними спостережень за період 2005-2014 рр. показало збільшення її значення. На основі середньорічних значень швидкості вітру в кожному вузлі сітки були розраховані коефіцієнти лінійної регресії.

Висновок. Моделювання РКМ показало, що в 2021-2050 роках на території регіону Танжер - Тетуан - Ель-Хосейма будуть переважати умови, сприятливі для експлуатації та подальшого розвитку вітроенергетики. Порівняння модельних розрахунків з даними спостережень для поточного кліматичного періоду показало, що в районі Гібралтарської протоки і на прилеглих до неї територіях в майбутньому очікується збільшення швидкості вітру. Максимум в річному ході швидкості вітру буде спостерігатися в холодний період року, який збігається з періодом зростання споживання електроенергії споживачами.

Напрямки подальших досліджень. Результати цього дослідження будуть використані в якості основи для розрахунку потужності вітру в цьому регіоні в 2021-2050 рр.

Ключові слова: швидкість вітру, регіональні кліматичні моделі, CORDEX, Марокко.

1. ВСТУП

Перехід до поновлюваних технологій має першорядне значення для врегулювання кліматичних проблем. Досягнення частки 30 % до 2030 року може бути досить щоб запобігти зростанню глобальної температури більш ніж на 2°C , в порівнянні з доіндустріальним рівнем. Збереження показника нижче передбаченого Паризькою угодою 2°C потребуватиме збільшення їх відсотка до 36 %.

Марокканська енергетична система сильно залежить від зовнішніх енергетичних ринків. Відповідно до інформації Міністерства енергетики, в даний час в Марокко імпортується більш

93 % енергоносіїв. Держава закуповує на міжнародних енергетичних ринках вугілля для своїх електростанцій. Природний газ і нафтопродукти імпортується з Алжиру, в якості компенсації, за транзит алжирського газу через Марокко на південь Іспанії. Від 14 до 20 % щорічно споживаної електроенергії в Марокко припадає на імпортовану через Гібралтарську протоку з Іспанії електрику [1].

У 2009 році уряд Марокко розробив Національну енергетичну стратегію. Одним з пріоритетних напрямків даної програми є збільшення частки поновлюваних технологій в енергетиці країни. Крім того, Марокко запустила Програму

з розвитку поновлюваних джерел енергії [2], метою якої є досягнення загальної встановленої потужності 2000 МВт, одержуваної від енергії вітру.

Високий потенціал відновлюваних енергетичних ресурсів Марокко, головним чином сонячної енергії та енергії вітру, привертає державні та приватні інтереси в розгортанні технології поновлюваних джерел енергії.

Марокко багата вітровими енергетичними ресурсами. Розрахунки, зроблені організаціями, які беруть участь в розробці вітроенергетики в Марокко, дають обґрунтування, що технічний потенціал вітрової енергії в Марокко складе 26 ГВт [3]. Введення марокканської інтегрованої вітрової програми включає збільшення вироблюваної енергії від вітроенергетичних установок (ВЕУ) від 797 МВт в 2015 році до 2000 МВт до 2020 року і до 5000 МВт або 20 % від всіх встановлених потужностей до 2030 року [4].

Одним з перспективним для розвитку вітроенергетики районів є адміністративна область Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма, яка розташована на півночі Марокко (рис. 1). Область Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма є однією з найбільш густонаселених провінцій, густина населення за даними на 2014 р. [5] складала більше 150 чоловік на кв. кілометр, та має велику потребу у додаткових джерелах електроенергії. На території даної провінції, згідно [4], до 2020 р. планується введення в експлуатацію вітропарків загальною потужністю 500 МВт в районах Тіскрад, Танжер і Кудія Ель Байда.

Вивченню сучасного та майбутнього режиму вітру в області Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма присвячені роботи як марокканських, так і зарубіжних дослідників [6-11]. Результати дослідження швидкості вітру для періодів 1993-1994 та 1996-1999 рр. [6-8] демонструють, що найбільш перспективним з точки зору вітроенергетики є район ст. Кудія Ель Байда, розташованої біля міста Тетуан, де середньомісячні швидкості вітру постійні та існують земельні ділянки, придатні для розміщення ВЕУ. Мінімальна швидкість вітру в цьому районі фіксувалася в зимовий період (8,2 м/с), а максимальна – влітку (11 м/с).

Дослідження режиму вітру в Марокко для періоду 2005-2014 рр. [10] показало, що на ст. Танжер середньорічна швидкість вітру становила 4,8 м/с. Максимальна середньомісячна швидкість вітру відзначалася в березні і дорівнювала 5,1 м/с, мінімальна спостерігалася в грудні-січні і становила 4,0 м/с. Переважаючими

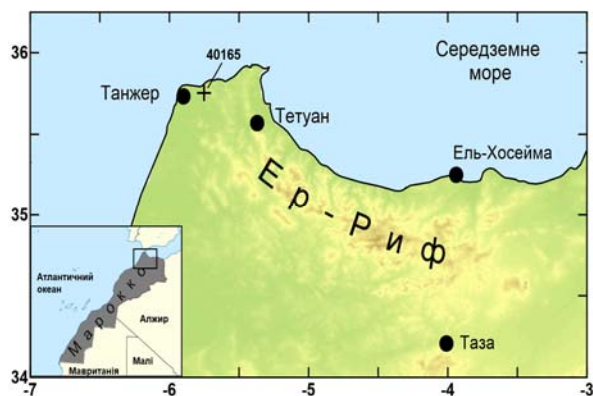


Рис. 1 – Схема розташування метеостанцій і вузла моделей 40165

напрямами вітру на ст. Танжер є східний і захід-північно-західний напрямки, повторюваність яких протягом року відчуває незначні зміни. На станціях, розташованих на середземноморському узбережжі (Тетуан, Ель-Хосейма), переважають напрямки вітру квазіперпендикулярні до берегової лінії і відзначається зміна переважаючого напрямку від січня до липня. У липні переважають вітри, що дмуть з моря на берег, в січні з суші на море [11].

Прогноз майбутніх змін швидкості вітру в Середземноморському регіоні [9], який було виконано за допомогою кліматичного моделювання проектів ENSEMBLES і MED-CORDEX показав, що у 2020-2050 рр. в районі Танжера моделі демонструють зростання швидкості вітру в обох сезонах відносно показників 1961-1990 рр.

Метою дослідження є виявлення особливостей вітрового режиму в районі міста Танжер у 2021-2050 рр. для оцінки вітроенергетичного потенціалу.

2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Район дослідження

Адміністративна область Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма розташована на півночі Марокко на узбережжі Атлантичного океану, Гібралтарської протоки та Середземного моря (рис. 1). Територія має складний рельєф, смуга прибережних рівнин на заході переходить в гори Ер-Риф на сході.

2.2 Вихідні дані

У дослідженні були використані дані регіонального кліматичного моделювання з високим просторовим розрешенням проекту CORDEX-Африка [12]. Кліматичні дані CORDEX отримані

Таблиця 1 – Характеристики регіональних кліматичних моделей

№ моделі	Назва моделі	Модель загальної циркуляції атмосфери	Інститут-розробник
M1	KNMI-ICHEC-EC-EARTH	IFS	CNRM, Франція
M2	CanESM2	CanCM4	CCCMA, Канада
M3	CNRM-CM5	ARPEGE	CNRM / CERFACS, Франція
M4	SMHI-ICHEC-EC-EARTH	IFS	CNRM, Франція
M5	CSIRO Mark 3.6	Mk3 AGCM	CSIRO, Австралія
M6	IPSL-CM5A-MR	LMDZ	IPSL, Франція
M7	MIROC5	AGCM CCSR	AORI/NIES/JAME S&T, Японія
M8	HadGEM2-ES	HadGEM2-A	Hadley Center, Великобританія
M9	MPI-ESM-LR	ECHAM6	MPI, Німеччина
M10	NorESM1	CAM4-Oslo	NCC, Норвегія
M11	GFDL-ESM2M	AM3	GFDL, США

з аналізу даних спостережень (1988-2010 рр.) або з глобальних кліматичних моделей (1950-2100 рр.). Масштабування виконується з використанням декількох регіональних моделей клімату та методів статистичного даунскейлінга.

Симуляції регіональних кліматичних моделей (РКМ) надають можливості для більш глибокого розуміння атмосферних процесів у досліджуваному регіоні та оцінки їх можливих змін в майбутньому.

У роботі використовувались результати моделювання РКМ за сценарієм RCP 4.5 для регіону Африки, подані у прямокутній системі координат з просторовим розрішення ≈ 44 км. Для аналізу використовувався ансамбль з 11 кліматичних моделей (табл. 1).

Найбільш високу успішність відтворення середніх кліматичних характеристик, при порівнянні з даними спостережень, як правило, показує результат усереднення за ансамблем моделей. Це пов'язано з тим, що систематичні помилки, властиві кожній моделі окремо часто є випадковими по відношенню до ансамблю моделей і при осередненні за ансамблем взаємно компенсуються [13].

В результаті розрахунку РКМ були отримані середньомісячні значення швидкості вітру для періоду 2021-2050 рр. На основі середньомісячних значень було розраховане середньорічне значення швидкості вітру.

2.3 Верифікація модельних розрахунків

Для верифікації РКМ були використані ретроспективні проєкції за період 2011-2016 рр. В якості вихідних даних швидкості вітру були використані спостереження на метеорологічній станції Танжер, розташованій на території аеропорту на відкритій місцевості. Для порівняння

були обрані результати модельних розрахунків у вузлі сітки, якнайближче розташованому до метеостанції (табл. 2, рис. 1).

Метеорологічна станція Танжер розташована в 4,2 км від берега Атлантичного океану в долині річки, орієнтованої із заходу на схід, вузол 40165 знаходиться в 13,7 км на схід від метеостанції в 3,9 км від узбережжя Гібралтарської протоки.

Таблиця 2 – Координати метеостанції та вузла моделі

Координати		Висота над рівнем моря, м
φ , ° пн. ш.	λ , ° зх. д.	
Станція Танжер		
35°44'	05°54'	21
Вузол сітки моделі 40165		
35°45'	05°45'	78

Для верифікації моделей були розраховані такі статистичні параметри: середнє значення ряду, середньоквадратичне відхилення (σ), середня помилка, мультиплікативне зміщення, коефіцієнт взаємної кореляції.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЕРИФІКАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ РКМ

В цілому, необхідно відзначити таку деталь, що моделі з різним ступенем точності відтворюють величину (найкращі показники, що характеризують близькість середніх значень рядів) і мінливість (найменше розбіжність σ рядів і найбільший коефіцієнт кореляції) швидкості вітру (табл. 3, рис. 2).

На ст. Танжер величина ME склала 0,3 м/с. Найбільш низьке значення ME мають ряди моделей M7 і M8 (0,2 м/с). Мультиплікативне

зміщення рядів склало 1,1. Оптимальне значення MB (1,0) мають ряди моделей M7 і M8.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики ряду спостережень і середнього за ансамблем моделей ряду середньомісячної швидкості вітру та їх помилки на ст. Танжер

Ряди	$V, \text{м/с}$	$ME, \text{м/с}$	MB	$\sigma, \text{м/с}$	r
спостережень	4,8	0,3	1,1	0,9	0,1
модельний	5,1			0,3	

Різниця σ середнього за ансамблем моделей і спостережуваного рядів склала $-0,6 \text{ м/с}$. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,1. Найбільш високий коефіцієнт кореляції між модельним і спостережуваним рядами має модель M5 та дорівнює 0,3.

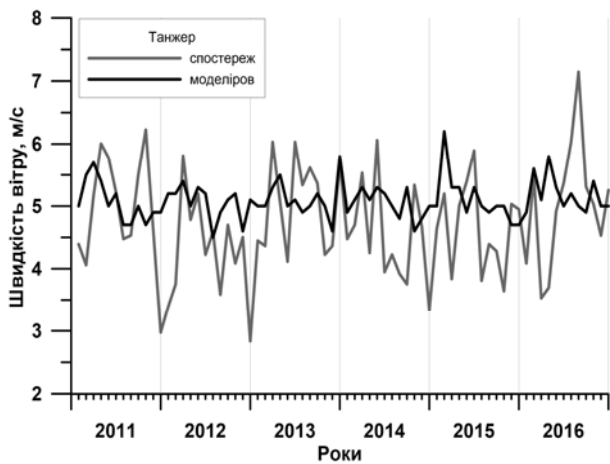


Рис. 2 – Спостережуваний і модельний ряди V (м/с) на ст. Танжер

Відмінності можуть бути пояснені орографічними ефектами, формою берегової лінії, а також впливом місцевих вітрів. Відмінності в орієнтації берегової лінії створює складну бризову циркуляцію.

Район Гібралтарської протоки протягом року перебуває під впливом вітру Леванту і його контрагента Поніенте, а також місцевого вітру Вендаваль. Левант має східний напрямок і спостерігається з липня по жовтень і у березні, Поніенте – західний і має місце в інші місяці. Навесні (з лютого по травень) і восени (з жовтня по грудень) ці вітри можуть досягати штормової сили, а влітку (з червня по вересень) їх сила не перевищує швидкості помірної бризу [14].

Вендаваль штормовий південно-західний або південно-східний вітер, що дме з Марокко на узбережжя Іспанії, може досягати сили урагану, і

найчастіше спостерігається у період з жовтня по січень [15].

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що, незважаючи на існуючу різницю в просторовому масштабі і репрезентативності поданих даних спостережень і результатів моделювання, середній по ансамблю моделей часовий ряд середньомісячних значень є близьким до середніх значень спостережених метеорологічних параметрів. Різниця у результатах моделювання з даними спостережень може бути викликана розбіжністю локалізації в просторі, і як наслідок різницею висоти над рівнем моря вузлів сітки моделей і метеостанцій. Підсумовуючи, можна зробити висновок, що результати моделювання можна розглядати як вхідні дані при аналізі майбутніх станів кліматичної системи в даному регіоні.

4. ПРОЕКЦІЇ РКМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В ПЕРІОД 2021-2050 РР.

Середня швидкість вітру для періоду 2021-2050 рр., розрахована РКМ у вузлі 40165, становила $5,1 \text{ м/с}$. В цілому на території провінції Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма моделі прогнозують швидкості вітру більше $4,5 \text{ м/с}$. Порівняння величини швидкості вітру на ст. Танжер отримане РКМ з даними спостережень для періоду 2005-2014 рр. показало збільшення її величини на $0,3 \text{ м/с}$. Аналогічні зміни в швидкості вітру в районі Танжера були отримані в результаті дослідження, проведеного італійськими вченими в рамках проекту CLIM-RUN [9].

На основі розрахованих середньорічних значень швидкості вітру, в кожному вузлі сітки моделі був проведений розрахунок коефіцієнтів лінійної регресії (a) і (b). Аналіз величини коефіцієнта (a) дозволяє оцінити динаміку зміни середньорічної швидкості вітру в досліджуваному періоді в даній точці простору.

В результаті проведеного аналізу було встановлено, що в районі Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма можна очікувати зростання швидкості вітру від $0,02$ до $0,07 \text{ м/с}$ за 30 років. У вузлі 40165, який найближче розташований до ст. Танжер, за 30 років очікується зростання швидкості вітру на $0,067 \text{ м/с}$ (табл. 4, рис. 3).

Таблиця 4 – Коефіцієнти лінійної регресії швидкості вітру і фактичне значення критерію Стьюдента у вузлі 40165

Коефіцієнти регресії			Критерій Стьюдента	
a , 30 років	a	b	t	$t_{кр}$ ($\alpha=0,1$)
0,067	0,0022	5,028	1,85	1,7

Оцінка статистичної значущості показала, що у вузлі 40165 коефіцієнт (a) є значущим при $\alpha = 0,1$.

З причини різних підходів і систематичних помилок, якість розрахунків різних кліматичних моделей неоднакова. Для кожної величини для кожного місяця були отримані ряди з 11 значень розрахованих моделями. Значення в такому ряду знаходяться в певному інтервалі і їх розподіл може не відповідати нормальному закону. В такому випадку, в якості графічної ілюстрації емпіричного розподілу, зручно використовувати діаграму типу «ящик з вусами», яка надає діагностичну, описову і наочну інформацію про досліджувану сукупність емпіричних даних [16].

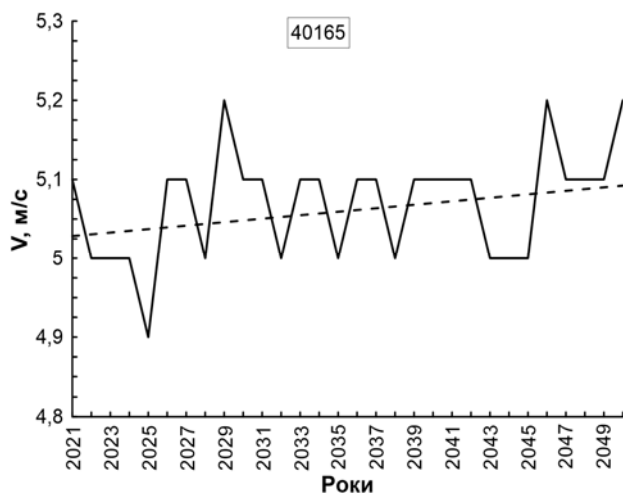


Рис. 3 – Середньорічна швидкість вітру (м/с) (суцільна лінія), лінійний тренд (пунктирна лінія) у вузлі сітки моделей 40165

Аналіз середньорічної швидкості вітру у вузлі 40165 (рис. 4) показав, що її максимальне значення коливається від 5,4 до 6,1 м/с, мінімальне знаходиться в межах 3,2-4,0 м/с. Середнє значення медіани становить 5,2 м/с, середнє значення 25-го перцентилю складає 5,0 м/с, а 75-го перцентилю – 5,4 м/с. Це говорить про незначне розходження в значеннях розрахованих моделями і про репрезентативності середніх по ансамблю моделей величин.

Аналіз річного ходу швидкості вітру (рис. 5) показав, що у вузлі 40165 максимум буде спостерігатися у березні-квітні і дорівнювати 5,4 м/с. Що відносно мінімуму швидкості вітру, то моделі прогнозують два мінімуми, один у липні та другий у листопаді-грудні (4,8 м/с). Необхідно додати, що у вересні моделі прогнозують вторинний максимум, який буде дорівнювати 5,3 м/с. Подібні особливості у річному ході швидкості вітру відмічаються на ст. Танжер у періоді 2005-2014 рр., вторинний максимум також відмічався у вересні

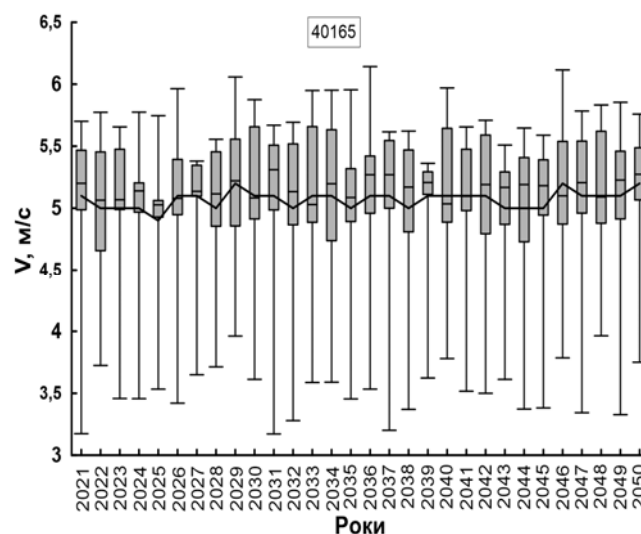


Рис. 4 – Міжрічний хід швидкості вітру (м/с) в вигляді «ящика с вусами» в вузлі 40165

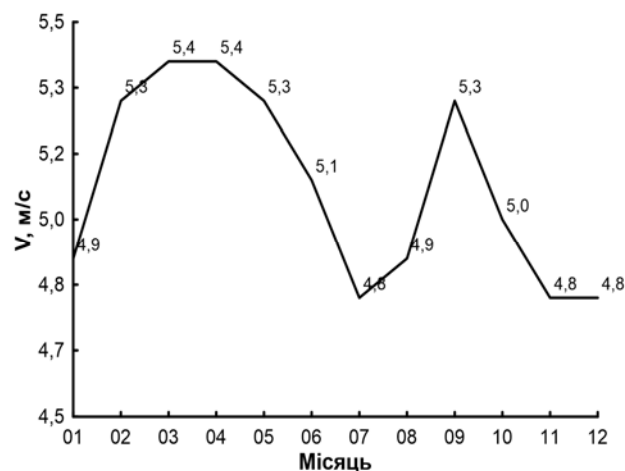


Рис. 5 – Річний хід швидкості вітру (м/с) у вузлі сітки моделей 40165

місяці і складав 4,7 м/с. Як можна побачити у [11], незначне зростання швидкості вітру у вересні спостерігається і на ст. Тетуан, розташованої у 55 км від ст. Танжер, з цього можна зробити висновок, що дана особливість у річному ході характерна для усієї території прилеглої до Гібралтарської протоки.

В цілому можна сказати, що річний хід з максимумом швидкості вітру в березні-квітні і мінімумом в липні-серпні моделі прогнозують у гірських районах Ер-Рифу, на Центральному марокканському плато і на плато Алжиро-Марокканської Месети.

Такі особливості в річному ході швидкості вітру можна пояснити сезонними змінами в повторюваності циркуляційних погодних типів на території Марокко. В холодне півріччя зростає повторюваність погодних типів при яких північ країни знаходиться під впливом циклонічної циркуляції при розвитку якої спостерігається зростання швидкості вітру в даному регіоні [17]. Якщо простежити зміни від весни до літа циркуляційних погодних типів [18], то можна помітити, що в квітні на частку типів, при яких північна частина Марокко знаходиться під впливом циклонічної циркуляції припадає близько 25 % випадків. В період з листопада по лютий відмічається зростання повторюваності погодного типу, при якому над північною країною розташовується центральна частина відрогів Азорського антициклону при його поширенні на західну частину Середземного моря та північно-західну частину Африці; з встановленням такого типу циркуляції може бути пов'язано виникнення слабкого вітру в даному регіоні.

Виникнення вторинного максимуму в річному ході швидкості вітру в вересні, може бути пояснено тим, що наряду з наявністю температурного контрасту між африканським континентом і водами Атлантичного океану, що супроводжується підвищеними градієнтами тиску в районі узбережжя, спостерігається збільшення відсотка повторюваності циркуляційних погодних типів [18] пов'язаних з проходженням циклонів по півночі Марокко. У жовтні повторюваність циклонічних погодних типів продовжує зростати, а повторюваність погодних типів, при яких на Атлантичному узбережжі Марокко встановлюються підвищені градієнти

тиску, різко знижується (близько на 10 %), що призводить до деякого зниження повторюваності підвищених швидкостей вітру.

5. ВИСНОВКИ

Аналіз результатів моделювання швидкості вітру в 2021-2050 рр. показав, що в регіоні Танжер – Тетуан – Ель-Хосейма в майбутньому будуть зберігатися сприятливі умови для функціонування ВЕУ і подальшого розвитку вітроенергетики.

Незважаючи на деякі розбіжності результатів отриманих автором з результатами аналогічних досліджень щодо зміни середньої швидкості вітру для періоду 2021-2050 рр. відносно попереднього кліматичного періоду, можна сказати, що в районі Гібралтарської протоки і на прилеглих до нього територіях в майбутньому очікується збільшення швидкості вітру, з наявністю статистично значущого позитивного тренду всередині періоду 2021-2050 рр.

Максимум в річному ході швидкості вітру буде відзначатися в холодний період року, що збігається з періодом зростання використання електроенергії споживачами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Nfaoui H., Sayigh A.A.M. Contribution of Renewable Energy to Morocco's Energy Independence. *ISESCO Journal of Science and Technology*. 2015. 11(19). Pp. 90-96.
2. Бородкина Н. В. Французская политика в области возобновляемых источников энергии в Марокко в начале XXI века. *Вестник САФУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки»*. 2015. № 3. С. 5-10.
3. Renewable Energy Transitions in Jordan and the MENA Region. URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/12045.pdf> (Accessed: 23.09.2018)
4. Schinke B. et al. Background Paper: Country Fact Sheet Morocco Energy and Development at a glance. Bonn: Germanwatch, 2016. 58 p.
5. Recensement Général de la Population et de l'Habitat. URL: www.hcp.ma/region-oriental/docs/RGPH2014/Premiers%20Resultats%20du%20RGPH%202014final_29_04_2015.pdf (Accessed: 23.09.2018)
6. Nfaoui H., Buret J., Sayigh A.A.M. Stochastic simulation of hourly average wind speed sequences in Tangiers (Morocco). *Solar Energy*. 1996. 56(3). Pp. 301-314.
7. Nfaoui H., Essiarab E., Sayigh A.A.M. A stochastic Markov chain model for simulating wind speed times

- series at Tangiers, Morocco. *Renewable Energy*. 2004. 29. Pp. 1407-1418.
8. Sadouk A., Djebli A. Wind Energy Potential in Tetuan City Northern of Morocco. *International Journal of Science and Research*. 2015. 4(10). Pp. 689-693.
 9. Dell'Aquila A., Calmanti S., Davies M., Schmidt P. Climate information for the wind energy industry in the Mediterranean Region: from ENSEMBLES to MEDCORDEX. URL: www.climrun.eu/news_data/195/3.climate_ervicesenergy_productionrgionalclimatemodels.pdf (Accessed: 23.09.2018)
 10. Ель Хадрі Ю., Хохлов В. М. Режим швидкості вітру в Марокко на початку XXI століття. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. №21. С. 22-28.
 11. Сліже М. О., Семергей-Чумаченко А. Б., Ель Хадрі Ю. Современное распределение ветра в Марокко. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. №17. С. 61-69.
 12. IS-ENES climate4impact portal. URL: <https://climate4impact.eu/> (Accessed: 10.05.2016)
 13. Новое поколение климатических моделей / Павлова Т. В., Катцов В. М., Мелешко В. П. и др. *Труды ГГО*. 2014. Вып. 575. С. 5-64.
 14. WeatherOnline Ltd. URL: www.weatheronline.co.uk (Accessed: 23.09.2018)
 15. Komimeteo.ru. URL: www.komimeteo.ru/encyclopedia/termin436.html (дата звернення: 23.09.2018)
 16. Дармьян А. П. Использование показателей описательной статистики для характеристики эмпирических выборок макроэкономических индикаторов. *Экономика региона*. 2013. Вып. 2. С. 157-163
 17. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Москва : Изд-во МГУ, 1974. 300 с.
 18. Born K., Fink A.H., Knippertz P. (2010). Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2010. Pp. 150-163.
 4. Schinke, B. et al. (2016). *Background Paper: Country Fact Sheet Morocco Energy and Development at a glance*. Bonn: Germanwatch.
 5. *Recensement Général de la Population et de l'Habitat*. Available at: www.hcp.ma/region-oriental/docs/RGPH2014/Pre-miers%20Resultas%20du%20RGPH%202014final_29_04_2015.pdf (Accessed: 23.09.2018)
 6. Nfaoui, H., Buret, J. & Sayigh, A.A.M. (1996). Stochastic simulation of hourly average wind speed sequences in Tangiers (Morocco). *Solar Energy*, 56(3), pp. 301-314.
 7. Nfaoui, H., Essiarab, E. & Sayigh, A.A.M. (2004). A stochastic Markov chain model for simulating wind speed times series at Tangiers, Morocco. *Renewable Energy*, 29, pp. 1407-1418.
 8. Sadouk, A. & Djebli, A. (2015). Wind Energy Potential in Tetuan City Northern of Morocco. *International Journal of Science and Research*, 4(10), pp. 689-693
 9. Dell'Aquila, A., Calmanti, S., Davies, M. & Schmidt, P. *Climate information for the wind energy industry in the Mediterranean Region: from ENSEMBLES to MEDCORDEX*. Available at: www.climrun.eu/news_data/195/3.climate_ervicesenergy_productionrgionalclimatemodels.pdf (Accessed: 23.09.2018)
 10. El Khadri, Yu. & Khokhlov, V.M. (2017). [Mode of the wind speed in Morocco in early XXI century]. *Visnik Odes'kogo derzavnogo ekologičnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, pp. 22-28. (in Ukr).
 11. Slizhe, M.O., Semergey-Chumachenko, A.B. & El Hadri, Youssef. (2016). [Current distribution of wind in Morocco]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 7, pp. 61-69. (in Russ).
 12. IS-ENES climate4impact portal. Available at: <https://climate4impact.eu/> (Accessed: 10.05.2016)
 13. Pavlova, T.V. et al. (2014). [A new generation of climate models]. *Trudy GGO im. A. I. Voeykova [Proceedings of Voikov Main Geophysical Observatory]*, 575, pp. 5-64. (in Russ).
 14. WeatherOnline Ltd. Available at: www.weatheronline.co.uk (Accessed: 23.09.2018)
 15. Komimeteo.ru. Available at: www.komimeteo.ru/encyclopedia/termin436.html (Accessed: 23.09.2018)
 16. Darmanyán, A.P. (2013). [Using indicators of descriptive statistics to characterize empirical samples of macroeconomic indicators]. *Ekonomika regiona [Economy of the re-gion]*, 2, pp. 157-163. (in Russ).
 17. Alisov, B.P. & Poltaraus, B.V. (1974). *Klimatologiya [Climatology]*. Moscow: MSU.
 18. Born, K., Fink, A.H. & Knippertz, P. (2010). Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, pp. 150-163.

REFERENCES

1. Nfaoui, H., & Sayigh, A.A.M. (2015). Contribution of Renewable Energy to Morocco's Energy Independence. *ISESCO Journal of Science and Technology*, 11(19), pp. 90-96.
2. Borodkina, N.V. (2015). [French renewable energy policy in Morocco in the early 21st century]. *Vestnik SAFU. Seriya «Gumanitarnye i social'nye nauki» [Herald of SAFU. Series "Humanities and Social Sciences"]*, 3, pp. 5-10. (in Russ).
3. *Renewable Energy Transitions in Jordan and the MENA Region*. Available at: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/12045.pdf> (Accessed: 23.09.2018)

WIND SPEED REGIME IN TANGIER IN 2021-2050

Youssef El Hadri, V. M. Khokhlov

*Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine,
magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>*

Introduction. The Moroccan energy system is highly dependent on external energy markets. This is why the current Moroccan energy strategy is focused on deployment of renewable technologies projects. Morocco has abundant wind resources.

The purpose of this publication is identifying the characteristics of wind regime in Tangier in 2021-2050 to assess the wind potential.

Results. This particular study used the data of regional climate modelling (RCM) with high spatial resolution of the CORDEX project. The article contains the results of RCM modelling using the RCP 4.5 scenario presented in the rectangular coordinate system with spatial resolution of ≈ 44 km. An ensemble of 11 climatic models was used for the analysis. To verify the RCM retrospective simulations for the period of 2011-2016 were used and to verify the RCM forecasts associated with wind speed we used the observations made at the Tangier meteorological station. The performed analysis allows us to conclude that average ensemble-based series of average monthly values are close to average values of the observed meteorological parameters. The models reflect the climatic parameters with varying degrees of accuracy and their results can be used to analyze future conditions of the climatic system in this region. Average wind speed for the period of 2021-2050 at the Tangier station will be equal to 5.1 m/s which exceeds the current value of 0.6 m/s. According to the forecast the wind speed in the territory of Tanger – Tetouan – Al Hoceima region will exceed 4.5 m/s. Comparison of the RCM-calculated wind speed value with the observational data for the period of 2005-2014 showed its increase. Based on the average annual wind speed values in each of the grid's nodes the linear regression coefficients were calculated.

Conclusion. RCM-modelling showed that in 2021-2050 the territory of Tanger – Tetouan – Al Hoceima region will be dominated by the conditions being favourable for operation and further development of wind energy. Comparison of model calculations with observational data of the current climatic period showed that the Strait of Gibraltar area and the adjacent territories will see the wind speed increase in the future. The maximum value of wind speed annual run will be observed during the cold period of the year which coincides with the period of increased demand for electricity by its consumers.

Directions of further research. The results of this study will be used as the basis for calculating the wind power in this region in 2021-2050.

Keywords: wind speed, regional climate models, CORDEX, Morocco.

РЕЖИМ СКОРОСТИ ВЕТРА В ТАНЖЕРЕ В 2021-2050 ГОДАХ

Юссеф Эль Хадри, В. Н. Хохлов

*Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
magribinets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3690-0927>*

Введение. Марокканская энергетическая система сильно зависит от внешних энергетических рынков. Поэтому современная марокканская энергетическая стратегия направлена на развертывание проектов в области возобновляемых технологий. Марокко обладает богатыми ветровыми ресурсами.

Целью данной публикации является определение характеристик ветрового режима в 2021-2050 годах в Танжере для оценки ветрового потенциала.

Результаты. В данном исследовании были использованы данные регионального климатического моделирования (РКМ) с высоким пространственным разрешением проекта CORDEX. Результаты моделирования РКМ по сценарию RCP 4.5 представлены в прямоугольной системе координат с пространственным разрешением ≈ 44 км. Для анализа был использован ансамбль из 11 климатических моделей. Для проверки РКМ применялись ретроспективные симуляции для периода 2011-2016 гг., а для проверки прогнозов РКМ по скорости ветра были использованы наблюдения на метеостанции Танжер. Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что средние по ансамблю моделей ряды среднемесячных значений близки к средним значениям наблюдаемых метеорологических параметров. Модели отражают климатические параметры с различной степенью точности, их результаты могут быть использованы для анализа будущих состояний климатической системы в этом регионе. Средняя скорость ветра для периода 2021-2050 гг. на станции Танжер составит 5,1 м/с, что больше текущего значения на 0,6 м/с. На территории региона Танжер – Тетуан – Эль-Хосейма прогнозируется скорость ветра 4,5 м/с и более. Сравнение значения скорости ветра, рассчитанной РКМ, с данными наблюдений за период 2005-2014 гг. показало увеличение ее значения. На основе среднегодовых значений скорости ветра в каждом узле сетки были рассчитаны коэффициенты линейной регрессии.

Заключение. Моделирование РКМ показало, что в 2021-2050 годах на территории региона Танжер – Тетуан – Эль-Хосейма будут преобладать условия, благоприятные для эксплуатации и дальнейшего развития ветроэнергетики. Сравнение модельных расчетов с данными наблюдений для текущего климатического периода показало, что в районе Гибралтарского пролива и на прилегающих к нему территориях в будущем ожидается увеличение скорости ветра. Максимум в годовом ходе скорости ветра будет наблюдаться в холодный период года, который совпадает с периодом роста потребления электроэнергии потребителями.

Направления дальнейших исследований. Результаты этого исследования будут использованы в качестве основы для расчета мощности ветра в этом регионе в 2021-2050 гг.

Ключевые слова: скорость ветра, региональные климатические модели, CORDEX, Марокко.

Подання до редакції : 03. 10. 2018

Надходження остаточної версії : 25. 12. 2018

Публікація статті : 30. 05. 2019