

УДК: 551.553.6, 551.576.2, 551.581.1

## ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СТОСОВНО РЕЖИМУ ШВИДКОСТІ ВІТРУ І ХМАРНОСТІ В МАРОККО

Ю. Ель Хадрі, асп.

В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [magribinets@ukr.net](mailto:magribinets@ukr.net)

У статті наводяться результати верифікації регіональних кліматичних моделей по середньомісячній швидкості вітру, середньомісячній максимальній швидкості вітру і середньомісячній кількості хмарності для території Марокко. Метою роботи є визначення якості модельних розрахунків для подальшого використання цієї інформації в аналізі майбутніх кліматичних змін в даному регіоні. У дослідженні використовувалися ретроспективні дані проєкцій 11 регіональних кліматичних моделей за період 2011-2016 рр. і дані спостережень за швидкістю вітру на 5 метеорологічних станціях, розташованих в різних фізико-географічних районах Марокко та середньомісячна кількість хмарності за спостереженнями штучних супутників Terra и Aqua. У статті показано, що регіональні кліматичні моделі краще відтворюють швидкість вітру на станціях, розташованих у рівнинних районах, у порівнянні зі станціями, розташованими в горах або на узбережжі. Верифікація моделей по хмарності показала, що модельні ряди мають близькі значення до фактичних рядів, коефіцієнти кореляції між ними мають більш високі значення, ніж для рядів швидкостей вітру.

**Ключові слова:** швидкість вітру, максимальна швидкість вітру, загальна кількість хмарності, регіональні кліматичні моделі, Марокко.

### 1. ВСТУП

Для збереження темпів соціально-економічного зростання уряд Марокко постійно розробляє нові стратегії розвитку країни в умовах зовнішньоекономічної конкуренції. Одним з ключових пунктів успішної конкурентоспроможності є ефективне використання наявних ресурсів з метою збільшення обсягів виробництва і реалізації товарів і послуг на світовому ринку.

На сьогоднішній день, щорічне зростання попиту на електроенергію в Марокко оцінюється у 6 %, і 100 % усіх спожитих у країні вуглеводнів імпортується внаслідок відсутності власних запасів нафти і газу. З цієї причини урядом Марокко прийнято програму поетапного переходу від традиційних нафтогазових джерел енергії до поновлюваних енергоресурсів [1]. У цьому контексті, наявність максимально достовірної інформації про майбутній стан клімату, є стратегічно значущим пунктом у розвитку економіки Марокко.

Глобальні кліматичні моделі є основним джерелом прогнозів ймовірних змін майбутнього клімату. У свою чергу, регіональні кліматичні моделі (РКМ) дозволяють отримати інформацію з більш високим просторовим розділенням для певних регіонів. Глобальна кліматична модель визначає великомасштабні ефекти у глобальному кліматі, і кліматичні характеристики (температура, опади, вітер тощо), розраховані за допо-

могою глобальної кліматичної моделі, використовуються як вхідні дані на просторових межах розрахункової області, для якої здійснюють моделювання РКМ. Регіональні кліматичні моделі враховують місцеву орографію, землекористування тощо, і це надає можливість отримати інформацію про погоду і клімат у вузлах горизонтальної сітки з кроком менше 50 км. З недавнього часу РКМ містять атмосферні моделі, пов'язані з моделями інших складових кліматичної системи (процеси гідрології суші та океану, кріосфери та біосфери), хімічних процесів та впливу аерозолів [2].

Ансамбль симуляцій РКМ надає можливість більш глибокого розуміння атмосферних процесів у досліджуваному регіоні та їх можливу зміну в майбутньому.

Як правило, якість розрахунків клімату за допомогою тієї чи іншої моделі неоднакова для різних змінних і регіонів. Тому важливим етапом перед проведенням аналізу проєкцій РКМ, є оцінка якості модельних розрахунків. Таку оцінку можна отримати шляхом проведення верифікації моделей. Для цього проводять порівняння модельних даних з результатами спостережень за той же період часу у потрібній точці простору.

Метою даного дослідження є верифікація результатів моделювання РКМ середньомісячної швидкості вітру, середньомісячної максимальної швидкості вітру і середньомісячної кількості хмарності на території Марокко.

## 2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У цій роботі використовувались результати моделювання РКМ за сценарієм RCP 4.5 для регіону Африка, подані у прямокутній системі координат з просторовим розділенням  $\approx 44$  км. Для аналізу використовувався ансамбль з 11 кліматичних моделей, розроблених в дослідних інститутах і метеорологічних центрах різних країн світу (табл. 1). Для верифікації РКМ були використані ретроспективні проєкції за період 2011-2016 рр.

Як вихідні дані про швидкість вітру були використані спостереження на 5 метеорологічних станціях (Сіді-Іфні, Танжер, Уджа, Рабат, Мекнес), які розташовані в різних частинах Марокко. Всі вибрані метеостанції розташовані на територіях аеропортів на відкритій місцевості. Для порівняння були обрані результати модельних розрахунків у вузлах сітки, якнайближче розташованих до метеостанцій (табл. 2).

Станція Сіді-Іфні знаходиться на березі Атлантичного океану (рис. 1) на ділянці, що лежить на південний захід від гір Антіатласу. Рельєф в районі метеостанції являє собою вузьку терасу на висоті 60 м над рівнем моря між гірською грядою висотою 350 м і берегом Атлантичного океану.

Станція Танжер розташована в північній час-

тині Марокко поблизу Гібралтарської протоки на відстані 4,2 км від берега Атлантичного океану у долині річки (ширина долин в районі метеостанції становить 6 км), орієнтованої із заходу на схід і оточеної височинами висотою 80-160 м.

Станція Уджа знаходиться на висоті 470 м над рівнем моря в північно-східній частині Марокко на кордоні з Алжиром у долині між гірським масивом Бені Снассен (висотою близько 1500 м), що відокремлює долину від узбережжя, і гірським масивом Таоурірт-Уджа (висотою близько 1700 м). Ширина долини в районі метеостанції становить близько 15–18 км.

Станція Рабат розташована на Атлантичному узбережжі на відстані 4,15 км від берега океану на рівнинній місцевості.

Нарешті, станція Мекнес лежить у центральній частині Марокко в районі Середнього Атласу на висоті 549 м над рівнем моря.

Порівняння проєкцій середньомісячної швидкості вітру здійснювалося з рядами середньомісячної швидкості вітру, одержаними з сайту метеорологічного сервісу «WeatherOnline Ltd.» [3], а для перевірки середньомісячної максимальної швидкості вітру використовувалися значення добової максимальної швидкості вітру з сайту NOAA [4], за якими й розраховувалися їх середні значення для кожного місяця кожного року.

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

Таблиця 2 – Координати метеостанцій і точок моделей

№ п/п	Станція				Вузол сітки моделі			
	Станція	φ, ° півн.ш.	λ, ° зах.д.	Висота над рівнем моря, м	φ, ° півн.ш.	λ, ° зах.д.	Висота над рівнем моря, м	Відстань до станції, км
1	Сіді-Іфні	29°22'	10°11'	66	29°15'	10°15'	302	14,47
					29°45'	09°45'	170	59,74
2	Танжер	35°44'	05°54'	21	35°45'	05°45'	78	13,69
3	Уджа	34°47'	01°56'	470	34°45'	01°45'	520	17,19
4	Рабат	34°03'	06°46'	75	33°45'	07°15'	51	55,73
5	Мекнес	33°53'	05°31'	549	33°45'	05°45'	626	26,52



Рис. 1 – Схема розташування метеостанцій і вузлів сітки моделей

Для порівняння результатів моделювання середньомісячної загальної кількості хмарності використовувались дані спостережень зі штучних супутників Terra і Aqua, отримані за допомогою тепловізора Imaging Spectroradiometer (MODIS). Ці дані були одержані з сайту Національного управління з аеронавтики і дослідженню космічного простору НАСА [5]. Дані MODIS просторово усереднюються в вузлах регулярної сітки з кроком 1°, потім поміщаються у відповідний часовий відрізок і лінійно інтерполюються для заповнення решти часових відрізків, після чого усереднюються у щомісячні значення [5].

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

Середня помилка ( $ME$ ) показує, на скільки модельне значення часового ряду є помилковим (1). Величина середньої помилки лежить в межах від  $-\infty$  до  $+\infty$ , найкращим показником середньої помилки прогнозованого ряду вважається величина  $ME = 0$

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

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

Мультиплікативне зміщення ( $MB$ ), показує ступінь сумісності середнього значення прогнозованого (модельного) ряду і середнього значення ряду спостереження, його величина знаходиться в інтервалі від  $-\infty$  до  $+\infty$ , найкращим показником мультиплікативного зміщення прогнозованого ряду вважається величина  $MB = 1$

$$MB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (2)$$

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

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}. \quad (3)$$

Величина  $r$  змінюється в інтервалі від  $-1$  до  $+1$ . При  $r = \pm 1$  є абсолютна (функціональна) кореляція по усіх точках рядів. Випадок, коли  $r = 0$  свідчить про відсутність лінійного зв'язку між двома рядами (хоча може бути присутнім нелінійне співвідношення) [6].

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 [7].

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз статистичних параметрів середнього за ансамблем моделей ряду середньомісячної швидкості вітру показав (табл. 3), що найкращі значення середньої помилки (0,3 м/с) і мультиплікативного зсуву (1,1) має модельний ряд на ст. Танжер. Найбільш близькі значення СКВ середнього по ансамблю моделей і спостережуваного рядів мають ряди на ст. Сіді-Іфні. Найбільш високий коефіцієнт кореляції склав 0,4 на ст. Сіді-Іфні.

Для максимальної швидкості вітру найкращі значення середньої помилки ( $-1,0$  м/с) і мультиплікативного зсуву (0,9) має модельний ряд на ст. Уджда. Найбільш близькі значення СКВ мають ряди на ст. Рабат. Найбільш високий коефіцієнт кореляції склав 0,5 також на ст. Рабат.

Аналіз статистичних параметрів для рядів середньомісячної кількості хмарності показав, що найкращі значення середньої помилки (0,2 %) має модельний ряд на ст. Мекнес і мультиплікативного зсуву (1,0) мають модельні ряди на ст. Мекнес і Рабат. Найбільш близькі значення СКВ мають середній по ансамблю моделей і спостережуваний ряди на ст. Танжер. Найбільш високий коефіцієнт кореляції склав 0,7 на ст. Танжер.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики рядів спостережень і середніх по ансамблю моделей рядів та їх помилки

Ряди	Середньомісячна швидкість вітру, м/с					Середньомісячна максимальна швидкість вітру, м/с					Середньомісячна кількість хмарності, %				
	<i>V</i>	<i>ME</i>	<i>MB</i>	$\sigma$	<i>r</i>	<i>V</i>	<i>ME</i>	<i>MB</i>	$\sigma$	<i>r</i>	<i>N</i>	<i>ME</i>	<i>MB</i>	$\sigma$	<i>r</i>
Сіді-Іфні															
спостережені	3,0			0,4		4,4			0,5		26,6			7,8	
модельні	4,8	1,8	1,6	0,4	0,4	7,5	3,0	1,7	0,6	0,5	25,0	-1,6	0,9	4,1	0,2
Танжер															
спостережені	4,8			0,9		8,0			0,9		40,6			13,5	
модельні	5,1	0,3	1,1	0,3	0,1	6,9	-1,1	0,9	0,3	0,1	33,2	-7,4	0,8	12,6	0,7
Уджада															
спостережені	3,7			0,6		7,9			1,0		34,5			10,0	
модельні	4,3	0,7	1,2	0,5	0,1	6,9	-1,0	0,9	0,4	0,1	38,6	4,1	1,1	7,6	0,4
Рабат															
спостережені	2,5			0,5		5,7			0,7		37,4			10,7	
модельні	4,3	1,7	1,7	0,3	0,4	7,2	1,5	1,3	0,7	0,5	36,3	-1,2	1,0	8,8	0,5
Мекнес															
спостережені	2,6			0,4		5,4			0,7		33,8			11,4	
модельні	4,1	1,4	1,5	0,3	0,3	6,6	1,2	1,2	0,5	0,3	34,0	0,2	1,0	9,4	0,4

В цілому, необхідно відзначити такий факт, що моделі з різним ступенем точності відтворюють величину (найкращі показники, що характеризують близькість середніх значень рядів) і мінливість (найменша розбіжність СКВ рядів і найбільший коефіцієнт кореляції), досліджуваної метеорологічної величини на тих самих метеостанціях.

Розбіжність у результатах модельних розрахунків з даними спостережень в основному спричинені наявністю істотної і систематичної різниці в просторовому масштабі і репрезентативності між даними у вузлах сітки і метеорологічними вимірами. Дані кліматичної моделі представлені у вигляді середніх значень, по суті, одного числа на певну ділянку сітки, де площа цієї ділянки РКМ становить від 100 до 2500 км<sup>2</sup> (просторове розділення від 10 до 50 км). Метеорологічні вимірювання являють собою, по суті, точкові вимірювання, які є суто репрезентативними для невеликої області, навколишній ділянці вимірювання. Залежно від просторової мінливості вимірюваної змінної репрезентативна область більш-менш розширюється [2]. Одним з найбільш чутливих до конкретного оточення місця вимірювання параметром є швидкість вітру на висоті 10 м над підстильною поверхнею, величина якої на станції залежить не тільки від циркуляційних умов та окремих перешкод у безпосередній близькості від станції, але й від шорсткості підстильної поверхні і ландшафту на багато кілометрів за вітром [2].

Ще однією не менш важливою причиною різниці в статистичних характеристиках модельних і спостережених рядів є розбіжність локалізації

вузлів сітки, для яких були виконані розрахунки РКМ і метеостанцій. Так, наприклад, для порівняння рядів середньої і максимальної швидкості вітру на ст. Сіді-Іфні був обраний вузол моделі з координатами 29°45' півн.ш. та 10°15' зах. д., який відстоїть більше ніж на 45 км далі від станції, ніж інший вузол, який наведено у табл. 2. Проте різниця висот розташування над рівнем моря станції і зазначеного вузла на 132 м менше, ніж у іншого. У цьому випадку розбіжності між модельними і спостереженими значеннями швидкостей вітру можна пояснити тим, що вузол сітки моделі, для якої здійснювався розрахунок, лежить на 104 м вище метеостанції, і відповідно до логарифмічного закону зміни швидкості вітру з висотою в приземному шарі на більш високих рівнях швидкість вітру буде вище. У той же час можна відзначити, що моделі добре відображають річний хід швидкості вітру в Сіді-Іфні, це виражено в незначній розбіжності СКВ модельних і фактичних рядів середньої і максимальної швидкості вітру (0,0 м/с і 0,1 м/с, відповідно).

Відмінності статистичних параметрів рядів швидкості вітру в Танжері можуть бути пояснені орографічними ефектами, формою берегової лінії та впливом місцевих вітрів на формування режиму вітру. По-перше, орієнтація берегової лінії у цьому регіоні створює складну бризову циркуляцію, і по-друге, 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 тра-

вень) 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 [3]. 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 [8].

На ст. Уджда розбіжність у статистичних параметрах середнього за ансамблем моделей і спостережених рядів швидкості вітру мають найбільш суттєві значення. Ці відмінності можна пояснити тим, що дана область знаходиться у районі зі складним рельєфом місцевості, де режим швидкості вітру формується під впливом місцевої гірничо-долинної циркуляції повітря, що, можливо, недостатньо точно відтворюється РКМ.

На ст. Рабат, моделі добре відтворюють річний хід швидкості вітру, що виражено в малих відмінностях СКВ, для рядів середньої швидкості вітру різниця становить 0,2 м/с, максимальної швидкості вітру 0,0 м/с. Коефіцієнт кореляції демонструє, що між модельними і спостережуваними рядами існує помірний зв'язок (за шкалою Чеддока). Відмінність середніх значень фактичного та середнього за ансамблем моделей рядів швидкості вітру можна пояснити тим, що вузол моделі, для якого здійснювалися розрахунки, знаходиться на значній відстані від метеостанції (55,73 км на північний захід), а відповідно до [9], на даній ділянці атлантичного узбережжя Марокко спостерігається збільшення величини швидкості вітру при переміщенні з півночі на південь.

Розбіжності статистичних параметрів на ст. Мекнес можна пояснити декількома причинами: по-перше, вузол моделі, для якого здійснювалися розрахунки, лежить на 77 м вище метеостанції, що дає більш високі значення середньої і максимальної швидкостей вітру; по-друге, цей вузол достатньо віддалена від метеостанції (відстань становить 26,52 км); по-третє, дана станція розташована в районі зі складною орографією, яка створює дрібномасштабні ефекти, що впливають на формування режиму вітру в різних частинах цього району.

Що стосується верифікації розрахунків моделей по хмарності, то в цілому можна відзначити, що статистичні параметри модельних і фактичних рядів показують більш близькі значення, ніж для швидкості вітру. Однією з причин цього є те, що дані спостережень за хмарністю наведені у вузлах регулярної сітки, що підвищує їх репрезентативність, і максимально близько в просторі

(до повного збігу). У той же час можна стверджувати, що в моделях недостатньо добре враховуються місцеві ефекти, що призводять до формування режиму хмарності в окремих районах. Прикладом цього можуть служити результати верифікації моделей по хмарності в районі ст. Сіді-Іфні. Для порівняння були обрані два сусідні з Сіді-Іфні вузла сітки моделі, що лежать на узбережжі та про які мова велася вище (див. також рис. 1). Перший з вузлів, наведених у табл. 2 знаходиться в 14,47 км на південний захід від Сіді-Іфні і в 3,2 км від берегової лінії, а другий - розташований на відстані 59,74 км в північно-східному напрямку на відстані 10,3 км від узбережжя океану.

Аналіз отриманих результатів показав значне розходження в середніх значеннях модельних і спостережених рядів (табл. 4).

В обох вузлах моделі відтворюють близькі значення хмарності (середні значення середніх за ансамблем моделей рядів складають 28,5 % і 25,0 %, відповідно), в той час як середні значення ряду спостережень становить 45,3 % у вузлі, розташованому південніше, і 26,6 % в іншому. Ця розбіжність добре простежується на графіках модельних і фактичних рядів (рис. 2).

Значні розбіжності у південнішому вузлі сітки між модельними та фактичними значеннями хмарності можна пояснити його розташуванням. На ділянку території, що лежить на південь від ст. Сіді-Іфні, де розміщено цей вузол, з грудня по червень відбувається перенесення з акваторії океану шарувато-купчастої хмарності, яка під впливом орографічних умов перетворюється в адвективний і гірський туман [10; 11]. Це явище виникає при формуванні певних синоптичних умов в даному регіоні і поширюється на незначну за площею територію. Напевно, таке явище у мезомасштабу не досить добре враховується в РКМ. На рис. 2 добре видно, що модельні ряди мають близькі значення і схожий хід, в той час, як фактичні значення і хід хмарності в цих двох точках значно відрізняються один від одного.

**Таблиця 4** – Статистичні характеристики рядів спостережень і середніх по ансамблю моделей рядів та їх помилки середньомісячної кількості хмарності (%) в районі ст. Сіді-Іфні

Ряди	<i>N</i>	<i>ME</i>	<i>MB</i>	$\sigma$	<i>r</i>
<b>Точка 31152</b>					
спостережений	45,3			9,4	
модельний	28,5	-16,9	0,6	3,5	-0,1
<b>Точка 32153</b>					
спостережений	26,6			7,8	
модельний	25,0	-1,6	0,9	4,1	0,2

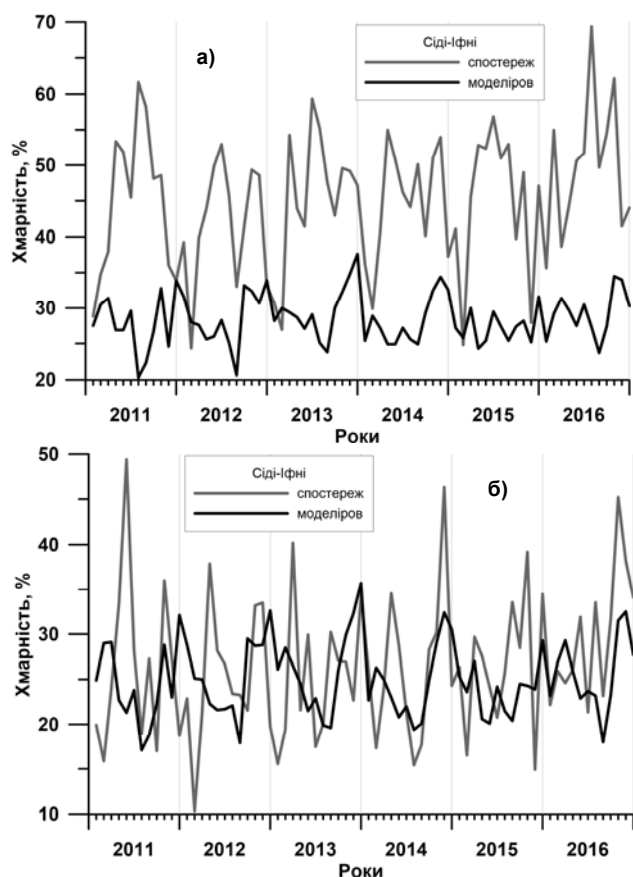


Рис. 2 – Середньомісячна кількість хмарності (%) в районі ст. Сіді-Іфні у південнішому (а) та північнішому (б) вузлах

#### 4. ВИСНОВКИ

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. Середні значення модельних рядів вище фактичних на всіх обраних станціях для середньомісячної швидкості вітру, а на ст. Сіді-Іфні, Рабат і Мекнес для середньомісячної максимальної швидкості вітру. Ця різниця може бути викликана розбіжністю локалізації в просторі, і як наслідок різницею висоти над рівнем моря вузлів сітки моделей і метеостанцій. Нижчі величини модельних значень середньомісячної максимальної швидкості вітру в порівнянні з фактичними значеннями на ст. Танжер і Уджда, можуть бути пов'язані з існуванням факторів, що впливають на формування режиму

вітру в цих районах, які недостатньо враховуються в кліматичних моделях.

Регіональні кліматичні моделі забезпечують більш задовільні результати моделювання часових змін швидкості вітру на станціях, що лежать в рівнинних районах, у порівнянні зі станціями, розташованими в гірській місцевості або на узбережжі з викривленою береговою лінією.

Результати верифікації моделей по хмарності показали, що модельні ряди мають близькі значення до фактичних рядів, коефіцієнти кореляції між ними є більш високими, ніж для рядів швидкостей вітру. Причиною цього служить той факт, що дані спостережень за хмарністю наведені у вигляді регулярної сітки, а також мінімальною відстанню у просторі вузлів модельної сітки та реаналізу. У той же час, аналіз результатів моделювання хмарності в районі ст. Сіді-Іфні показав, що на ділянках де існують місцеві особливості у формуванні режиму хмарності, РКМ можуть показувати незадовільний результат.

Підсумовуючи, можна зауважити, що, не дивлячись на те, що моделі в різних районах Марокко з різним ступенем точності відображають досліджувані кліматичні параметри, їх результати можна розглядати як вхідні дані при аналізі майбутніх станів кліматичної системи в даному регіоні.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. *IS-ENES climate4impact portal*. <https://climate4impact.eu> (accessed 23.09.2017)
3. *WeatherOnline Ltd*. <http://www.weatheronline.co.uk> (accessed 23.09.2017)
4. Електронна база кліматичних даних. <https://www7.ncdc.noaa.gov> (дата звернення: 23.09.2017)
5. Електронна база кліматичних даних. <https://ceres-tool.larc.nasa.gov> (дата звернення: 23.09.2017)
6. Jolliffe I. T., Stephenson D. B. (Eds). *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003. 240 p.
7. Павлова Т. В., Катцов В. М., Мелешко В. П., Школьник И. М., Говоркова В. А., Надежина Е. Д. Новое поколение климатических моделей // Труды ГГО. 2014. Вып. 575. С. 5-64.
8. <https://www.komimeteo.ru> (дата звернення: 23.09.2017)
9. Хохлов В. М., Ель Хадрі Ю., Сліже М. О. Міжрічна мінливість швидкості вітру в Марокко // Збірник за матеріалами міжнародної конференції «Наука і

сучасність: виклики глобалізації». Київ: Центр наукових публікацій, 2017. 112 с.

10. Marzol M. V., Sánchez J. L. Fog Water Harvesting in Ifni, Morocco. An Assessment of Potential and Demand. *Die Erde*, 2008, vol. 139 (1-2), pp. 97-119.
11. Marzol M. V., Sánchez J. L., Yanes A. Meteorological patterns and fog water collection in Morocco and the Canary Islands. *Erdkunde*, 2011, vol. 65, no. 3, pp. 291-303.

## REFERENCES

1. Borodkina N. V. 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"*, 2015, no. 3, pp. 5-10. (In Russian)
2. *IS-ENES climate4impact portal*. <https://climate4impact.eu/> (accessed 23.09.2017)
3. *WeatherOnline Ltd*. <http://www.weatheronline.co.uk> (accessed 23.09.2017)
4. *Elektronna baza klimatychnykh danykh* [Electronic climate database]. <https://www7.ncdc.noaa.gov> (accessed 23.09.2017)
5. *Elektronna baza klimatychnykh danykh* [Electronic climate

- database]. <https://ceres-tool.larc.nasa.gov> (accessed 23.09.2017)
6. Jolliffe I. T., Stephenson D. B. (Eds). *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003. 240 p.
7. Pavlova T. V., Katsov V. M., Meleshko V. P., Shkol'nik I. M., Govorkova V. A., Nadezhina E. D. A new generation of climate models. *Trudy GGO im. A. I. Voeykova – Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory*, 2014, no. 575. pp. 5-64 (In Russian)
8. <https://www.komimeteo.ru> (accessed 23.09.2017)
9. Khokhlov V. M., El' Khadri Yu., Slizhe M. O. Interannual variability of wind speed in Morocco. *Zbirnyk za materialamy mizhnarodnoyi konferentsiyi «Nauka i suchasnist': vykyky hlobalizatsiyi»* [Collection on the materials of the international conference "Science and modernity: challenges of globalization"]. Kiev: Center for Scientific Publications, 2017, p. 112. (In Ukrainian)
10. Marzol M. V., Sánchez J. L. Fog Water Harvesting in Ifni, Morocco. An Assessment of Potential and Demand. *Die Erde*, 2008, vol. 139 (1-2), pp. 97-119.
11. Marzol M. V., Sánchez J. L., Yanes A. Meteorological patterns and fog water collection in Morocco and the Canary Islands. *Erdkunde*, 2011, vol. 65, no. 3, pp. 291-303.

## REGIONAL CLIMATIC MODELS VERIFICATION FOR WIND SPEED AND CLOUDINESS IN MOROCCO

Yo. El Hadri, PhD student

V. M. Khokhlov, Dr Sci (Geogr.), Prof.,

Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, [magribinets@ukr.net](mailto:magribinets@ukr.net)

Currently the annual increase in demand for electricity in Morocco is estimated as 6 %. On the other hand, 100 % of all hydrocarbons consumed in the Morocco are imported. For this reason, the government of Morocco has adopted a program for a phased transition from traditional oil and gas energy sources to renewable energy resources. Therefore, the availability of the most reliable information about the future state of the climate is a strategically important point in the development of Morocco's economy. Today, information about future climate conditions is possible through climate models.

The goal of this study is to verify the regional climate model (RCM) simulation results for the monthly surface wind speed, monthly daily maximum surface wind speed and monthly total cloud fraction in Morocco.

For the RCM verification, retrospective simulations for the period 2011-2016 were used. To verify the RCM projections for wind speed, observations at the five meteorological stations (Sidi Ifni, Tangier, Oujda, Rabat, Meknes) were used as actual series; all the stations are located in different parts of Morocco. For comparison, the results of model simulations at the points closest to the meteorological stations were chosen. As input observations of monthly cloud fraction, the observational data from the satellites Terra and Aqua were used.

Analysis showed that the averages by model ensemble and actual series have similar values. The RCMs provide better results for the modeled wind speed at stations located in flat areas in comparison to stations located in mountains or on coasts with a curved coastline. At the same time, it can be argued that the models do not sufficiently take into account local effects leading to the formation of a cloud regime in certain regions. As an example, the results of verification of cloud patterns in the Sidi Ifni area can be used.

Generally, despite the fact that the models in different regions of Morocco reflect the climatic parameters with varying degrees of accuracy, their results can be used in order to analyze future states of the climate system in this region.

**Keywords:** wind speed, maximum wind speed, total cloud fraction, regional climate models, Morocco.

## ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПО РЕЖИМУ СКОРОСТИ ВЕТРА И ОБЛАЧНОСТИ В МАРОККО

Ю. Эль Хадри, асп.,  
В. Н. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.

*Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, [magribinets@ukr.net](mailto:magribinets@ukr.net)*

В статье приводятся результаты верификации региональных климатических моделей по среднемесячной, среднемесячной максимальной скорости ветра и среднемесячного количества облачности для территории Марокко. Цель данной работы – определение качества модельных расчетов, для дальнейшего использования этой информации в анализе будущих климатических изменений в данном регионе. В исследовании использовались ретроспективные данные проекций 11 региональных климатических моделей за период 2011-2016 гг. и данные наблюдений за скоростью ветра на 5 метеорологических станциях, расположенных в разных физико-географических районах Марокко. В качестве фактических рядов среднемесячного количества облачности, были использованы данные наблюдений на искусственных спутниках Terra i Aqua. В статье показано, что региональные климатические модели лучше воспроизводят скорость ветра на станциях, расположенных в равнинных районах, в сравнении со станциями, находящимися в горах или на побережье. Верификация моделей по облачности показала, что модельные ряды имеют более близкие к фактическим рядам значения, а коэффициенты корреляции между ними имеют более высокие значения, чем для рядов скорости ветра.

**Ключевые слова:** скорость ветра, максимальная скорость ветра, общее количество облачности, региональные климатические модели, Марокко.

*Дата первого подання: 25. 10. 2017  
Дата надходження остаточної версії: 10. 11. 2017  
Дата публікації статті: 30. 11. 2017*