Для заказа доставки данной работы воспользуйтесь поиском на сайте по ссылке: <http://www.mydisser.com/search.html>

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ДЖАМАЛ АБУБАКАР АВАД АБАД**

УДК 551.521.31

ОЦІНКА ВІТРОВИХ РЕСУРСІВ АРАВІЙСЬКОГО ПІВОСТРОВА І МОЖЛИВІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЦІЛЯХ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

11.00.09 – метеорологія, кліматологія, агрометеорологія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата географічних наук

Одеса – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському державному екологічному університеті

Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат фізико-математичних наук, старший

науковий співробітник

**Казаков Олександр Леонідович,**

Одеський державний екологічний університет,

доцент кафедри фізики атмосфери та кліматології

**Офіційні опоненти:** доктор географічних наук, доцент

**Хохлов Валерій Миколайович,**

Одеський державний екологічний університет,

доцент кафедри теоретичної метеорології та

метеорологічних прогнозів

доктор географічних наук, професор

**Дробишев Анатолій Данилович,**

Туапсінська філія Російського державного

гідрометеорологічного університету;

професор кафедри метеорології та

природокористування

**Провідна установа:** Київський національний університет імені

Тараса Шевченка, географічний факультет,

кафедра метеорології та кліматології

Захист відбудеться “\_11\_\_” \_\_січня 2007 р. о \_10 годині на засіданні спеціализованої вченої ради Д 41.090.01 в Одеському державному екологічному університеті за адресою:

65016, м. Одеса-16, вул. Львівська, 15, ОДЕКУ

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського державного

екологічного університету за адресою:

м. Одеса, вул. Львівська, 15, ОДЕКУ

Автореферат розісланий “\_8\_\_” \_грудня\_\_\_2006 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Чугай А.В.

# ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** Проблема забезпечення енергією господарської діяльності людини не тільки в майбутньому, але і в даний час викликає заклопотаність багатьох країн, у тому числі і розташованих на Аравійському півострові. Не дивлячись на те, що цей регіон земної кулі по запасах нафти і газу є найбагатшим, усі розуміють, що вони не безмежні. Тому виникає проблема отримання і використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії: вітрової і сонячної. Доцільність використання цих видів джерел визначається також і їх перевагою з екологічного погляду.

Для вибору вітроенергетичних установок (ВЕУ) з метою їх ефективної експлуатації потрібна по можливості детальна характеристика вітрового режиму, від показників якого залежить робота ВЕУ в різні сезони для даної місцевості півострова. Тому достатньо актуальним є питання про створення інформаційної бази даних за вітром для конкретних фізико-географічних умов. Її основу можуть скласти як наявні фактичні дані спостережень, так і дані, отримані з інших джерел, наприклад, з матеріалів об'єктивного аналізу або ре-аналізу. Крім того, велике значення може мати її поповнення за допомогою різних методів відновлення швидкостей вітру на різних висотах. Таким чином оцінка відновлюваних джерел енергії є важливою науково-прикладною задачею вітроенергетики.

**Зв'язок роботи з науковими програмами** Робота пов'язана з міжнародними програмами, направленими на дослідження можливостей широкого використання відновлюваних джерел енергії та національними, що розробляються у ряді країн Аравійського півострова, що визначає актуальність теми.

**Мета і задачі дослідження.** Для вирішення проблеми освоєння вітрових ресурсів Аравійського півострова перш за все треба дати оцінку цих ресурсів. Тому основною метою даної роботи було отримання більш повної інформації про вітер, необхідної для використання у вітроенергетиці. Згідно мети дослідження були поставлені наступні задачі:

* отримати по можливості повну просторово-часову характеристику розподілу швидкості вітру у поверхні землі на Аравійському півострові, використовуючи сучасні інформаційні технології;
* розробити метод відновлення вертикальних профілів швидкості вітру на Аравійському півострові за допомогою теорії подібності Моніна-Обухова;
* розрахувати швидкості вітру на рівні вітроколеса і отримати для них статистичні характеристики;
* провести порівняльний аналіз середніх швидкостей вітру на стандартному рівні і рівні вітроколеса і таким чином зробити висновок про можливості використання вітрових ресурсів на Аравійському півострові.

*Об'єкт дослідження -* вітрові ресурси Аравійського півострова.

*Предмет дослідження -* просторово-часові розподіли швидкості вітру і їх статистичних характеристик у поверхні землі та рівні вітроприймача на Аравійському півострові.

*Методи дослідження.* Для визначення характеристик вітрового режиму Аравійського півострова були залучені поля об’єктивного аналізу Британської гідрометслужби. На підставі цих даних були підготовлені виборки характеристик вітру для кожного з вузлів сітки (більш 1150 точок), до яких були застосовані методи статистичного аналізу та узагальнення даних. Для встановлення швидкості вітру на рівні вітроприймача був розроблений метод, який базується на використанні основ теорії подібності Моніна-Обухова. Отримані за його допомогою значення швидкості у вузлах сітки за весь період аналізу також являли собою вибірки, до яких застосувалися методи статистичного аналізу.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає

* в оцінці вітрових ресурсів з використанням даних об'єктивного аналізу за вітром Британської метеослужби;
* в методиці відновлення вертикального профілю швидкості вітру;
* в відновленні швидкостей вітру на рівень ветроколеса на підставі щоденних даних об'єктивного аналізу для території Аравійського півострова і розрахунках відповідних статистичних характеристик;
* у встановлені законів розподілу швидкості вітру, а на їх основі визначенні характеристик вірогідності швидкості вище або нижче заданих значень.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані кількісні характеристики вітрового режиму є основою рекомендацій щодо вибору місць розташування вітроенергетичних установок на Аравійському півострові. Карти середніх значень швидкостей вітру та ймовірності заданих значень можуть бути використані в наукових і навчальних цілях при вивченні природних ресурсів цього регіону.

Результати роботи були впроваджені у науковому секторі Національного Аденського університета.

**Особистий внесок автора** полягає у створенні спеціалізованого архіву метеорологічних даних експедиційних спостережень WANGARA та архіву полів об’єктивного аналізу Британської метеослужби для Аравійського півострова та прилеглих територій. Опрацьовані та узагальнені літературні джерела, що стосуються питань вітроенергетики і природних ресурсів Аравійського півострова; розроблено метод розрахунку швидкості вітру на рівні вітроприймача та виконано його випробування у порівнянні з даними експедиційних спостережень; проаналізовані поля швидкості вітру біля поверхні землі та на рівні вітроколеса. Зроблені апроксимації рядів швидкості вітру теоретичними законами розподілу та розраховані характеристики ймовірності цієї величини, розроблені рекомендації щодо ефективного використання вітроустановок.

**Апробація результатів дисертації.** Результати, отримані в дисертації, докладалися на конференції молодих вчених ОДЕКУ (квітень 2004 р., травень 2006 р.), на конференції викладачів ОДЕКУ (2005 р.), на розширеному науковому семінарі кафедри фізики атмосфери в ОДЕКУ (травень 2006 р.), на міжнародній конференції Enviromis-2006 (Томськ (Росія) липень 2006 р.)

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у п’яти наукових працях, з них чотири у виданнях рекомендованих ВАК України (у тому числі, дві самостійні публікації).

**Структура і об'єм дисертації.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Загальний об'єм дисертації складає 213 сторінок, містить 50 рисунків і 25 таблиць; список використаних літературних джерел містить 98 посилань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** надаються передбачені діючим положенням ВАК України відомості про актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, темами, формулюються мета та задачі дослідження, наводиться новизна та практичне значення роботи, надаються відомості про апробацію одержаних результатів, особистий внесок дисертанта та його наукові праці.

В **першому** розділі описуються фізико-географічні особливості і метеорологічний режим Аравійського півострова. Циркуляційні умови характеризуються формуванням над півостровом області високого тиску в зимовий сезон. В літній період переважаючою рисою баричного поля в результаті інтенсивного прогрівання суші є термічна депресія, поглиблення якої відбувається з середини травня до середини липня, а до середини вересня вона поволі заповнюється. В перехідні періоди баричне поле не представляє чітко виражених утворень високого або низького тиску. Характер баричних утворень і їх сезонна зміна визначає і характер вітрового режиму. Середня річна швидкість вітру порівняно невелика і на самому півострові не перевищує 5 м/с. В південних областях півострова чітко виражена мусонна циркуляція.

В **другому** розділі розглядається стан і перспективи розвитку вітроенергетики в світі. Довгий час розвиток вітроенергетики стримувалося відносно високою ціною установок, їх складністю в обслуговуванні, частими поломками і нестабільністю вироблення електрики. Зроблені технологічні удосконалення, зниження вартості, безкоштовний і відновлюваний характер джерела енергії підготували грунт для швидкого зростання даного сектора енергетики. Потужність вітроенергетичних установок в світі за станом на березень минулого року досягла 47616 мВт. За даними Всесвітньої вітроенергетичної асоціації п'ять країн - Німеччина, Іспанія, США, Данія і Індія - домінують на світовому ринку з більш ніж 37 ГВт встановленої потужності ВЕУ.

Окремі підрозділи присвячені різним аспектам інженерних досліджень за оцінкою вітрових ресурсів. Звичайно визнається, що ВЕУ працює вельми обмежений час внаслідок її простою при швидкостях менш швидкості «чіпання» і максимальних швидкостей. Існують також «недобори» потужності унаслідок поступового виходу на «робочий режим». Для кожної ВЕУ ці «граничні значення» швидкостей, як і потужність, що знімається, для кожного діапазону швидкості – розрізняються. В цьому і полягає задача досліджень – знайти місця, де найбільш доцільно будувати ВЕУ і вибрати найефективнішу установку. При цьому вплив місцевих неоднорідностей підстильної поверхні, зокрема рельєфу і крупних водоймищ призводить до мінливості кліматичних вітроенергетичних ресурсів на малих відстанях.

Важливий аспект оцінки вітрових ресурсів пов'язаний з тим, що висота вітроколеса виявляється вище за рівень вимірювання вітру на метеостанціях, а вітер з висотою змінюється, що означає, що всі оцінки вітроресурсів, виконані на рівні вітровимірювача, виявляються неадекватними реальним швидкостям вітру в даній місцевості. Звідси слідує вельми важливий аспект в інженерних вишукуваннях вітроресурсів - це відновлення вертикального профілю вітру або уточнення оцінок вітроресурсів, зроблених по стандартних вітрових вимірюваннях. Звичайно з цією метою використовується будь-яка модель для відновлення вертикального профілю вітру на рівень вітроколеса за даними стандартних спостережень або вводяться будь-які поправки в отримані оцінки вітроресурсів.

З іншого боку, з самого початку розвитку вітроенергетики виникали питання про можливу шкоду, що наноситься ВЕУ людині і представникам фауни. Останнім часом з'явилося ряд публікацій, в яких детально аналізуються результати роботи ВЕУ в багатьох країнах саме в цьому аспекті. Згідно цим дослідженням не знаходять підтвердження раніше зроблені песимістичні висновки про шкоду ВЕУ. В даний час частота обертання ВЕУ потужністю 1-2 МВт складає від 10 до 30 об/хв, а це означає, що лопасті достатньо повільно обертаються, і тому не мають загрози для птахів. Крім того, законодавством європейських країн заборонено встановлення ВЕУ на відстані менше 400 м від об’єктів життєдіяльності, щоб не було впливу шуму від діючих вітряків.

В **третьому** розділі аналізувалися поля приземного вітру, що є полями об'єктивного аналізу (ОА) Британської метеослужби за 00 і 12 ГСЧ. В першому параграфі дана характеристика використаного матеріалу і методи його обробки. Нами були прийняті дані об'єктивного аналізу з червня 1999р. по вересень 2005 р. Робоча область обмежувалася координатами 34°34.8′ - 60°25.8′ с.д. і 29°43.2′ - 10°16.8′ півн.ш., що склало 36×32=1152 вузла сітки. Крок по меридіану складав 62,3 км, а уздовж круга широти – від 80 до 91 км. Спочатку дані за один строк перетворювалися до матричного вигляду, в якому стовпці містили значення величин уздовж меридіанів, а рядки – уздовж кругів широти. Таким чином були сформовані файли даних ОА за 00 і 12 ГСЧ для конкретного місяця. Далі здійснювався розподіл отриманих масивів по рівнях ізобаричних поверхонь за кожний строк всього періоду обробки. Для вітру були використані поля на рівні 10 м, а для температури, тиску/висоти ізобаричної поверхні – на шести поверхнях (у земної поверхні, 1000, 950, 925, 850 і 700 гПа).

Наступний етап представляв вже власне статистичну обробку приземних полів вітру. З цією метою формувалася вибірка значень модуля швидкості вітру і напряму вітру в кожному вузлі сітки за весь період за термін 00 або 12 ГСЧ. Для швидкостей на рівні 10 м нами були розраховані наступні статистичні характеристики:

* середньо місячні і середньорічні значення;
* середнє квадратичне відхилення, коефіцієнти асиметрії і ексцесу;
* число днів з штилем;
* рози вітрів і пануючі напрями;
* вірогідність швидкостей менше 2 або 5 м/с, більше 7, 10 і 15 м/с.

Визначення повторюваності окремих напрямів вітру здійснювалося по восьми румбах, тобто для 45° секторів. Штилем вважалися швидкості вітру менше 0,5 м/с. У ряді випадків оцінювався середній вектор швидкості вітру. Для цього розраховувалося арифметичне середнє складових швидкості вітру, визначався модуль і обчислювався відповідний кут напряму вітру. Емпіричні розподіли швидкостей апроксимувалися відомими теоретичними розподілами.

Враховуючи ту обставину, що вітер був пов'язаний з розподілом тиску, на початку другого параграфа були розглянуті особливості розподілу приземного тиску і полів середнього вектора вітру. Сумісний аналіз цих полів показав, що отримані розподіли добре відповідають фізико-географічним особливостям півострова, циркуляційним особливостям сезонів, що свідчить про те, що використання даних об'єктивного аналізу дозволяє отримувати достовірну інформацію про вітер в приземному шарі на території півострова.

На рис. 1 наведено поле розрахованих середньорічних значень над Аравійським півостровом і омиваючими його морями. Зони найбільших швидкостей розташовані над Аравійським морем. Над іншими акваторіями також помітно посилення швидкостей в порівнянні з сухопутними районами. На суші фон швидкостей не набагато перевищує 4 м/с, а в гірських районах значення середньорічних швидкостей близько 2 м/с.



Рис. 1 Середньорічні швидкості вітру біля поверхні землі

над Аравійським півостровом

Виконана оцінка внутрішньодобової і міжсезонної мінливості показала, що в денні строки швидкості вітру над суходолом вище на 1-2 м/с, а в гірських районах на 3-4 м/с, ніж вночі, а найбільші річні амплітуди середньомісячних швидкостей (10-11 м/с) були отримані над Аравійським морем, над сушею не більше 2-3 м/с.

Важливим питанням достовірності приземних полів вітру, отриманих на підставі полів об'єктивного аналізу є порівняння середніх характеристик вітру з даними кліматичної обробки. Так, на двох станціях Перської затоки, Бахрейн і Шарджа, і найближчих вузлах сітки відзначено непоганий збіг тенденцій зміни і самих значень. Для Адена і Джідди, Райяна і Періма також отримано цілком задовільну згоду як у формі кривих, так і в самих значеннях.

В кінці цього розділу дана оцінка вірогідності швидкостей нижче 5 м/с і вище 7 м/с. Виявилося, що над всім Аравійським півостровом вірогідність слабких вітрів може досягати 60%, а в гірських областях - 95%. Ці оцінки були доповнені аналізом розподілу вітрових умов окремо для дня і ночі. Вночі вірогідність слабких швидкостей менше 2 м/с зросла, особливо в гірських районах, досягаючи 70 % випадків, а менше 5 м/с навіть 100 %. В денний час вірогідності швидкостей робочих діапазонів помітно зростають, навіть на ділянках суші, зокрема прилеглих до Персидської затоки, досягаючи 20 % і більш. Тільки в гірських районах Йємену і на сході Омана, зберігається висока вірогідність (80-90 %) вітрових умов, при яких робота ВЕУ не можлива.

Таким чином, згідно виконаного аналізу полів об'єктивного аналізу вітру для рівня 10 м територія Аравійського півострова не може вважатися придатною для розвитку вітроенергетики, за винятком прибережних і острівних зон. Тому далі нами буде зроблений додатковий аналіз вітрових умов на рівні 50 м, рівня вітроприймача.

В **четвертому розділі** розглянута методика розрахунку швидкості вітру в приземному шарі на рівень розташування вітроколеса. З цією метою була використана теорія подібності Моніна-Обухова, згідно з якої вертикальні профілі швидкості вітру можуть бути визначені з формули

 , (1)

де, , , ,  - універсальні функції профілів швидкості в приземному шарі,  -функції, які визначають відхилення профілів від логарифмічного, конкретний вид яких залежить від умов стійкості в приземному шарі,  - масштаб Моніна-Обухова,  - масштаби швидкості вітру і температури в приземному шарі, *κ* - стала Кармана, - параметр плавучості,  - рівень, на якому треба знайти швидкість вітру,  - рівень вимірювання швидкості вітру,  - параметр шорсткості.

В якості універсальних функцій були використані універсальні функції профілів для швидкості вітру і температури Бусінджера-Дайєра.

Методика розрахунку швидкості вітру усередині приземного шару може бути умовно розділена на дві частини: розрахунок масштабу довжини Моніна-Обухова  і відновлення профілю швидкості вітру. Перше визначається за допомогою рішення трансцендентного рівняння при нестійкій стратифікації, а при сильній стійкості - аналітичним розв′язанням. Для визначення стратифікації приземного шару атмосфери (перепаду температур ) доводиться використовувати дані об'єктивного аналізу температури поблизу підстильної поверхні і на найближчій основній ізобаричній поверхні (925, 850 або 700  *гПа*). Для розрахунку перепаду потенціальної температури в приземному шарі (), згідно з роботами В.Шнайдмана і О.Фоскаріно, замість сухоадіабатичного градієнта  використовується модифікований градієнт :

 , (2)

де  і  – геопотенціальна висота та температура ізобаричної поверхні,  – висота над рівнем моря. Приймається, що =0,65·10-2 єК/м та Z2=50*м*.

Для перевірки запропонованого методу були використані дані експедиційних спостережень в період експерименту Wangara в приземному і граничному шарах. Нами були виконані ряд тематичних експериментів. По-перше, була дана оцінка чутливості розрахованих швидкостей вітру до використання значень швидкості вітру на різних рівнях при незмінному перепаді температури в приземному шарі. По-друге, оцінений вплив, який може надати температурна стратифікація на точність відновлення швидкості вітру, якщо вона враховується в безпосередній близькості до підстильної поверхні в нижньому 5-метровому шарі, у всій товщі приземного шару 50 м, а також при нейтральній стратифікації. По-третє, виконувалась оцінка чутливості точності вітру при використанні перепадів температури, що визначені різними способами (з залученням даних на ближчих ізобаричних поверхнях). По-четверте, була виконана оцінка ролі параметра шорсткості. Метою всіх вказаних експериментів була оцінка якості відновлення швидкості вітру на рівні колеса ВЕУ, при цьому особливу увагу надавалося точності відновлення кривої повторюваності швидкості вітру на двох рівнях: 50 і 100 м. Остання обставина нам представляється ключовою, оскільки саме ці розподіли представляють основу оцінки тривалості дії різних швидкостей вітру і утилізованої потужності будь-якої ВЕУ.

Проведені експерименти дозволили зробити ряд висновків щодо ролі вказаних вище параметрів приземного шару на точність розрахованої швидкості вітру. Так, із збільшенням рівня вимірювання вітру, що використовується як базовий (в наведеній вище формулі 1), змінюються статистичні характеристики розподілу. Зокрема, з підвищенням рівня вимірювання вітру змінюється знак асиметрії і ексцес. З другого боку, всі розраховані швидкості в експериментах першої групи при врахуванні стратифікації в нижній частині приземного шару порівняно з даними спостережень показали, що оцінки повторюваності розрахованих швидкостей призведуть до завищення вітрових енергоресурсів для будь-якого типу ВЕУ.

Для другої групи експериментів із змінним параметром стратифікації показано, що використання перепаду температури у всьому приземному шарі у якості способу врахування температурної стратифікації істотно покращує узгодження розрахункової швидкості вітру з даними спостережень. При цьому залучення даних по температурі з вищерозташованих рівнів для відновлення перепадів температури у всьому приземному шарі може призвести до заниження швидкостей вітру в порівнянні з фактичними, як і використання логарифмічної формули або степеневої залежності.

На рис.2 представлені повторюваності розрахованих швидкостей на рівні 50 м, які підкреслюють наведені вище висновки щодо найкращого використання параметрів наведеної інтерполяційної формули.



Рис. 2 - Повторюваності розрахованих швидкостей вітру на рівні 50 м

1 – облік стратификации в нижній частині приземного шару, 2 – облік температурної стратификации у всьому приземному шарі, 3 – логарифмічний закон, 4 – фактичні дані.

Кількісна оцінка розбіжностей повторюваностей розрахованих і фактичних швидкостей вітру виконувалась за допомогою коефіцієнта відмінності: , де  - загальна частина площин, які обмежуються кривими щільності вірогідності  і ;  – досліджуваний аргумент. Таким чином, коефіцієнт  дає кількісну характеристику відмінностей двох повторюваностей випадкових величин. З іншого боку, цей коефіцієнт можна розглядати і як кількісну оцінку похибки розрахованої повторюваності в порівнянні з фактичною – у згаданому найуспішнішому експерименті =0,085, а для логарифмічного закону =0,217.

Експерименти, проведені із завданням можливих значень параметра шорсткості (=0,001, 0,01 і 0,1 м) при нейтральній і відмінній від неї стратифікації показали, що зміна чисельного значення параметра шорсткості істотно не впливає на форму кривої повторюваності швидкості вітру. Хоча можна відзначити деяке погіршення точності відтворення повторюваності розрахованих швидкостей вітру із збільшенням параметра шорсткості. Мабуть, значення шорсткості 1мм слід вважати найприйнятнішим значенням в даних експериментах.

Аналогічний аналіз був зроблений нами по розрахованим характеристикам вітру на рівні 100 м. Нами були отримані такі самі ж висновки, що і для рівня 50 м.

Таким чином, на підставі проведених експериментів було зроблено висновок про те, що рівень вимірювання швидкості вітру і спосіб оцінки температурної стратифікації в приземному шарі робить найістотніший вплив на статистичні характеристики розрахованих швидкостей вітру.

Останній параграф четвертого розділу присвячений аналізу розрахованих полів вітру на рівні 50 м. Основними формулами для перерахунку швидкості вітру на будь-якому рівні в приземному шарі служать формули (1), в яких замість швидкостей  і  слід розуміти значення швидкості вітру на рівні вітроколеса  м і стандартному рівні 10 м. У якості останніх значень ми використовували дані об'єктивного аналізу Британської метеослужби. Помітимо, що через відсутність даних на верхній границі приземного шару проводилася оцінка перепаду температур із залученням даних на найближчих ізобаричних поверхонь. В рамках пропонованої методики необхідно задати висоту вузла сітки, вибрати рівень найближчої ізобаричної поверхні і скористатися температурою на ній для обчислення перепаду температур в приземному шарі по вказаній вище формулі (2). У разі відсутності даних потрібної ізобаричної поверхні або даних по температурі використовувалася логарифмічна формула.

На рис.3 представлені розраховані середньорічні швидкості вітру на рівні 50 м. Практично на всій території півострова швидкості вітру зросли в порівнянні з тими, що були отримані для рівня 10 м. Над гірськими областями уздовж Червоного моря і Аденської затоки також помітно зростання швидкостей, хоча вони не досягають “критичного значення” 5м/с. А над о.Сокотра середньорічні швидкості склали більше 9 м/с. Відмінності в середніх швидкостях для дня і ночі були пов'язані з впливом температурної стратифікації на розвиток турбулентності. Вночі в полях середньої швидкості на рівні 50 м виявилася важлива особливість: область максимальних швидкостей 6-7 м/с формується уздовж центрального плоскогір'я, західної частини пустелі Руб ель Халі і області Хадрамаут. Таким чином над територією Аравійського півострова зростання швидкостей з висотою вночі склало 3-4 м/с, а вдень 1-2 м/с.

Зросли також і максимуми швидкостей на рівні 50 м. Особливо відзначимо зростання максимальних значень швидкостей до 12.5 – 15 м/с над гірськими районами. Максимальні швидкості були відзначені над Аравійським морем поблизу о.Сокотра (більше 22 м/с).

Іншою ознакою, яка вказує на зростання швидкостей, може служити зменшення кількості днів зі штильовими умовами. Дійсно, за даний період з 1999 по 2005 рр. число днів зі штилем на рівні 50 м скоротилося по всій території півострова, причому особливо помітно за нічний строк, коли число штилів зменшилося до 2-5 випадків.



Рис. 3 Середньорічні швидкості вітру на рівні 50 м

над Аравійським півостровом

Крім аналізу особливостей просторових розподілів середньомісячних полів швидкості вітру на рівні 50 м було проведено більш детальне порівняння особливостей річного ходу середньомісячних швидкостей вітру для окремих частин півострова, зокрема показано, що різниці середніх швидкостей між двома рівнями 50 і 10 м для всіх районів півострова позитивні, тобто у всіх розглянутих випадках було отримано збільшення швидкостей на рівні вітроколеса. Максимальне збільшення близько 4 м/с отримано в районі о.Сокотра, а мінімальне в районі станції Салала – 0,5-1,5 м/с. В більшості місць є виражений річний хід цих різниць із максимумом в літні місяці (1,5 – 2,5 м/с). При цьому річний хід середніх швидкостей на рівні 50 м в цілому повторює особливості річного ходу швидкостей на рівні 10 м. Найбільші середньомісячні швидкості були отримані над о.Сокотра – близько 18 м/с - в період літнього мусону. Приблизно в два рази менші швидкості отримані в цей же період для іншого острова в Аравійському морі – Масира. А найбільші значення швидкостей на суші були отримані для району станції Обейла в пустелі Руб ель Халі – близько 8 м/с. Над рештою станцій максимуми середньомісячних швидкостей знаходяться в діапазоні 6-7 м/с, а якнайменші для районів поблизу станцій Сліун і Хаміс (від 4 до 5 м/с), розташованих в гірських районах південного заходу півострова.

###### Висновки

У дисертаційній роботі виконані оцінки просторового розподілу характеристик вітру у поверхні Землі і на рівні вітроколеса, що дозволило проаналізувати просторово-часові зміни швидкостей вітру і зробити певні висновки про вітрові ресурси на території Аравійського півострова. В результаті проведеного дослідження нами були отримані наступні висновки:

1. За даними ОА для полів вітру на рівні 10 м якнайменші значення (1 – 2 м/с) були отримані в гірських масивах південного заходу півострова на території Йємену та Саудівської Аравії, а також на сході Омана. Тільки над пустелею Руб ель Халі практично круглий рік розташовані зони підвищених швидкостей вітру (4 - 5 м/с). Найбільші швидкості були відзначені в Аравійському морі, поблизу о.Сокотра – близько 13 м/с в період літнього мусону. В той же час над всіма акваторіями швидкості вітру виявляються вище на 1-3 м/с, ніж над прилеглими частинами суші.
2. Порівняння середньомісячних полів швидкості вітру за 00 і 12 ГСЧ показало, що в денні строки швидкості вітру над сушею вище на 1-2м/с, а в гірських районах на 3-4 м/с. Найбільші річні амплітуди середньомісячних швидкостей 10-11 м/с отримані над Аравійським морем, а над сушею - 2-3 м/с.
3. Над всім Аравійським півостровом вірогідність слабких вітрів (менше 5 м/с) може досягати 60%, а в гірських областях - 95 %. Найбільша вірогідність для швидкостей більше 7 м/с отримані над Аравійським морем в період літнього мусону, зокрема для о.Сокотра близько 100 %.
4. Територія Аравійського півострова за виконаними нами оцінками полів об'єктивного аналізу вітру для рівня 10 м може вважатися непридатною для розвитку вітроенергетики, за винятком прибережних і острівних зон.
5. Запропонований метод розрахунку профілів швидкості вітру в приземному шарі, заснований на теорії подібності Моніна – Обухова, показав задовільну згоду з даними спостережень. Краща згода з даними вимірювань на рівнях 50 і 100 м була отримана при використанні швидкості вітру не нижче 10 м і обліку температурної стратифікації у всьому приземному шарі. Використання логарифмічного або степеневого закону призводить до заниження розрахованих швидкостей вітру. Вплив величини параметра шорсткості на розраховані швидкості на рівні вітроколеса має другорядне значення.
6. Практично над всією територією півострова швидкості вітру на рівні 50 м зросли в порівнянні з тими, що були отримані для рівня 10 м. Зростання швидкостей з висотою вночі склало 3-4 м/с, а вдень 1-2 м/с. Різниці швидкостей між двома рівнями 50 і 10 м обумовлені впливом температурної стратифікації: вони зростають вночі через зменшення турбулентності, а вдень зменшуються, оскільки турбулізація призводить до вирівнювання швидкості з висотою. Тому основна надбавка швидкостей на рівні вітроколеса виходить вночі, вдень вона убуває, а при сильних вітрах співпадає з тою, що отримана за допомогою логарифмічного закону.
7. Основні зони посилення швидкостей вітру (в середньому до 6-7 м/с) над Аравійським півостровом розташовуються в предгірних районах двічі: на більш низовинних ділянках суші в пустелі Руб ель Халі і високих плоскогір′ях області Асир. В самих гірських масивах отримані мінімальні швидкості 4-5 м/с. Найбільші середньомісячні швидкості були помічені над Сокотрой – близько 18 м/с - в період літнього мусону.

8. В результаті перерахунку швидкості вітру на рівень 50 м на ньому відбулося зменшення вірогідності слабких вітрів менше 5 м/с: в одних районах в 2.5-3 рази весь рік, в інших - в окремі сезони, взимку, весною або влітку, а в третіх - в межах 20-30 % також весь рік. Особливо несприятливим для використовування енергії вітру є жовтень місяць, коли в багатьох центральних районах вірогідності швидкості вітру менше 5 м/с зростають до 60 %, а в гірських районах Йємену – навіть до 90 %.

9. Вірогідність швидкостей вітру більше 10 м/с найбільш велика (більше половини випадків) в районі о.Сокотра, а на більшій частині Аравійського півострова їх вірогідності все ж таки менше 5 %. Таким чином виходить, що найчастішими вітрами над пустелею Руб ель Халі, областю Асир і північно-східною частиною півострова є вітри в діапазоні 6-9 м/с, і ця область розташовується на схід від центрального і південно-західного гірського масивів, як би опоясуючи їх.

Проведений вище аналіз середніх і максимальних швидкостей на рівні 50 м, розрахованих за допомогою теорії Моніна-Обухова, указує на цілком відчутні “надбавки” швидкостей, достатні для можливого використання вітроенергетичних установок.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Тарнопольский А.Г., Джамал Абубакар Авад Абад. Восстановление вертикальних профилей метеорологических величин в приземном слое атмосферы // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. −2002. − Вип. 46. − С.3 − 12.

2. Джамал Абубакар Авад Абад. Физико-географические особенности и метеорологический режим Аравийского полуострова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. −2003. − Вип.47. − С. 63 − 70.

3. Казаков А.Л., Джамал Абубакар Авад Абад Восстановление вертикального профиля ветра в целях ветроэнергетики // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. −2004. − Вип.48. − С. 103 − 111.

4. Джамал Абубакар Авад Абад. Статистический анализ восстановленных скоростей ветра // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. −2004. − Вип.49. − С. 180 − 189.

5. Джамал Абубакар Авад Абад. Восстановление вертикальных профилей метеорологических величин в приземном слое атмосферы. –Тези доповідей ІІІ наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету. Одеса: ТЭС. - 2003. – С.87-90.

### Анотації

**Джамал Абубакар Авад Абад. Оцінка вітрових ресурсів Аравійського півострова і можливість їх використання в цілях вітроенергетики. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук. - Спеціальність 11.00.09 - метеорологія, кліматологія, агрометеорологія. – Одеський державний екологічний університет, Одеса, 2006.

Оцінка вітрових ресурсів Аравійського півострова досліджується з залученням полів вітру об'єктивного аналізу Британської метеослужби. Аналіз отриманих середньомісячних полів характеристик вітру біля поверхні землі показав, що отримані розподіли добре відповідають фізико-географічним особливостям півострова та циркуляційним особливостям сезонів.

Була проведена оцінка вітрових умов на рівні вітроколеса шляхом відновлення вертикального профілю вітру в приземному шарі до рівнів 50 і 100 м за допомогою теорії подібності Моніна-Обухова. На підставі статистичного аналізу показано, що найкраще узгодження повторюваності фактичних і розрахованих швидкостей вітру на рівні 50 м була отримана при використанні вітру на рівнях не менше 10 м і врахуванням температурної стратифікації – в приземному шарі 50 - 2 м. Отримані поля середніх значень та вірогідності швидкостей вітру на висоті 50 м показують, що режимні характеристики вітру на цьому рівні вже дозволяють використовувати енергію вітру.

**Ключові слова:** поля вітру, дані об’єктивного аналізу, профіль вітру, статистичні характеристики.

**Джамал Абубакар Авад Абад. Оценка ветровых ресурсов Аравийского полуострова и возможность их использования в целях ветроэнергетики. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. - Специальность 11.00.09 - метеорология, климатология, агрометеорология. – Одесский государственный экологический университет, Одесса, 2006.

Для оценки ветровых ресурсов Аравийского полуострова исследуется многолетний ветровой режим этого малоизученного в климатическом отношении региона мира путем привлечения полей ветра из данных объективного анализа Британской метеослужбы.

Анализ полей господствующих ветров (с повторяемостью более 30%) над Аравийским полуостровом и окружающими акваториями выявил их сезонную изменчивость.Зимой две ветви как бы обтекают Аравийский п-ов и его горную часть, сливаясь над Абиссинией. Летом Аравийский полуостров, в силу значительного прогрева, становится зоной конвергенции ветров. Муссоны наиболее отчетливо выражены над Аденским заливом и Аравийским морем. В горных массивах, на востоке Омана и юго-западе полуострова, господствующие ветры отражают горно-долинную циркуляцию: днем в горы, а ночью – с гор.

Над всеми акваториями – Персидским заливом, Аравийским морем, Аденским заливом, Красным морем – скорости ветра оказываются выше на 1-3 м/с, чем над прилегающими частями суши. Наименьшие значения (1 – 2 м/с) получены в горных массивах юго-запада полуострова на территории Йемена и Саудовской Аравии, а также на востоке Омана. Только над пустыней Руб эль Хали практически круглый год отмечаются зоны повышенных скоростей ветра (4 - 5 м/с). Наибольшие скорости отмечены в Аравийском море, вблизи о.Сокотра – около 13 м/с в период летнего муссона.

Анализ полученных среднемесячных полей характеристик ветра показал, что полученные распределения хорошо согласуются с физико-географическими особенностями полуострова, циркуляционными особенностям сезонов, что свидетельствует о том, что использование данных объективного анализа позволяет получать достоверную информацию о ветре в приземном слое на территории полуострова.

Над всем Аравийским полуостровом вероятность слабых ветров может достигать 60%, а в горных областях - 95 %. Таким образом на остальные диапазоны скоростей по всей территории остается не более 10% случаев. Отсюда следует, что территория Аравийского полуострова по выполненным нами оценкам полей объективного анализа ветра для уровня 10 м не может считаться пригодной для развития ветроэнергетики, за исключением прибрежных и островных зон.

Поэтому была проведена оценка ветровых условий на уровне ветроколеса с применением метода, основанного на теории подобия Монина-Обухова. Предварительно было проведен статистический анализ результатов сравнения рассчитанных повторяемостей ветра с фактическими. Было показано, что наилучшее согласие повторяемости фактических и рассчитанных скоростей ветра на уровне 50 м получено при использовании ветра на уровнях не менее 10 м и учетом температурной стратифицированной – перепадом температур на высотах 50 и 2 м.

Представленные поля рассчитанных скоростей на уровне 50 м указывают на возрастание скоростей на всей территории полуострова по сравнению с теми, что отмечались для уровня 10 м. Рост скоростей с высотой в ночные часы составил 3-4 м/с, а днем 1-2 м/с.

Основные зоны максимумов среднемесячных скоростей ветра 6-7 м/с располагаются над сушей в виде двух отчетливых зон на более низменных участках суши в пустыне Руб эль Хали и высоких плоскогорьях области Асир. В самих горных массивах отмечаются минимальные скорости 4-5м/с. Наибольшие среднемесячные скорости получены над Сокотрой – около 18 м/с - в период летнего муссона.

На уровне 50 м получен также рост максимальных скоростей. Особо отметим рост максимальных значений над горными районами до 12.5 – 15м/с. Число дней со штилем также сократилось по всей территории полуострова. Причем это стало особенно заметно в ночной срок, когда число штилей сократилось до 2-5 случаев за весь период анализа. В результате пересчета скорости ветра на уровень 50 м на нем произошло уменьшение вероятности слабых ветров. В одних районах в 2.5-3 раза весь год, в других - в отдельные сезоны, зимой, весной или летом, а в третьих - в пределах 20-30 %.

Проведенный выше анализ средних и максимальных скоростей на уровне 50 м, рассчитанных с помощью теории Монина-Обухова, указывает на вполне ощутимые “прибавки” скоростей, достаточные для возможного использования ветроэнергетических установок.

**Ключевые слова:** поля ветра, данные объективного анализа, профиль ветра, статистические характеристики.

**Jamal Abobakar Awadh Abad. Estimation of wind resources of the Arabian peninsula and possibility of their use for power of wind. - Manuscript.**

Thesis for candidate’s degree of geographical sciences by speciality 11.00.09 - мeteorology, climatology, agrometeorology. – The Odessa State Environmental University, Odessa, 2006.

Estimation of wind resources of the Arabian peninsula is explored with the fields of wind of objective analysis of British meteorological service. The analysis of the got average monthly fields of descriptions of wind near a surface showed that distributing was got well answer the physical and geographical features of peninsula and circulation features of seasons.

Estimation of wind terms was conducted at the level of wind circle by renewal of vertical type of wind in the ground layer to the levels 50 and 100 m by means the Monin-Obuchov similarity theory. It is shown on the basis of statistical analysis, that the best consent of repetition of actual and expected speeds of wind at a level 50 to m was got at the use of wind at a level not less than 10 m and consideration of temperature stratification – in the surface layer 50 - 2 m. The fields of mean values and authenticity of speeds of wind on height of 50 m were got show that regime descriptions of wind at this level already allow to use energy of wind.

**Keywords:** fields of wind, data of objective analysis, type of wind, statistical descriptions.

## Для заказа доставки данной работы воспользуйтесь поиском на сайте по ссылке: <http://www.mydisser.com/search.html>