

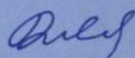
Одеський гідрометеорологічний інститут

Хохлов Валерій Миколайович

УДК 551.515.1

ЕНЕРГЕТИКА І ВОЛОГОВМІСТ ПІВДЕННИХ ЦИКЛОНІВ

11.00.09 - метеорологія, кліматологія, агрометеорологія



Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
канддата географічних наук

Одеса - 1997



Дисертацію є рукопис

Робота виконана в Одеському гідрометеорологічному інституті Міністерства освіти України

Науковий керівник: доктор географічних наук, професор,
Ківганов Анатолій Федорович,
Одеський гідрометеорологічний інститут, зав. кафедрою

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор Шнайдман Вольф Абрамович,
Одеський гідрометеорологічний інститут, зав. кафедрою;
кандидат географічних наук, доцент Іванова Світлана Миронівна,
Гідрометцентр Чорного та Азовського морів, інженер

Провідна установа:

Український науково-дослідницький гідрометеорологічний інститут,
Держкомгідромет, м. Київ

Захист відбудеться " 19 " лютого 1998 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.090.01, Одеський гідрометеорологічний інститут, 270016, м.Одеса-16, вул. Львівська, 15, ОГМІ.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеського гідрометеорологічного інституту, 270016, м.Одеса-16, вул. Львівська, 15, ОГМІ.

Автореферат розісланий 19 січня 1998 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Лобода Н.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідженості тематики. Південні циклони як атмосферні вихори синоптичного масштабу в метеорологічній науці і практиці займають особливе місце. По-перше, тому, що вони суттєво відрізняються від інших позатропічних циклонів як з точки зору еволюції, так і кінематики. По-друге, завдяки своїй специфіці південні циклони обумовлюють штормовий характер погодних умов - різке підсилення вітру, випадіння значних опадів, інтенсивні ожеледі та паморозі, хуртовини та інші небезпечні явища погоди. Не випадково тому розробка надійних методів прогнозу їх еволюції і переміщення до сьогодні все ще далека від свого вирішення.

Наукові дослідження південних циклонів України по більшості проводилися у 50-70-х роках і відтоді інтерес до них несправедливо загублено. У межах згаданого циклу робіт, що мають синоптико-кліматологічний напрямок, отримано важливі результати про південні циклони: сезонна повторюваність, швидкості і траєкторії переміщення, типова структура термобаричних полів, райони зародження, погодні умови, тощо. Але роботи теоретичного плану, які б дозволяли поглибити уявлення про механізм еволюції південних циклонів, на сьогодні практично відсутні. Більш ніж імовірно, що цей факт обумовлений складністю проблеми, що вивчається, бо південні циклони, у принципі, можна віднести до аномальних циклонічних збурень, під час дослідження яких методи, що повсюдно використовуються у таких випадках, не дають наявних результатів.

Підсумовуючи вищевикладене, актуальність задачі про енергетику південних циклонів України, що розглядається у цій роботі, не викликає сумнівів, тим більш, що такого роду дослідження раніше не проводилися зовсім.

Дослідження, які виконані в роботі, проводилися відповідно з планами науково-дослідницької роботи кафедри теоретичної метеорології і метеорологічних прогнозів Одеського гідрометеорологічного інституту.

Мета та основні завдання наукового дослідження. Основною метою цієї роботи є виявлення різниць в динаміці і еволюції південних циклонів, що переміщуються територією України за різними траєкторіями, за допомогою нетрадиційного, а саме, енергетичного підходу.

Під час реалізації такої концепції передбачалося розв'язання таких конкретних задач:

- відновлення за даними радіозондування тривимірних сітчастих полів метеорологічних величин (геопотенціал, вітер, температура, вологовміст) з високим розв'язанням у горизонтальній та вертикальній площинах з використанням сплайн-функцій;
- фізичний аналіз складових балансових рівнянь різних видів енергії і розробка алгоритму їх (рівнянь) практичної реалізації;
- дослідження енергетичного бюджету кінетичної енергії нестационарних південних циклонів у процесі їх еволюції.

Наукова новизна положень і основних результатів, що виносяться на захист, по-

лягає у такому:

- вперше стосовно до південних циклонів запропонований і реалізований енергетичний підхід при дослідженні їх динаміки та еволюції;
- вперше досліджена динаміка кінетичної енергії південних циклонів у процесі їх еволюції і переміщення територією України.

Теоретична та практична цінність дослідження. Теоретична значущість дисертаційної роботи полягає в тому, що у неї для дослідження південних циклонів запропоновано принципово інший - енергетичний - підхід, який дозволив отримати ряд важливих результатів, що поглиблюють існуюче уявлення про фізичний механізм їх динаміки і еволюції. Кількісні оцінки енергетичного бюджету південних циклонів, що переміщуються за різними траєкторіями, можуть бути використані у прогностичних і наукових підрозділах Укргідромету під час метеорологічного обслуговування різних галузей економіки країни.

Конкретний особистий внесок дисертанта у розробку наукових результатів, що виносяться на захист. Основні положення роботи, що належать особисто автору і є предметом захисту, полягають у такому:

- методика відновлення за даними радіозондування тривимірних сіточних полів метеорологічних величин у горизонтальній та вертикальній площинах з використанням сплайн-функцій;
- фізичний аналіз складових рівнянь бюджетів водяної пари і кінетичної енергії та розробка алгоритму їх практичної реалізації;
- виявлення особливостей просторово-часового розподілу енергетичних характеристик південних циклонів у процесі їх еволюції і переміщення територією України.

Рівень реалізації, впровадження наукових розробок. Виявлені закономірності просторово-часового розподілу вологісних і енергетичних характеристик південних циклонів можна буде використати під час розробки сучасних методів прогнозу переміщення та еволюції цих баричних формувань у Гідрометцентрі України.

Апробація і публікація результатів. Основні результати роботи доповідалися на науковій конференції ОГМІ (1995 р.), на семінарі у Гідрометцентрі Чорного і Азовського морів (1996 р.) та на розширеному семінарі кафедри теоретичної метеорології та метеорологічних прогнозів (1997 р.), опубліковані у 7 статтях і представлені у вигляді 3 тезисів доповідей на конференції IAMAS/IAPSO (Мельбурн, 1-9.07.1997 р.).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи - 180 сторінок машинописного тексту, що включає 15 рисунків, 23 таблиці, додатки на 11 сторінках, список використаних літературних джерел з 76 найменувань.

Методологія, методи дослідження предмету та об'єкта. У роботі використовується методологія енергетичного підходу до дослідження умов еволюції і переміщення південних циклонів України, яка включає до себе загальноновживані у метеорології кліматологічні, синоптичні і гідродинамічні методи аналізу та розрахунку метеорологічних по-

лів і енергетичних характеристик атмосфери.

Вихідними матеріалами були приземні та висотні карти погоди і аеросиноптичні бюлетені за 1983-89 рр.

ЗМІСТ РОБОТИ

У Вступі обґрунтовується актуальність, наукова і практична значущість тематики, формулюється мета і задачі дисертації, викладаються основні положення, що виносяться на захист, наводиться коротка анотація змісту п'яти розділів роботи.

У першому розділі на основі огляду раніше виконаних робіт (Бельська Н.Н., Богатир Л.Ф., Кудрянь О.П.) наведено стан вивченості питання, що розглядається у дисертації. Тут наводиться відомість про повторюваність, сезонний хід, траєкторії, райони зародження південних циклонів, а також надається опис типових синоптичних процесів, що сприяють їх виникненню, і погодних умов під час проходження південних циклонів над територією України.

У другому розділі обговорюються питання, що пов'язані з подаванням вихідної інформації у вигляді тривимірної сітчастої. Чисельним експериментуванням оцінюється якість сплайн-інтерполяції і визначаються оптимальні її варіанти для конкретних полів метеорологічних величин; надано опис синоптичних процесів для випадків південних циклонів, що переміщуються над територією України за різними траєкторіями.

Для дослідження з архіву південних циклонів за холодне півріччя 1983-1989 рр. (67 випадків) було відібрано 5 конкретних випадків, що репрезентативно відображають чотири найбільш характерні траєкторії їх переміщення через територію України (згідно з типізаціями Н.Н.Бельській і Л.Ф.Богатир).

Перший з цих циклонів (26-29 листопада 1987 р.), що переміщався за траєкторією I, виник у районі о.Сардинія і в подальшому зміщувався через Балкани, північний захід України та заповнився над півднем Скандинавського п-ова. Мінімальний тиск у центрі цього баричного утворення був 999 гПа. За траєкторією II зміщався циклон, що створився 10 лютого 1982 р. над тим самим районом, що і попередній, але траєкторія його переміщення була іншою. Цей вихор переміщувався з великою східною складовою над західними і північними районами України, досяг стадії максимального розвитку (мінімальний тиск 993 гПа) над Середньою Волгою і заповнився у Передураллі. За траєкторією III, що представлена двома циклонами (29 лютого-5 березня 1988 р. і 17-21 січня 1986 р.), циклонічні вихори, що зароджуються головним чином над Генуезькою затокою (як, наприклад, циклон 1988 р.) чи Балканським п-вом (циклон 1986 р.), переміщуються через територію України з південного заходу на північний схід і можуть досягати полярного кола. Для розглядаємих нами двох циклонів мінімальний тиск у центрі був, відповідно, 990 й 985 гПа. Останній досліджуваний циклонічний вихор (6 - 10 січня 1986 р.) переміщувався за траєкторією IV. Утворившись над південним узбережжям Франції він, пізніше, перетнув західну частину Чорного моря (де спостерігався мінімальний тиск

- 998 гПа) і територію України з півдня на північ та заповнився над північним заходом Росії.

Для розрахунку енергетичних характеристик необхідно представлення вихідної інформації у вигляді тривимірних сіткових полів основних метеорологічних величин: температура, вітер, вологість (дефіцит точки роси), геопотенціал. З цією метою, використовуючи дані аерологічного зондування на станціях, що потрапили у зону розрахунку, робиться відновлення вказаних полів на сітці з шагом по горизонталі 100 км і вертикалі 50 гПа за допомогою сплайн-інтерполяції. Чисельним експериментуванням, виконуючи процедуру "інтерполяція-переінтерполяція", було отримано оптимальний (мінімум середньої абсолютної помилки) варіант такої технології, що зводиться до такого:

- для усіх використаних полів метеовеличин тривимірна інтерполяція підрозділяється на дві автономні: сплайн по вертикалі і сплайн по горизонталі, причім спочатку відновлюються вертикальні профілі, а потім за ними здійснюється інтерполяція по горизонталі;
- тиск (геопотенціал), температура, дефіцит точки роси і швидкість вітру інтерполюються незалежно одне від одного, а напрямок вітру відновлюється за інтерпольованими значеннями складових швидкості вітру;
- у разі дефіциту аерологічної інформації у зоні розрахунку (акваторії Середземного і Чорного морів) належно використовувати дані, що отримані за допомогою синоптичного аналізу, чи шляхом розрахунку по загальнофізичним співвідношенням (рівняння квазістатисти, геострофічні балансові співвідношення).

Третій розділ присвячується виводу рівнянь різних видів енергії у ізобаричній системі координат та фізичному аналізу окремих складових балансових рівнянь. Тут також викладається алгоритм розрахунку енергетичних характеристик.

Рівняння балансу водяної пари і бюджету кінетичної енергії, які далі використовувалися для аналізу умов еволюції південних циклонів, можна записати у вигляді:

$$\int \frac{\partial q}{\partial t} = - \int \nabla \vec{V} q - \int \frac{\partial \pi q}{\partial p} - \int A, \quad (1)$$

$q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4$

$$\int \frac{\partial K}{\partial t} = - \int \nabla \vec{V} K - \int \frac{\partial \pi K}{\partial p} - \int \vec{V} \nabla \Phi + \int A, \quad (2)$$

$K_1 \quad K_2 \quad K_3 \quad K_4 \quad K_5$

де $\int = \frac{1}{gS} \int \int dp ds$,

q - питомий вологовміст,

∇ - оператор набла,

\vec{V} - вектор швидкості вітру,

K - кінетична енергія,
 τ - ізобарична вертикальна швидкість,
 Φ - геопотенціал.

У рівняннях (1-2) члени ліворуч - локальні зміни вологовмісту і кінетичної енергії відповідно, перші два члена праворуч - горизонтальний і вертикальний потоки відповідних характеристик, третій член праворуч у рівнянні (2) - генерація кінетичної енергії за рахунок сили баричного градієнту, останні члени праворуч - залишкові члени рівнянь балансу.

Під час чисельної апроксимації похідні у цих рівняннях бралися за схемою Шумана, а інтеграли - за формулою трапецій, за винятком членів (q_3 і K_3), оскільки інтеграл за координатою p від цього члена є табличним.

У розділі четвертому наводяться результати чисельних експериментів по оцінці ролі кожного з членів рівняння кінетичної енергії на прикладі конкретного випадку (17-21 січня 1986 р.) виходу південного циклону.

На відміну від загальновикористовуваного математичного запису генеруючого члена балансу кінетичної енергії ($K_4 = -\vec{V}\nabla\Phi$) запропонована інша форма його наведення у виді суми двох факторів - адвекції температури і вертикального зсуву вітру, що не зустрічалася раніше у теорії енергетики атмосферних збурень синоптичного масштабу, що дозволило поряд з традиційною інтерпретацією (Е.Пальмен і Ч.Ньютон) перейти до більш звичних у синоптичній метеорології термінологічним категоріям. Четвертий розділ цілком присвячено фізичній інтерпретації рівняння кінетичної енергії, де на прикладі конкретного південного циклону за 19.01.1986 р., що перебував у стадії максимального розвитку, наведено оцінку ролі кожного з членів, що складають це рівняння. Тут, зокрема, показано, що:

- заток маси у зону циклонічного вихору головним чином відбувається крізь його південну межу, а його вентиляція - крізь східну, і, згідно зі знаком результуючого значення горизонтальної дивергенції потоку кінетичної енергії (K_2), південний циклон у стадії максимального розвитку являє собою зону стоку кінетичної енергії, що повинно у остаточному підсумку сприяти його заповненню;
- стійкий приплив кінетичної енергії за рахунок дивергенції її вертикального потоку (K_3) має місце лише у верхній тропосфері і нижній стратосфері, тимчасом як у середній тропосфері (850-600 гПа) та районі струминної течії (450-300 гПа) спостерігається відплив кінетичної енергії з максимумом на рівні 350 гПа ($\sim 3.61 \cdot 10^9$ кВт). При цьому внесок фактора K_3 , по крайній мірі, на порядок менше за внесок фактора K_2 .

Ролі генеруючого члена (K_4), що в остаточному підсумку визначає еволюцію циклонічного вихору, у цьому розділі приділяється особлива увага. Внесок цього фактора у зміну кінетичної енергії оцінюється з точки зору трьох можливих подавань цього члена.

Перший з них ($\vec{V}\nabla\Phi$), додатково можна подати у вигляді двох складових - дивергенції

горизонтального потоку потенціальної енергії ($\text{div}\vec{V}\Phi$) і члену, що пропорційний дивергенції швидкості повітряного потоку ($\Phi \cdot \text{div}\vec{V}$). Другий, згідно Е. Пальмену і Ч. Ньютона,

зводиться до пошарових осередків тепла і холоду ($\approx \int_{p_1}^{p_2} \frac{T\tau}{p} dp$). Нарешті, третій варіант, що

запропонований у цій роботі, як вказувалося вище, пов'язаний з пошаровою адвекцією температури і зсувом вітру. Кожен з цих варіантів розкриває ті чи інші сторони циклону як термодинамічної циркуляційної системи. Чисельні експерименти, що проводилися для циклону у цілому і його складових частин, виявили, що складові ($\text{div}\vec{V}\Phi$) і ($\Phi \cdot \text{div}\vec{V}$) приблизно одного порядку, але протилежні за знаком, внаслідок чого значення генеруючого члена (K_4) для розглядаемого циклону виявилися від'ємними для циклону у цілому (-82.13 Вт/м^2); у передній частині інтегральне (1000-100 гПа) значення $K_4 < 0$ (-157 Вт/м^2), а у тилловій $K_4 > 0$ (35 Вт/м^2). Таким чином, для південного циклону у стадії максимального розвитку характерний відплив кінетичної енергії, що обумовлено процесами, які протікають у його передній частині. Цей висновок добре погоджується з існуючою концепцією циклогенезу - у стадії максимального розвитку для циклонічних вихорів характерна тенденція до їх подальшого заповнення.

Інтерпретація генеруючого члена у другому варіанті його редакції ($K_4 \approx \int_{p_1}^{p_2} \frac{T\tau}{p} dp$)

стосовно до ізолюваного вихору менш переконлива, оскільки у його передній частині $\tau < 0$ (59% сіточних вузлів), а у тилловій - $\tau > 0$ (41% сіточних вузлів) і при приблизно однакових значеннях τ відбувається взаємна компенсація цього фактора під час осереднення за площею, що зайнята циклоном.

У порівнянні з попередніми варіантами редакція генеруючого члена, що запропонована у цій роботі, має безперечну перевагу, оскільки її інтерпретація зводиться до фізично "відчутних" факторів - пошаровій адвекції температури ($\delta F_{\text{адв}}$) і зсуву вітру ($\delta F_{\text{зсув}}$). Чисельні експерименти на прикладі південного циклону за 19.01.1986 р. виявили, що значення адвективного фактора для циклону у цілому і для його оточення (фону), мало відрізняються проміж себе - інтегральні (1000-100 гПа) значення відповідно дорівнюють $26.74 \cdot 10^{-4}$ і $21.05 \cdot 10^{-4}$ м/с. Останнє вказує на те, що вихор у стадії максимального розвитку у температурному відношенні практично не відрізняється від фону і становить собою холодне, термічно однорідне утворення (адвекція холоду $A_T < 0$ переважає по всій зоні розрахунку). Цей висновок добре узгоджується з сучасною теорією еволюції циклонічних вихорів. Тут також виявлено, що у шарі 1000-300 гПа (вертикальна потужність циклону) практично цілком відсутня асиметрія адвективного фактора проміж передньою і тиловою частинами циклону ($-18.77 \cdot 10^{-4}$ і $-15.70 \cdot 10^{-4}$ м/с відповідно). При цьому відплив кінетичної енергії ($\delta F_{\text{адв}} < 0$) у передній частині зосереджено, взагалі, у шарі 600-400 гПа, тобто у середній тропосфері, тимчасом як у його тилловій частині від-

мічається два максимуми зменшення кінетичної енергії: основний - у шарі 500-400 гПа, а другорядний - у шарі 800-700 гПа. У прикордонному шарі (1000-850 гПа) у тилівій частині також спостерігається вплив кінетичної енергії ($-1.5 \cdot 10^{-4}$ м/с), тимчасом як у передній частині у цьому ж шарі за рахунок адвекції тепла має місце, хоч і слабкий ($\sim 0.6 \cdot 10^{-4}$ м/с), її приплив. Таким чином, заповнення циклону ($\delta F_{\text{адв}} < 0$) у стадії максимального розвитку найбільш активно діється насамперед у верхній та середній тропосфері.

Інтегральні значення (шар 1000-300 гПа) зсувного фактора для усього циклону, його передньої та тилової частин виявилися одного знаку ($\delta F_{\text{зсв}} < 0$) і дорівнювались відповідно: $-34.25 \cdot 10^{-4}$; $-58.48 \cdot 10^{-4}$; $-18.25 \cdot 10^{-4}$ м/с, тобто зменшення (вплив) кінетичної енергії у цілому для циклону відбувається взагалі ($\sim 60\%$) за рахунок зсувного фактора його передньої частини.

Таким чином, обидва розглянутих фактори переконливо свідчать про те, що у стадії максимального розвитку південний циклон являє собою тривимірну зону впливу кінетичної енергії, а односпрямована дія двох факторів - адвективного і зсувного - свідчить про тенденцію заповнення циклону. Цілком підтверджує зроблений вище висновок додатково наведений у роботі аналіз вертикальних профілів адвекції вихору, дивергенції та вертикальних рухів.

Отже, головний висновок цього розділу роботи зводиться до того, що дослідження південних циклонів з позицій аналізу їх енергетичного бюджету є вельми перспективним напрямком під час виявлення особливостей механізму їх еволюції.

У п'ятому розділі наведено стислий огляд робіт щодо енергетики атмосферних збурень різних масштабів; відтворюються енергетичні "портрети" південних циклонів, що переміщуються за різними траєкторіями, і досліджуються часові змінювання енергетичних бюджетів південних циклонів у процесі їх переміщення та еволюції.

З точки зору еволюції розглядаємі циклони можна розбити на дві групи: вихори, що швидко (I і III-й типи) та повільно (II і IV-й типи) розвиваються з висотою у межах тропосфери. Для першої групи циклонів перехід від одної стадії розвитку до другої відбувається протягом одної доби, тимчасом як для циклонів другої групи характерна "розтягнута" за часом (від двох до чотирьох діб) еволюція у межах однієї стадії розвитку. Загальним для усіх південних циклонів є повільний (не менш, як дві доби) процес їх заповнення незалежно від того, чи є циклон низьким (I-й тип), чи високим (II і IV-й типи) баричним створенням.

Під час виявлення стадій циклонів використовувався загальноновживаний у синоптичній метеорології комплекс якісних ознак: наявність замкнених ізобар, характер та інтенсивність фронтальної системи, знак температурної адвекції у окремих частинах циклону, ступінь його розвитку за вертикаллю і так далі. Елемент суб'єктивізму при цьому безперечно у наяві, але оскільки використовувався єдиний методологічний підхід, то, очевидно, принципові похибки у ідентифікації стадій розвитку не повинні мати місце. Більш серйозні труднощі поставали через велику (доба) часову дискретність аеросиноп-

тичного матеріалу, коли перехід від одної стадії розвитку до другої міг відбуватися проміж строками спостережень (у деяких випадках на це вказував характер часового ходу вологовмісту та енергетичних характеристик). При відповідній вихідній інформації згаданого методичного недоліку можна практично уникнути.

Метода аналізів результатів розрахунку енергетичних та вологісних характеристик циклонів у процесі їх еволюції була такою. По-перше, параметри фону були виключені з розглядання, а аналізувалися тільки часові профілі відповідних характеристик, що були осереднені у межах площ, які займалися вихором та його передньою та тиловою частинами. По-друге, пошарові та інтегральні значення параметрів розглядалися тільки для того шару тропосфери, який займав циклон у конкретну стадію розвитку. Якщо вихор, залишаючись у одній стадії розвивався з часом по вертикалі, то для аналізу додатково залучалися все нові й нові шари, що лежали вище. Такий підхід дозволив провести коректний порівняльний аналіз енергетики і вологовмісту різних циклонів незалежно від їх вертикальної потужності.

У роботі (п.5.2) докладно аналізуються вологовміст (q), кінетична енергія (K), а також складові відповідних балансових рівнянь ($q_1 - q_4$; $K_1 - K_5$) для кожного типу циклону і складових їх частин у процесі еволюції вихорів (перехід від одної стадії розвитку до іншої). Внаслідок цього обмежимося тільки результатами порівняльного аналізу найбільш показових характеристик (q , q_2 , K , K_4) для центральних частин всіх чотирьох циклонів стосовно однойменних стадій розвитку. Водночас наведемо порівняння цих параметрів до західних циклонів, що отримані іншими авторами (табл. 1 і 2). Отже, основні висновки цієї частини роботи зводяться до такого:

- вологовміст південних циклонів I, III і IV-го типів траєкторій (середземноморський та чорноморські) суттєво вищий, ніж циклону II-го типу, а тим більш західних циклонів. Максимальні значення q для чорноморських циклонів спостерігаються у третій стадії розвитку, середземноморського - на початку четвертої, а "континентального" (II-й тип) - у кінці другої. Циклон II-го типу за своїми параметрами у третій та четвертій стадіях розвитку, знаходячись у цей час над континентальною частиною Росії, принципово не відрізняється від суто західних циклонів (див. табл. 1 і 2), оскільки він вже втратив властивості південного циклону. Вологовміст середземноморських циклонів (I-й тип траєкторії) у другій стадії розвитку на 30-35% вище, ніж чорноморських;
- для циклонів I, III і IV-го типів траєкторій максимальний приплив вологи за рахунок дивергенції горизонтального потоку припадає на третю стадію розвитку, коли їх траєкторії стають квазімеридіональними. Останнє обумовлює міцний затік водяної пари у систему циклонів крізь їх південну межу, завдяки повітряним масам, що сформувалися над акваторіями Середземного і Чорного морів. Надходження вологи у систему південних циклонів, що розташовані над Чорним морем, відбувається крізь їх західну та південну межі, а вплив - крізь східну і північну; щодо циклону над Середземним морем та континентального циклону (район Нижнього Новгород), то у всій тропосфері, за винятком прикордонного шару, приплив водяної пари відбувається не тільки крізь захі-

Таблиця 1

Характеристики вологовмісту q , $\text{кг}/\text{м}^2$ (чисельник) і q_2 , $10^{-6} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (знаменник) у процесі еволюції циклонів.

Категорія циклону; тип траєкторії	Стадія розвитку циклону							
	2		3			4		
	Шар атмосфери, гПа							
	1000-850	1000-700	1000-500	1000-700	1000-500	1000-300	1000-500	1000-300
А. Південні								
I-й тип	<u>7.22</u> -3.22	—	—	<u>11.90</u> 120.77	—	—	<u>14.19</u> -51.23	—
II-й тип	<u>5.34</u> 14.87	<u>9.27</u> 16.10	<u>10.70</u> -7.13	—	—	<u>7.97</u> -0.28	—	<u>7.95</u> 38.12
III-й тип	<u>4.72</u> 29.30	—	—	—	<u>11.13</u> 96.95	—	—	<u>8.88</u> -18.31
IV-й тип	<u>5.60</u> 46.63	—	<u>10.71</u> 64.05	—	<u>12.46</u> 50.06	—	—	<u>7.76</u> 3.92
Середнє	<u>5.72</u> 21.90	<u>9.27</u> 16.10	<u>10.70</u> 28.46	<u>11.90</u> 120.77	<u>11.80</u> 73.50	<u>7.97</u> -0.28	<u>14.19</u> -51.23	<u>8.20</u> 7.91
Б. Західні								
Капітанова Т.П.	—	—	—	—	<u>6.40</u> —	—	—	—
Пінус Н.З.	<u>—</u> 14.17	<u>—</u> 20.04	<u>11.48</u> 22.03	—	—	—	<u>—</u> -0.33	<u>5.10</u> -0.37
Калинін Н.А.	—	—	—	<u>7.00</u> 3.00	<u>8.80</u> 2.60	<u>9.20</u> 3.10	—	—
Калинін Н.А.	—	—	—	<u>5.20</u> -5.50	<u>6.70</u> -14.30	<u>7.10</u> -15.50	—	—
Середнє	<u>—</u> 21.90	<u>—</u> 16.10	<u>11.48</u> 22.03	<u>6.10</u> -1.25	<u>7.30</u> -5.85	<u>8.15</u> -6.20	<u>—</u> -0.33	<u>5.10</u> -0.37

дну і південну межі, але й також крізь північну, а вплив - винятково крізь східну межу вихорів;

- у стадії заповнення, коли циклони знаходяться над континентальними районами Європи, виникає, завдяки переважному західному переносу, віддача вологи з циклонічних систем навколишньому середовищу. Останній висновок сходиться з результатами, що були отримані раніше для західних циклонів, для яких останні умови найбільш характерні;
- у процесі еволюції кінетична енергія південних циклонів зростає внаслідок збільшення їх вертикальної потужності і переміщення у помірні широти. І в тому, і в іншому випадку південні циклони утягуються у систему макромасштабного переносу з великими швидкостями вітру. Значення кінетичної енергії південних циклонів займають проміжне положення проміж інтенсивними і слабозвинутими західними циклонами;
- генерація кінетичної енергії у середземноморському і чорноморському циклонах зростає

Енергетичні характеристики K , 10^5 Дж/м² (чисельник) і K_4 , Вт/м² (знаменник)
у процесі еволюції циклонів.

Категорія циклону; тип траск- торії	Стадія розвитку циклону							
	2			3			4	
	Шар атмосфери, гПа							
	1000- 850	1000- 700	1000- 500	1000- 700	1000- 500	1000- 300	1000- 500	1000- 300
А. <u>Південні</u>								
I-й тип	<u>0.39</u> -2.80	—	—	<u>2.07</u> -0.10	—	—	<u>3.80</u> -7.15	—
II-й тип	<u>0.15</u> 0.10	<u>1.60</u> 0.30	<u>3.25</u> 2.30	—	—	<u>7.35</u> 26.70	—	<u>8.58</u> 28.60
III-й тип	<u>0.46</u> 0.80	—	—	—	<u>5.33</u> 25.20	—	—	<u>6.40</u> -17.23
IV-й тип	<u>0.45</u> 4.10	—	<u>5.04</u> -0.70	—	<u>4.51</u> 3.40	—	—	<u>8.56</u> -15.70
Середнє	<u>0.37</u> 0.55	<u>1.60</u> 0.30	<u>4.15</u> 0.80	<u>2.07</u> -0.10	<u>4.92</u> 14.30	<u>7.35</u> 26.70	<u>3.80</u> -7.15	<u>7.85</u> -1.44
Б. <u>Західні</u>								
Калинін НА.	—	—	—	<u>4.50</u> 2.35	<u>10.61</u> 7.06	<u>20.20</u> 22.60	—	—
Калинін НА.	—	—	—	<u>0.69</u> 0.01	<u>1.77</u> -0.77	<u>4.08</u> -2.29	—	—
Середнє	—	—	—	<u>2.60</u> 1.18	<u>6.19</u> 3.15	<u>12.14</u> 9.81	—	—

до третьої стадії розвитку, коли значення K_4 досягають максимуму. При цьому збільшення кінетичної енергії за рахунок цього фактора для чорноморських циклонів значно більше, ніж для середземноморського. У стадії заповнення кінетична енергія південних циклонів різко зменшується, і вони представляють з себе зони ($K_4 < 0$) відливу кінетичної енергії. У південних циклонах порівняно з західними генерація кінетичної енергії відбувається за багато (в середньому у 4 рази) інтенсивніше, ніж у західних циклонах (див. табл. 1 і 2). Звідси можна зробити висновок принципового характеру - енергообмін проміж тропічними та помірними широтами здійснюється головним чином південними циклоном, що підтверджує існуюче уявлення про роль позатропічних атмосферних вихорів синоптичного масштабу у системі загальної циркуляції атмосфери.

- механізми генерації (дисипації) кінетичної енергії (фактор K_4) у самих циклонах і фоні, що їх оточує, діють у одному напрямку - вертикальні профілі генеруючого члена однотипні. Оцінки, що надані у роботі, свідчать, що для середземноморського і чор-

номорських циклонів внесок фону складає біля 60%, тимчасом як для континентального кінетична енергія у циклоні цілком постачається фоном, і, судячи по цій характеристиці, його (циклон) важко відрізнити від оточення. Для циклонів I і III-го типів траєкторій адвективний член ($\delta F_{\text{адв}}$) більший ніж у 2-3 рази, чим зсувний, а для двох інших (II і IV-й типи траєкторій), навпаки, зсувний фактор більше адвективного. Для усіх циклонів максимальний внесок обох складових генеруючого члена K_4 вносить шар 700-300 гПа, при цьому знак $\delta F_{\text{адв}}$ добре узгоджується з пошаровим розподілом адвекції температури - у шарах з адвекцією тепла $\delta F_{\text{адв}} > 0$, а з адвекцією холоду ($A_4 < 0$) величина $\delta F_{\text{адв}} < 0$. Аналогічної чіткої закономірності для зсувного фактора нема внаслідок більш складної взаємодії зсуву вітру та горизонтальних градієнтів геопотенціалу.

У Висновках сформульовані основні результати дисертаційної роботи, які наведені вище під час аналізу змісту кожного з її розділів.

Головний висновок дисертаційної роботи зводиться до того, що запропонований у ній енергетичний підхід до дослідження південних циклонів у порівнянні з традиційними синоптичними методами дозволяє глибше зрозуміти фізичний механізм їх створення та еволюції. Такий підхід на повній підставі може бути використаний під час дослідження інших типів атмосферних циркуляційних систем.

Список основних опублікованих праць:

1. Голошак О., Хохлов В. Влияние орографии на энергетические характеристики циклона 27-28 ноября 1987 г. // Метеорология, климатология и гидрология. - 1997. - Вып.33. - С. 62-64.
2. Кивганов А.Ф., Хохлов В.Н. О физической интерпретации механизма генерации кинетической энергии в атмосфере // Метеорология, климатология и гидрология. - 1997. - Вып.34. - С. 3-13.
3. Хохлов В.Н. Особенности распределения кинетической энергии и влагосодержания в южных циклонах // Метеорология, климатология и гидрология. - 1997. - Вып.34. - С. 13-21.
4. Энергетические характеристики циклонов, влияющих на погодные условия Украины. / Кивганов А.Ф., Семенова И.Г., Хохлов В.Н.; Одес. гидрометеоролог. ин-т. - Одесса, 1995. - 30 с. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 05.12.1995, №2621-Ук95 // Анот. в библиографическом указателе ВИНТИ, №3, 1996.
5. Условия образования южных циклонов и их влияние на погодные условия Украины / Хохлов В.Н.; Одес. гидрометеоролог. ин-т. - Одесса, 1996. - 26 с. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 14.05.96, №1990-Ук96.
6. Восстановление трехмерных полей метеорологических величин с помощью сплайн-функций / Хохлов В.Н., Семенова И.Г.; Одес. гидрометеоролог. ин-т. - Одесса, 1994. - 11 с. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 03.01.95, №37-Ук95 // Анот. в библиографическом указателе ВИНТИ, №4, 1995.
7. Хохлов В.Н. Траектории южных циклонов. - Информационный листок Одесского ЦНТЭИ, 1997, №05-97.

АНОТАЦІЯ

Хохлов В.М. Энергетика і вологовміст південних циклонів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.09 - метеорологія, кліматологія, агрометеорологія. - Одеський гідрометеорологічний інститут, Одеса, 1997.

Дисертація присвячена дослідженню енергетики і вологовміста південних циклонів, які переміщуються через територію України за різними траєкторіями. В роботі показана правомочність використання енергетичного підходу для виявлення різниць в динаміці і еволюції цих атмосферних вихорів. Також проведено аналіз генеруючого члену рівняння бюджету кінетичної енергії і показана його залежність від адвекції температури і вертикального зсуву вітру.

Ключові слова: південні циклони, кінетична енергія, вологовміст, генерація.

Хохлов В.Н. Энергетика и влагосодержание южных циклонов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.09 - метеорология, климатология, агрометеорология. - Одесский гидрометеорологический институт, Одесса, 1997.

Диссертация посвящена исследованию энергетики и влагосодержания южных циклонов, которые перемещаются через территорию Украины по разным траекториям. В работе показана правомочность использования энергетического подхода для выявления различий в динамике и эволюции этих атмосферных вихрей. Также проведен анализ генерирующего члена уравнения бюджета кинетической энергии и показана его зависимость от адвекции температуры и вертикального сдвига ветра.


Ключевые слова: южные циклоны, кинетическая энергия, влагосодержание, генерация.

Khokhlov V.N. Energetics and moisture content of the southern cyclones.

The dissertation for the search of the academic degree of candidate of geographic sciences by speciality 11.00.09 - meteorology, climatology, agrometeorology. - The Odessa Hydrometeorological Institute, Odessa, 1997.

The dissertation is devoted to the research of the energetics and moisture content of the southern cyclones that move on the various trajectories over Ukraine territory. In the work the justification of the energy approach utilization is shown for the differences exposure in the dynamics and evolution of this atmospheric eddies. Also the analysis of the cross-contour generation term of the kinetic energy budget equation is realized and its dependence from the temperature advection and vertical wind shear is shown.

Key words: southern cyclones, kinetic energy, moisture content, cross-contour generation.

Здано в набір 5.01.97. Підписано до друку 15.01.98.
Формат 60x84 1/16.
Умовн. друк. арк. 0,70. Тираж 100 прим.
Віддруковано в Поліграфічному центрі фірми  СИСТЕМА-
Одеса 270078,
вул. Космонавтів, 34, офіс 111.
Тел: (0482) 619-130, 698-978.

431494

AB 39.323