

УДК 551.589.6: 551.515.7: 551.50

Є.В. Самчук

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ОБ'ЄКТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЦИКЛОНІВ У ПОЛІ ПРИЗЕМНОГО ТИСКУ

Запропоновано методику об'єктивної ідентифікації циклонів у Євроатлантичному секторі Північної півкулі, що передбачає виділення в баричному полі областей низького тиску шляхом ітераційної фільтрації вузлів регулярної сітки. Методику апробовано на полях приземного тиску за 2010 рік. Проведено аналітичну оцінку ефективності застосування цієї методики.

Ключові слова: об'єктивна ідентифікація, циклон, реаналіз, атмосферні процеси.

Вступ

У помірних широтах циклони відіграють ключову роль у процесах формування погоди та клімату на великих територіях. Вони є головним компонентом кліматичної системи, що забезпечує глобальне перенесення та перерозподіл атмосферної енергії, тепла та вологи. Разом з тим, з ними також пов'язана і велика кількість небезпечних процесів та явищ. Це і повені, спричинені сильними опадами, наслідки дії сильних вітрів, штормові нагони в прибережних районах та інше. Тому постає необхідність у забезпеченні точної діагностики циклонічної активності з метою визначення її характеристик за тривалий період. Першим кроком на шляху до вирішення цієї задачі є об'єктивна ідентифікація цих баричних утворень у просторі та відстежування їх у часі. Зважаючи на те, що характеристики циклонів помірних широт (як глибина, тривалість існування, геометрична форма ізобар) варіюють від випадку до випадку, об'єктивна ідентифікація циклонів значно ускладнюється. Також необхідно враховувати, що в останні десятиріччя цій проблемі в Україні було приділено недостатньо уваги: серед публікацій можна навести лише [8]. Також не проводилась і розробка автоматизованих систем ідентифікації та трекінгу баричних утворень, у зв'язку з чим ця проблема постає особливо гостро.

Стан дослідження проблеми

За останні десятиріччя в межах цієї проблеми було виконано велику кількість досліджень, більшість з яких присвячено виключно ідентифікації циклонів. Для антициклонів пропонувалось використовувати обернені до ідентифікації

циклонів методи, однак окремо це питання не розглядалось.

Оскільки не існує єдиного підходу до розуміння природи циклонів, кожен з наявних методів їхньої ідентифікації використовує свій унікальний набір метеорологічних величин, що характеризують стан атмосфери. Серед них – приземний тиск, його градієнт[2], відносний вихор швидкості вітру[4], висота ізобаричних поверхонь АТ1000[5] та АТ850[6]. Також сильно варіюють критерії ідентифікації циклонів. За використання приземного тиску критерієм може виступати поєднання його мінімального значення з максимальним значенням його лапсасіана або градієнта. Окремо виділяється група методів, в яких кожен вузол регулярної сітки розглядається як “кандидат” на роль центра циклону шляхом порівняння значення певних величин у ньому з відповідними значеннями в сусідніх вузлах сітки. Також для кожного методу визначені конкретні умови, за яких попередньо встановлений центр циклону може бути вилучений із набору. Це можуть бути як критичні значення величин, які використовуються для ідентифікації, так і відстань міждобового зміщення положення циклону, тривалість його існування або висота над рівнем моря території, де ідентифіковано циклон[1].

Загальною проблемою розроблених методів є складність визначення єдиних критеріїв, що задовольняли б усі випадки, а саме: величини тиску, баричного градієнта, завихреності, лапсасіана тиску в центрі циклону, його просторову конфігурацію та інше. Визначені ж для цих методів критерії найкраще описують класичні циклони помірних широт, що мають чітко окреслені, геометрично правильні концентричні ізобари. За таких умов ідентифікація малорухомої циклоніч-

ної депресії, яка сильно витягнута в одному з напрямків та займає велику площу, ускладнюється тим, що заданим критеріям можуть відповідати не один, а декілька вузлів сітки, що знаходяться всередині неї. Надалі це може призвести до труднощів у побудові траєкторій баричних утворень. Окрім того, така процедура ідентифікації ресурсоємніша в зв'язку з розрахунком похідних від тиску величин.

З урахуванням сказаного вище, найперспективнішими є методи, в яких циклон ідентифікується не шляхом локалізації його центру, а шляхом виділення в полі тиску ізольованих областей низького тиску[5].

Такими ж різноманітними є й методи об'єднання виділених центрів циклонів у траєкторії. Найбільше застосовується метод “найближчого сусіда” в його класичному розумінні. Пошук “сусіда” проводиться в обмеженій частині простору навколо поточного центру циклону. Ця частина простору може мати радіус 600-800 км, 10° широти та довготи або мати певну площу, найчастіше 200 тис. км² і більше. У [7] цей метод доповнений ймовірнісним визначенням напрямку переміщення циклону в наступний інтервал часу.

Мета дослідження – розробити методіку ідентифікації циклонів у нижній тропосфері, апробувати її на полях приземного тиску та аналітично оцінити ефективність її застосування.

Матеріали та методика досліджень

У ході виконання дослідження було використано дані проекту NCEP/NCAR Reanalysis II, а саме поля приведеного до рівня моря атмосферного тиску в Євразійському секторі Північної півкулі (40° зх. д. – 110° сх. д., 90°-30° пн. ш.) у вузлах регулярної сітки розмірністю 2,5° з часовим інтервалом 6 годин за 2010 р.

Розрахункову частину дослідження виконано за допомогою середовища Microsoft Visual Studio 2010 з використанням мови програмування C#.

Для побудови карт використано пакет програм Golden Software Surfer 11.

Під час виконання дослідження застосовувалось комп'ютерне програмування, використовувались методи динамічної метеорології та чисельного моделювання, отримані результати візуалізувались за допомогою карт.

Результати дослідження

Запропонований метод ідентифікації циклонів передбачає виділення в полі приземного тиску областей низького тиску шляхом ітераційної фільтрації вузлів регулярної сітки (рис. 1). Спочатку визначається мінімальне значення тиску в

зоні розрахунку і встановлюється репер – найближче до мінімуму значення тиску, яке більше за нього та кратне 5 гПа, що відповідає кроку побудови ізобар на картах приземного аналізу. Після цього з поля тиску, що розглядається, відбираються ті вузли, в яких тиск менший за реперний. У результаті проведення цієї процедури формується масив, що містить у собі інформацію про широту, довготу та тиск у таких вузлах. На наступному етапі цей масив розділяється на окремі кластери, в які входять лише ті вузли, що прилягають один до одного. Зрештою, кожен кластер є набором вузлів, що знаходяться всередині певної замкнутої ізобари та ізольовані від решти відібраних вузлів. На цьому етапі визначається площа, яку займає кожен кластер, і якщо вона менша за критичне значення (200 тис. км²), то цей кластер ігнорується. У протилежному випадку всередині кожного кластера визначається вузол з мінімальним тиском та вузол, що є геометричним центром точок, які увійшли до кластера. Геометричний центр кластера визначається шляхом пошуку вузла в ньому, сума відстаней від якого до інших точок кластера мінімальна. На цьому етапі виділеними виявляються лише циклони, інтенсивність яких має однаковий порядок. Тому реперне значення тиску збільшується на 5 гПа і процедура повторюється доти, доки реперне значення тиску не перевищує 1010 гПа.

Очевидно, що ітераційне збільшення реперного значення тиску призводитиме до виділення тих же центрів циклонів, що і за попередніх його значень. Тому на завершальному етапі з набору виділених центрів циклонів видаляються всі центри, що мають однакові координати вузла з мінімальним тиском, крім одного.

У більшості проведених у межах цієї проблеми досліджень методи ідентифікації та трекінгу циклонів виступали в ролі інструментів для отримання таких характеристик циклонічної активності як загальної кількості ідентифікованих циклонів окремо в зимовий та літній періоди, розподілу за градаціями інтенсивності виявлених циклонів, тривалості їх існування та швидкості руху за тривалий проміжок часу. Оцінка ж їхньої ефективності зводиться до порівняння вищезгаданих характеристик, а також відсоткового ступеня узгодженості траєкторій циклонів, побудованих з використанням одного методу [3]. При цьому не використовується синоптичний підхід до розуміння циклону як специфічного баричного утворення.

Оскільки в межах дослідження було виконано лише апробацію методіки ідентифікації циклонів без отримання характеристик циклонічної ді-

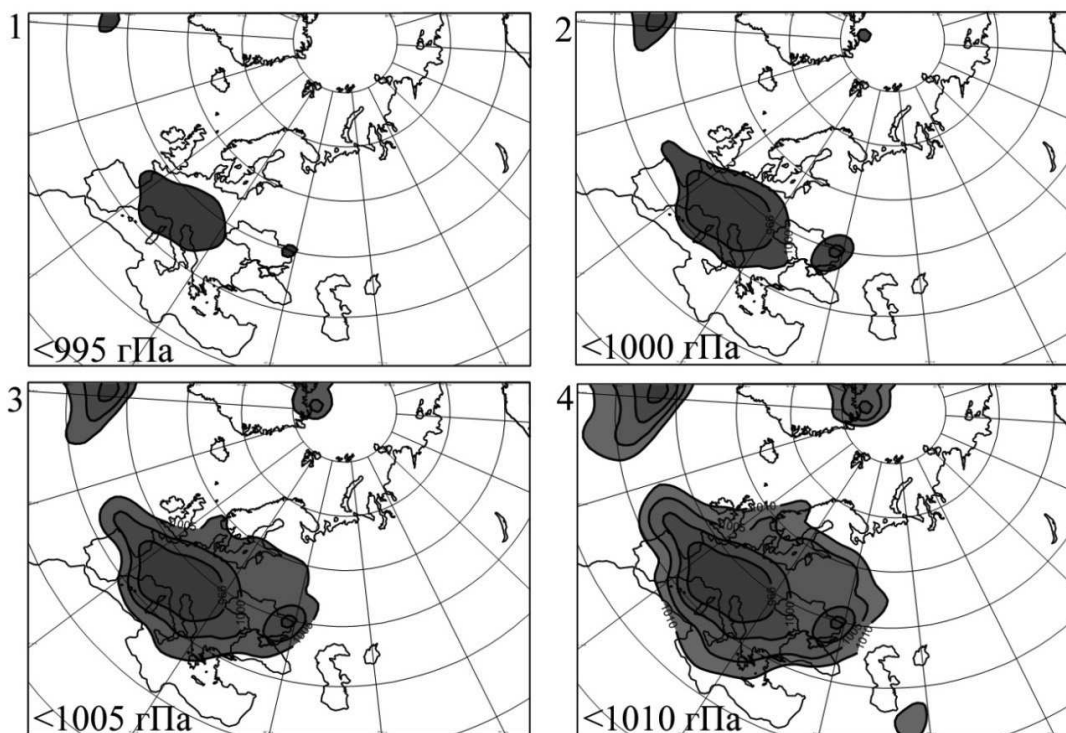


Рис. 1. Послідовне виділення ізольованих областей низького тиску

яльності, оцінка її ефективності могла бути здійснена лише шляхом аналітичного порівняння отриманих результатів із збірно-кінематичними картами природних синоптичних процесів, складених у Відділі метеорологічних прогнозів Українського Гідрометцентру. Треба зазначити, що ці карти складаються з фактичних карт приземного аналізу, які надаються УкрГМЦ світовим центром із метеорології в м. Москва і будуються винятково на основі строкових даних спостережень наземних метеостанцій. Використовуються карти за строк 00 UTC і лише в деяких випадках залучаються також і карти за строк 12 UTC.

Загалом було проаналізовано 36 природних синоптичних періодів 2010 року, в яких було виділено траєкторії 82 циклонів. Визначено точність як ідентифікації циклонів, так і визначення положення їх центрів. Результати наведено в табл. 1.

Розглядаючи окремо точність визначення географічної широти положення центру циклону із застосуванням запропонованої методики порівняно зі збірно-кінематичними картами УкрГМЦ, можна відзначити, що повне узгодження широти центру циклону спостерігається в 65 % випадків. У 96 % випадків розбіжність у визначенні широти центру циклону не перевищує 2,5°, що відповідає кроку регулярної сітки і в середньому становить близько 280 км. У 98,7 % випадків

Таблиця 1
Кількісний та відсотковий розподіл відхилень у ході визначення географічної широти та довготи положення центру циклону

Широта			Довгота		
Величина Дл, град	Кількість	%	Величина Дл, град	Кількість	%
≤-20	0	0,0	≤-20	0	0,0
-17,5	0	0,0	-17,5	0	0,0
-15	1	0,3	-15	0	0,0
-12,5	0	0,0	-12,5	3	1,0
-10	0	0,0	-10	7	2,3
-7,5	0	0,0	-7,5	6	2,0
-5	6	2,0	-5	16	5,3
-2,5	33	11,0	-2,5	57	19,0
0	194	64,7	0	123	41,0
2,5	61	20,3	2,5	54	18,0
5	2	0,7	5	14	4,7
7,5	3	1,0	7,5	6	2,0
10	0	0,0	10	5	1,7
12,5	0	0,0	12,5	2	0,7
15	0	0,0	15	2	0,7
17,5	0	0,0	17,5	2	0,7
≥20	0	0,0	≥20	3	1,0
Всього	300	100	Всього	300	100

похибка не перевищує 5° широти. Лише в 1,3 % випадків відхилення становить 7,5 широти, причому такі величини спостерігаються винятково в

разі ідентифікації циклонів у полярних регіонах (на північ від 65 пн. ш.). Це пояснюється тим, що в цій частині Північної півкулі густина мережі метеостанцій значно нижча, ніж у помірних широтах, тому ідентифікація циклонів за допомогою карт приземного аналізу має значно формалізованіший характер. Загалом точність визначення географічної широти положення центру циклону є дуже високою, а наявними відхиленнями можна знехтувати.

У випадку з точністю визначення довготи положення центру циклону спостерігається такий розподіл: повне узгодження – 41 % випадків, відхилення в межах кроку сітки – 78 %, у межах 5° довготи – 88 %, 7,5 і більше – 12 % випадків. На перший погляд точність визначення довготи центру циклону нижча, ніж у разі визначення широти. Однак приведення величини цих відхилень до відстані в кілометрах показує, що у 82 % випадків відхилення становлять не більше 250 км, що не перевищує діаметра циклону. Також найбільше відхилень спостерігається в полярних широтах (55-75° пн. ш.), причина чого аналогічна до похибок у разі визначенні широти центру циклону та над Північною Атлантикою (10-40° сх. д.), в якій наземні метеостанції практично відсутні.

Представляють інтерес також випадки, коли центри циклонів були присутні на збірно-кінематичних картах УкрГМЦ, але не були ідентифіковані за допомогою запропонованої методики. Ці випадки становлять 10 % від загальної кількості і загалом зумовлені тим, що центром циклону ідентифікувалась лише одна замкнена ізобара, яка оконтурювала площу, меншу за критичне значення (200 тис. км²). Зважаючи на порівняно велику кількість таких випадків, постає необхідність перегляду мінімально допустимої площі циклону в бік зменшення, а також доопрацювання методу її розрахунку.

Потрібно зазначити, що розбіжності у визначенні широти і довготи центру циклону над материковою частиною зони дослідження також додатково зумовлюються дещо різними підходами до його локалізації. На збірно-кінематичних картах УкрГМЦ у разі витягнутості циклона в одному з напрямів або великої площі, що оконтурюється мінімальною замкнутою ізобарою, його центр співвідноситься з геометричним центром цієї площі. Згідно із запропонованою методикою центр циклону ідентифікується в точці з мінімальним тиском.

Також аналіз збірно-кінематичних карт природних синоптичних періодів УкрГМЦ показав, що в 15 % випадків в одну траєкторію об'єднувались два різні циклони, один з яких за

останні 24 години заповнився, а другий – сформувався. Причиною цьому слугує недостатня роздільна здатність у часі карт приземного аналізу, що використовуються для ідентифікації баричних утворень. Водночас карти приземного тиску, побудовані з використанням даних реаналізу з часовим інтервалом 6 годин дозволяють точно відокремлювати один від одного циклони на різних стадіях існування.

Додатковою проблемою в процесі ідентифікації циклонів за допомогою запропонованої методики було використання як зони розрахунку порівняно невеликої частини Північної півкулі. У зв'язку з цим у разі розташування фактичного центру циклону на схід або захід від меридіональних меж зони розрахунку ідентифікований центр циклону припадав на його периферію або фрагмент поля зниженого тиску. Подібна хибна ідентифікація циклонів відбувається і на південній межі зони розрахунку. Це не є прямим недоліком методики і може бути вирішено шляхом розширення зони розрахунку в напрямках на схід, захід та південь.

Висновки

Запропонована методика об'єктивної ідентифікації циклонів передбачає виділення в баричному полі ізольованих областей низького тиску шляхом ітераційної фільтрації вузлів регулярної сітки. Ідентифікуються циклони площею не менше ніж 200 тис. км² та з мінімальним тиском менше ніж 1010 гПа. Апробація методики на полях приземного тиску за 2010 рік показала, що у 82 % випадків похибка визначення центру циклону не перевищує 250 км, що в масштабах синоптичних карт є несуттєвою величиною. Перевагами цієї методики порівняно з графо-візуальною ідентифікацією циклонів у процесі побудови збірно-кінематичних карт УкрГМЦ є точніша ідентифікація циклонів у полярних регіонах та в Північній Атлантиці, а також чітке розділення двох близько розташованих циклонів. Недоліком методики є помилкова ідентифікація циклонів на межах зони розрахунку. Ефективність методики можна підвищити шляхом перегляду числових критеріїв та розширення зони розрахунку.

Перспективи подальших досліджень

Розроблена методика ідентифікації циклонів має високий ступінь універсальності, завдяки чому після адаптації може бути використана не лише для ідентифікації антициклонів у полі приземного тиску, а й для виділення баричних утворень на стандартних ізобаричних поверхнях у нижній та середній тропосфері. Отримані резуль-

тати будуть використані для подальшої розробки методу трекінгу баричних утворень. Розроблена методика буде покладена в основу перспективної автоматизованої системи побудови збірно-кінематичних карт природних синоптичних процесів та моніторингу розвитку атмосферних періодів, яка може бути впроваджена в підрозділах Гідрометслужби України.

* *

1. Analysis of frequency and intensity of winter storm events in Europe on synoptic and regional scales from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales / Gregor C. Leckebusch, Brigitte Koffi, Uwe Ulbrich, Joaquim G. Pinto, Thomas Spanghel, Stefan Zacharias // *Climate Research*. – 2006. – Vol. 31. – P. 59-74.
2. Benestad R. E. The use of a calculus-based cyclone identification method for generating storm statistics / R. E. Benestad, D. Chen // *Tellus*. – 2006. – Vol. 58A. – P. 473-486.
3. Blender R. Cyclone tracking in different spatial and temporal resolutions / R. Blender, M. Schubert // *Monthly Weather Review*. – 2000. – Vol. 128. – P. 377-384.
4. Hewson T. D. Objective identification, typing and tracking of the complete life-cycles of cyclonic features at high spatial resolution / Tim D. Hewson, Helen A. Titley // *Meteorological Applications*. – 2010. – Vol. 17. – P. 355-381.
5. Klaus – An exceptional winter storm over northern Iberia and southern France / M. R. L. Liberato, J. G. Pinto, I. F. Trigo, R. M. Trigo // *Weather*. – 2011. – Vol. 66. – P. 330-334.
6. Kew S. F. Potential vorticity anomalies of the lowermost stratosphere: A 10-yr winter climatology / S.F. Kew, M. Sprenger, H. C. Davies // *Monthly Weather Review*. – 2010. – Vol. 138. – P. 1234-1249.
7. Sensitivities of a Cyclone Detection and Tracking Algorithm: Individual Tracks and Climatology / Joaquim G. Pinto, Thomas Spanghel, Uwe Ulbrich, Peter Speth // *Meteorologische Zeitschrift*. – 2005. – Vol. 14, № 6. – P. 823-838.
8. Балабух В.О. Об'єктивна ідентифікація баричних систем синоптичного масштабу/ В.О. Балабух // Вісник Київського національного ун-ту ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія. – 2005. – №51. – С. 49-50.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Самчук Е.В

Комплексная методика объективной идентификации циклонов в поле приземного давления

Предложена методика объективной идентификации циклонов в Евроатлантическом секторе Северного полушария, предусматривающая выделение в барическом поле областей низкого давления путем итерационной фильтрации. Предложенная методика апробирована на полях приземного давления за 2010 год. Проведена аналитическая оценка эффективности применения предложенной методики.

Ключевые слова: объективная идентификация, циклон, реанализ, атмосферные процессы.

Samchuk E.V.

A comprehensive methodology for objective identification of cyclones in the field of surface pressure

A method of the objective identification of the cyclones in the Euro-Atlantic sector of the Northern Hemisphere based on low-pressure areas allocation in the sea level pressure fields through iterative filtering has been developed. The proposed method has been tested on the fields of surface pressure of 2010. An analytical evaluation of the proposed method effectiveness has been performed.

Keywords: objective identification, cyclone, reanalysis, atmospheric processes.