

УДК 551.589.6: 551.515.7: 551.50, PACS: 92.40.Zg, 92.60.e, 92.60.Bh

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ІДЕНТИФІКАЦІЯ БАРИЧНИХ УТВОРЕНЬ У НИЖНІЙ ТА СЕРЕДНІЙ ТРОПОСФЕРІ

Є. В. Самчук, мол. наук. співроб.

Український гідрометеорологічний інститут,
пр. Науки, 37, 03028, Київ, Україна, evhen.samchuk@gmail.com

Проаналізовано існуючі підходи до ідентифікації та трекінгу баричних утворень в нижній та середній тропосфері. Розроблено комплексну методику ідентифікації баричних утворень шляхом поетапної ідентифікації осередків високого та низького тиску у приземному полі та геопотенціалу на чотирьох ізобаричних поверхнях. Удосконалено метод найближчого сусіда для побудови траєкторій баричних утворень за весь період їхнього існування. Розроблено автоматизовану систему ідентифікації баричних утворень на території Північної півкулі. Створено базу даних баричних утворень, що існували на території Північної півкулі за період 1976-2016 роки.

Ключові слова: об'єктивна ідентифікація, баричне утворення, циклон, антициклон, реаналіз, траєкторія, програмне забезпечення.

1. ВСТУП

Основними проявами атмосферної циркуляції є циклонічна та антициклонічна діяльність – утворення, еволюція, переміщення та руйнування циклонів і антициклонів у нижній та середній тропосфері. Ці процеси забезпечують глобальне перенесення та перерозподіл атмосферної енергії, тепла та вологи. Тому об'єктивна інформація про їхній перебіг є критично необхідною для опису та систематизації особливостей атмосферних процесів різного типу у різні сезони за різних умов, у зв'язку з чим постає необхідність у забезпеченні точної ідентифікації баричних утворень (далі – БУ) у просторі та часі. Зважаючи на те, що характеристики циклонів та антициклонів помірних широт, такі як інтенсивність, тривалість існування і навіть геометрична форма змінюються в широких межах, об'єктивна ідентифікація БУ є складною задачею. Необхідно враховувати, що існуючі методи ідентифікації БУ стосуються переважно циклонів, в той час як антициклонам приділено набагато менше уваги. Загальною рисою цих методів є те, що в них БУ ідентифікується лише на площині – у полі приземного тиску або на одній з ізобаричних поверхонь. Такий підхід ігнорує вертикальну структуру БУ, а результати його застосування не відображають в повній мірі стан нижньої та середньої тропосфери. Тому метою даного дослідження є розробка комплексу методів, спрямованих на ідентифікацію БУ в усій товщі нижньої та середньої тропосфери з урахуванням їхніх просторових характеристик та еволюції в часі.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

За останні десятиріччя ідентифікації БУ присвячено велику кількість досліджень, більшість з яких стосується виключно ідентифікації циклонів. Стосовно антициклонів пропонувалось використовувати обернені до ідентифікації циклонів методи, однак окремо дане питання не розглядалось.

Зважаючи на те, що в метеорології нема єдиного підходу до розуміння природи циклонів, існуючі методи ідентифікації циклонів використовують різні величини, що характеризують стан атмосфери. Серед них присутні приземний тиск, його градієнт [1], відносний вихор швидкості вітру [2], висота ізобаричних поверхонь АТ1000 [3] і АТ850 [4], а також лапсасіана геопотенціалу [5, 6]. Також сильно варіюють критерії ідентифікації циклонів. При використанні приземного тиску критерієм може виступати поєднання мінімального тиску та максимального його лапсасіана чи градієнта, або висока (>10 м/с) швидкість приземного вітру. Окремо виділяється група методів, в яких кожен вузол регулярної сітки розглядається як “кандидат” на роль центра циклону шляхом порівняння значення певних величин в ньому з відповідними значеннями в сусідніх вузлах сітки. Також для кожного методу встановлені конкретні умови, за яких попередньо встановлений центр циклону може бути вилучений з 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 [7].

Загальною проблемою розроблених методів є складність встановлення єдиних критеріїв, що задовольняли б усі випадки, а саме величини тиску, баричного градієнта, завихреності, лапласіана тиску в центрі циклона, його просторову конфігурацію тощо. Встановлені ж для даних методів критерії найкраще описують класичні циклони помірних широт, що мають чітко окреслені, геометрично правильні концентричні ізобари. За таких умов ідентифікація малорухомої циклонічної 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. Це, в свою чергу, може призвести до труднощів у подальшій побудові траєкторій БУ. Також така процедура ідентифікації більш ресурсоємна у зв'язку з розрахунком похідних від тиску величин.

В даному контексті найбільш перспективними постають методи, в яких циклон ідентифікується не шляхом встановлення його центру, а шляхом виділення в полі тиску ізольованих областей низького тиску [8].

Такими ж різноманітними є і методи об'єднання виділених центрів баричних утворень у траєкторії. Найбільш широко застосовується метод "найближчого сусіда" в його класичному розумінні. Пошук "сусіда" проводиться в обмеженій частині простору навколо останньої точки траєкторії циклону, розмір якої може мати радіус 600-800 км, 10° широти та довготи або площею певного розміру, найчастіше 200 тис. км² [9].

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

При виконанні дослідження було використано дані проекту NCEP/NCAR Reanalysis II, а саме поля приведені до рівня моря атмосферного тиску, а також геопотенціалу на ізобаричних поверхнях 850, 700 та 500 гПа в Євроатлантичному секторі Північної півкулі (90° зх. д. - 180° сх. д., 90-20° пн. ш.) у вузлах регулярної сітки розмірністю 2,5° з часовим інтервалом 6 годин.

При виконанні дослідження застосовувалось комп'ютерне програмування, використовувались методи динамічної метеорології та чисельного моделювання. Отримані результати візуалізовані за допомогою карт.

Розрахункова частина дослідження реалізована на платформі Microsoft.NET за допомогою середовища Microsoft Visual Studio 2015 Community Edition з використанням мови програмування C#.

мування C#.

Для побудови карт використовувався пакет програм Golden Software Surfer 11.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Комплексна методика тривимірної ідентифікації БУ передбачає декілька етапів:

- ідентифікація осередків високого та низького тиску у приземному полі та на ізобаричних поверхнях 850, 700, 500 гПа;
- формування вертикальної структури окремого БУ на основі центрів циклонів та антициклонів, ідентифікованих на різних рівнях;
- відстеження переміщення БУ та його еволюційних змін з часом.

4.1 Ідентифікація осередків високого та низького тиску у приземному полі та на ізобаричних поверхнях

Для ідентифікації осередків високого та низького тиску у приземному полі та на ізобаричних поверхнях розроблено універсальний метод, однаково ефективний незалежно від типу осередка, що ідентифікується, інтенсивності, поточного сезону року та положення відносно інших осередків. Особливості методу будуть описані для випадку ідентифікації осередку низького тиску у приземному полі. Всі положення, викладені нижче, справедливі і для ідентифікації осередків низького геопотенціалу на ізобаричних поверхнях; для ідентифікації осередків високого тиску та геопотенціалу справедливі обернені положення.

Ідентифікації осередків низького тиску у приземному полі передбачає виділення ізольованих областей низького тиску або геопотенціалу шляхом ітераційної фільтрації вузлів регулярної сітки. Спочатку визначається мінімальне та максимальне значення тиску у 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 тиску. Після цього з поля тиску, що розглядається, відбираються ті вузли, в яких тиск менший за реперний.

В результаті формується масив, що містить у собі інформацію про широту, довготу та тиск в таких вузлах. Надалі цей масив розділяється на окремі кластери, в кожен з яких входять тільки ті вузли, що безпосередньо прилягають один до одного. Кожен такий кластер є набором вузлів, що знаходяться всередині певної замкнутої ізобари та ізольовані від решти відібраних вузлів.

Всередині кожного кластеру визначається ву-

зол з мінімальним тиском та вузол, що є його геометричним центром точок. Геометричний центр кластера визначається шляхом пошуку вузла в ньому, сума відстаней від якого до інших точок кластера мінімальна. На цьому етапі виділеними виявляються лише осередки низького тиску, інтенсивність яких максимальна для даного поля. Тому реперне значення тиску збільшується на 5 гПа і процедура повторюється. При цьому, починаючи з другого кроку ітерації, проводиться відсіювання тих вузлів сітки, які прилягають до вузлів, використаних на попередньому кроці. Це запобігає повторній ідентифікації раніше виділених осередків низького тиску та суттєво скорочує затрати часу на обробку всього поля. Дана процедура повторюється доти, доки реперне значення тиску не перевищує максимальне для даного поля.

Ідентифікація осередків високого тиску виконується у зворотному напрямі – визначається максимальне реперне значення тиску, яке ітераційно зменшується до 1020 гПа. На ізобаричних поверхнях ітераційна фільтрація здійснюється для усіх (від мінімального до максимального) значень реперного геопотенціалу; крок ітерації для ізобаричних поверхонь становить 4 гп дам.

При розробці методу велика увага приділялась швидкості виконання усіх етапів процедури ідентифікації, з яких найбільш тривалою є процедура кластеризації відібраного масиву вузлів сітки на одному рівні. При об'ємі масиву більше 500 вузлів його обробка може тривати від 5 до 30 секунд, що є неприйнятним при обробці великих часових періодів. Для скорочення витрат часу на процедуру кластеризації перед її початком проводиться аналіз масиву відібраних вузлів і з нього вилучаються ті, які безпосередньо прилягають до тих вузлів, які були відібрані на попередніх рівнях (Рис. 1а-в). Це дозволяє скоротити витрати часу на обробку одного поля до 1 секунди, завдяки чому з'являється можливість відносно швидко обробляти великі масиви даних навіть на малопродуктивних обчислювальних машинах. Результати ідентифікації зберігаються в реляційній базі даних. База даних складається з уніфікованих таблиць, кожна з яких містить інформацію про осередки, ідентифіковані в певний строк, а саме:

- тип осередка,
- екстремальне значення тиску або геопотенціалу в центрі осередка,
- широта та довгота геометричного центру осередка та вузла з мінімальним (максимальним) тиском (геопотенціалом).

4.2 Побудова вертикальних профілів БУ

У попередньому розділі термін "осередок" вживався не випадково. Згідно класифікації БУ виділяються ті, що простежуються в нижніх шарах тропосфери, але відсутні у більш високих її шарах, і навпаки. Тому не можна зробити однозначний висновок про відповідність замкнутої області низького чи високого тиску або геопотенціалу дійсному циклону чи антициклону виключно на основі аналізу баричного поля лише на одному рівні. Для розуміння повної картини стану атмосфери в даний момент необхідно мати уявлення не тільки про взаєморозташування БУ, а й про їхню вертикальну структуру. Тому поняття "баричне утворення", "циклон" та "антициклон" можуть бути введені лише після побудови та аналізу вертикального профілю конкретного БУ.

Побудова вертикальних профілів баричних утворень проводиться з використанням характеристик осередків високого чи низького тиску або геопотенціалу, які були встановлені на попередньому етапі ідентифікації. На вході алгоритм побудови профілю баричного утворення отримує масив, який містить відсортовані за рівнями характеристики осередків. Геометричний центр осередку, ідентифікованого у приземному полі стає першою точкою профілю, після чого послідовно на всіх наступних рівнях починається пошук геометричного центру осередку, який знаходиться на наступному за висотою рівні в радіусі не більше 1000 км від попередньої точки вертикального профілю. На виході алгоритм побудови профілів формує масив даних з характеристиками кожного профілю, а саме його тип (циклональний або антициклональний), географічні координати та значення тиску або геопотенціалу в кожній точці профілю, кількість рівнів, які охоплює профіль та осереднені по профілю географічні координати, що характеризують загальне положення БУ. Задля уникнення переповнення бази даних зберігаються характеристики тільки тих профілів, що охоплюють два і більше рівнів.

4.3 Побудова траєкторій БУ

Важливою характеристикою кожного БУ є тривалість періоду його існування та особливості переміщення впродовж нього. Тому для вирішення таких задач синоптичної практики як, наприклад, побудова збірно-кінематичних карт природних синоптичних періодів, необхідною є побудова траєкторій переміщення БУ.

Для побудови траєкторій використано метод найближчого сусіда в класичному його розумінні.

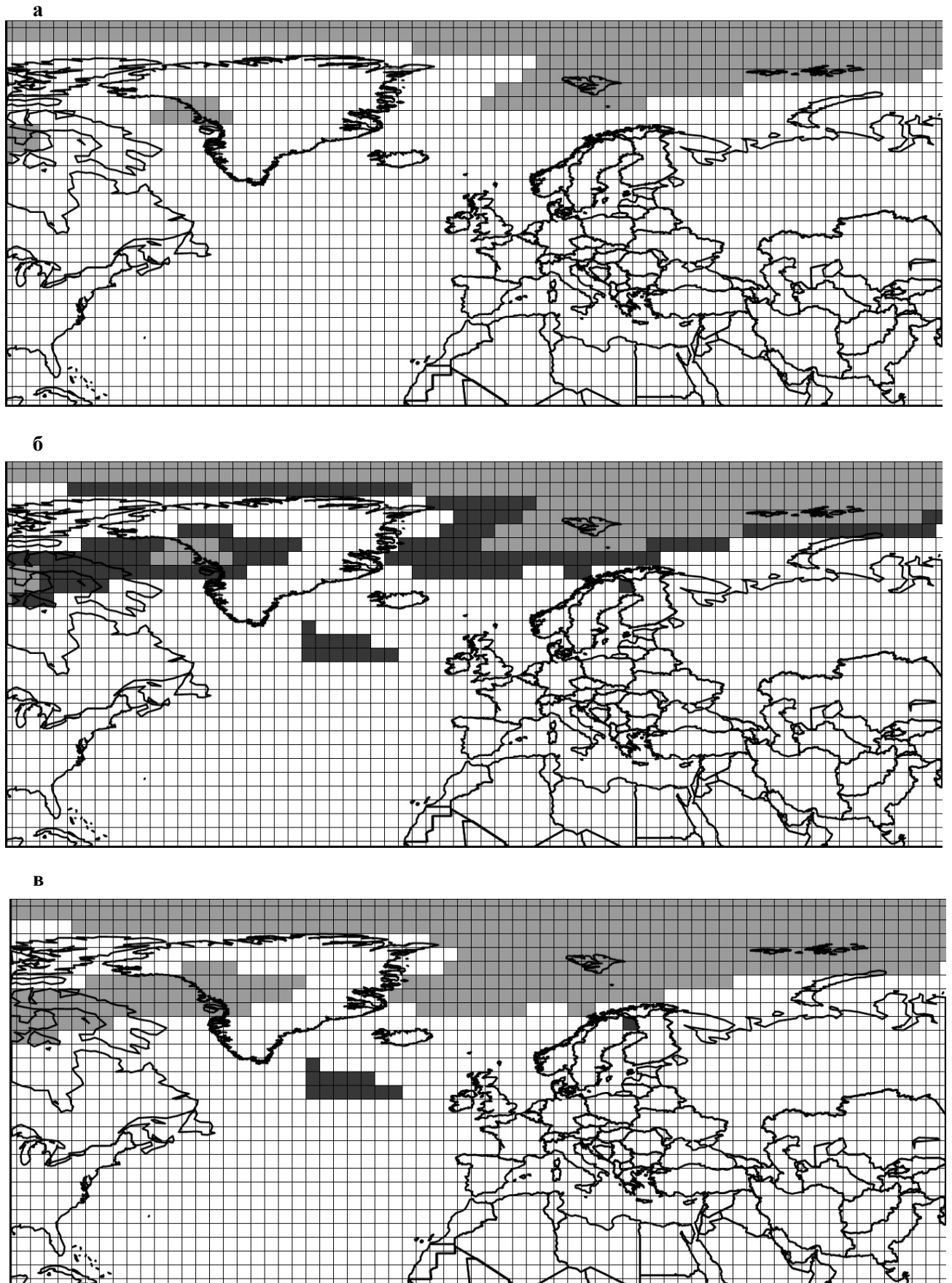


Рис. 1 – Стадії процесу кластеризації вузлів регулярної сітки

Згідно цього методу ланкою траєкторії може бути тільки та точка, абсолютна відстань від якої до попередньої і наступної ланок траєкторії мінімальна з усіх можливих. У застосуванні до побудови траєкторій БУ точками траєкторій виступають осереднені по профілю положення БУ, отримані на попередньому етапі ідентифікації. Максимально допустима відстань між середніми положеннями БУ, які можуть бути об'єднані в одну траєкторію, становить 700 км. Така відстань відповідає середній швидкості переміщення БУ за минулі 6 годин близько 110 кілометрів за годину, що перевищує фактичні швидкості руху циклонів та антициклонів, а відтак виключається можливість розриву траєкторії БУ, що швидко рухається. Також при побудові траєкторії циклонів, починаючи з її другої ланки, враховується напрям його переміщення відносно попереднього кроку. Якщо ці напрями є протилежно спрямованими, дана точка не включається до траєкторії, але її побудова не переривається. Натомість максимально допустима відстань між ланками траєкторії збільшується в 1,5 рази і пошук центра циклону, що задовольнив би умови побудови траєкторії, проводиться серед центрів циклонів наступного строку. У випадку відсутності такого центра побудова траєкторії переривається остаточно. Детальні та інтегральні характеристики,

побудованих у такий спосіб траєкторій, заносяться до бази даних. Ігноруються БУ, тривалість існування яких становить менше 24 годин.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінка точності запропонованого методу ідентифікації проводилась шляхом візуального контролю відповідності ідентифікованих центрів осередків областям низького та високого тиску і геопотенціалу, представлених на картах приземного тиску та абсолютної баричної топографії за 2015 рік, які побудовані на основі тієї ж вихідної інформації, що використовується при ідентифікації. Виходячи з принципу, закладеного в метод ідентифікації, його точність має наближатись до 100%. Однак в процесі апробації методики було встановлено, що у випадках, коли у сітці наявні одиничні вузли, навколо яких, згідно правил проведення ізольній, можна окреслити замкнуту ізобару або ізогіпсу, має місце надлишкова ідентифікація центрів осередків високого та низького тиску або геопотенціалу. Оскільки карти для процедури верифікації будуються з попередньою адаптацією прямокутної сітки до конічної проєкції, такі одиничні вузли (особливо у полярних регіонах) можуть бути взагалі не відображені на карті. Тому фактична точність методу ідентифікації становить 98,2 % (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Точність ідентифікації центрів осередків низького (Ц) та високого (АЦ) тиску та геопотенціалу у полі приземного тиску та на ізобаричній поверхні АТ850.

Місяць	Приземний шар				АТ850			
	Ц		АЦ		Ц		АЦ	
	Всього	Зайві	Всього	Зайві	Всього	Зайві	Всього	Зайві
1	1020	48	1201	90	953	7	572	3
2	929	17	1235	51	954	9	494	7
3	979	38	1057	70	981	6	610	6
4	1061	60	919	74	1061	8	601	5
5	1408	89	644	46	1253	10	626	5
6	1181	40	563	41	1136	13	653	11
7	1222	58	490	27	1127	13	675	6
8	1126	28	740	29	1193	20	727	9
9	1072	43	820	39	1072	3	719	3
10	1116	15	951	23	1060	13	753	2
11	880	29	1026	31	856	11	633	12
12	844	45	1208	74	822	11	617	11
Сума	12838	510	10854	595	12468	124	7680	80
Точність, %	96.2		94.8		99.0		99.0	

Таблиця 2 – Точність ідентифікації центрів осередків низького (Ц) та високого (АЦ) геопотенціалу на ізобаричних поверхнях АТ700 та АТ500.

Місяць	АТ700				АТ500			
	Ц		АЦ		Ц		АЦ	
	Всього	Зайві	Всього	Зайві	Всього	Зайві	Всього	Зайві
1	731	2	320	5	746	7	207	1
2	815	11	296	4	866	7	203	1
3	770	9	342	2	781	7	173	1
4	904	9	371	5	859	8	211	0
5	1059	15	392	2	1061	11	246	3
6	981	9	514	2	989	9	457	5
7	1004	9	613	4	985	9	569	1
8	1037	8	626	2	1033	11	573	5
9	888	7	560	1	856	2	351	2
10	857	8	485	0	854	5	324	1
11	727	15	397	4	808	21	271	9
12	761	8	374	6	825	8	190	3
Сума	10534	110	5290	37	10663	105	3775	32
Точність, %	99.0		99.3		99.0		99.2	

Разом з тим, дана похибка ідентифікації не здатна вплинути на результати, які отримуються на етапі побудови вертикального профілю баричного утворення та його траєкторії.

Завдяки модифікаціям, внесеним у метод найближчого сусіда, стало можливим коректно розділяти циклони, які швидко рухаються, заповнюються і поглиблюються на невеликій відстані один від одного. Без використання таких доповнень ймовірним стає об'єднання двох різних циклонів в одну траєкторію, що спотворює загальну картину циркуляції атмосфери та вносить похибку в характеристики циклонічної та антициклонічної діяльності.

6. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропонована методика ідентифікації БУ має високу точність, що у поєднанні з невеликими витратами часу на виконання робить її високоефективним інструментом структуризації нижньої та середньої тропосфери. Побудова траєкторій баричних утворень за тривалі проміжки часу дозволяє відстежувати їх впродовж всього періоду існування та отримувати їхні детальні характеристики на різних етапах розвитку. Розроблена методика буде використана при створенні автоматизованої системи побудови збірно-кінематичних карт природних синоптичних процесів та моніторингу розвитку атмосферних процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Leckebusch G. C., Koffi, B., Ulbrich, U., Pinto J. G., Spanghel T., Zacharias S. 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. *Climate Research*, 2006, vol. 31, pp. 59–74.
2. Benestad R. E., Chen D. The use of a calculus-based cyclone identification method for generating storm statistics. *Tellus*, 2006, vol. 58A, pp. 473–486.
3. Blender R., Schubert M. Cyclone tracking indifferent spatial and temporal resolutions. *Monthly Weather Review*, 2000, vol. 128, pp. 377–384.
4. Hewson T. D., Tittley H. A. Objective identification, typing and tracking of the complete life-cycles of cyclonic features at high spatial resolution. *Meteorological Applications*, 2010, vol. 17, pp. 355–381.
5. Trigo R. M. Klaus – An exceptional winterstorm over northern Iberia and southern France. *Weather*, 2011, vol. 66, pp. 330–334.
6. Kew S. F., Sprenger M., Davies H. C. Potential vorticity anomalies of the lower most stratosphere: A 10-yr winter climatology. *Monthly Weather Review*, 2010, vol. 138, pp. 1234–1249.
7. Pinto J. G., Spanghel T., Ulbrich U., Speth P. Sensitivities of a Cyclone Detection and Tracking Algorithm: Individual Tracks and Climatology. *Meteorologische Zeitschrift*, 2005, vol. 14, no 6, pp. 823–838.
8. Балабух В. О. Об'єктивна ідентифікація баричних систем синоптичного масштабу // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія. 2005. № 51. С. 49–50.
9. Neu U. et al. MILAST: A Community Effort to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms. *American Meteorological Society*, 2013, vol. 94, № 4, pp. 529–547.

REFERENCES

1. Leckebusch G. C., Koffi, B., Ulbrich, U., Pinto J. G., Spanghel T., Zacharias S. 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. *Climate Research*, 2006, vol. 31, pp. 59–74.
- Benestad R. E., Chen D. The use of a calculus-based cyclone identification method for generating storm statistics. *Tellus*, 2006, vol. 58A, pp. 473–486.
 - Blender R., Schubert M. Cyclone tracking indifferent spatial and temporal resolutions. *Monthly Weather Review*, 2000, vol. 128, pp. 377–384.
 - Hewson T. D., Tittley H. A. Objective identification, typing and tracking of the complete life-cycles of cyclonic features at high spatial resolution. *Meteorological Applications*, 2010, vol. 17, pp. 355–381.
 - Trigo R. M. Klaus – An exceptional winterstorm over northern Iberia and southern France. *Weather*, 2011, vol. 66, pp. 330–334.
 - Kew S. F., Sprenger M., Davies H. C. Potential vorticity anomalies of the lower most stratosphere: A 10-yr winter climatology. *Monthly Weather Review*, 2010, vol. 138, pp. 1234–1249.
 - Pinto J. G., Spanghel T., Ulbrich U., Speth P. Sensitivities of a Cyclone Detection and Tracking Algorithm: Individual Tracks and Climatology. *Meteorologische Zeitschrift*, 2005, vol. 14, no 6, pp. 823–838.
 - Balabukh V. O. Objective identification of synoptic-scale baric systems. *Visn. Kyiv. nats. un-tu im. Tarasa Shevchenka. Seriya: Heohrafiya – Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv Bulletin. Ser.: Geogr.*, 2005, no 51, pp. 49–50. (In Ukrainian)
 - Neu U. et al. MILAST: A Community Effort to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms. *American Meteorological Society*, 2013, vol. 94, № 4, pp. 529–547.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ В НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ

Е. В. Самчук, мл. науч. сотр.

Український гідрометеорологічний інститут, пр. Науки, 37, 03028, Київ, Україна, evhen.samchuk@gmail.com

Проанализированы существующие подходы к идентификации и трекингу барических образований в нижней и средней тропосфере. Разработана комплексная методика идентификации барических образований путем поэтапной идентификации очагов высокого и низкого давления в приземном поле и геопотенциала на стандартных изобарических поверхностях. Усовершенствован метод ближайшего соседа для построения траекторий барических образований за весь период их существования. Разработана автоматизированная система идентификации барических образований на территории Северного полушария. Создана база данных барических образований, существовавших на территории Северного полушария за период 1976-2016 годы.

Ключевые слова: объективная идентификация, барическое образование, циклон, антициклон, реанализ, траектория, программное обеспечение.

SPATIAL AND TEMPORAL IDENTIFICATION OF BARIC SYSTEMS IN LOW TROPOSPHERE AND MIDL TROPOSPHERE

E. V. Samchuk, JRF

Ukrainian hydrometeorological institute, Nauky av., 37, 03028, Kyiv, Ukraine, evhen.samchuk@gmail.com

According to the terms of synoptic meteorology baric systems of low troposphere and midtroposphere are the main objects for research of large-scale circulation processes. Therefore, knowledge of their typical places of origin, their movement and characteristics is extremely critical.

The purpose of this publication consists in analyzing existing methods and algorithms used for identification and tracking of baric systems in low troposphere and midtroposphere. This will allow for distinguishing the most output data and methods for further usage.

Results. A unified methodology for identification and tracking of baric systems was developed. It is based on a step-by-step identification of isolated clusters of low and high pressure or geopotential height throughout the entire depth of low and middle troposphere from a ground level to a 500 hPa isobaric level. Centers of clusters on different levels over a specific period of time are integrated in a single vertical profile which represents a certain baric system. Tracking of baric system movement is conducted using the method of the nearest neighbor which was improved to ensure more accurate detection of fast-moving and short-living cyclones. A software application for automatic identification of baric systems in the Northern Hemisphere and generation of sets of kinematic maps of natural synoptic periods was developed. A database of baric systems which existed in the Northern hemisphere during 1976-2016 was also created.

Keywords: identification of objects, baric system, cyclone, anticyclone, reanalysis, trajectories, software.

Дата першого подання.: 02. 02. 2017

Дата надходження остаточної версії : 07. 03. 2017

Дата публікації статті : 29. 06. 2017