УДК 551.589.6:551.515.7:551.50

Самчук Є.
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАРИЧНИХ ІНДЕКСІВ АТМОСФЕРНОГО БЛОКУВАННЯ

Ключові слова: *атмосферне блокування, баричні індекси блокування*

Вступ. Клімат Європи та України, зокрема, визначається атмосферною циркуляцією, насамперед західним перенесенням повітряних мас. Однак за певних умов воно порушується тривалими періодами атмосферного блокування, що здатне на тривалий час переривати домінуючий західний потік і, як наслідок, послаблювати циклонічну діяльність. Циклонічна діяльність в помірних широтах Північної півкулі є основним механізмом перенесення атмосферної вологи, а також забезпечує міжширотний обмін повітря. Тому будь-які порушення у режимі циклонічної діяльності на території Європи, відповідно, призводить до встановлення режиму погоди, нехарактерного для даної території в даний час.

Тема атмосферного блокування в метеорології та кліматології не є новою. Вперше саме поняття про блокінги згадується у роботі американського вченого Едварда Геріота у 1904 році [1]. У 1950 році було сформульовано перше визначення феномену атмосферного блокування [2]. Однак не зважаючи на тривалий період вивчення та велику кількість проведених досліджень, в рамках даної проблеми лишається значна кількість невирішених питань. Це стосується ,зокрема, індексів, за допомогою яких ідентифікується наявність атмосферного блокування. В поєднанні з тим фактом, що існуючі гідродинамічні моделі незадовільно прогнозують блокуючі процеси, атмосферне блокування постає як потужний чинник формування погоди, що вимагає детального вивчення.

Метою даної публікації є аналіз ефективності застосування баричних індексів блокування, виявлення їхніх переваг та недоліків, а також вибір найбільш ефективного з них для використання у подальших дослідженнях.

Виклад основного матеріалу. Перший баричний індекс блокування було розроблено шведськими науковцями Леєнасом та Оклендом у 1982 році [3]. Вказаними авторами було сформульовано основні ознаки, за якими можна ідентифікувати епізод блокування, такі як :розділення струминної течії західного переносу на дві гілки, простягання такого розділення щонайменш на 40° довготи, збереження такого розділення впродовж 10 днів і більше.

Обрані ознаки епізоду блокування цілком обґрунтовані, однак розробка алгоритму ідентифікації епізодів блокування, який би повністю слідував вказаним ознакам, і перенесення його на ЕОМ на той час була непростою задачею. Тому було вирішено в якості критерію використати різницю геопотенціальної висоти ізобаричної поверхні 500 гПа на широті 40° та 60° північної широти:

$$LO = Z(40) - Z(60) \quad \textbf{(1)}$$

Згідно цього критерію на певній довготі ідентифікується блокування, якщо ця різниця від'ємна (LO<0). Не зважаючи на суттєві спрощення при переході від ознак до робочого алгоритму розрахунку, такий підхід теоретично виправданий. Меридіональні профілі H_{500} за наявності блокування у середніх широтах, та без

нього суттєво відрізняються. У першому випадку на профілі максимум припадає на широтну зону 55-65°пн.ш., в той час як за відсутності блокування в цій широтній зоні відбувається поступове безперервне зростання H_{500} в напрямку до низьких широт. Така форма профілю, що спостерігається під час блокування, вказує на наявність тут області високого геопотенціалу. При цьому розуміється наявність саме антициклону, на що вказує частковий мінімум в зоні 40-45° пн .ш. Таким чином, отримання різниці H_{500} на цих двох широтах здатне вказати на наявність у помірних широтах антициклону. В поєднанні з вимогами до тривалості та просторового поширення, цей індекс є найпростішим інструментом ідентифікації атмосферного блокування.

Методика, описана вище, була вдосконалена у [4]**.** За основоположним ознаками блокування цей індекс дуже схожий на індекс Леєнаса-Окленда, хоча і має деякі відмінності, про що буде згадано нижче. Процедурно цей індекс більш складний – він оперує не абсолютними значеннями, а її градієнтами на широтах 50° та 70° пн.ш.:

$$G(50) = \frac{Z(\varphi_0) - Z(\varphi_s)}{\varphi_0 - \varphi_s}, \qquad \textbf{(2)}$$

$$G(70) = \frac{Z(\varphi_n) - Z(\varphi_0)}{\varphi_n - \varphi_0}, \qquad \textbf{(3)}$$

де $\varphi_0 = 60° + \Delta$; $\varphi_n = 80° + \Delta$; $\varphi_s = 40° + \Delta$; $\Delta = -5; 0; 5°$ **.**

Блокування ідентифікується у випадку, коли при будь-якому значенні ΔG(50)>0, а G(70) < -10 м/1° широти. Градієнт геопотенціалу на широті 50° пн.ш. аналогічний індексу Леєнаса-Окленда; додатне його значення означає ріст геопотенціалу у напрямку до високих широт. Граничне значення градієнта геопотенціалу на широті 70° пн.ш. передбачає дуже швидке зменшення значень H_{500} у напрямі до полюса. При розробці цього індексу було переглянуто вимоги до тривалості та просторового поширення блокування, що і є його ключовою відмінністю від індексу Леєнаса-Окленда. Тепер епізод блокування має тривати всього 4 дні та поширюватись лише не 12° довготи. Оскільки градієнти H_{500} розраховуються не лише на широтах 50° та 70°, а й в їхньому околі на ±5° широти, проміжним результатом є вже не одна, а три діаграми блокування. Оскільки достатньою умовою для встановлення факту блокування на певній довготі є відповідність величин G(50) та G(70) встановленим критеріям хоча б при одному з трьох можливих значень Δ, три діаграми об’єднуються в одну шляхом накладання.

В [5] зроблено спробу відійти від основоположного підходу двох попередніх методик, а саме використання жорсткої широтної прив’язки. Це відповідає середньому за тривалий проміжок часу стану атмосфери, однак не враховує сезонні особливості циркуляції атмосфери, особливо в окремих географічних регіонах. Було введено аналіз сезонних особливостей блокуючих утворень у Північній півкулі з розділенням її на декілька географічних регіонів. Для кожного з них із урахуванням сезону встановлено так звану “показову широту”, яка закладена у індекс блокування, що розраховується наступним чином:

$$BI(\lambda,\varphi,t) = h(\lambda,\varphi_r,t) - h(\lambda,\varphi,t), \text{ коли } h(\lambda,\varphi_r,t) < h(\lambda,\varphi,t),\ \varphi_r < \varphi;$$
$$BI(\lambda,\varphi,t) = 0, \text{ коли } h(\lambda,\varphi_r,t) > h(\lambda,\varphi,t),\ \varphi_r > \varphi, \qquad \textbf{(4)}$$
$$BI(\lambda,t) = \min[BI(\lambda,\varphi,t)],$$

де t – момент часу (день), φ – географічна широта, φ_r – показова широта, λ – географічна довгота.

Такий підхід дозволяє врахувати значення H_{500}в усіх вузлах розрахункової сітки, що лежать на даній довготі на північ від показової широти. За кінцеве значення індексу блокування для певної довготи приймається мінімальне значення індексу з числа розрахованих для усіх широт φ. Епізодом вважається блокування зони шириною 15° довготи впродовж 4 днів та більше.

Порівняння результатів, отриманих за різними індексами блокування мало на меті встановити узгодженість загальної кількості виділених епізодів блокування виділених за допомогою різних індексів, дат їхнього початку і закінчення, тривалості та просторового поширення. Перш за все, треба зазначити, що результати, отримані за індексами LO та TM, виявились абсолютно ідентичними. Тому в подальшому аналізі розглядати результати цих двох індексів окремо один від одного немає необхідності. Подальше порівняння буде стосуватись індексів TM та BI.

Метою співставлення вибірок епізодів блокування, отриманих за кожним з індексів, було встановлення числа епізодів, виявлених обома індексами; числа епізодів, які були пропущені одним з індексів, але були виявлені іншим; числа епізодів, які були виділені помилково. Під помилковим виділення епізоду блокування розуміється виділення часового проміжку, на якому індексом процедурно було виявлено наявність блокування, в той час як середня карта цього періоду вказує на його відсутність. Такі випадки зумовлені неправильною роботою алгоритмів індексів, про що детальніше буде сказано далі.

Результати порівняння ефективності застосування обох індексів наведено у таблиці 1. Як бачимо, індекс BI при обробці того ж часового проміжку ідентифікував на 35% більше епізодів блокування, ніж індекс TM; кількість помилково виділених епізодів менше у 2 рази, пропущених – у 2,5 рази.

Таблиця 1. **Порівняння ефективності застосування індексівTM та BI**

Індекс	Загальна кількість виділених епізодів	Помилково виділені епізоди		Пропущені епізоди		Обсяг вибірки, років
		кількість	%	кількість	%	
TM	40	12	30	24	60	27
BI	54	6	11	10	19	27

Найбільш помітною відмінністю між характеристиками виділених індексами епізодів блокування те, що навіть у випадках, коли індекси ідентифікують одні й ті ж епізоди блокування, повного узгодження їхніх часових рамок нема. Індекс BI в даному відношенні чіткіше виявляє часові межі епізодів блокування – вони ширші на 1-2 дні. Про це також свідчить і те, що середня тривалість епізодів блокування, встановлених за індексом BI складає 7 днів; в той же час аналогічний показних для індексу TM складає всього 5 дні.

Помилкові результати обох індексів особливо важливі з методичної точки зору для розуміння їхніх недоліків. Спільним недоліком для обох індексів є підхід до виявлення блокування на певній довготі шляхом розрахунку різниці геопотенціалу на двох широтах. Спільний для обох індексів недолік проявляється на рівні року у випадку індексу TM та на рівні окремих місяців у випадку індексу BI. Такий підхід фактично ігнорує меридіональний профіль геопотенціалу, що створює умови як для помилкового виділення епізодів блокування, так і для ігнорування індексом фактичних епізодів блокування. Тому всі помилкові результати цього

індексу виникають в тих ситуаціях, коли додатне значення G(50) виникає не за рахунок існування у помірних широтах високого стаціонарного антициклону, а за рахунок розташування глибокого циклону над півднем Європи та малопотужного антициклона або смуги високого тиску над Північною Європою. В цьому випадку додатні значення G(50) формуються більше за рахунок низьких значень H_{500} у циклоні, аніж за рахунок високих значень H_{500} у антициклоні. В окремих випадках взагалі не простежується присутності замкнутої антициклональної області – південний циклон просто знаходиться всередині поля більш високого H_{500}. Ця ситуація подібна тій, коли формується подвійна система циклон-антициклон з рівнозначними складовими. Але в даному випадку кардинальною відмінністю є однозначна домінуюча роль циклона, який є значно більш вираженим та інтенсивним.

Аналіз результатів, отриманих за згаданими індексами, вказує на те, що найбільш ефективним виявився індекс BI. Його використання дозволяє ідентифікувати епізоди блокування з меншими похибками, а також чіткіше виділяти їхні часові межі.

В процесі побудови середніх карт епізодів блокування за індексом BI було відмічено ознаку, характерну для атмосферного блокування у середніх широтах: в зонах блокування відмічається різке зміщення положення висотної фронтальної зони (ВФЗ) на північ. Відповідно, впродовж всього епізоду блокування конфігурація ВФЗ матиме характерну конфігурацію: зберігаючи широтне або квазіширотне простягання поза межами блокінгу у типових широтних межах, вона різко зміщується на північ всередині самої зони блокування. Зміщення ВФЗ може сягати 15-20° широти на відрізку всього 5-10° довготи. Слід одразу відзначити, що найбільш яскраво зміщення ВФЗ відбувається на західній периферії зони блокування. На східній периферії зони блокування відновлення нормального положення ВФЗ відбувається більш плавно на відрізку вже 15-20° довготи. Однак, не дивлячись на таку асиметрію, зміщення ВФЗ в зоні блокування є стійкою ознакою його наявності. Відстеження таких різких коливань положення ВФЗ теоретично дає можливість виявляти не лише замкнуті блокуючі утворення – антициклони – а й гребені, які також виступають у ролі блокуючих баричних утворень, хоча в світовій науковій практиці і не визнаються такими через невідповідність класичному визначенню блокування.

На основі викладеного вище було запропоновано новий індекс атмосферного блокування (індекс широтного зміщення, ІШЗ), в якому зона блокування виділяється як довготна зона, в межах якої у напрямі з заходу на схід відмічається спочатку різке зміщення ВФЗ на північ, а потім поступове відновлення її нормального положення. Відтак під епізодом блокування розуміється часовий проміжок тривалістю 4 дні і більше, впродовж якого в одній і тій же довготній зоні ідентифікується така зона блокування шириною не менше 35° довготи. Вхідною інформацією для проведення розрахунків за даною методикою є щоденні поля геопотенціалу на ізобаричній поверхні 500 гПа, аналогічні тим, що використовуються у інших баричних індексах. Залучення методів комп'ютерного програмування дозволило швидко розробити програмне забезпечення для автоматизації процесу ідентифікації епізодів блокування та представлення результатів у наочній формі. Для виконання розрахунків за цією методикою було розширено просторові межі області розрахунку: якщо в перших двох методиках охоплювалась територія від Гринвіцького меридіана до Уральських гір, то тепер додається область від Гринвіцького меридіана до 40° західної довготи. Такий вибір пояснюється тим, що широтне зміщення ВФЗ часто розпочинається ще до

перетину ВФЗ Гринвіцького меридіана, тому використання старих меж може негативно вплинути на кінцеві результати.

Ідентифікацію епізодів блокування пропонується проводити в три послідовні етапи: визначення широтного положення ВФЗ, виділення випадків широтного зміщення ВФЗ на північ від типового положення, очистка отриманих результатів за часовою та просторовою ознакою. Процедура розбита на три етапи не тільки структурно, але і процедурно: кожен етап виконується окремим програмним модулем модуль розробленого для реалізації розрахункової частини індексу програмного забезпечення. Це зроблено з метою забезпечення можливості здійснювати критичний контроль проміжних результатів, своєчасне виявлення помилок у роботі програмного забезпечення на етапі налагодження та тестування.

Алгоритм визначення широтного положення ВФЗ наступний. Перший програмний модуль вичленує з щоденних полів геопотенціалу ізобаричної поверхні 500 гПа меридіональні профілі вздовж кожного меридіану області розрахунку з кроком 5° довготи; всього їх 26. В кожному профілі в тій його частині, що припадає на широтну зону від 75 до 50° пн.ш. проводиться розрахунок різниці значень H_{500} між парами сусідніх вузлів регулярної сітки. Оскільки сітка рівномірна по всьому профілю, отримана різниця dh дає значення градієнту H_{500}. Так як ВФЗ характеризується великими значеннями градієнтів геопотенціалу, найбільше абсолютне значення величини dh в профілі вкаже на положення ВФЗ в даному меридіональному перерізі. Проміжним результатом на першому етапі є двомірний масив, кожне значення якого вказує широту, на якій в кожен конкретний день і в конкретній меридіональній зоні відмічаються найбільші значення градієнта H_{500}, а відтак і положення ВФЗ.

Другий програмний модуль проводить аналіз згаданого вище масиву значень широт положення ВФЗ з метою виявлення випадків її різкого широтного зміщення. Аналіз розпочинається із західної межі області розрахунку, а саме з 40° зх. д. і просувається на схід. Якщо різниця широт положення ВФЗ між двома сусідніми меридіанами становить 10° широти та більше, більш східний меридіан з цієї пари ідентифікується як західна межа зони блокування. Всі наступні меридіональні зони зараховуються до зони блокування доти, доки не буде відмічено зворотне зміщення положення ВФЗ на південь на 5° широти на відрізку 5° довготи або 10° широти на відрізку 10° довготи. Безпосередньо у процесі аналізу проводиться також візуалізація отриманих результатів: зони, всередині яких було ідентифіковано широтне зміщення ВФЗ, відмічаються червоним кольором, формуючи діаграму блокування за весь рік, аналогічно до попередніх баричних індексів.

Третій програмний модуль проводить очистку початкової діаграми блокування від тих зон блокування, що не задовольняють вимогам щодо їхнього просторового поширення та тривалості існування. Якщо зона блокування має просторове поширення менше 35° довготи або існує менше 4 днів, вона видаляється. Ті зони блокування, що не були видалені в процесі очистки, потрапляють у кінцеву діаграму блокування.

Описана методика була апробована на масиві з одинадцяти років (2001-2011 рр.). Результати порівняння ефективності застосування обох індексів за вказаний період наведено у табл. 3. Загалом було ідентифіковано 26 епізодів блокування (за індексом ВІ за той же період – 28), з них 7 випадків не були виявлені індексом ВІ, ще 3 виявились помилковими, 4 випадки було пропущено. Як видно з наведених у табл. 2 даних, індекс ІШЗ має показники відсоткової мінливості результатів, які дуже близькі до відповідних значень індексу ВІ.

Таблиця 2. **Порівняння ефективності застосування індексів ВІ та ІШЗ**

	Загальна кількість виділених епізодів	Помилково виділені епізоди		Пропущені епізоди		Обсяг вибірки, років
		кількість	%	кількість	%	
ВІ	28	0	0	3	10	11
ІШЗ	26	3	12	4	15	11

Помилкові результати виникали в ситуаціях, коли широтні коливання положення ВФЗ зумовлювались чергуванням гребенів та улоговин, тобто у випадках, коли ВФЗ мала яскраво виражену меридіональну складову, але в гребенях не виникала замкнута антициклональна циркуляція. Пропущені випадки стосуються ситуацій, коли блокуюче утворення мало дипольну структуру, а відтак відбувалось розділення ВФЗ на дві гілки; в таких випадках максимальні градієнти H_{500} не завжди припадають на північну гілку ВФЗ. У зв'язку з цим розрахунковий алгоритм індексу ідентифікує зміщення ВФЗ на південь, що не є критерієм виділення блокування.

Підсумовуючи, можна сказати, що запропонована методика ідентифікації епізодів атмосферного блокування на даному етапі демонструє високий рівень ефективності, однак потребує подальшого вдосконалення та апробації на більших часових масивах.

Висновки. В ході проведення дослідження було створено базу даних щоденних полів геопотенціальної висоти ізобаричної поверхні 500 гПа за період з 1985 по 2011 рік включно. На створеній базі даних було апробовано три баричні індекси блокування (LO, TM та BI) з метою оцінки ефективності їхнього застосування та отримання загального уявлення про їхні переваги та недоліки. За кожним з індексів було створено каталог середніх карт виявлених епізодів блокування та проведено порівняння отриманих результатів.

Аналіз результатів показав, що обрані індекси мають схожі переваги та недоліки. Всі три індекси однаково добре виявляють антициклони, пов’язані зі Скандинавським коливанням, що складають більше 60% вибірки. В той же час через негнучкість алгоритмів розрахунку цих індексів відбувається виділення епізодів, в яких атмосферне блокування було відсутнє, а умови для виділення такого випадку були штучними. Найбільший відсоток помилкових результатів припадає на індекс LO. Простота розрахунків за ним не компенсує велику кількість пропущених та помилково виділених епізодів блокування. Індекс TM, хоч процедурно і більш складний, має ті самі вади і його ефективність спів ставна з ефективністю індексу LO. Найкраще себе показав індекс BI, в якому використовується змінна широтна прив’язка, завдяки чому кількість пропущених та помилково виділених епізодів помітно менша, ніж у попередніх індексів.

Запропоновано новий індекс блокування, заснований на широтному зміщенні висотної фронтальної зони у зонах блокування. Не зважаючи на використання тільки однієї ознаки блокування, результати, продемонстровані індексом на 11-річній вибірці (2001-2011 рр.) по точності зі ставні з результатами індексу B, однак методика потребує подальшого вдосконалення та апробації на більших часових масивах. Розширення набору ознак ідентифікації атмосферного блокування дозволить підвищити ефективність його застосування.

Питання ефективності роботи існуючих індексів блокування також лишається відкритим, оскільки вони використовують занадто формалізований та спрощений підхід до ідентифікації атмосферного блокування. Окрім того, використання даних таких високих рівнів як H_{500} не завжди виправдано з точки зору синоптичної практики. Тому в перспективі індекси блокування мають змістити акцент на

ідентифікацію антициклонів як баричних утворень саме в нижніх шарах атмосфери.

Обрана тема має широкі перспективи подальших досліджень. Вдосконалення запропонованого індексу блокування не тільки сприятиме більш детальному вивченню процесів атмосферного блокування в минулому, а й прогнозуванню їх у майбутньому шляхом застосування його на прогностичних полях тиску чи геопотенціалу. Окрім суто процедурного виділення епізодів блокування становить інтерес синтетичний підхід до прогнозування епізодів атмосферного блокування на основі знань про їхні поля-попередники та характер перебігу процесів блокування за різних умов. Поєднання цих двох підходів дозволить в перспективі покращити прогнозованість епізодів атмосферного блокування.

Список літератури

1. *Garriott EB.* Long-Range Weather Forecasts. U.S. Department of Agriculture, Weather Bureau, Bulletin. № 35--W. B. № 322 / E. B. Garriott. – 1904. **2.** *Rex D. F.* Blocking Action In the Middle Troposphere and its Effect upon Regional Climate. Part I: An Aerological Study of Blocking Action / D.F.Rex // Tellus. – 1950. – Vol. 2, issue 3. – P. 196–211. **3.** *Lejenas H.* Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long series of observational data / H. Lejenas, H. Okland // Tellus. – 1983. – Vol. 35A. – P. 350–362. **4** .*Tibaldi S.* On the operational predictability of blocking / S. Tibaldi, F. Molteni // Tellus. – 1990. – Vol. 42A. – P. 343–365. **5.** *Diao Y.A* New Blocking Index and Its Application: Blocking Action in the Northern Hemisphere / Diao Yina, Jianping Li, Dehai Luo // Journal of Climate. – 2006. – Vol. 19, issue 19. – P. 4819–4839.

Самчук Є.

Порівняльний аналіз ефективності використання баричних індексів атмосферного блокуванн

Проведено виділення епізодів блокування у Євроатлантичному секторі Північної півкулі за трьома баричними індексами блокування. Виділено випадки помилкової ідентифікації епізодів блокування та встановлено причини їх виникнення. Встановлено індекс з найкращою ефективністю ідентифікації атмосферного блокування. Запропоновано індекс блокування власної розробки, в основу якого покладено широтне зміщення ВФЗ у зонах блокування.

Ключові слова: *атмосферне блокування, баричні індекси блокування.*

Самчук Е.

Сравнительный анализ эффективности использования барических индексов атмосферного блокировки

Выделены эпизоды атмосферного блокирования в Евроатлантическом секторе Северного полушария по трем барическими индексами блокировки. Выявлены случаи ошибочной идентификации эпизодов блокировки и установлены причины их возникновения. Определен индекс с лучшей эффективностью идентификации атмосферного блокирования. Предложен индекс блокирования собственной разработки, основанный на широтном смещении ВФЗ в зонах блокировки.

Ключевые слова: *атмосферное блокирование, барические индексы блокирования.*

Samchuk E.

Comparative analysis of baric indices of atmospheric blocking efficiency

Performed identification of atmospheric blocking episodes in Nothern's hemisphere Euroatlantic sector using three blocking indices. Distinguished cases of atmospheric blocking episodes misidentification and specified reasons of if occurrence for each index. Defined index with the best blocking identification efficiency. Developed new blocking index, based on latitudinal displacement of planetary frontal zone in blocked regions.

Keywords: *atmospheric blocking, baric indices of atmospheric blocking.*

Надійшла до редколегії 23.01.2015