

## **Detecting the “creeping” heterogeneity in the series of meteorological elements (on the example of Kyiv meteorological station)**

**Moskalenko S., Manukalo V., Mytnyk T.**

*The instrumental measurements data that carried out at the reference climatic stations of the Hydrometeorological service, have a great importance for monitoring and research of the climate, detection of its natural fluctuations and anthropogenic influences. These data are used to assess meteorological parameters that form climatic characteristics in the surrounding area of the station. Therefore, it is important to periodically verify their representativeness, especially in cases when the stations are located within large urban areas that may affect meteorological conditions.*

*In particular, it is recommended to periodically check the series of meteorological observations for the presence of so-called “creeping” heterogeneity. Under this term we mean the violation of homogeneity in the ranges of measured values due to changes in meteorological conditions under the influence of a large city. Currently, the Hydrometeorological organizations are used the recommendations of the normative document by 1978 for check of the “creeping” heterogeneity. However, these recommendations are not sufficiently clear, without giving detailed examples of calculations.*

*The aim of this article is refinement of recommendations for the assessment of “creeping” heterogeneity in the range of meteorological values.*

*In following research the guidance on a detection of «creeping» heterogeneity in the series of meteorological elements is considered. The sequence of calculations to identify the presence of «creeping» heterogeneity in the series of the average monthly air temperature, water vapor pressure, wind speed and total precipitation for January and July for the period 1981-2010 years on the example of the Kyiv reference climate station as well as the nearest to it Vyshgorod and Boryspil stations is shown.*

**Keywords:** climate monitoring, reference climate station, city’s influence, «creeping» heterogeneity.

**Надійшла до редколегії 27.04.2017**

УДК 551.583

**Заболоцька Т.М., Шпиг В.М.**

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ*

## **КЛІМАТОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІВНІЧНІЙ ПІВКУЛІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ**

**Ключові слова:** індекси циркуляції, зміни клімату, температура повітря.

**Вступ.** Дослідження температурного режиму в різних регіонах світу (з початку систематичних метеорологічних спостережень) вказують на існування коливаний клімату (потепління/похолодання) тривалістю в декілька десятиліть, які мають квазіперіодичний характер й не впливають на хід вікових змін. У ХХ ст. виділяють три періоди зі значними змінами температури: потепління із швидкістю приблизно  $0,94 \cdot 10^{-2}$  °C/рік в 1910-1945 рр., слабе похолодання (менше  $0,05$  °C) в 1946-1975 рр. та інтенсивне потепління із швидкістю  $1,68 \cdot 10^{-2}$  °C/рік з 1976 р. до теперішнього часу [3, 4, 9].

Загалом, за останні майже 100 років середня річна глобальна температура збільшилася на  $0,8 \pm 0,2$  °C (у Північній півкулі – майже на 1 °C, у Південній – на 0,6 °C). Підвищення приземної температури, температури поверхні океану та верхнього діяльного шару ґрунту узгоджуються між собою. Потепління з 1976 р. супроводжувалося глобальним підвищенням рівня Світового океану та зменшенням площі снігового покриву в Північній півкулі [3, 4].

Питання тривалості останнього глобального потепління клімату поза всілякими сумнівами є актуальним, тому дослідження змін температурного режиму проводяться майже у всіх країнах світу з головною метою – визначити причини виникнення та знайти методи запобігання.

**Метою** даної статті є узагальнення та аналіз наукових публікацій щодо взаємозв'язку індексів циркуляції та їх впливу на температурний режим у контексті глобального потепління.

Моделювання прогностичних змін приповерхневої (над земною та морською поверхнями) температури сучасними моделями вказує на продовження потепління в ХХІ ст. і однією з головних причин цього явища називають вплив антропогенного фактору [4, 9, 42]. В інших ретельних дослідженнях (наприклад, у Північній Америці, Туреччині, Іспанії) підтверджують поступове підвищення температури, проте підкреслюють неузгодженість між просторовими змінами, тому вважають, що крім антропогенного фактору існують й інші причини [28, 31, 41].

Водночас все більше з'являється досліджень, в яких стверджується, що глобальне потепління почало уповільнюватися, а серед причин його виникнення та існування називають такі, як: довготривалий вплив певних геофізичних та циркуляційних процесів [7, 8, 24, 32, 39].

Серед геофізичних факторів найбільшу увагу приділяють змінам сонячної радіації та швидкості обертання земної кулі. Так, багаторічні дослідження середніх річних значень чисел Вольфа (1923-2005 рр.) виявили узгодженість між характером змін у циклах сонячної активності з аномаліями атмосферного тиску за межами тропічних широт Північної півкулі. Якщо впродовж декількох сонячних циклів підряд спостерігають один і той же тип коливань, то формується довготривала аномалія обміну між помірними та високими широтами. Хронологічно сучасне потепління клімату відбувалося одночасно з поширеним зменшенням тиску над Канадою, Гренландією, Північним Льодовитим океаном, Східною Європою, Західним та Східним Сибіром [8].

Відмічають узгодженість між швидкістю обертання Землі і тривалістю періоду потепління. Прискорене обертання Землі почалося з 1973 р., закінчилося у 2004 р., тобто, обертання почало уповільнюватися. Це співпадає з сьогоденним уповільненням зростання приповерхневої температури [24].

Уповільнення темпів потепління фіксують і в Південній півкулі (над океанами з 2003 р., над континентами з 2005 р.), у Північній півкулі над океанами з 2005 р., над континентами менш виражено, але також з початку ХХІ ст. [4].

Проте дотепер не існує надійного наукового методу прогнозу змін кліматичних факторів як природного, так і антропогенного походження на тривалий час вперед (навіть на 10 років), тому що кліматичні моделі відтворюють тільки статистичні закономірності різних факторів: середні значення, сезонні зміни, тренди, але не відтворюють їх міжмісячну та міжрічну мінливості, що зумовлені непередбачуваними процесами в земній корі, змінами світимості Сонця, невизначеним розвитком промисловості та енергетики, квазіперіодичним характером впливів циркуляційних коливань [4].

Дослідження циркуляційних процесів, проведених в різних країнах, свідчать, що сучасне потепління (з кінця 70-х років ХХ ст.) у Північній півкулі зумовлено практично повністю значним посиленням адвекції теплого атлантичного повітря на континент [26, 29, 32, 35, 36].

Головний вплив океану на атмосферу здійснюється через потоки тепла завдяки випаровуванню ("приховане" тепло) та подальшому турбулентному обміну. Для кількісної оцінки змін циркуляції атмосфери використовують індекси циркуляції, розраховані за даними приземного тиску [14] або геопотенціалу на поверхнях 1000, 700 чи 500 гПа для середніх місячних значень та середніх добових [15, 27].

Для Атлантико-Європейського регіону мають значення такі індекси циркуляції: NAO – Північно-Атлантичне коливання, EA – Східно-Атлантичне, EA-WR –

коливання Східна Атлантика-Західна Росія, SCAND – Скандинавське, Pol – коливання полярна область – Євразія [16, 37].

Вважається, що на клімат Європи найбільше впливає NAO (North Atlantic Oscillation). Загалом, за результатами багатьох досліджень у [38, реферативний огляд станом на 2000 р.] наголошують, що в Північній півкулі має місце кільцеве Арктичне коливання (АО), а NAO є його проявом в Атлантичному регіоні. Індекс циркуляції NAO – нормована різниця аномалії тиску на рівні моря над Азорськими о-ми та Ісландією під час їх одночасного посилення чи послаблення. Це коливання особливо різко проявляється в амплітуді та площі розповсюдження й зумовлює найбільшу міжрічну мінливість місячних значень тиску. Мінливість NAO проявляється в значеннях приповерхневих температур всієї Північної Атлантики, східної частини Північної Америки, Арктики, Євразії та Середземномор'я. Коефіцієнт кореляції між індексами NAO (грудень-березень) та глобальною температурою над Західною та Центральною Європою (в межах 70-40° пн. ш.) досягає 1,0; над Східною Європою та Азією (в межах 60-45° пн. ш.) – від 0,6 до 1,0 [38].

За позитивною фазою NAO Ісландський мінімум та Азорський максимум добре розвинені, градієнти тиску між ними збільшені, зональна циркуляція посилена, тому західні вітри сильніші відносно середніх статистичних значень. За від'ємною фазою зональна циркуляція послаблюється, а меридіональна посилюється. Найбільш суттєві зміни циркуляції атмосфери бувають у зимовий період під час посиленого теплообміну між океаном і сушею (грудень-березень), коли значення індексу NAO до і після змін фази достатньо великі (більше 1-2 по абсолютній величині) [14].

До фази NAO відчутна частота та тривалість блокуючих процесів (блокінги) у Північній Атлантиці. На 67% більше зимових днів з блокінгом під час від'ємної фази NAO, ніж за позитивною, а тривалість майже вдвічі більше (відповідно 11 та 6 днів) [40].

В [1] наведені результати аналізу змін геопотенціалу на поверхні 1000 гПа за грудень, січень та липень впродовж 1952-2000 рр. в Атлантико-Європейському регіоні. В другій половині ХХ ст. відмічали позитивну фазу NAO, в цей час зменшувалася повторюваність циклонів у Європейському та Середземноморському регіонах, проте над Північною Європою та південним Середземномор'ям циклони поглиблювалися та збільшувалися в розмірі. Повторюваність антициклонів максимально зростала в субтропіках, а їх потужність у субтропіках та над північним сходом Європи. Збільшення розмірів синоптичних вихорів в період позитивної фази NAO статистично значуще.

Найчастіше для дослідження впливу циркуляційних процесів на мінливість приповерхневої температури використовують період з другої половини ХХ до початку ХХІ ст., як найбільш гомогенізований період вимірів температури. Використання тривалішого періоду (більше 100 років) дещо нівелює значущість окремих індексів циркуляції. В [5] аналізували мінливість температури та вплив антропогенного фактору за 105 років. В обох випадках тренд був незначущим, хоча й відмічалася, що за позитивною фазою NAO збільшувалася циклонічна активність в районі Ісландії та тиск у субтропіках. Вочевидь, необхідно досліджувати як величину, такі знак різних індексів циркуляції, а також їх вплив у просторі та часі.

В [19] зазначають, що в Північній півкулі найбільш кліматично значущі флуктуації системи океан – атмосфера мають NAO та EA. Коливання NAO вперше описано в 1932р. Уолкером та Блісом [43]. Позитивна фаза вказує на перевагу зонального типу атмосферної циркуляції в тропосфері над Північною Атлантикою та Європою в широтній зоні 50-60° пн. ш. та послаблення процесів блокування. Траєкторії циклонів (та центрів дії атмосфери) зміщуються в північно-східному напрямі порівняно з роками із середніми умовами. Це призводить до формування

позитивних термічних аномалій над більшою частиною Європи. За від'ємною фазою NAO не тільки послаблюється зональний потік, а й траєкторії циклонів зміщуються на Центрально-Європейський регіон, посилюється активність блокування. Загалом, NAO зумовлює до 77% дисперсії середньої місячної температури на півночі Європейського регіону та 55% сумарної внутрішньої місячної дисперсії температури в західній частині Середземноморського регіону та Західної Європи в зимові місяці. Північно-Атлантичне коливання відповідає за значну долю синоптичної мінливості поля приповерхневої температури практично над всім Європейсько-Середземноморським регіоном.

Слід зауважити, що Північно-Атлантичні центри (Азорський максимум тиску та Ісландський мінімум) є регуляторами загальної циркуляції атмосфери, вони ідентифікують атмосферні процеси в помірних та тропічних широтах. Водночас ці центри (їх положення та інтенсивність) тісно пов'язані з положенням полюса циркуляції (циркумпольярний вихор, ЦПВ), який найчастіше зосереджується на периферії Арктики й зміщується по спіралі протягом року зі сходу на захід. Це зміщення призводить до змін положень Азорського антициклону й Ісландського циклону та їх інтенсивності.

Якщо ЦПВ розширюється, то основне кільце західного потоку зміщується до екватора, що призводить до збільшення інтенсивності циркуляції й зміщенню на південь основних траєкторій циклонів. Якщо ЦПВ слабшає (рухається до полюсу), то і траєкторії циклонів наближаються до полюса, а на їх попередньому місці часто встановлюються великомасштабні квазістаціонарні антициклони [18].

В роботах [20-22] підтверджується, що з середини 70-х років XX ст. головну роль в потеплінні відіграло посилення зонального потоку за позитивною фазою NAO. Як для температури, так і для опадів тісний зв'язок з індексом спостерігали з грудня до березня з максимумом у січні – лютому. Саме від його величини та знаку залежали траєкторії циклонів, що зміщувалися на Євразію. Коли індекс взимку був  $> 0$ , циклони проходили по північному заході та півночі Європи, що унеможливило арктичне вторгнення та "підпитку" Сибірського антициклону, тому були теплі зими. Коли індекс  $< 0$ , зональний потік слабшає над Північною Атлантикою і циклони зміщуються по більш південним траєкторіям (південні та південно-західні циклони).

До початку глобального потепління (до 1975-76 рр.) коливання температури взимку були головним чином узгоджувалися зі змінами індексу SCAND (блокування зонального потоку). Перехід від процесів блокування (SCAND) до зональної циркуляції (NAO) співпадає з переходом циркумпольярного вихору від слабого до сильного в нижній стратосфері.

В [22] проаналізували вплив на Євразію найбільш поширених індексів циркуляції за період з 1951 до 2005 р. Для аналізу використали коливання геопотенціалу на поверхні 700 гПа та такі індекси: NAO – Північно-Атлантичний, PNA – Тихоокеансько-Північноамериканський, Pol – Полярно-Євразійський, WP – Західно-Тихоокеанський, EA – Східно-Атлантичний, SCAND – Скандинавський, EA-WR – Східно-Атлантичний-Західно-Російський.

NAO та Pol – показники зонального потоку, перший за межами тропічних районів Північної Атлантики, другий – за межами тропічної Євразії взимку; SCAND – показник блокування зонального потоку; WP та PNA – показники посилення та блокування зонального потоку для Тихоокеанського сектора; EA та EA-WR відображають аномалії тиску над Північною Атлантикою та на заході Східноєвропейської рівнини. Аналіз температури проводили для кожного місяця зими (з грудня до березня та за сезон); для літа – за сезон (червень-серпень) та для липня. Отримали такі результати, див. табл. 1.

**Таблиця 1. Найбільший вклад (%) у мінливість літньої та зимової температур на півночі Євразії**

	NAO	SCAND	PNA	PoI	WP	EA-WR	EA
ЛІТО							
	—	8	4	—	34	—	4
ЗИМА							
грудень	16	17	—	—	5	—	8
січень	17	34	10	10	—	—	4
лютий	14	27	7	14	3	—	—

Наведені дані свідчать, що у другій половині ХХ ст. активність циркуляції була найбільшою в січні та лютому, а в середньому за сезон перевагу мав індекс NAO. Автори також порівнювали два періоди 1951-1970 та 1971-2005 рр. й отримали для січня й березня (як місяців з найбільшими коливаннями), що до 1970 р. перевищував внесок SCAND (50%) та PNA (13%), водночас внесок NAO був незначущим. Після 1970 р. зростає внесок NAO. Найбільші внески були в січні та лютому, відповідно 34 та 9%, SCAND у ці місяці – 18 та 5%. PNA в цей час був статистично незначущий.

Дуже високі значення індексу NAO були в 1989-1995 рр., тоді ж були незвично теплі зими, тому що траєкторії циклонів проходили по північному заході Європи та вздовж узбережжя Арктики, не допускаючи арктичне повітря в низькі широти.

Загалом, впродовж 1951-2005 рр. Північно-Атлантичне коливання (NAO) порівняно зі Скандинавським (SCAND) мало більший вплив на мінливість температури, зумовлювало більш швидке її підвищення в 1968-1997 рр. та формувало тренд за 1971-2005 рр. Скандинавське коливання (SCAND) відіграло головну роль у 1951-1970 рр., в цей час його вплив був більшим, ніж NAO в 1951-2005 та 1971-2005 рр.

Визначення причин сучасного тривалого потепління спонукало підвищену увагу щодо досконалого вивчення як окремих циркуляційних процесів, так і їх взаємодії між собою. В [10] наведені результати дослідження взаємозв'язку між полярним (PoI), Північно-Атлантичним та Південним коливаннями за період 1950-2004 рр. Використано різні методи моделювання (метод моделювання фазової динаміки, метод побудови нелінійних прогностичних моделей, розрахунки взаємних кореляційних функцій). Виявлено вплив EA на NAO з довірчою вірогідністю 0,95–0,98. Час запізнення впливу складає від 1 до 3 років. Впливу NAO на EA не виявлено, також не виявлено зв'язку між EA та PoI.

Проте надалі дослідження взаємозв'язку EA та NAO авторами було продовжено [12] та використано більш тривалий період – 1871-2013 рр. Як NAO, так і EA глобально впливають на приповерхневу температуру, циклонічну та антициклонічну діяльність у Північній півкулі. Квазіперіодичні зміни EA становлять 2-8 років. Північно-Атлантичне коливання проявляється значущо в міжрічних та міждесятилітніх коливаннях градієнта тиску. Отримано найбільш значущі ознаки зв'язку: "осінній" режим EA залежить від NAO попереднього сезону; від літнього режиму NAO залежать подальші особливості EA.

Скандинавський індекс також діє на всю Північну півкулю [11, 13]. Автори вважають, що на фоні глобального потепління (вочевидь, автори надають велике значення антропогенному фактору) утворюються довготривалі блокінги, які спричиняють посухи (2010 р.), екстремально холодні зими (2003, 2006, 2010, 2011 р.). Якщо глобальне потепління продовжиться, то кількість блокінгів буде зростати. Хоча глобальна приповерхнева температура в 2001-2010 рр. була на 0,5°C більше, ніж в 1961-1990 рр. й на 0,2°C більше, ніж у 1991-2000 рр., автори все-таки

вважають, що з кінця ХХ ст. – початку ХХІ ст. відмічається уповільнення глобального потепління. Такої думки дотримуються і в роботі [32], в якій на основі перевіреної бази даних максимальної та мінімальної добової температури впродовж 1951-2010 рр. досліджували еволюцію ступеню потепління на території Іспанії. Потепління досягло максимуму між 1970 й 1990 роками, далі слідує зменшення інтенсивності як  $T_{max}$ , так і  $T_{min}$ , і такий стан має місце до теперішнього часу. Річна та сезонна температура продовжує підвищуватися, але незначуще, тобто, в останні десятиліття зростання температури уповільнилося. Зменшення ступеню зростання  $T_{max}$  більше, ніж  $T_{min}$  в останні десятиліття, тобто, нові ступені річного потепління залежать більше від  $T_{min}$ , ніж від  $T_{max}$ . В останні десятиліття є відмінності між сезонами.

Необхідно також зазначити, що останнім часом [33] виявлено зміни у значеннях та мінливості NAO, а саме, суттєве зменшення величини NAO, починаючи з 90-х років ХХ ст., влітку й одночасно різке зростання мінливості взимку, особливо в грудні. Ці зміни зумовлені збільшенням тренду Гренландського блокуючого індексу (GBI). Весна та осінь залишаються відносно незмінними останні 30 років. В цей період індекс AO, який сильно корелює з NAO [38], не показує літнього зменшення, проте показує збільшення мінливості в грудні.

Індекс GBI – це середнє значення висоти поверхні 500 гПа для території Гренландії (60-80° пн. ш., 20-80° зх. д.). В [34] визначили, що за період з січня 1851 включно до грудня 2015р. кореляції GBI та NAO найсильніші з грудня до березня (екстремально високі та низькі значення GBI фіксують з 2001 р.), найслабкіші – в липні. Аналіз гомогенізованих значень GBI свідчить, що GBI значуще збільшується літом і стає значуще більш мінливим у грудні.

Впродовж останніх 10-20 років відмічають посилення одночасного антициклонального блокування над Гренландією та Сибіром й більше посилення північно-полярної струменевої течії (Arctic Amplification). Багатократні десятилітні коливання GBI (особливо взимку) подібні 10-20 річним коливанням NAO та й ще більш довгим Атлантичним багатократним коливанням (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO). Більша мінливість GBI у грудневій місяці не протирічить більш позитивному середньому GBI і пов'язана з негативним трендом AMO з 2000р. та з більш змінними грудневими NAO та AO в останні декілька десятиліть. Причини цього на сьогодні неясні. Можливо, це вплив тропіків на десятилітні коливання в північних регіонах Тихого та Атлантичного океанів (North Pacific and Atlantic) або на внутрішню атмосферну мінливість [34].

Вплив Південного коливання на мінливість температури в Європейсько-Середземноморському регіоні менше, ніж вплив NAO. Це – збудження крупномасштабних коливань в атмосфері під час дії зрілої фази Ель-Ніньо, які проявляються на всій земній кулі. Дослідження явища Ель-Ніньо (40-річний період) показали, що під час його дії збуджується вся тропосфера в екваторіальній зоні Тихого океану (над районами максимальних аномалій тропосферних західних та стратосферних східних вітрів). Це зумовлює зміни циркуляції у тропічній атмосфері, тобто масштабність змін по інтенсивності та значущості зів'язана із загальнопланетарною циркуляцією [23].

Петросянц М.А. [17] вважає, що під час Ель-Ніньо західні вітри екваторіальної зони можуть охоплювати третину всієї земної кулі, проникати в тропічну зону, нижню стратосферу та сприяти посиленню циклонічної діяльності в Північній півкулі. Під час дії Південного коливання взимку приземний тиск зменшується над південною і центральною Європою та прилеглими районами Північної Атлантики, проте збільшується над Північною Європою, Ісландією та Гренландією. В результаті зональна циркуляція слабшає, а вірогідність блокування зростає.

В [30] автори досліджували фізичну природу мінливості траєкторій циклонів й прийшли до висновку, що індекс NAO відображає широтні зміни траєкторії циклонів, а EA – зміни їх інтенсивності та кількості. Нестеров Е.С. [16] порівнював NAO та EA для січня, коли взаємодія океану та атмосфери в Північній Атлантиці найбільш активна, за період 1950-2007 рр. й отримав, що найбільші зміни циркуляції та температури в січні в Атлантико-Європейському регіоні бувають, коли на фоні позитивної фази NAO розвивається від'ємна фаза EA. Автор також порівнював два 12-річні періоди (1984-1995 та 1996-2007 рр.) й отримав, що найбільші розбіжності в індексах були впродовж 1996-2007 рр., коли індекс EA суттєво перевищував індекс NAO. Це призвело до зсуву на північ траєкторій циклонів, що рухались з Північної Атлантики на Європу та, відповідно, до зниження температури в Європі, і до її підвищення над Скандинавією та північними районами.

Сучасні дослідження індексів циркуляції [2, 6, 16, 22, 25, 44] вказують на надзвичайно складний взаємозв'язок циркуляційних процесів, значну мінливість їх довготривалого прояву, двосторонній в часі вплив тропосфери та стратосфери. Так, в [6] зазначають, що арктичне коливання зумовлено впливом вертикального розподілу планетарних хвиль на атмосферну циркуляцію в зимово-весняний період (січень-березень). Довгоперіодичні зміни його індексу мали позитивну фазу з початку глобального потепління, проте з кінця ХХ та на початку ХХІ ст. індекс зменшується та причина цього явища поки що не встановлена. В [22] стверджують, що з другої половини 1990-х років намітився перехід індексу АО (можливо, й NAO як індексу, що сильно корелює з АО) від позитивної фази до від'ємної, а SCAND – навпаки.

Суттєві зміни відбуваються з індексом Південного коливання [2, 25, 44]. Тепле явище Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕНПК) має глобальний вплив на погоду в тропічних, помірних та високих широтах. Причина його виникнення – аномалії вітру в західній екваторіальній частині Тихого океану весною та літом, потім у другій половині року аномально підвищується температура у східній екваторіальній частині Тихого океану. Це – канонічний ЕНПК.

Так було продовж 1980-2000 рр. Особливо після 2005 р. аномальну високу температуру почали спостерігати в центральній екваторіальній частині Тихого океану. Це явище назвали ЕНПК Модокі. Причина – внаслідок глобального потепління в західній екваторіальній частині утворилися однорідні динамічні умови, взаємодія океану й атмосфери ослабла. Тому аномалії температури поверхні океану почали виникати в центральній частині внаслідок нестійкості струменевої течії в межах протоки Дрейка (це – Антарктична циркумполярна течія). Тут може встановлюватися як високий, так і низький атмосферний тиск. Коли встановлюється підвищений (понижений) атмосферний тиск, то в тропіках Тихого океану розвиваються додатні (від'ємні) аномалії температури, тобто створюється тепле (холодне) Південне коливання. Виявлено, що перед розвитком теплих (холодних) явищ Ель-Ніньо Модокі відбувається суттєве потепління (похолодання) стратосфери Південної півкулі, якого не спостерігали при канонічних ЕНПК.

Наведені дані свідчать про складний нелінійний квазіперіодичний крупномасштабний взаємозв'язок між всіма океанами земної кулі, тропосферою та стратосферою, що створює значні труднощі у прогнозуванні кліматичних змін. Однозначно назвати головну причину виникнення та тривалого існування глобального потепління в даний час не можна.

**Висновки.** Розглянуто основні циркуляційні процеси, що впливають на кліматичний режим у Північній півкулі.

Для Атлантико-Європейського регіону найбільш вагомими такі коливання циркуляції: NAO – Північно-Атлантичне, EA – Східно-Атлантичне, EA-WR – Східно-

Атлантичне-Західно-Російське, SCAND – Скандинавське, Pol – Полярно-Євразійське.

Нещодавні дослідження (після 2012 р.) мінливості температури свідчать, що зміни температури стали незначущими, тобто глобальне потепління призупинилося.

Вивчення динамічних процесів на земній кулі та майбутнє моделювання прогностичних змін клімату має бути зосереджено на визначенні відносних впливів різних кліматичних посилювачів.

Окремо варто зауважити, що, на думку авторів цієї статті, однією із першочергових задач має бути зменшення викидів парникових газів в атмосферу для зниження впливу антропогенного фактору на температурний режим.

### Список літератури

1. Бардин М.Ю, Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период. Изв. РАН, ФАО, 2005. т. 41, № 2. С. 147–157. 2. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Эль-Ниньо как следствие глобальной атмосферной осцилляции в динамике климатической системы Земли. Доклады АН, 2012. Т. 446, ч. 1. С. 89–94. 3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. Метеорология и гидрология, 2004. № 4. С. 50–66. 4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Оценка предстоящих изменений климата на территории Российской Федерации. Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 15–29. 5. Дзюба А.В. Формализация зависимости температурного режима Атлантико-Евразийской приполярной зоны от североатлантического колебания. Метеорология и гидрология, 2009. № 5. С. 16–33. 6. Жадин Е.А., Зюляева Ю.А., Володин Ю.М. Связи межгодовых вариаций стратосферных потеплений, циркуляции тропосферы и температуры поверхности океанов Северного полушария. Известия РАН, ФАО, 2008. т. 44, № 5. С. 641–653. 7. Заболоцька Т.М., Шпиг В.М. Кількісні зміни хмарності як індикатор періоду глобального потепління. Наук. праці УкрНДГМІ, 2015. Вип. 267. С. 23–27. 8. Егоров А.Г. Два варианта колебаний приземного давления во внутропической зоне Северного полушария в зависимости от многолетних изменений солнечной активности. Метеорология и гидрология, 2008. № 10. С. 9–23. 9. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий. Метеорология и гидрология, 2001. № 5. С. 5–21. 10. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний. Известия РАН, ФАО, 2006. Т. 42, № 5. С. 650–667. 11. Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А и др. Блокнги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам. Доклады АН, 2013. Т. 449, № 5. С.1–5. 12. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Трехкомпонентный анализ сезонных особенностей взаимосвязи между изменениями Эль-Ниньо, североатлантическим колебанием и индийским муссоном. Метеорология и гидрология, 2016. № 1. С. 18–32. 13. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата. Метеорология и гидрология, 2016. № 2. С. 16–28. 14. Нестеров Е.С. О фазах североатлантического колебания. Метеорология и гидрология, 2003. № 1. С. 64–74. 15. Нестеров Е.С. О влиянии температуры воды и потоков тепла на поверхности океана в Северной Атлантике на циркуляцию атмосферы. Метеорология и гидрология, 2009. № 1. С. 39–46. 16. Нестеров Е.С. О восточно-атлантическом колебании циркуляции атмосферы. Метеорология и гидрология, 2009. № 12. С.32–40. 17. Петросянц М.А, Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Метеорология и гидрология, 2002. № 8. С. 24–35. 18. Полонский А.Б. О междесятилетней изменчивости в системе океан – атмосфера. Метеорология и гидрология, 1998. № 5. С. 55–64. 19. Полонский А.Б., Башарин Д.В. О влиянии североатлантического и южного колебаний на изменчивость температуры воздуха в европейско-средиземноморском регионе. Изв. РАН, ФАО, 2002. Т. 38, № 1. С. 135–145. 20. Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. Метеорология и гидрология, 2003. № 5. С.52–

74. **21.** *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры в Северной Евразии в конце XX столетия. Метеорология и гидрология, 2006. № 12. С. 15–25. **22.** *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков. Известия РАН, ФАО, 2010. Т. 46, № 2. С. 161–175. **23.** *Семенов Е.К., Соколикхина Е.В., Соколикхина Н.Н.* Атмосферная циркуляция в низких широтах в периоды теплых и холодных фаз явления Эль-Ниньо – Южное колебание. Метеорология и гидрология, 2006. № 8. С. 5 –8. **24.** *Сидоренков Н.С., Орлов И.А.* Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата. Метеорология и гидрология, 2008. № 9. С. 22–29. **25.** *Степанов В.Н.* О вероятной причине изменения характеристик Эль-Ниньо в 2000-е годы. Метеорология и гидрология, 2016. № 11. С. 23–40. **26.** *Узрюмов А.И., Харьковская Н.В.* Современные изменения климата С.-Петербурга и колебания циркуляции атмосферы. Метеорология и гидрология, 2008. №1. С. 24–30. **27.** *Barnston A.G., Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. Mon. Wea. Rev, 1987. Vol.115 (6). P. 1083–1126. **28.** *Booth E.L.J., Byrne J.M., Johnson D.L.* Climatic changes in western North America, 1950-2005. International journal of climatology, 2012. Vol. 32 (15). P.2283–2300. **29.** *Ceppi P., Scherrer S.C., Fischer A.M., Appenzeller Ch.* Revisiting Swiss temperature trends 1959-2008. International Journal of Climatology, 2012. Vol. 32 (2). P.203-213. **30.** *Franzke C. and Feldstein S.B.* The continuum and dynamics of Northern Hemisphere teleconnection patterns. J. Atmos. Sci, 2005. Vol. 62 (9). P. 3250–3267. **31.** *Gonzalez-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M., Cortesi N.* MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain in the trend in temperature (1951-2010). International Journal of Climatology, 2015. Vol. 35 (15). P. 4444–4463. **32.** *Gonzalez-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M., Cortesi N.* Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus. International Journal of Climatology, 2016. vol. 36 (6). P. 2405–2416. **33.** *Hanna E., Cropper T.E., Jones P.D., Scaife A.A., Allan R.* Recent seasonal asymmetric changes in the NAO (a marked summer decline and increased winter variability) and associated changes in the AO and Greenland Blocking index. International Journal of Climatology, 2015. Vol. 35 (9). P. 2540–2554. **34.** *Hanna E., Cropper T., Hall R., Cappelen J.* Greenland blocking index 1851-2015: a regional climate change signal. International Journal of Climatology, 2016. Vol. 36(15). P. 4847–4861. **35.** *Irannezhad M, Chen D., Kløve B.* Interannual variations and trends in surface temperature in Finland in relation to atmospheric circulation patterns, 1961-2011. International Journal of Climatology, 2015. vol. 35 (10). P. 3078–3092. **36.** *Irannezhad M., Kløve B.* Do atmospheric teleconnection patterns explain variations and trends in thermal growing season parameters in Finland? International Journal of Climatology, 2015. Vol. 35(15). – P. 4619–4630. **37.** *Mailier P.J., Stephenson D.B., Ferro C.A.T. and Hodges K.I.* Serial clustering of extratropical cyclones. Mon. Wea. Rev, 2006. Vol. 134(8). P. 2224–2240. **38.** *Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dicson R., Hurrell J., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M.* North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. International Journal of Climatology, 2001. Vol. 21(15). – P. 1863–1898. **39.** *Molavi-Arabshahi M., Arpe K., Leroy S. A.G.* Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. International Journal of Climatology, 2016. Vol. 36(5). P. 2156–2172. **40.** *Shabbar A., Huang J., Higuchi K.* The relationship between the wintertime north Atlantic oscillation and blocking episodes in the north Atlantic. International Journal of Climatology, 2001. Vol. 21 (3). P. 355–369. **41.** *Toros H.* Spatio-temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. International journal of climatology, 2012. Vol. 32(7). P. 1047–1055. **42.** *Vin H., Sun Y., Wan H., Zhang X.* Detection of anthropogenic influence on the intensity of extreme temperatures in China. International Journal of Climatology, 2017. Vol. 37 (3). P. 1229–1237. **43.** *Walker G.T., Bliss E.W.* World weather. Memoirs of the Royal Meteorology Society, 1932. Vol. 4, № 36. P. 53–84. **44.** *Zubiaurre I. and Calvo N.* The El Niño - Southern Oscillation (ENSO) Modoki signal in the stratosphere. Geophys. Res, 2012. Vol. 117. (doi: 10.1029/2011.JDO16690).

**Кліматологічна оцінка циркуляційних процесів у Північній півкулі та їх вплив на температурний режим**

**Заболоцька Т.М., Шпиг В.М.**

Виконано реферативний кліматологічний огляд результатів досліджень циркуляційних процесів у Північній півкулі, що впливають на температурний режим в період глобального потепління. Зосереджена увага на складних взаємозв'язках різних індексів циркуляції. Показано, що причини мінливості циркуляційних процесів, особливо екстремальних викидів, в останні десятиліття, поки що не визначені, тому подальші дослідження індексів циркуляції є актуальними.

**Ключові слова:** індекси циркуляції, зміни клімату, температура повітря.

**Климатологическая оценка циркуляционных процессов в Северном полушарии и их влияние на температурный режим**

**Заболоцкая Т.Н., Шпиг В.М.**

Выполнен реферативный климатологический обзор результатов исследований циркуляционных процессов в Северном полушарии, влияющих на температурный режим в период глобального потепления. Уделено внимание сложным взаимоотношениям различных индексов циркуляции. Показано, что причины изменчивости циркуляционных процессов, особенно экстремальных выбросов, в последние десятилетия, пока еще не определены, поэтому дальнейшие исследования индексов циркуляции остаются актуальными.

**Ключевые слова:** индексы циркуляции, изменения климата, температура воздуха.

**Climatological assessment of circulating processes in the Northern hemisphere and their influence on temperature regime**

**Zabolotska T.M., Shpyg V.M.**

Global warming on the Earth is fixing the last 40 years (from 1976 to the present time). The major reasons of its forming and long period existence are called the general simultaneous influence of antropogenic, geophysical and circulation factors. The refer research description of different circulation indexes and its influence on temperature regime behind global warming offer in this study. For Atlantic-Europa region have been attributed such circulation oscillations as NAO – North-Atlantic Oscillation, EA – East-Atlantic, EA/WR – East-Atlantic/West Russia, SCAND – Scandinavian, Pol – Polar-Europa and Asia. The results of many studies show that North Atlantic Oscillation (NAO) most influence on Europe climate. Changeability of NAO reveal in surface temperature over all Northern Atlantic, east part of Northern America, Arctic, Europe-Asia and Mediterranean region. With positive phase of NAO Island minimum and Azores maximum very develop, pressure gradients between its increased, zonal circulation is intensified, therefore west winds more strong relatively mean statistic. With negative phase zonal circulation is weakened, but meridional is intensified. The most significant changes atmospheric circulation there are during winter with reinforced heat exchange between ocean and land. Climatic considerable fluctuations there are EA and SCAND oscillations/ In winter with EA surface pressure is reduced over south and central Europe and contiguous regions North America but is increased over North Europe, Island and Greenland, hence zonal circulation is reduced, blocking probability is growing. SCAND index influence on all North Hemisphere also. Before global warming (before 1975-1976) temperature fluctuations were mainly winter cause of SCAND index changes (blocking zonal flow). The large attenuation was considered to the compound relations between different circulation indexes. It is shown that the reasons of circulation changes (especially extreme impacts during last decades) are indefinite at the same time. The recent researches (after 2012) of climatic temperature variables are corroborated that these changes are unimportant, consequently, the global warming is stopping. The influence of circulation processes on temperature regime in Northern Hemisphere is different because it is necessary to continue the researches using the long time homogeneous ranges of temperature measurements.

**Keywords:** circulation indices, climate change, air temperature.

**Надійшла до редколегії 26.05.2017**