

УДК 551.583.16

## ЗМІНА ПОГОДНИХ УМОВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

**В.М. Хохлов**, д.геогр.н., проф.  
**Г.О. Боровська**, к.геогр.н., доц.  
**О.В. Уманська**,  
**М.С. Тенетко**

*Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, metod1@odeku.edu.ua*

Наведено просторово-часовий аналіз кількісних показників, які характеризують погодні умови стосовно добової температури та опадів – індекси тепла, холоду та опадів. Виявлено, що в умовах змін клімату збільшилась повторюваність надзвичайно теплих днів та зменшилась кількість днів з екстремально низькою температурою. За допомогою аналізу гістограм та вейвлет-аналізу показано, що можливою причиною таких змін може бути вплив на погодні умови України Північноатлантичного колювання.

**Ключові слова:** температура, опади, Північноатлантичне колювання, вейвлет-аналіз

### 1. ВСТУП

Той факт, що клімат Землі змінюється, вже не викликає сумнівів. Тому необхідною є правильна оцінка стану та змін клімату і його екстремальності. Через те, що сучасні тенденції глобальної температури не можуть розглядатися як інтегральний показник регіональних змін клімату, дуже важливо оцінити зміни у режимі температури та опадів саме на регіональному рівні. Більше того, потрібно звернути увагу на мінливість і повторюваність екстремальних явищ погоди.

Темі змін клімату в останні десятиріччя приділяється велика увага. Але вивчення регіональних змін клімату в контексті мінливості і повторюваності екстремальних явищ погоди тільки зараз набуває широкого розповсюдження (див., наприклад, [1–5]).

Дана робота має на меті виявити за допомогою дослідження змін погодних умов в Україні певних закономірностей та особливостей у змінах режимів температури та опадів і визначення можливих причин цих змін.

### 2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Як вихідна інформація використовувались дані про добову мінімальну температуру ( $TN_i$ ) та кількість опадів ( $R$ ) за період з 1 січня 1951 року по 31 грудня 2013 року по певних станціях в Україні, які були одержані з Бази Даних Клімату Європи [6]. Грунтуючись на цих даних, для кожного місяця ( $j$ ) протягом зазначеного періоду були розраховані три індекси [7]:

- $TNx_j$  – максимальне значення добової мінімальної температури, тобто  $TNx_j = \max(TN_{ij})$ ;
- $TNn_j$  – мінімальне значення добової мінімальної

температури, тобто  $TNn_j = \min(TN_{ij})$ ;

- $RX5day_j$  – найбільша кількість опадів за 5 днів поспіль.

Відзначимо, що перший з індексів є дуже простим індексом тепла, а другий – індексом холоду.

Для порівняльного аналізу просторового розподілу індексів розрахунки виконувались для станцій, розташованих у різних кліматично-однорідних регіонах (КОР), кількість яких в Україні дорівнює десяти [8].

Нарешті, вважаючи, що Північноатлантичне колювання (ПАК) є тим феноменом, який не тільки впливає на погодні умови в Європі взагалі й в Україні зокрема, але й завдяки своїй низькочастотній природі може визначати їх протягом тривалого проміжку часу у декілька років [2], була зроблена спроба виявити цей вплив за допомогою перехресного вейвлет-перетворення (див., наприклад, [1]).

### 3. АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розглянемо спочатку екстремальні за усі роки значення індексів тепла та холоду в Україні. Як випливає з табл. 1, максимально високі температури спостерігалися у східній частині України (+39,4 °C у Полтаві та Дебальцевому), в той же час як на північному заході максимальний індекс тепла був менший (+31,7 °C у Рівному). У східній частині України відзначалася й найнижча температура повітря (–39,6 °C у Луганську), а максимальним індексом холоду був у Одесі (–18,5 °C). Треба також відзначити й той факт, що у більшій частині України максимальні значення індексів тепла і холоду реєструвалися після 1980 р., тобто після початку так званого «глобального потепління», а мінімальні – у поперед-

Таблиця 1 – Найбільший на найменший індекси тепла та холоду в різних кліматично однорідних регіонах України

№ КОР	Пункт	Індекс $TN_x$ , °C		Індекс $TN_n$ , °C	
		max / рік	min / рік	max / рік	min / рік
1	Рівне	+31,7 / 2010	+29,3 / 1975	-25,0 / 1997	-30,2 / 1987
2	Тернопіль	+36,2 / 1952	+32,3 / 1971	-22,0 / 1996	-27,0 / 2006
3	Вінниця	+32,4 / 1999	+29,6 / 1973	-27,0 / 1996	-34,0 / 1987
4	Полтава	+39,4 / 2010	+34,4 / 1981	-26,2 / 2010	-33,1 / 1960
5	Дебальцеве	+39,4 / 1986	+34,8 / 1984	-26,7 / 1988	-31,2 / 1997
6	Одеса	+36,4 / 2007	+33,6 / 1987	-18,5 / 2012	-22,0 / 2006
7	Херсон	+35,0 / 1971	+32,4 / 1987	-24,7 / 1972	-31,0 / 1954
8	Харків	+36,1 / 2010	+32,6 / 1966	-25,5 / 2012	-32,2 / 1964
9	Луганськ	+36,7 / 1960	+33,2 / 1972	-28,3 / 2012	-39,6 / 1954
10	Лубни	+35,9 / 2010	+31,4 / 1972	-25,9 / 1970	-28,3 / 1994

ній період 1950-1980 рр. Взагалі ж, можна казати про дещо більшу континентальність клімату (яку можна умовно визначити як різницю між максимальним значенням  $TN_x$  та мінімальним  $TN_n$ ) у східних областях та меншу – у західних областях України.

Отже, навіть нескладний аналіз, наведений вище, показує, що в останні роки зменшується кількість холодних днів і тривалість екстремально холодних періодів, в той же час як кількість і тривалість аномально спекотних днів збільшується. Зазвичай, такі аномальні погодні умови визначаються синоптичними процесами, насамперед такими, що викликають інтенсивний потік тепла у меридіональному напрямку, наприклад, блокуючими антициклонами, пірнаючими циклонами тощо.

З іншого боку, вважається загальноприйнятим, що Північноатлантичне коливання є одним з факторів, які визначають погодні умови в Україні [1, 2], але цей вплив позначається у різних регіонах України по-різному (див., наприклад, [9]). Тому розглянемо вплив ПАК з урахуванням його фази на повторюваність індексів тепла, холоду та опадів в Одесі (КОР № 6) та Лубнах (КОР № 10). Для цього з усього масиву даних про індекси виберемо тільки ті значення, які спостерігалися за індексах ПАК > 1 (+ПАК) і ПАК < -1 (-ПАК), і побудуємо так звані гістограми накопичення.

Як видно з рис. 1а, значення гранично низької добової температури (найхолодніша ніч у місяці) у Лубнах найчастіше (24 рази за досліджуваний період) за позитивної фази Північноатлантичного коливання було у діапазоні температур від +5 до +10 °C, а за негативної фази ПАК від +10 до +15 °C. Також треба відзначити, що кількість надзвичайно холодних ночей (нижча за -15 °C)

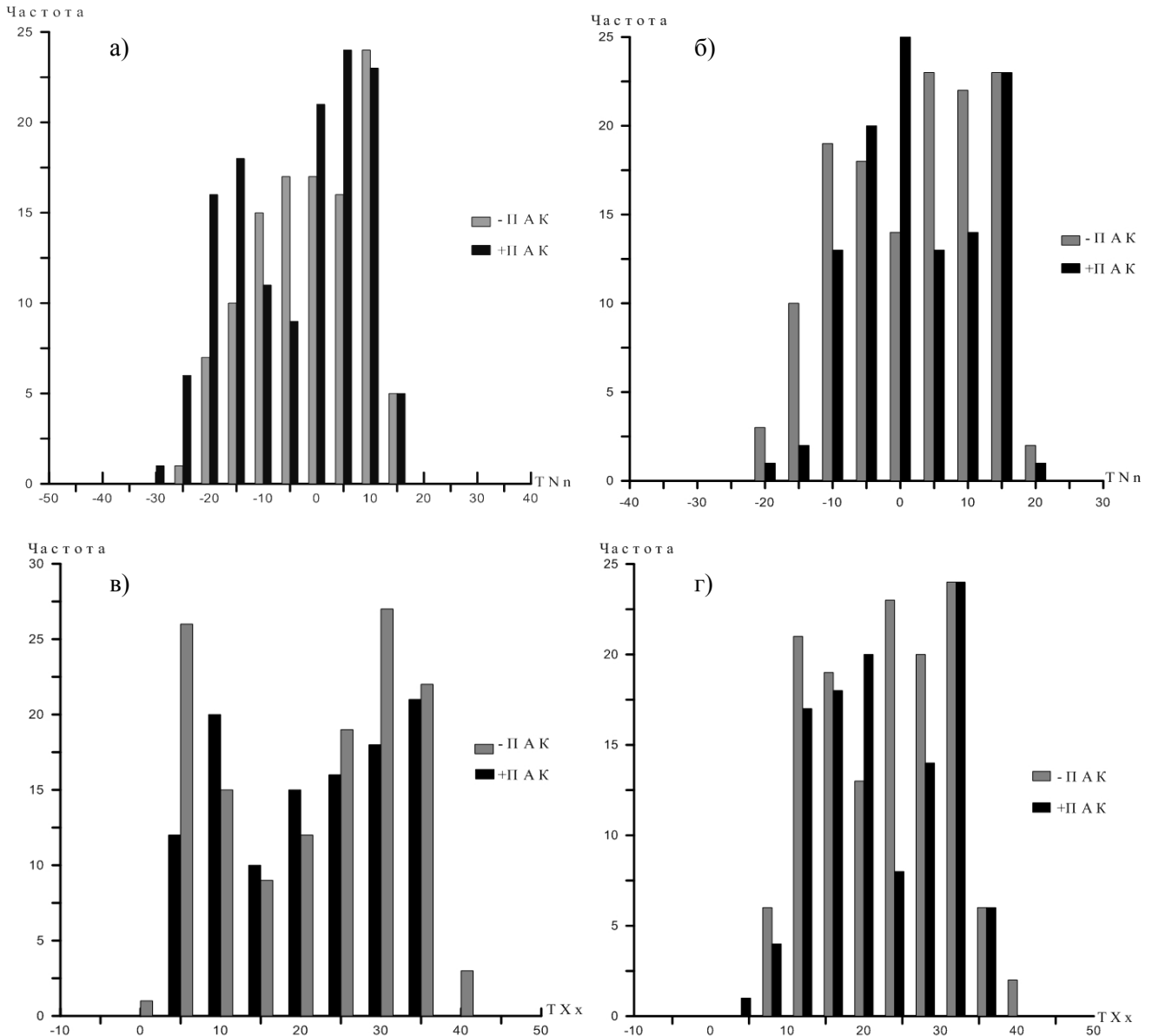
зазвичай спостерігалася у випадку +ПАК.

Гістограма гранично низької добової температури для Одеси (рис. 1б) показує, що максимум повторів індексу холоду припадає на позитивну фазу Північно-Атлантичного коливання (25 випадків) у діапазоні температур від 0 до +5 °C, тобто є трохи нижчим за аналогічний параметр для м. Лубни, але привертає увагу набагато більша кількість випадків температур вище +15 °C для обох фаз ПАК. Взагалі ж, гістограма для Одеси виглядає як зсунута на +5 °C гістограма для Лубен, що й має спостерігатися, тому що в Одесі взагалі тепліше. Проте, для більшості діапазонів температур, якщо у Лубнах переважає позитивна фаза ПАК, то в Одесі, навпаки, негативна.

Повторюваність індексу тепла ( $TN_x$ ) у Лубнах за негативної фази ПАК є максимальною для двох діапазонів – від +5 до +10 °C та від +30 до +35 °C (рис. 1в). Майже таким же чином розподілені найжаркіші дні й для +ПАК, хоча кількість випадків з індексом тепла є, взагалі, трохи меншою. Треба також відзначити, що найжаркіші дні у Лубнах спостерігалися за -ПАК, але тільки 3 рази.

На рис. 1г показано гістограму максимального значення добової максимальної температури (найжаркіший день) для м. Одеса. Як можна побачити, максимальна повторюваність індексу тепла (24 випадки) мала місце у діапазоні температур від +30 до +35 °C як за негативної, так і за позитивної фази ПАК. Але треба відзначити, що у більшості випадків цей індекс частіше спостерігається за негативної фази ПАК.

Нарешті, розглянемо ще один індекс,  $RX5day$ , який стосується опадів, що дозволить брати до уваги й іншу важливу характеристику погоди – опади.



**Рис. 1** – Гістограма індексів холоду в Лубнах (а) та Одесі (б) та індексів тепла в Лубнах (в) та Одесі (г) за різних фаз Північноатлантичного коливання (+ПАК і –ПАК) за період з 1951 по 2010 рр.

Максимальна кількість опадів за 5 днів, більша за 120 мм, у м. Лубни (рис. 2а) спостерігалася за позитивної фази ПАК, але тільки одного разу. У середньому ж найчастіше (39 випадків за розглянутий період) за позитивної фази ПАК спостерігалася опади кількістю у діапазоні від 20 до 30 мм за 5 днів. Більш інтенсивні опади, від 30 до 40 мм та від 40 до 50 мм за 5 днів, найчастіше (до 25 разів) спостерігаються за негативної фази ПАК. Інакше кажучи, максимум повторюваності опадів за –ПАК припадає на більш інтенсивні опади, ніж за +ПАК.

Максимальна кількість опадів за 5 днів для м. Одеса (рис. 2б.) також спостерігалась за позитивної фази ПАК і перевищувала 120 мм. З ін-

шого боку, для цієї фази переважають опади у діапазонах від 10 до 20 мм та від 20 до 30 мм за 5 днів, хоча загальна кількість опадів від 10 до 30 мм за 5 днів майже співпадає з аналогічним показником для м. Лубни (пор. рис. 2а і 2б). Що ж стосується впливу негативної фази ПАК на опади в Одесі, то як і для Лубен, максимум повторюваності спостерігається у діапазоні від 30 до 40 мм за 5 днів.

Таким чином, підсумовуючи вище викладений аналіз, можна висловити припущення, що перебування Північноатлантичного коливання у певній фазі може визначати й аномальність погодних умов в Україні. Крім того, стосовно температурних аномалій цей вплив навіть по різно-

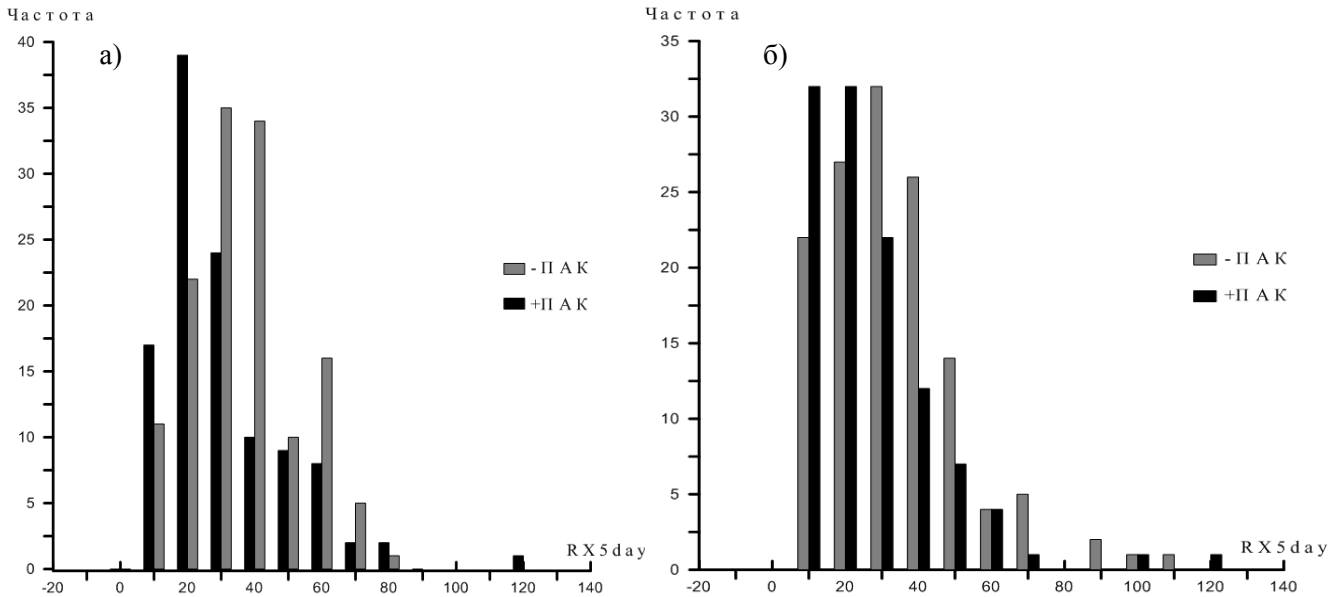


Рис. 2 – Гістограма індексу опадів  $RX5day$  у Лубнах (а) та Одесі (б) за різних фаз Північноатлантичного коливання (+ПАК і -ПАК) за період з 1951 по 2010 рр.

му виявляється у південних та північних регіонах України, а стосовно опадів фаза ПАК може впливати на їх інтенсивність.

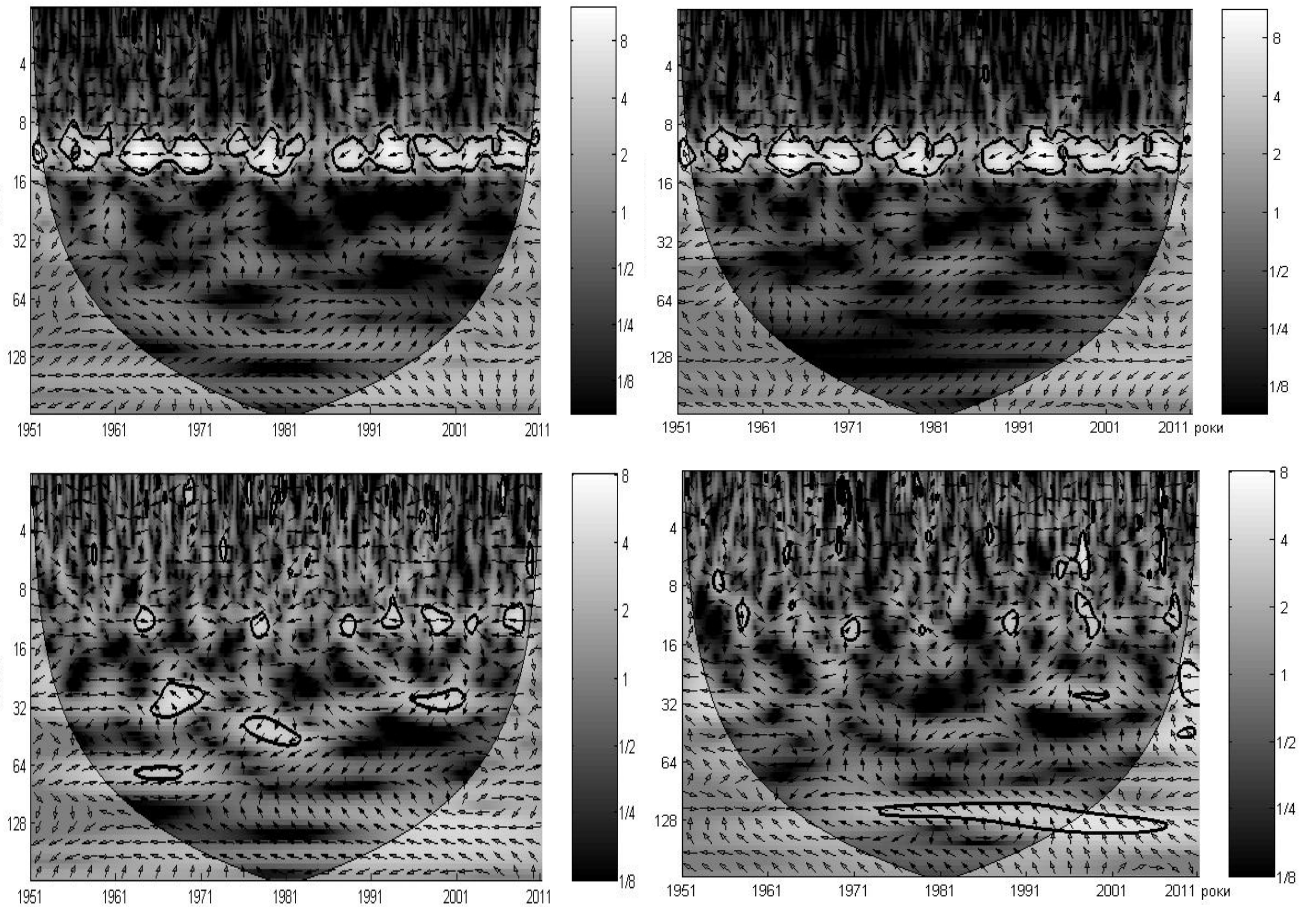
Для більш детального аналізу впливу Північноатлантичного коливання на погодні умови в Україні скористаємось вейвлет-аналізом для індексів холоду та опадів на станціях Одеса та Лубни, застосувавши перехресне вейвлет-перетворення спільно з індексом Північноатлантичного коливання (ПАК). Вейвлет-перетворення є ефективним засобом для аналізу нестационарних часових рядів і є достатньо гнучким у пристосуванні до локальних змін періоду сигналів, що змінюються в широких межах [1, 9]. На рис. 3 можна побачити вейвлет-енергію, яка позначена різними відтінками у відносному масштабі (чим ближче відтінок до світлого, тим більшою є енергія, тобто вищою є амплітуда коливань). Зони значущої вейвлет-енергії коливань виділені товстими лініями. На осі ординат зазначені періоди цих коливань (у місяцях року), а на осі абсцис – проміжок часу, протягом якого вони мали місце. Стрілками на цих рисунках показано, у фазі чи ні перебувають два розглянутих сигнали: якщо стрілка спрямована праворуч, то зміни відбуваються синфазно, а якщо – ліворуч, то два сигнали є у протифазі.

Якщо розглядати спільну вейвлет-енергію для індексів холоду та Північноатлантичного коливання (верхні графіки на рис. 3), то можна виділити значущі її величини на періодах коливань приблизно 12 місяців, тобто 1 рік, як для Лубен,

так і для Одеси. Звичайно, це можна пояснити існуючою та добре відомою зміною температури у зв'язку зі змінами пор року: влітку спостерігається максимум температури, а взимку – її мінімум. Проте найцікавішим є те, що починаючи з 1950-х та до 1980-х два розглянутих часових ряди коливалися з періодом приблизно 1 рік синфазно, а у другій половині розглянутого періоду вони перебували у протифазі. Інакше кажучи, у період 1950-1980-х років посилення позитивної фази ПАК збільшувало мінімальну місячну температуру, а у 1980-2010-х роках – навпаки, зменшувало.

Тут треба ще раз згадати, що спочатку 1980-х років і дотепер спостерігається так зване глобальне потепління з додатним трендом температури. Таким чином, синфазні або протифазні спільні коливання можна пояснити змінами клімату. З іншого боку, зміни клімату виявляються також у превалюванні певної фази ПАК: в останні десятиріччя Північноатлантичне коливання перебувало переважно у позитивній фазі.

Інакша картина має місце для перехресного вейвлет-перетворення індексів опадів та ПАК (нижні графіки на рис. 3). Внаслідок того, що опади не мають яскраво вираженого річного ходу і, навпаки, існує два максимуми опадів – влітку (головний) та взимку – на цих графіках майже відсутні значущі вейвлет-енергії для періоду приблизно 1 рік. Якщо навіть значуща вейвлет-енергія спостерігалася для зазначеного періоду, то тільки в окремі нетривалі проміжки часу,



**Рис. 3** – Перехресне вейвлет-перетворення річних індексів холоду і опадів для м. Лубни (рисунки ліворуч) та м. Одеса (рисунки праворуч) та ПАК: *TNn* та ПАК (нагорі) і *RX5day* та ПАК (унизу). Позначення є стандартними (див., наприклад, [1]).

і до того ж в Одесі та Лубнах це відбувалося неодноразово. Отже можна казати про те, що ПАК впливає на південні та північні регіони України по-різному, що підтверджує результати попереднього дослідження [9]. З іншого боку, в окремі роки існують значущі енергії для більш довгих періодів часу – від 3 до 5 років для м. Лубни, та приблизно 10 років для м. Одеса. Більше того спільна вейвлет-енергія з періодом приблизно 10 років мала місце також у другій половині розглянутого періоду, тобто з початком глобального потепління.

#### 4. ВИСНОВКИ

1. Індекси холоду показали зменшення повторюваності холодних днів (ночей) і тривалості екстремально холодних періодів, а індекси тепла – збільшення повторюваності теплих днів (ночей) і тривалості теплих періодів. Загальний тренд показує тенденцію до зростання температури, що є одним із основних проявів регіональних кліматичних змін в Україні на тлі глобальних процесів потепління.

2. Гістограми індексів опадів показали, що за негативної фази Північноатлантичного колювання на півночі та півдні України (м. Лубни, м. Одеса) збільшується кількість опадів. Це підтверджує відомий факт, що за позитивної фази ПАК над Україною має місце від’ємна аномалія опадів, тим часом як негативна фаза ПАК супроводжується збільшенням опадів. Індекси тепла та холоду в Лубнах та Одесі за негативної фази ПАК траплялися також з більшою частотою, що може бути пов’язано з посиленням меридіональних процесів над територією України.

3. За допомогою вейвлет-аналізу було виявлено зв’язок між змінами клімату, фазою ПАК та інтенсивністю температурних аномалій. До 1980 р. під час позитивної фази ПАК мінімальна місячна температура збільшувалась, а після 1980 р. – зменшувалась. Також виявлено, що ПАК впливає на опади в північних та південних регіонах по-різному.

На нашу думку проведений аналіз, з одного боку, виявив добре відомі відомості про вплив ПАК на синоптичні умови України, але, з іншого боку,

можу бути продовжений більш докладним аналізом зв'язку між характерною синоптичною ситуацією та виникненням тих чи інших аномальних погодних умов.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Khokhlov V., Romanova A. Joint principal component – wavelet analysis of atmospheric teleconnection: the North Atlantic Oscillation case. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2014, vol. 28, pp. 369–381.
2. Polonskiy A.B., Basharin D.V., Voskresenkaya E.N., Worley S. North Atlantic Oscillation: description, mechanisms, and influence on the Eurasian climate. *Physical Oceanography*, 2004, vol. 14, pp. 96–113.
3. Orłowsky B., Seneviratne S.I. Global changes in extremes events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 2012, vol. 110, pp. 669–696.
4. Serra C., Lana X., Burgueño A., Martínez M.D. Partial duration series distributions of the European dry spell lengths for the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, vol. 123, pp. 63–81.
5. Forzieri G., Feyen L., Russo S., Vousdoukas M., Alfieri L., Outten S., Migliavacca M., Bianchi A., Rojas R., Cid A. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change*, 2016, vol. 137, pp. 105–119.
6. Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demarée G., Gocheva A., Mileta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C. et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*, 2002, vol. 22, pp. 1441–1453.
7. <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php>.
8. Врублевская А.А. Статистическая оценка поля температуры и осадков с целью выделения климатически однородных регионов на территории Украины / Врублевская А.А., Гордейчук О.П., Миротворская Н.К. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2001. – Вип. 44. – С. 3–9.
9. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Lovett L. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology*, 2006, vol. 322, pp. 14–24

#### REFERENCES

1. Khokhlov V., Romanova A. Joint principal component – wavelet analysis of atmospheric teleconnection: the North Atlantic Oscillation case. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2014, vol. 28, pp. 369–381.
2. Polonskiy A.B., Basharin D.V., Voskresenkaya E.N., Worley S. North Atlantic Oscillation: description, mechanisms, and influence on the Eurasian climate. *Physical Oceanography*, 2004, vol. 14, pp. 96–113.
3. Orłowsky B., Seneviratne S.I. Global changes in extremes events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 2012, vol. 110, pp. 669–696.
4. Serra C., Lana X., Burgueño A., Martínez M.D. Partial duration series distributions of the European dry spell lengths for the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, vol. 123, pp. 63–81.
5. Forzieri G., Feyen L., Russo S., Vousdoukas M., Alfieri L., Outten S., Migliavacca M., Bianchi A., Rojas R., Cid A. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change*, 2016, vol. 137, pp. 105–119.
6. Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demarée G., Gocheva A., Mileta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C. et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*, 2002, vol. 22, pp. 1441–1453.
7. <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php>.
8. Vrublevskaia A.A., Gordeichuk O.P., Mirotvorskaia N.K. Statisticheskaya otsenka polya temperatury i osadkov s tsel'yu vydeleniya klimaticheskii odnorodnykh regionov na territorii Ukrainy [Statistical estimation of temperature and precipitation fields with the purpose of separation of climatic homogeneous regions in Ukraine]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrologiya – Meteorology, Climatology and Hydrology*, 2001, vol. 44, pp. 3–9.
9. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Lovett L. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology*, 2006, vol. 322, pp. 14–24

### CHANGES OF WEATHER CONDITIONS IN UKRAINE UNDER CLIMATE CHANGES

**Khokhlov V.M.**, Dr. Sc. (Geogr.), Prof.  
**Borovska H.O.**, Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof.  
**Umanska O.V.**,  
**Tenetko M.S.**

*Odessa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, metod1@odeku.edu.ua*

The paper analyzes spatiotemporal features the indices of hot, cold and precipitation that are related to weather conditions. The temperature in Ukraine tends to be higher, which is the main regional feature of global climate changes. The North Atlantic Oscillation had an influence on the precipitation in Ukraine – weather is rainier during its negative phases. Also, colder night and hot-

ter days were more frequent during negative phases of the NAO. This fact can be explained by enhancing meridional flows in Ukraine. The wavelet analysis also revealed an impact of the NAO on temperature anomalies – positive phases determined increasing monthly minimum temperatures before the 1980s and decreasing ones after 1980s. Also, the wavelet analysis showed that the North Atlantic Oscillation influenced the precipitation in northern and southern parts of Ukraine in different ways.

**Keywords:** temperature, precipitation, North Atlantic Oscillation, wavelet analysis.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

**В.Н. Хохлов**, д.геогр.н., проф.

**Г.А. Боровская**, к.геогр.н., доц.

**О.В. Уманская**,

**М.С. Тенетко**

*Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, metod1@odeku.edu.ua*

Приводится пространственно-временной анализ количественных показателей, которые характеризуют погодные условия относительно суточной температуры и осадков – индексы тепла, холода и осадков. Выявлено, что в условиях изменений климата увеличилась повторяемость чрезвычайно теплых дней и уменьшилось количество суток с экстремально низкой температурой. При помощи анализа гистограмм и вейвлет-анализа показано, что возможной причиной таких изменений может быть влияние на погодные условия Украины Североатлантического колебания.

**Ключевые слова:** температура, осадки, Североатлантическое колебание, вейвлет-анализ.

*Дата першого подання.:05.06.2016*

*Дата надходження остаточної версії :20.06.2016*

*Дата публікації статті : 04.07.2016*