

УДК 551.557:519.246 (477.74)

## ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ

Г. П. Івус, Л. Д. Гончарова, Н. І. Косолапова

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [nelj11072004@gmail.com](mailto:nelj11072004@gmail.com)

У статті представлені результати аналізу та оцінки просторово-часового розподілу атмосферних опадів в основні сезони року на території Одеської області, котра, як відомо, є районом з недостатнім зволоженням. Для розв'язання цієї наукової задачі використовувалися статистичні методи опрацювання вихідної інформації, в якості якої виступали строкові дані за 00, 06, 12 та 18 годин. Динаміка режиму зволоження території Одеської області впродовж 2000-2009 рр. та 2010-2015 рр. розглядалася для 10-ти та 9-ти станцій області, відповідно вказаних періодів. За особливостями просторово-часового розподілу атмосферних опадів на території Одеської області визначено п'ять районів: південний, північно-західний, північний, східний та узбережжя. За допомогою інтегрального перетворення Фур'є з імовірністю 68% та 95% визначено статистично значущі періодичні коливання у часових рядах атмосферних опадів – від квазідвомісячних до квазідесятимісячних.

**Ключові слова:** клімат, кліматичні ресурси, атмосферні опади, детермінована основа, періодичні коливання.

### 1. ВСТУП

Проблема клімату нашої планети та його мінливості є однією з центральних у сучасній гідрометеорологічній науці. В умовах швидкого науково-технічного прогресу залежність людства від клімату не зменшилась, а, навпаки, суттєво зросла завдяки чому дослідження мінливості клімату набули чітко визначеної практичної значущості.

За останнє десятиріччя ХХ і на початку ХХІ століть виникла необхідність у більш високому рівні розуміння кліматичної системи і розвитку можливостей з попередження кліматичних змін і, насамперед, стосовно небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ). Ця проблема стала найбільш актуальною в зв'язку зі значним збільшенням кількості випадків та тривалості цих явищ, що пов'язано зі змінами у кліматичній системі [1-5]. В Україні майже щорічно у будь-якому регіоні створюються умови виникнення стихійних гідрометеорологічних явищ [3, 6, 7].

Раціональне природокористування, вирішення природно-екологічних проблем, перспективне планування та розміщення різних галузей економіки, створення ефективних методів боротьби зі шкідливими наслідками впливу СГЯ ґрунтується на кліматологічній інформації [3].

Для визначення природи атмосферних явищ, розроблення вірогідних методів їх прогнозуван-

ня та ефективних заходів запобігання значних економічних збитків, необхідне подальше всебічне їх дослідження, удосконалення і збільшення інформаційної бази з використанням сучасних методів статистичного аналізу та чисельного моделювання.

У міру накопичення метеорологічної інформації деякі значення, а також імовірнісні характеристики, треба постійно уточнювати у зв'язку з тим, що СГЯ надзвичайно мінливі у часі та просторі [3, 7].

Питання глобальних змін клімату та стихійних гідрометеорологічних явищ постійно перебувають у центрі уваги Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) та науковців основних напрямів кліматичних досліджень, у тому числі небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ [3, 7].

Дослідження СГЯ базуються на сучасних уявленнях про теорію клімату, головні положення якої знайшли свій подальший розвиток у вивченні змін та коливань сучасного клімату [1, 2, 4, 5, 8, 9].

У цій статті викладаються основні результати одного з розділів науково-дослідної роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (номер держреєстрації 0115U006532), що виконується на кафедрі метеорології та кліматології Одеського державного екологічного університету.

*Мета* представлено наукового дослідження полягає у визначенні особливостей просторово-часового розподілу атмосферних опадів в основні сезони року на території Одеської області за останні десятиріччя.

Реалізація поставленої перед авторами задачі була основана на принципі поступового переходу від більш маркомасштабних характеристик атмосферних опадів до більш дрібномасштабних, від внутрішньорічної структури до структури за окремі місяці. У подальшому буде проведено дослідження характеристик дощів за теплий та холодний періоди року, а потім характеристик окремих дощів і далі флуктуацій в середині дощу. Саме такий підхід у дослідженні атмосферних опадів у найбільшій степені враховує все різноманіття цього процесу [10].

Специфічність властивостей атмосферних опадів (різко виражена просторова та часова дискретність і неоднорідність) утворює великі складнощі в їх дослідженні. Крім того, недооцінка деяких аспектів структури атмосферних опадів привела до того, що вони на теперішній час досліджені все ще недостатньо.

Галузі використання даних про статистичну структуру полів атмосферних опадів – це будь-які розрахунки, пов'язані з проектуванням міських каналізаційних систем, різного роду промислових та будівельних перекриттів несуть у собі обов'язковий елемент врахування впливу атмосферних опадів. Крім того, опади призводять до послаблення радіохвиль в системах зв'язку та впливають на втрати електроенергії у високовольтних лініях електропередачі. Розрахунки, пов'язані з авіаційною метеорологією в багатьох випадках визначаються наявністю даних про просторово-часову структуру полів опадів. Розв'язання цілого ряду гідрологічних і сільськогосподарських задач, дослідження впливу на ерозію ґрунтів, розрахунки зливого стоку суттєво залежить від значень характеристик просторово-часової структури цього елемента клімату.

Отримані авторами цієї статті висновки носять попередній характер і потребують підтвердження на більш об'ємному статистичному матеріалі.

## 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Температурно-вологісний режим є важливою характеристикою клімату, що впливає на сільське, теплово-комунальне, паливно-енергетичне, водне та інші галузі господарства країни. На думку багатьох науковців [1, 2, 4-6, 8, 11, 12],

внаслідок глобального потепління клімат на території України стане різко змінюватися. Тому необхідно вже сьогодні створювати водогосподарські, агротехнічні комплекси, які забезпечать раціональне використання, збереження та відновлення природних ресурсів. Вивчення регіональних змін клімату в межах загальної проблеми дає можливість поліпшити моделі очікуваних проєкцій змін клімату в XXI столітті, які розробляються провідними науковими закладами.

Південь України виділяється за кліматичними характеристиками в окрему область. Це обумовлено не тільки впливом Чорного моря, але й специфічними особливостями циркуляції [3, 9]. При вивченні ролі атмосферної циркуляції в формуванні температурно-вітрового режиму, а також режиму опадів необхідно враховувати як макромасштабну циркуляцію, так і регіональні процеси, які безпосередньо впливають на клімат відносно невеликої території. Як відомо, перенесення повітряних мас відбувається за різних синоптичних процесів, які відрізняються масштабами, формами та сезонними відмінностями, що зумовлює часту зміну та складність погодних умов.

Важливим чинником регіонального клімату Європи і України є розташування квазістаціонарних центрів дії атмосфери. Зміни температурно-вологісного режиму досліджуваної території добре узгоджуються зі змінами характеру циркуляції атмосфери в Атлантико-Європейському секторі [3, 9]. В останні декілька десятирічч відбулося зміщення на схід (до 20°) центрів дії атмосфери – Сибірського та Азорського максимумів. Ці процеси зумовлюють додатні аномалії температури повітря у холодний період року та особливості режиму зволоження території нашої країни й окремих її областей [3, 12].

Як свідчать результати сучасних досліджень [1, 3, 8, 11-15], кількість опадів в окремих регіонах України змінювалася у XX столітті і ці зміни спостерігаються і на початку XXI століття [16-18].

Результати цієї наукової роботи, безперечно, не можна вважати вичерпаними в плані постановки визначеної задачі, реалізація якої буде проходити в два етапи. Крім вже зазначеного перспективного напрямку, пов'язаного з дослідженням просторової структури полів атмосферних опадів, осереднених за короткі часові інтервали (6 років), розв'язання задачі у подальшому буде направлено на генетико-морфологічне дослідження і буде проведено огляд синоптичних ситуацій.

### 3. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Важливою складовою і глобального, і регіонального клімату є атмосферні опади. Вони виступають однією з важливіших характеристик зволоження і відносяться до найбільш мінливих метеорологічних величин як у просторі, так і за часом. У різних областях України опади істотно відрізняються за кількістю, характером розподілу, річним ходом, інтенсивністю, тривалістю і т. ін. [3; 12].

Утворення і випадіння опадів в Україні – наслідок складних макроциркуляційних процесів, що визначають тепло- і вологообмін в атмосфері. Розподіл кількості опадів в окремих районах, а також в Одеській області, вказує на значну неоднорідність цього поля, зумовлену різними умовами опадоутворення. Знання про атмосферні опади необхідні людству, щоб забезпечувати роботу різних сфер господарської діяльності будь-якої країни. Це будівельна, комунальна сфери та потреби багатьох інших підрозділів, в яких необхідно враховувати кліматичні особливості при плануванні соціально-економічного розвитку регіону, при проектуванні промислового та житлового будівництва.

Атмосферні опади – частина кліматичних ресурсів, що найістотніше (поряд з температурою повітря) впливає на об'єкти сільськогосподарського виробництва і є важливим чинником для обґрунтування ведення і висвітлення систем землеробства, вегетації польових культур та ін. Сезонні особливості сільськогосподарського виробництва у поєднанні з агрометеорологічною та агрокліматичною інформацією свідчать про сталу потребу і сільського виробництва в ній [3; 8; 11].

Для з'ясування особливостей просторово-часового розподілу місячної кількості опадів, порівняно з кліматичною нормою [19], використовувалися строкові дані за 00, 06, 12 та 18 годин. Динаміка режиму зволоження Одеського регіону на початку XXI століття розглядалася впродовж 2000-2009 і 2010-2015 рр.

При проведенні статистичних розрахунків завжди виникає питання, якою повинна бути оптимальна довжина ряду спостережень для отримання характеристик того чи іншого елемента з необхідним ступенем точності, надійності і відповідності їх конкретним фізико-географічним умовам. Існувавший у кліматології довгий час принцип «чим довшим є ряд, тим точніше його середнє багаторічне значення» не завжди виправдовується. Найбільш стійка кліматична норма зводиться до середнього значення

метеорологічної величини, яке розраховано з періодів оптимальної довжини [10].

З врахуванням цього необхідно було опрацювати вихідні дані по всіх станціях Одеської області за єдиний період спостережень.

Для з'ясування багаторічних змін в розподілі місячної кількості опадів на території Одеської області та визначення статистичної структури вказаних кліматичних рядів застосовувалася методика дослідження нестационарних часових послідовностей.

Як показали чисельні дослідження, часові ряди метеорологічних величин утримують «приховані» періодичні компоненти, обумовлені хвилюватою природою атмосферних процесів.

Використання даного методу дає можливість отримати частоти, амплітуди, початкові фази періодичних компонент, «прихованих» у часовій послідовності [20].

Так, часовий ряд  $X(t)$ , заданий на інтервалі  $t \in [-\tau; \tau]$ , можна розглядати як кусково-гладку функцію часу. Таку функцію у відповідності до теореми Діріхле можна виразити суперпозицією простих гармонік

$$X(t) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (1)$$

де  $A_k$  – амплітуда  $k$ -ої гармоніки,  $\omega_k$  – її частота,  $\varphi_k$  – початкова фаза.

Рівність (1) може бути переписаною таким чином

$$X(t) = \sum_{k=0}^{\infty} [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t], \quad (2)$$

якщо позначити

$$a_k = A_k \sin \omega_k, \quad (3)$$

$$b_k = A_k \cos \omega_k. \quad (4)$$

Як свідчать формули (3) та (4), початкова фаза розраховується за допомогою рівняння

$$\omega_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}. \quad (5)$$

Для кусково-гладкої функції  $X(t)$ , заданої на нескінченному інтервалі, справедливим є перетворення Фур'є

$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{-i\omega t} dt, \quad (6)$$

де  $i = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця.

Але часові ряди гідрометеорологічних вели-

чин визначені на обмеженому інтервалі і можуть бути апроксимовані таким чином

$$X(t) = \begin{cases} x(t), & \text{за умови } t \in [-\tau, \tau]; \\ 0, & |t| > \tau. \end{cases} \quad (7)$$

Для такої функції перетворення Фур'є має вигляд

$$F_{\tau}(i\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} X(t) \cdot e^{-i\omega t} dt. \quad (8)$$

Якщо впровадити відому формулу Ейлера, то інтеграл (8) приймає таку форму

$$F_{\tau}(i\omega) = U(\omega) - iV(\omega), \quad (9)$$

де

$$U(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} X(t) \cos \omega t dt, \quad (10)$$

$$V(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} X(t) \sin \omega t dt. \quad (11)$$

Рівності (10) та (11) є відповідно косинус- і синус-перетворення Фур'є функції  $X(t)$ , що апроксимована виразом (7). Якщо частоти гармонічних компонент, які утримуються в  $X(t)$ , не є близькими, то  $U(\omega)$  і  $V(\omega)$  мають вигляд кривих з різко вираженими піками в точках  $\omega = \omega_k$ . Висота піків приблизно дорівнює амплітудам парної ( $a_k$ ) і непарної ( $b_k$ ) складових періодичного коливання з частотою  $\omega_k$ , «прихованого» в процесі  $X(t)$ . На тих самих частотах  $\omega_k$  будуть спостерігатися піки амплітуд  $A_k = A(\omega_k)$ , оскільки  $a_k \approx U(\omega_k)$  і  $b_k \approx V(\omega_k)$ .

Амплітуду  $k$ -ої гармоніки в такому разі розраховують за формулою

$$A(\omega_k) = [U^2(\omega_k) + V^2(\omega_k)]^{1/2}. \quad (12)$$

З метою поліпшення селективних якостей перетворень Фур'є (10) та (11) в них вводять множники («вікна»), які зменшують вплив значень  $X(t)$ , заданих поблизу меж інтервалу визначення функції.

Отже, з врахуванням «вікна» Гіббса косинус- та синус-перетворення Фур'є описуються рівняннями (13) і (14) відповідно

$$U(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{\frac{2t}{\tau}} X(t) \cos \omega t dt, \quad (13)$$

$$V(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{\frac{2t}{\tau}} X(t) \sin \omega t dt. \quad (14)$$

Періодичності, що утримуються у випадковому процесі, визначаються по піках амплітуд  $A(\omega_i)$  на періодограмі (амплітудно-частотній характеристиці). Для ліквідації малозабезпечених піків застосовують фільтр Тьюккі

$$\tilde{A}(\omega_i) = 0.25A(\omega_{i-1}) + 0.5A(\omega_i) + 0.25A(\omega_{i+1}). \quad (15)$$

Визначення статистично значущих періодичностей, характерних для процесу  $X(t)$ , ґрунтується на побудові верхньої довірчої межі для амплітуд із заданою ймовірністю за умови, що амплітуди підпорядковуються нормальному розподілу. Періоди  $T_k$  гармонік  $\omega_k$ , які відповідають пікам амплітуд, що виходять за довірчу межу, ототожнюються з періодами гармонічних коливань, які утримуються у випадковому процесі  $X(t)$ . Для кожного з них знаходять початкову фазу

$$\phi_k = \arctg \frac{U(\omega_k)}{V(\omega_k)}. \quad (16)$$

Початкова фаза дає можливість знайти точку  $h_k$  на осі часу, яка є початком коливання, тобто

$$h_k = \begin{cases} (\pi + \phi_k) \cdot T_k, & \phi_k \leq 0; \\ \frac{2\pi}{\phi_k \cdot T_k}, & \text{за умови} \\ \frac{2\pi}{\phi_k}, & \phi_k > 0, \end{cases} \quad (17)$$

де  $\phi_k$  – початкова фаза гармонічного коливання в радіанах,  $T_k$  – період гармонічного коливання в одиницях часу, який розраховується за формулою

$$T_k = \frac{2\pi}{\omega_k}. \quad (18)$$

Як відомо, більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Основною причиною цього є те, що під впливом різного надходження до земної поверхні кількості сонячної радіації протягом доби, сезону, року величини мають добовий, сезонний, річний хід і т. п.

Багаторічні зміни характеру кліматоутворювальних факторів приводять до виникнення трендів, тобто однонаправлених змін метеорологі-

чних величин протягом тривалого часу.

Дослідження статистичної структури атмосферних опадів ґрунтувалося на послідовності їх значень у вигляді еквідистантних часових рядів з дискретністю один місяць. Вони зображалися як сума детермінованої  $\hat{X}(t)$  та випадкової  $X_3(t)$  компонент. У свою чергу, детермінована компонента складається з тренду  $X_1(t)$  і періодичної компоненти  $X_2(t)$ , яка відбиває сезонний (річний) хід процесу  $X(t)$  [20].

Отже,

$$X(t) = X_1(t) + X_2(t) + X_3(t). \quad (19)$$

Детермінована основа випадкового процесу вилучається шляхом фільтрації (або згладжування) вихідного часового ряду. Одним з видів згладжування є ковзне осереднення, яке у загальному вигляді може бути зображене таким чином

$$\hat{X}(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=k-n/2}^{k+n/2} \alpha_i X(t_i), \quad (20)$$

де  $\alpha_i$  – ваговий множник,  $n$  – кількість точок, по яких проводиться згладжування:

$$k = 1 + n/2; 2 + n/2; \dots; N' + n/2; N' = N(n - 1),$$

де  $N$  – кількість членів ряду.

Якщо в рівності (20)  $\alpha_i = 1$ , то оператор згладжування визначає просте ковзне осереднення, в якому вага усіх точок, котрі приймають участь при розрахунках середнього значення на інтервалі  $[k - n/2; k + n/2]$ , однакова.

Більш коректними є фільтри, що утримують тригонометричні

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{n} \quad (21)$$

або експоненціальні

$$\alpha_i = \exp \left[ -\frac{|k-i|}{n} \right] \quad (22)$$

вагові множники. Вони зменшуються по відзначених формулами (21) і (22) законах від середини інтервалу згладжування до його кінців.

У цій роботі для згладжування часових рядів атмосферних опадів застосовувався косинус-фільтр вигляду (21).

Об'єктом спеціальних досліджень є просторово-часова структура атмосферних опадів на території Одеської області в основні сезони року.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Враховуючи практичну значущість використання даних про статистичну структуру полів атмосферних опадів в умовах змін і коливань клімату, доцільно було оцінити їх просторово-часовий розподіл на території Одеської області, котра, як відомо, є районом з недостатнім зволоженням, тобто спостерігається найбільша ймовірність посушливих років. Тут випадає найменша в Україні кількість опадів за рік (400-500 мм) та на узбережжі – менше 400 мм [3, 12].

Зіставлення тривалості періодів у просторово-часовому розподілі опадів на станціях, розташованих на різних відстанях одна від одної, свідчать про його загальні причини, якими можуть бути багаторічні цикли у змінах сонячної активності або коливань макромасштабної циркуляції атмосфери. Крім того, кількість опадів, їх повторюваність, інтенсивність залежать ще від багатьох чинників: місця формування, стадії розвитку, потужності, траєкторії руху, вологовмісту циклону, а також від фізико-географічних умов орографії, місцевих особливостей території [3].

В процесі формування клімату радіаційні умови тісно взаємодіють з атмосферною циркуляцією, яка сприяє перерозподілу по території тепла і вологи. Атмосферна циркуляція, тобто повітряні течії та баричні утворення, які характерні для України і визначають тут погодні умови, в значній мірі зумовлені тими фізико-географічними особливостями її території, що відрізняють Україну від інших регіонів. По-перше, це те, що територія України розташована в західній частині Європейсько-Азіатського материка неподалік від великого водяного простору Атлантичного океану. Завдяки значній різниці у властивостях підстильної поверхні між цим континентом і океаном територія Східної і Західної Європи на протязі значної частини року являє собою район інтенсивних атмосферних процесів. Друга особливість полягає в тому, що західні, північні і східні райони прилеглі до України, являють собою рівнину, південно-західні райони зайняті горами, а на півдні берега країни омивають Чорне і Азовське моря. Рівнинні простори території дають можливість арктичним вторгненням просуватися майже до південних кордонів. Чорне море впливає на температуру нижніх шарів повітряних мас, що проходять над ним.

Взимку на Україні, особливо в більш високих широтах, дуже розвинута циклонічна діяльність і її територія знаходиться на південній периферії циклонів, що пересуваються, головним чином, зі

східною складовою. Саме в цей сезон більшість циклонів перетинають територію України, що визначає інтенсивний міжширотний обмін повітря. Звичайно, це західні, північно-західні і південно-західні циклони. Останні приходять з районів Чорного моря, Малої Азії, півночі Італії, так звані «південні» циклони, які пов'язані з середземноморською гілкою полярного фронту, інші з центральних районів. Акваторія Чорного моря та Українські Карпати у зимовий сезон є осередками місцевого циклогенезу [3].

Враховуючи важливість розв'язання наукової задачі щодо структури полів опадів південних районах України, на першому етапі дослідження визначалась динаміка режиму атмосферних опадів на станціях Одеської області на початку XXI століття (порівняно з кліматичним періодом 1961-1990 рр.). Як приклад на рис. 1 та рис. 2 наведено зміни місячної кількості опадів у зимовий (грудень-лютий) та літній (червень-серпень) сезони.

Як випливає з рис. 1а, у грудні спостерігається значне зростання місячної кількості опадів у період 2010-2015 рр. на всіх станціях Одеського регіону (порівняно з кліматичною нормою) і найбільше опадів у грудні даного періоду зафіксовано на ст. Болград (67 мм). Слід зауважити, що кількість опадів у цей місяць періоду 2000-2009 рр. була майже однаковою по всій території області (20-30 мм). Тому можна констатувати, що у це десятиріччя XXI століття місячна кількість опадів є найменшою з тих періодів, що розглядалися.

На рис. 1б представлена динаміка місячної кількості опадів центрального місяця зимового сезону, яка вказує на збільшення кількості опадів у період 2010-2015 рр. по всій території області, порівняно з кліматичною нормою. Найбільше їх зростання відбулося на трьох станціях: Одеса, Б.-Дністровський, Роздільна. За попереднє десятиріччя XXI ст. (2000-2009 рр.) кількість опадів на всіх станціях Одеської області мало відрізнялася від кліматичної норми. Ці різниці коливалися в межах 5 мм на 9 станціях, крім ст. Сербка, на якій у цей період спостерігалось збільшення кількості опадів (порівняно з кліматичною нормою) на 16-17 мм.

У лютому (рис. 1в) спостерігаємо суттєве (до 15-17 мм) зменшення кількості опадів у період 2010-2015 рр. на всіх станціях Одеської області, крім ст. Сербка, де кількість опадів, порівняно з кліматичною нормою, зросла на 10 мм. Зменшення кількості опадів (відносно норми) спостерігаємо і у попередній період (2000-2009 рр.) на семи станціях, а на станціях Сербка, Одеса,

Б.-Дністровський, навпаки.

Отже, на території Одеської області два місяці зимового сезону (грудень, січень) були більш вологими за останні шість років, порівняно з періодом 1961-1990 рр., а в лютому, навпаки, зафіксовано зменшення кількості опадів.

Літній сезон на Україні (і зокрема в південних її областях) характеризується високою інтенсивністю сонячної радіації, зменшенням баричних градієнтів і слабкою адвекцією. Помітний вплив має підстильна поверхня, яка зумовлює, особливо на півдні країни, інтенсивну трансформацію повітря, що накладає відбиток на циркуляційні процеси і спостерігається послаблення циклонічної діяльності. Влітку значного розвитку набуває Азорський максимум, виступ якого поширюється далеко на схід [3].

Просторово-часова структура полів атмосферних опадів літнього сезону на території Одеської області представлена на рис. 2.

У цей сезон періоду 2010-2015 рр. спостерігаються різкі і протилежні тенденції в змінах кількості опадів. Якщо порівняти динаміку режиму атмосферних опадів у червні та серпні – вони мають різні тенденції. Так, у червні на всіх станціях Одеської області кількість опадів зростає, порівняно з кліматичною нормою, а у серпні – навпаки. У липні цього періоду тільки на трьох станціях області кількість опадів була значно менше за норму: ст. Любашівка (на 28 мм), ст. Сербка (на 15 мм) і ст. Затишшя (на 13 мм). На станціях Роздільна, Ізмаїл і Болград кількість опадів майже відповідала нормі. У липні на трьох станціях області кількість опадів значно перевищує кліматичну норму: Одеса (на 35 мм), Сарата (на 15 мм), Б.-Дністровський (близько 10 мм).

У період 2010-2015 рр. для більшості станцій Одеської області максимальна місячна кількість опадів літнього сезону припадає на червень і тільки на трьох станціях області (Одеса, Б.-Дністровський, Сарата) липень (поряд з червнем) залишається найвологішим місяцем року.

Особливості просторово-часового розподілу атмосферних опадів у перехідні сезони року на території Одеської області представлені у роботі [21].

На сьогоднішній день досягнуті достатньо великі успіхи в зборі, систематизації та узагальненні емпіричної інформації, яка характеризує клімат різного просторового та часового масштабу. Але розосередженість вихідної інформації ускладнює вивчення структури та мінливості сучасного клімату і потребує статистичного підходу, за допомогою якого можна використати

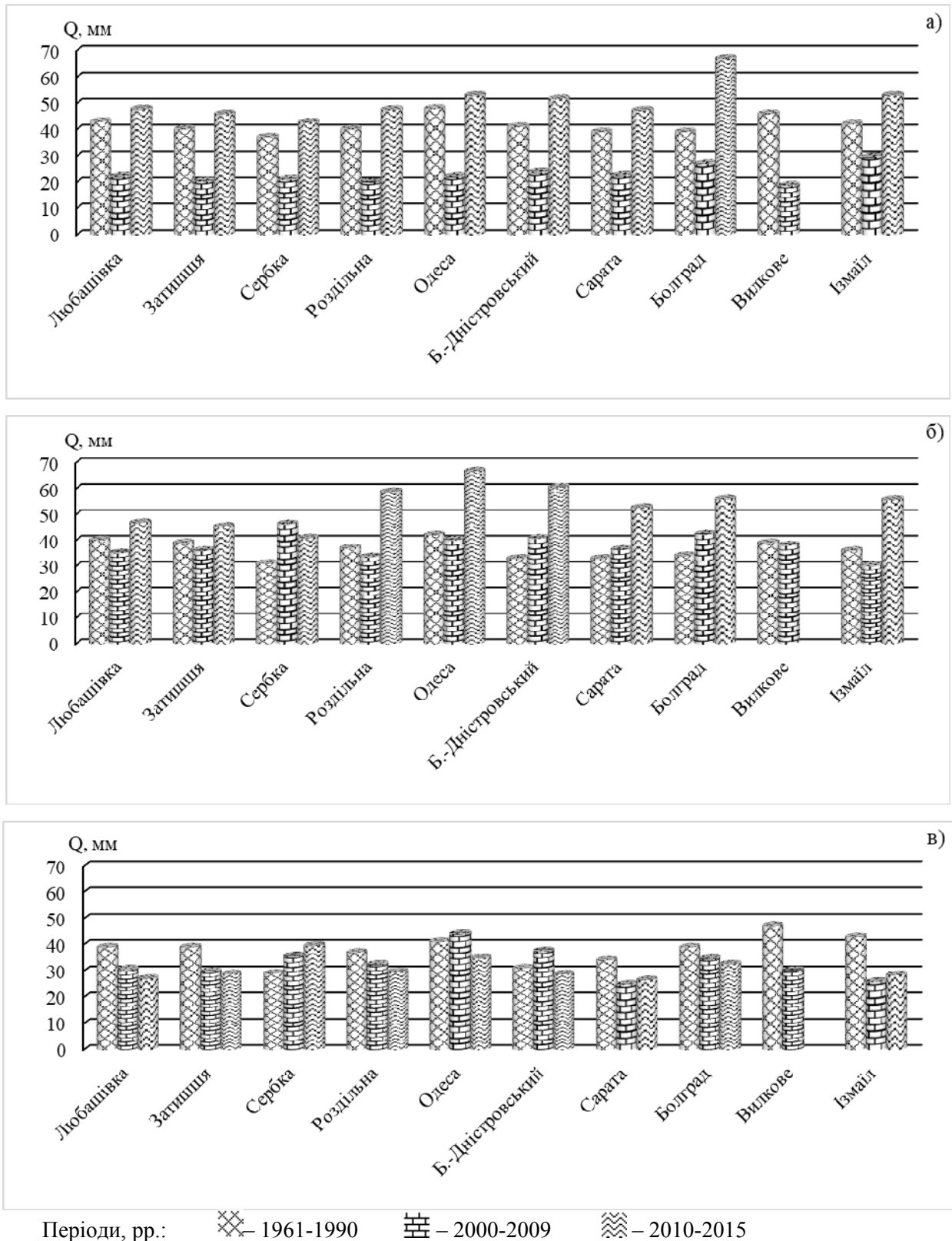


Рис. 1 – Місячна кількість опадів (мм) на станціях Одеського області. Зима : а) грудень; б) січень; в) лютий

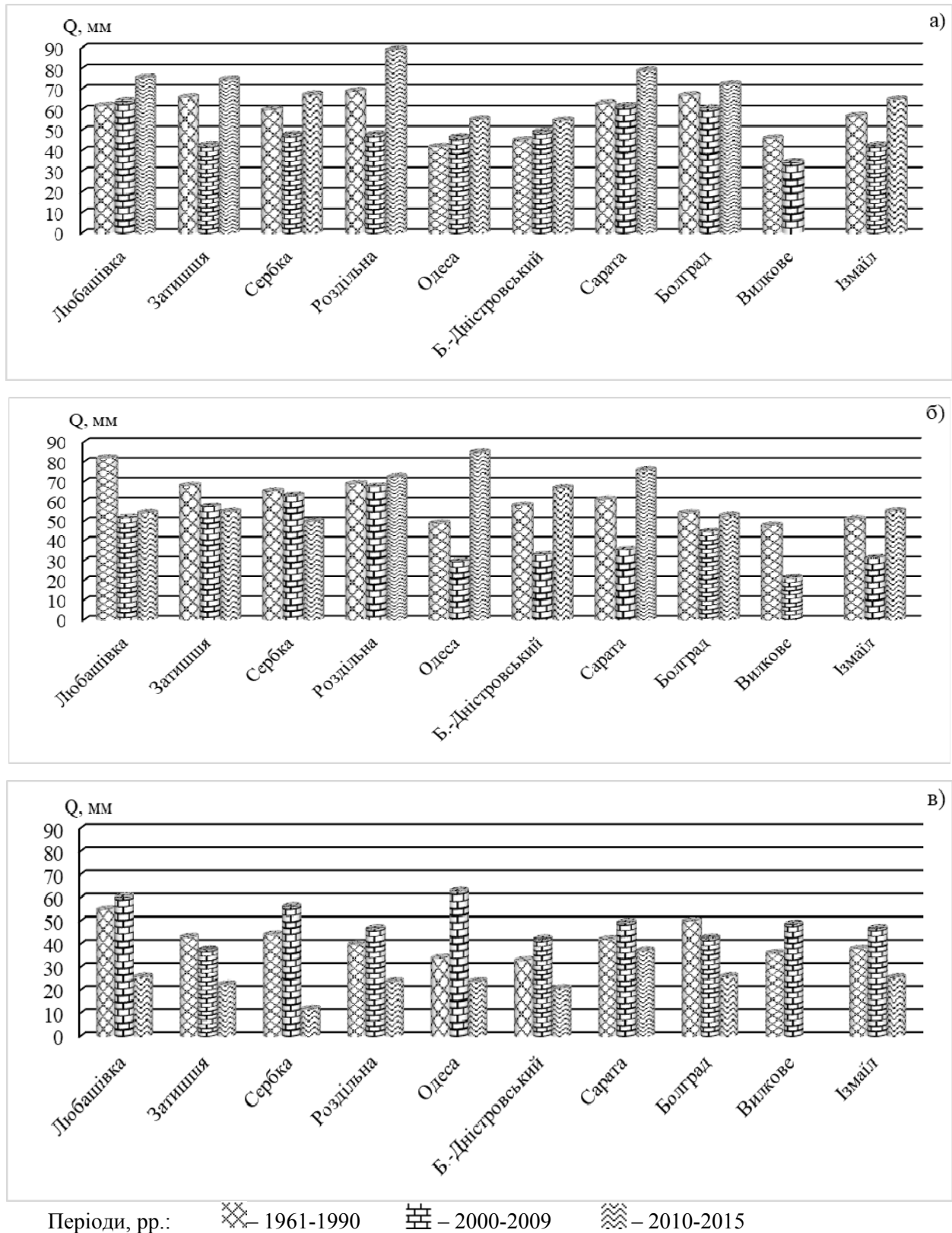


Рис. 2 – Місячна кількість опадів (мм) на станціях Одеського області. Літо : а) червень; б) липень; в) серпень



для дослідження багаторічний архів даних, а це є значним резервом покращення якості довгострокових прогнозів погоди.

На наступному етапі було проведено дослідження багаторічного ходу атмосферних опадів у період 2010-2015 рр. Це дозволило територію Одеської області розділити на п'ять районів:

- 1) узбережжя – це станції: Одеса, Б.-Дністровський, Чорноморськ;
- 2) південний район – це станції: Сарата, Болград, Ізмаїл;
- 3) північно-західний район – це станції: Затишся, Роздільна;

4) північний – ст. Любашівка;

5) східний – ст. Сербка.

Ці висновки носять попередній характер і потребують підтвердження на більш об'ємному статистичному матеріалі.

Для дослідження структури нестационарних випадкових процесів за вказаною методикою були побудовані часові ряди та детермінована основа атмосферних опадів для всіх визначених районів Одеської області.

Як приклад вони представлені на рис. 3 для двох районів: узбережжя та південного району.

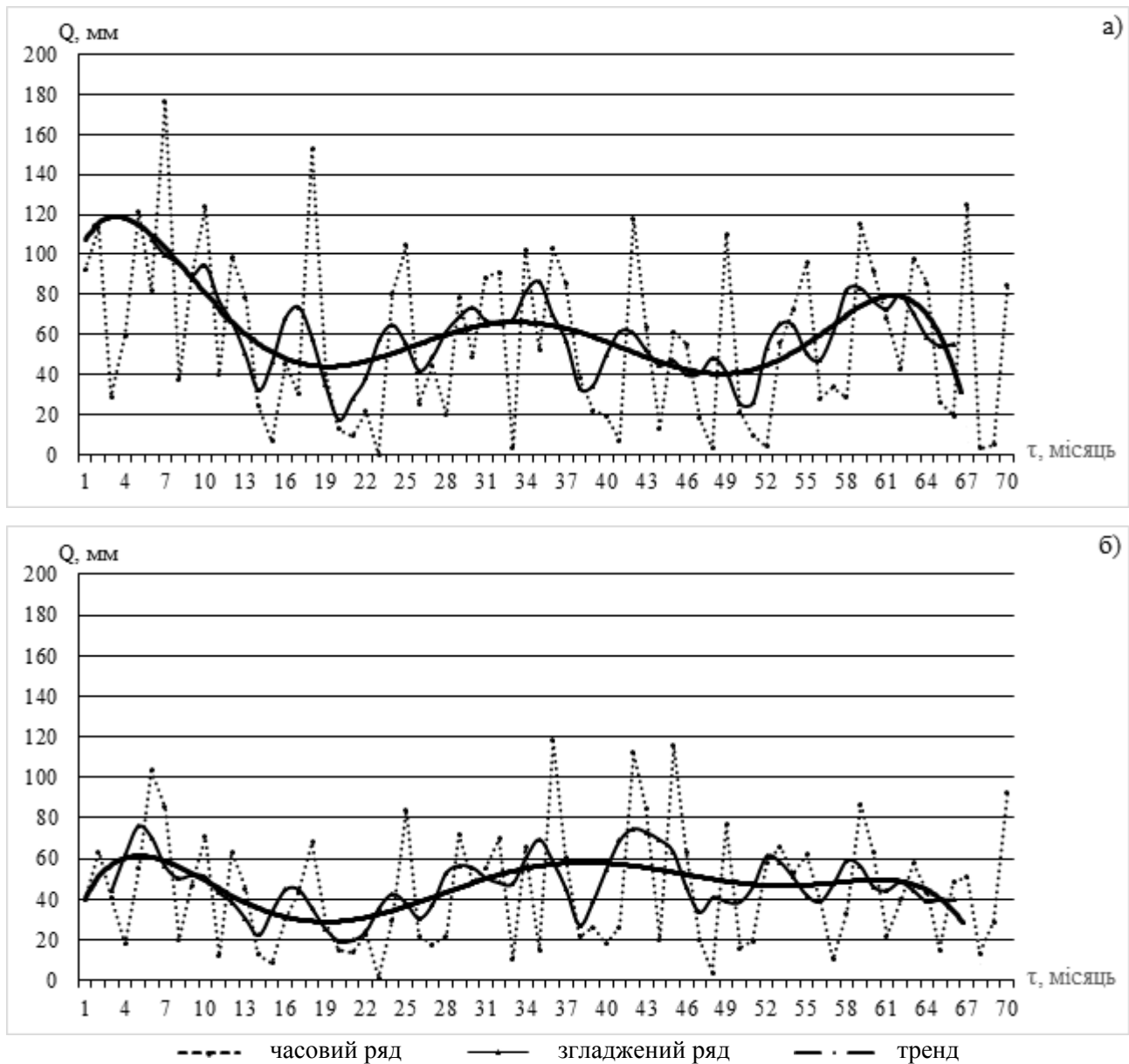


Рис. 3 – Часовий ряд та детермінована основа місячної кількості опадів, мм (2010-2015 рр.) : а) узбережжя; б) південний район

**Таблиця 1** – Характеристики періодичних компонент, що виявлені в рядах атмосферних опадів на території Одеської області (жирним шрифтом виділені коливання, що визначені з імовірністю 95%)

| № | Район             | $\omega_k$ , Мі-<br>сяць <sup>-1</sup> | $A_k$ , мм | $T_k$ , місяць | Початкова<br>фаза $\phi_k$ , рад | $U(t)$ | $V(t)$ |
|---|-------------------|--|------------|----------------|----------------------------------|--------|--------|
| 1 | Узбережжя         | 1,02                                   | 15,1       | <b>6,2</b>     | -0,014                           | -0,34  | 24,21  |
|   |                   | 2,87                                   | 12,4       | 2,2            | -0,702                           | -10,08 | 11,92  |
| 2 | Південь           | 1,02                                   | 10,3       | 6,2            | 0,081                            | 1,13   | 13,90  |
|   |                   | 1,95                                   | 10,9       | 3,2            | -0,007                           | -0,06  | 9,66   |
|   |                   | 2,87                                   | 10,2       | 2,2            | -1,331                           | -12,54 | 3,07   |
| 3 | Північно-західний | 1,02                                   | 10,5       | <b>6,2</b>     | 0,131                            | 2,20   | 16,71  |
|   |                   | 2,21                                   | 9,5        | 2,8            | -1,222                           | -6,34  | 2,31   |
|   |                   | 2,87                                   | 9,8        | 2,2            | -0,519                           | -5,52  | 9,67   |
|   |                   | 3,27                                   | 9,3        | 1,9            | -0,378                           | -3,44  | 8,67   |
| 4 | Східний           | 0,62                                   | 10,0       | <b>10,1</b>    | -0,913                           | 8,19   | -6,32  |
|   |                   | 1,02                                   | 9,8        | 6,2            | 0,197                            | 2,94   | 14,78  |
| 5 | Північний         | 0,62                                   | 10,4       | 10,1           | -0,742                           | 5,74   | -6,26  |
|   |                   | 2,87                                   | 10,5       | 2,2            | -0,810                           | -6,12  | 5,83   |
|   |                   | 3,27                                   | 13,8       | <b>1,9</b>     | 0,013                            | 0,174  | 13,82  |

Структура детермінованих компонент для всіх територій вказує на чітко визначені як трендові, так і періодичні складові в багаторічному режимі.

За допомогою інтегрального перетворення Фур'є в часових рядах атмосферних опадів з імовірністю 68% та 95% були визначені статистично значущі періодичні коливання, характеристики яких представлені в табл. 1. Як впливає з табл. 1, у часових рядах атмосферних опадів на території Одеської області визначені квазідвомісячні, квазітрьохмісячні, піврічні та квазідесятимісячні коливання. Усі вони у подальшому потребують фізичного обґрунтування і врахування в тих сферах, для яких ці дані є дуже важливими.

## 5. ВИСНОВКИ

1. Вивчення динаміки місячної кількості опадів наприкінці XX-го та на початку XXI-го століть, яке було проведено за багаторічними даними трьох періодів осереднення (1961-1990, 2000-2009, 2010-2015 рр.), свідчить про неоднозначність складних змін в розподілі атмосферних опадів в різні сезони року і в різних районах Одеської області, що потребує подальших досліджень при вирішенні загальної наукової проблеми.

2. Просторово-часовий розподіл атмосферних опадів на території Одеської області у зимовий сезон показав, що на початку XXI століття два місяці зимового сезону (грудень, січень) стали більш вологими, порівняно з кліматичною нормою, а в лютому, навпаки, зафіксовано зменшення кількості опадів.

3. Для більшості станцій Одеської області максимальна місячна кількість опадів літнього сезону за останні десятиріччя припадає на червень і тільки на трьох станціях області (Одеса, Б.-Дністровський, Сарата) липень (поряд з черв-

нем) залишається найвологішим місяцем року.

4. За особливостями просторово-часової структури багаторічного ходу атмосферних опадів на території Одеської області визначено п'ять районів: південний, північно-західний, північний, східний та узбережжя.

5. Статистична структура нестационарних часових послідовностей досліджуваної кліматичної характеристики включає чіткі трендові і періодичні (квазідвомісячні, квазітрьохмісячні, піврічні та квазідесятимісячні) складові в багаторічному режимі атмосферних опадів на території Одеської області.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш М. Б., Корж Т. В., Татарчук О. Г. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. Вип. 253. С. 92-102.
2. Бойченко С. Г., Волощук В. М., Дорошенко І. А. Глобальне потепління та його наслідки на території України. *Український географічний журнал*. 2000. № 2. С. 59-68.
3. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
4. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. № 4. С. 32-39.
5. Светличний А. А., Ибрагімова М. С. К вопросу о современных изменениях климата Северо-Западного Причерноморья. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2016. Т. 21 (1). С. 22-41.
6. Руденко В. П. Критичний екологічний стан компонентів природи в регіонах України. *Український географічний журнал*. 2010. № 2. С. 60-68.
7. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ, 2006. 311 с.
8. Польовий А. М., Трофімова І. В., Кульбіда М. І., Адаменко Т. І. Вплив зміни клімату на сільське господарство півдня України. *Метеорологія,*

- кліматологія та гідрологія. 2008. Вип. 49. С. 252-261.
9. Гончарова Л. Д., Косолапова Н. І. Вплив основних телеконекцій Північної півкулі на режим опадів по території України. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2017. Т. 22. Вип. 1 (30). С. 11-27.
  10. Алибегова Ж. Д. Структура полей жидких осадков за короткие интервалы времени. Ленинград: Гидрометеоздат, 1975. 134 с.
  11. Барабаш М. Б., Гребенюк Н. П., Татарчук О. Г. Особливості зміни ресурсів тепла та вологи в Україні при сучасному потеплінні клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 174-186.
  12. Кліматичні ресурси Одеської області для сталого розвитку: науково-практичний довідник / за ред. Ж. В. Волошиної. Одеса: Державна гідрометслужба України, 2010. 180 с.
  13. Гончарова Л. Д. Режим зволоження території Одеського регіону протягом ХХ століття (осінній та весняний сезони). *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. Одесса. 2009. № 1 (9). С. 77-83.
  14. Гончарова Л. Д. Динаміка режиму зволоження на території Одеського регіону протягом ХХ століття. *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. 2009. № 4 (8). С. 94-100.
  15. Гончарова Л. Д. Особливості зміни місячної кількості атмосферних опадів на території Одеської області протягом ХХ століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. Вип. 5. С. 77-83.
  16. Івус Г. П., Гончарова Л. Д., Косолапова Н. І. Характер розподілення атмосферних опадів в Одеському регіоні на початку ХХІ століття. *Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд з міжнародною участю: тези доповідей*, 22-23 березня. Одеса, 2017. С. 210-211.
  17. Косолапова Н. І., Івус Г. П., Гончарова Л. Д. Просторово-часове розподілення добової кількості опадів в Одеському регіоні на початку ХХІ століття. *Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*, 3-12 травня. Одеса, 2017. С. 176-182.
  18. Івус Г. П., Хоменко Г. В., Міщенко Н. М., Косолапова Н. І., Сухов О. О. Кількісна оцінка інтенсивності літніх атмосферних фронтів над Україною. *Scientific Journal (Science Rise)*. 2016. Вип. 7/1 (24). С. 16-21.
  19. Кліматичні стандартні норми (1961-1990 рр.). Київ, 2002. 446 с.
  20. Гончарова Л. Д., Школьнік Є. П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ). Одеса, 2007. 464 с.
  21. Ivus, G.P., Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I., Zubkovych, S.O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region. *Scientific Journal (Science Review)*, 01/3(10), 27-33.
  - and geological sciences], 21(1), 22-41. (In Russ.).
  6. Rudenko, V.P. (2010). [Critical environmental state of components of the nature in regions of Ukraine]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic journal]*, 02, 60-68. (In Ukr.).
  7. Lipinskiy, V.M., Osadchyi, V.I., Babichenko, V.M. (Eds). (2006). *Stykhiyni meteorolohichni yavyshecha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005 rr.)* [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine during the last twenty years (1986-2005)]. Kyiv.
  8. Polevoy, A.N., Trofimova, I.V., Kulbida, M.I., Adamenko, T.I. (2008). [Impact of climate changes on agriculture of the South of Ukraine]. *Meteorolohiya, klimatolohiya ta hidrolohiya: Mizhvid. nauk. zb. Ukrainy [Meteorology, climatology and hydrology: interdepartmental scientific collection]*, 49, 252-261. (In Ukr.).
  9. Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I. (2017). [Influence of main teleconnections of the North hemisphere on regime of precipitation on the territory of Ukraine]. *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky [Bulletin of ONU Ser. Geographical and geological sciences]*, 22/1(30), 11-27. (In Ukr.).
  10. Alibekova, Zh.D. (1975). *Struktura poley zhydkikh osadkov za korotkie intervayl vremeni* [The structure of the fields of liquid precipitation at short intervals of time]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
  11. Barabash, M.B., Hrebenuk, N.P., Tatarchuk, O.H. (2007). [Features of change of resources of heat and moisture in Ukraine at modern warming of climate]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific works of the UkrSRHMI]*, 256, 174-186. (In Ukr.).
  12. Voloshyna, Zh.V. (Ed.) (2010). *Klimatychni resursy Odeskoi oblasti dlia staloho rozvytku: naukovo-praktychnyi dovidnyk* [Climate Resources of the Odesa Oblast for Sustainable Development: Scientific and Practical Guide]. Odessa: State Hydrometeorological Service of Ukraine.
  13. Honcharova, L.D. (2009). [The mode of moistening of the territory of the Odesa's region throughout the XX century (autumn and spring seasons)]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey [Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas]*, 1 (9), 77-83. (In Ukr.).
  14. Honcharova, L.D. (2009). [Dynamics of the mode of moistening in the territory of the Odessa's region throughout the XX century]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey [Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas]*, 4 (8), 94-100. (In Ukr.).
  15. Honcharova, L.D. (2009). [Features of change of the monthly sums of an atmospheric precipitation in territory of the Odesa area during the XX-th century]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 5, 77-83. (In Ukr.).
  16. Ivus, H.P., Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I. (2017). [The nature of distribution of an atmospheric precipitation in the Odessa's region at the beginning of XXI century]. *Tezy dopovidei Pershoho Vseukrainskoho hidrometeorolohichnoho z'yizdu z mizhnarodnoiu uchastiu [Abstracts of the First All-Ukrainian Hydrometeorological Congress with International Participation]*, 22-23 March. Odessa, pp. 210-211. (In Ukr.).
  17. Kosolapova, N.I., Ivus, H.P., Honcharova, L.D. (2017). [Space-time distribution of the daily sum of rainfall in the Odessa's region at the beginning of XXI century]. *Materialy konferentsii molodykh vchenykh ODEKU [Materials of the scientific conference of young scientists ODEKU]*, 03-12 May. Odessa, pp. 176-182. (In Ukr.)
  18. Ivus, H.P., Khomenko, H.V., Mishchenko, N.M., Kosolapova, N.I., Sukhov, O.O. (2016). [Quantitative assessment of intensity of summer atmospheric fronts over Ukraine]. *Scientific Journal (Science Rise)*, 7/1(24), 16-21.
  19. *Klimatychni standartni normy (1961-1990 rr.)* [Climatic standard norms (1961-1990)]. (2002). Kyiv.
  20. Honcharova, L.D., Shkolnyi, Ye.P. (2007). *Metody obrobky*

## REFERENCES

1. Barabash, M.B., Korzh, T.V., Tatarchuk, O.H. (2004). [Investigation of changes and fluctuations of precipitation at the turn of the XX and XXI centuries in conditions of global warming]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific works of the UkrSRHMI]*, 253, 92-102. (In Ukr.).
2. Boychenko, S.H., Voloshchuk, V.M., Doroshenko, I.A. (2000). [Global warming and its consequences in the territory of Ukraine]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic journal]*, 02, 59-68. (In Ukr.).
3. Lipinskiy, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy* [Climate in the Ukraine]. Kyiv: Rayevskyy Publ.
4. Osadchyi, V.I., Babichenko, V.M. (2013). [The air temperature on the territory of Ukraine in today's climate conditions]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic journal]*, 04, 32-39. (In Ukr.).
5. Svetlichnyy, A.A., Ibragimova, M.S. (2016). [To the question of modern changes of climate of northwest Black Sea region]. *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky [Bulletin of ONU. Ser. Geographical*

ta analizu hidrometeorolozičnoj informatsii (zbirnyk zadach i vprav) [Methods of processing and analysis of hydrometeorological information (a collection of tasks and exercises)]. Odessa.

21. Ivus, G.P., Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I., Zubkovych, C.O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region. *Scientific Journal (Science Review)*, 01/3(10), 27-33.

## SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE ODESA REGION AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

H. P. Ivus, L. D. Goncharova, N. I. Kosolapova

Odessa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, [nelj11072004@gmail.com](mailto:nelj11072004@gmail.com)

During the last decade of the 20th and at the beginning of the 21st century there was a need for a higher level of understanding of the climate system and development of opportunities to prevent climate change and, first of all, understanding of dangerous natural hydrometeorological phenomena. The research of the latter is based on contemporary ideas of the theory of climate whose main concepts found their further development in the study of changes and fluctuations of the today's climate. For its climatic characteristics the South of Ukraine is considered as a separate region. This is due to not only the influence of the Black Sea but also to the specific features of the atmospheric circulation. Precipitation is one of the most important characteristics of humidification and appears to be the most variable meteorological value both in space and time. According to the results of modern studies the amount of precipitation within the territory of Ukraine and its individual regions was changing at the end of the 20th century and this change is still observed at the beginning of the 21st century. Therefore, the purpose of this scientific study is to determine the peculiarities of the spatio-temporal distribution of atmospheric precipitation in the territory of the Odesa Region over the recent decades. To complete this task we used statistical methods of processing the output information which included time data for 00, 06, 12 and 18 hours.

Based on peculiarities of the structure of the long-term course of atmospheric precipitation in the territory of the Odesa region the following five regions were defined: southern, northwest, northern, eastern and coastal. Using the integral Fourier transform we managed to determine probable periodic oscillations (quasi-two-month, quasi-three-month, half-year and quasi-ten-month ones).

This article presents the main results of one of the sections of the research work "Forecasting of dangerous meteorological phenomena over the southern regions of Ukraine" which is performed at the Department of Meteorology and Climatology of the Odessa State Environmental University.

**Keywords:** climate, climatic resources, atmospheric precipitation, determined basis, periodic fluctuations.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЯ

Г. П. Ивус, Л. Д. Гончарова, Н. И. Косолапова

Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, [nelj11072004@gmail.com](mailto:nelj11072004@gmail.com)

В статье представлены результаты анализа и оценки пространственно-временного распределения атмосферных осадков в основные сезоны года на территории Одесской области, которая, как известно, является районом с недостаточным увлажнением. Для решения этой научной задачи использовались статистические методы обработки исходной информации, в качестве которой выступали срочные данные за 00, 06, 12 и 18 часов. Динамика режима увлажнения территории Одесской области в течение 2000-2009 гг. и 2010-2015 гг. рассматривалась для 10-ти и 9-ти станций области, согласно указанных периодов. По особенностям пространственно-временного распределения атмосферных осадков на территории Одесской области определены пять районов: южный, северо-западный, северный, восточный и побережье. С помощью интегрального преобразования Фурье с вероятностью 68% и 95% определены статистически значимые периодические колебания во временных рядах атмосферных осадков – от квазидвухмесячных до квазидесятимесячных.

**Ключевые слова:** климат, климатические ресурсы, атмосферные осадки, детерминированная основа, периодические колебания.

Подання до редакції : 08. 02. 2018  
Надходження остаточної версії : 21. 09. 2018  
Публікація статті : 29. 11. 2018