

УДК 551.577.21;551.577.36

**Паламарчук Л.В.<sup>1</sup>, Сокур К.С.<sup>2</sup>, Заблоцька Т.М.<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка

### **ДИНАМІКА ІНТЕНСИВНОСТІ ОПАДІВ ТА МЕЗОСТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ПОЛІВ У ТЕПЛІЙ ПЕРІОД РОКУ НА РІВНИННІЙ ЧАСТИНІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

**Ключові слова:** небезпечні та сильні опади, максимальна інтенсивність, хвилі підсилення, інтенсивність опадів за об'ємом води, типи опадів, повторюваність значень інтенсивності.

**Вступ** Вивченню процесів формування опадів та особливостям структури їх полів присвячена значна кількість наукових досліджень, які використовують різні методи, бази даних та наукові підходи. Особлива увага у роботах вітчизняних вчених [2, 10, 17] приділяється вивченню умов утворення, статистичним характеристикам небезпечних та сильних опадів, а також оцінці їх впливу на природне середовище. В роботах [3, 9, 15] переважно оцінюється динаміка сум опадів, їх просторовий розподіл, тривалість, повторюваність різної кількості опадів для окремих регіонів. Домінує думка [2, 5, 14], що основною умовою формування небезпечних та дуже сильних опадів є виникнення блокуючих синоптичних процесів, які на макросиноптичному рівні впливають на хмаро- та опадоутворення у східній та південно-східній Європі (в т.ч. в Україні). Значно менша увага в останні роки приділяється вивченню структури поля опадів для окремих синоптичних процесів, їх інтенсивності та динаміці, величинам поверхневого стоку, що утворюється при випадінні сильних опадів на різних типах підстильної поверхні. У зв'язку з високою повторюваністю в останні роки випадків затоплення під час злив, особливо в містах, виникає потреба встановлення причин утворення таких значних об'ємів поверхневого стоку. З цією метою необхідним є визначення характеристики окремих процесів опадоутворення, що приводять до катастрофічних наслідків, мезоструктурних неоднорідностей полів сильних опадів, їх часових та просторових параметрів з можливістю подальшого урахування отриманих результатів у містобудуванні та інших галузях господарства.

Подібні дослідження структури фронтальних полів хмарності та опадів для окремих синоптичних процесів з використанням чисельного моделювання для території України у холодний період року представлені в [12]. Результати моделювання дозволили виділити та представити смугово-коміркову структуру полів фронтальної хмарності та відповідних їм полів опадів. Смугово-коміркова структура властива практично усім полям фізичних параметрів, що формують процеси хмаро- та опадоутворення. Так, поле вертикальних рухів має розміри комірок від декількох до десятків кілометрів, приблизно такі ж масштаби областей додатної інтегральної швидкості конденсації. Найменші просторові розміри мають області з наявною та здатною до конденсації водяною парою – від декількох сотень метрів до декількох кілометрів. В [12,13] показано, що просторовий перетин і повторення комірок призводить до виникнення термодинамічно активних смуг, розташованих переважно вздовж наземних ліній фронтів, в межах яких і формуватимуться опади, але навіть в межах таких смуг інтенсивність

опадоутворення є величиною змінною. Характерні розміри ділянок з однорідними властивостями атмосфери в межах шарувато подібних фронтальних хмарних систем становлять від декількох кілометрів до декількох десятків кілометрів, а у купчастих хмарах подібні зони з однорідними термодинамічними параметрами будуть на порядок меншими. Логічно очікувати, що структура поля опадів в основному відповідатиме структурі поля хмарності, яка формує опади.

Крім вказаних вище напрямків, дослідження інтенсивності та структури поля опадів теплої періоду в Україні виконувалися також на основі даних густої опадомірної мережі та радіолокаційних вимірювань, що проводилися на експериментальному метеорологічному полігоні (ЕМП) [7]. Дані спостережень використовувалися переважно для оцінки активних впливів на процеси опадоутворення, але, крім того, проводилася типізація опадів за характером випадання та інтенсивністю, оцінювалася точність вимірювання опадів різними способами, їх просторова структура та інше [4,8].

**Метою представленого дослідження** є визначення інтенсивності опадів у теплий період року, в тому числі небезпечних та дуже сильних; виділення мезоструктурних неоднорідностей, їх просторово-часового розподілу; оцінка та врахування ролі таких неоднорідностей у формуванні поверхневого стоку; проведення типізації опадів теплої періоду на основі особливостей часової структури інтенсивності для конкретних процесів випадання опадів.

**Використані дані та методичні підходи** У роботі використовувалися дані спостережень гідрометеорологічної мережі за період 2005-2017рр. На основі даних ТМ-1 для цього періоду встановлювалися випадки небезпечних та дуже сильних опадів згідно з критеріями, наведеними в [11], для рівнинної частини території України. Для вибраних випадків за даними плювіографів визначалися інтенсивності опадів в межах кожного окремого процесу їх випадання. Крім того, в роботі використовувалися дані спеціального наукового експерименту по визначенню інтенсивності опадів, які були отримані за допомогою 4-х плювіографів, що розташовувалися на відстані 250-400 м один від одного (м. Київ, Багринова гора, теплий період 1969 р.). Спеціальне налаштування приладів дозволяло отримувати щохвилинні значення інтенсивності, які використовувалися для аналізу часової динаміки величини, а також для побудови карт просторового розподілу опадів. Крім того, дані експерименту були основою для порівняння з відповідними характеристиками процесів опадоутворення у сучасний кліматичний період. Принагідно зазначимо, що величину інтенсивності опадів на сьогодні, можна визначити на основі вимірювань, проведених на стандартній чи спеціальній мережі опадоміром (плювіографом), або розрахувати, використовуючи значення радіолокаційної відбиваності, отриманої метеорологічним радіолокатором (МРЛ). Обидва підходи мають як переваги, так і недоліки. За результатами досліджень [23], отримано, що середні похибки вимірювань опадомірами (плювіографами) знаходяться у межах 9-12%. При вимірюванні плювіографом маємо трохи занижені, у порівнянні з опадоміром, суми опадів та меншу їх тривалість, що викликано відсутністю у плювіографів вітрового захисту [1, 23]. Цим же пояснюється і нечутливість приладу до дрібних опадів малої інтенсивності, зменшення кількості яких можливе на 30-40% [19, 23]. Тобто, особливо значні похибки вимірювання сум (інтенсивності) за допомогою плювіографів слід очікувати при випадінні мряки чи облогових опадів, повторюваність яких у теплий період невисока. При достатньо високій точності вимірювання опадомірами (плювіографами) сум опадів в окремій точці, цей спосіб не може бути репрезентативним для відтворення структури полів опадів, особливо літніх. Причиною є відстані між окремими точками вимірювання на стандартній гідрометеорологічній мережі, які становлять десятки або сотні

кілометрів. Тому результати вимірювань не можуть охопити усі просторові відмінності у кількості (чи інтенсивності) опадів. Як було зазначено вище, горизонтальні розміри однорідних ділянок у структурі поля опадів становлять від декількох сотень метрів до декількох кілометрів і залежать переважно від типу опадів. При визначенні інтенсивності опадів на основі радіолокаційних даних, похибки вимірювань змінюються від 20 до 90% [16, 19, 20] і залежать від якості калібрування, відстані точки спостережень від локатора, висоти радіолокаційного променя відносно земної поверхні та ін. Але перевага таких даних в тому, що у разі правильного вибору усіх параметрів і відносно точного визначення інтенсивності опадів, радіолокаційні вимірювання дозволяють репрезентативно представляти структуру поля опадів на значних площах. У випадку відсутності радіолокаційних даних відтворити структуру поля опадів можливо використовуючи безпосередньо дані густої опадомірної мережі або опосередковано через часові зміни їх інтенсивності в окремих точках вимірювання. Спроба реалізації такого підходу показана у представленому дослідженні.

Аналіз початкових масивів даних проводився стандартними статистичними методами, побудова графіків та карт виконувалася з використанням відповідного програмного продукту.

**Обговорення отриманих результатів.** Аналіз синоптичних матеріалів, що проводився авторами [5,14] показав, що у більшості випадків (60%) небезпечні та сильні опади на території України формуються внаслідок переміщення циклонів з південного-заходу (результат активності середземноморської гілки полярного фронту); під час переміщення холодних фронтів з заходу (15%), коли опади випадають переважно на півночі і в центрі країни; з фронтальних хмарних систем північно-західних циклонів (10 %), коли опади випадають у північних і східних регіонах країни; завдяки активізації малорухомих фронтів у районі Чорноморської депресії (10%) з опадами переважно на півдні країни та при формування над територією України малорухомих циклонів (блокування) (5%). У [5, 14] зазначається, що обов'язковою умовою формування небезпечних і дуже сильних опадів в Україні є виникнення та тривале існування блокуючих антициклонів на сході, північному сході або південному сході відносно території України. Іншою можливою умовою може бути просторове зближення основних фронтів – арктичного та полярного, що призводить до виникнення значних просторових градієнтів основних метеорологічних величин, активізації термодинамічних процесів та вологообміну. Небезпечні та дуже сильні опади практично завжди пов'язані з хмарними системами атмосферних фронтів, особливо таких, що розташовані близько точки оклюзії, на теплих хвилях основних фронтів та на холодних фронтах циклонів.

Для формування масиву випадків небезпечних та дуже сильних опадів використано дані спостережень 38 метеорологічних станцій за період 2005-2017 рр., показники яких достовірно відображають ситуацію для усієї рівнинної території країни. За досліджуваний період спостерігалось 97 випадків дуже сильних опадів (50 мм і більше за 12 год. і менше). Найбільша кількість їх відмічалася у 2010 р. (12 випадків), 2007, 2012, 2013 рр. (по 11 випадків), 2008 р. (10 випадків), найменше спостерігали у 2015, 2016 рр., а у 2017 р. не зафіксовано жодного процесу, що підпадав би під критерії дуже сильних опадів. За розглянутий період фіксували відносно нерівномірний розподіл повторюваності дуже сильних опадів у всіх адміністративних областях в межах рівнинної території. Так, найбільша повторюваність спостерігалася в Одеській (12 випадків), Вінницькій (9 випадків), Запорізькій, Кіровоградській (по 8 випадків), Херсонській (7 випадків) областях. Причиною більш високої повторюваності сильних опадів у цих регіонах можна вважати те, що на території цих областей пролягають траєкторії циклонів різного

географічного походження і, як наслідок, формується вища ймовірність фронтальних хмарних систем, здатних формувати сильні опади. У річному ході максимальна кількість випадків сильних дощів припадає на липень (27%), дещо менше на червень (21%), серпень та вересень (по 19%), травень (12%), а в жовтні та листопаді ймовірність зменшилася до 1%. Добовий хід небезпечних та сильних опадів в досліджуваному періоді чітко не проявлявся. Можна зробити деяке узагальнення: у зв'язку з тим, що небезпечні та сильні опади утворюються переважно при проходженні атмосферних фронтів, тобто залежать від циркуляційних процесів, то їх початок, максимальний розвиток і завершення може припадати на будь-який час доби.

Просторове поширення дуже сильних опадів має деякі особливості: в окремих випадках вони локалізовані на незначних площах, а інколи охоплюють декілька областей. Висловлюється думка [2, 10, 14], що значне просторове поширення сильних опадів, зазвичай, обумовлене виходом на територію України південних або південно-західних циклонів. Як приклад розглянемо подібну синоптичну ситуацію, коли дуже сильні опади було зафіксовано в центральних областях України 07-08.08.2005 р. Аналізувалися спостереження проведені на станції Яготин (Київська обл.) та Канів (Черкаська обл.). Так, величина інтенсивності (мм/хв.) визначалася за даними пліюіографів, це дало можливість розраховувати масу води, яка випадає на одиницю площі ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) та інтенсивність опадів за об'ємом води на одиницю площі ( $\text{л}/\text{с}$  на га або  $\text{л}/\text{с}$  на  $\text{м}^2$ ). На станції Яготин (07-08.08.2005 р) за 6 годин 30 хвилин при середній інтенсивності 0,62 мм/хв випало  $66,9 \text{ кг}/\text{м}^2$  опадів; середня інтенсивність по об'єму води становила  $28,3 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$  на  $\text{м}^2$ . Найбільше значення інтенсивності спостерігали на початку процесу (0,7 мм/хв.;  $116,7 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$  на  $\text{м}^2$ ), коли за 10 хвилин випала маса води  $7,0 \text{ кг}/\text{м}^2$ . На станції Канів (07-08.08.2005 р) за 10 годин 43 хвилини випало  $58,3 \text{ кг}/\text{м}^2$  опадів; середня інтенсивність по об'єму становила  $15,0 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$  на  $\text{м}^2$ ; максимальна –  $153,4 \cdot 10^{-4} \text{ л}/\text{с}$  на  $\text{м}^2$ , в цьому випадку за 30 хвилин (19.50-20.20) випало  $9,2 \text{ кг}/\text{м}^2$  дощової води. З наведених розрахунків видно, що величини інтенсивності опадів і, відповідно, поверхневого стоку відзначаються значною мінливістю впродовж одного процесу, а основна маса дощової води випадає за відносно короткі проміжки часу.

Крім дослідження окремих випадків сильних опадів, для детального вивчення часової структури інтенсивності опадів було виокремлено 3 випадки небезпечних опадів (15-49 мм за 12 год. і менше) [11], зафіксованих на метеостанції Київ у 2014 р. А для порівняння значень та характеру просторово-часових змін інтенсивності у сучасний та минулі кліматичні періоди додатково проводився аналіз 26 випадків опадів теплого періоду в м. Києві: коли з використанням спеціально тарифікованих пліюіографів визначалися суми та щохвилинні значення інтенсивності опадів, які спостерігали за період вимірювань. На рис. 1а, б, рис. 2а,б, рис 3 а, б та рис. 4, рис. 5, рис. 6 представлено часову динаміку інтенсивності опадів, її максимальні значення та поля інтенсивності для окремих моментів випадання опадів. Детальний аналіз результатів включав: виявлення подібних ознак у часовому ході інтенсивності опадів, оцінку форм кривих розподілу, порівняння значень максимальних та середніх величин інтенсивності, виділення хвиль підсилення опадів, визначення їх кількості та значень амплітуд. Виявлялися та враховувалися також і особливості структури просторового розподілу інтенсивності опадів. Висновки та закономірності, отримані у результаті аналізу, стали основою для проведення додаткової типізації процесів випадання опадів у теплий період на рівнинній території. Відомо, що існують декілька підходів та критеріїв для виділення певного типу опадів (зливові, облогові, мряка), які залежать від методики та завдань конкретного дослідження. Як приклад, можна навести одну з типізацій

опадів, створену на основі даних густої опадомірної мережі ЕМП [8]; де запропоновано поділяти опади на облогові та зливові, користуючись такими критеріями: якщо інтенсивність -  $I_{\max} \geq 0,2 \text{ мм/хв.}$ , а сума опадів  $\geq 1,5 \text{ мм}$ , тоді опади відносять до зливових, коли ж відповідні величини менші вказаних значень, опади вважаються облоговими. Аналіз наукових джерел [1,8,18] показав, що існує певна неоднозначність та незавершеність подібних класифікацій і, відповідно, можливість представити власну класифікацію, запропонувавши нові критерії поділу. У нашому дослідженні при проведенні типізації опадів такими критеріями були: значення середньої максимальної інтенсивності, наявність та кількість смуг підсилення опадів у часовому ході, характер початку випадіння опадів. Такий підхід дозволив виділити три основні типи опадів для теплого періоду року: зливові, для яких середні максимальні інтенсивності  $\geq 1,0 \text{ мм/хв}$ , відмічається раптовість початку (максимальні значення інтенсивності на початку випадіння опадів), існує одна, інколи дві, хвилі підсилення опадів з різними амплітудами. Раптовість та значні інтенсивності на початку випадіння опадів, а також раптовість закінчення можна розглядати як додатковий критерій виділення злив; облогові, з середніми максимальними значеннями інтенсивності  $\geq 0,1 \text{ мм/хв.}$ , при цьому виділяється кілька (2-4) хвиль підсилення з незначними, але однаковими амплітудами та «мікс» облогових і зливових опадів при розвитку фронтальних шаруватих хмар з включеннями конвективних, коли середні максимальні інтенсивності  $\leq 1,0 \text{ мм/хв.}$  та існує кілька хвиль підсилення з різною амплітудою.

Нижче наведено аналіз окремих процесів випадіння небезпечних та дуже сильних опадів, що виділялися за критеріями вказаними [11]. На рис. 1а показана динаміка інтенсивності для 27-28.05 2006 р. (ст. Одеса), коли за 7 год 25 хв випало 62,2 мм опадів. У часовому ході прослідковується три хвилі підсилення опадів: перша тривалістю 20-25хв з  $I_{\max} = 0,59 \text{ мм/хв}$ , за цей час була сформована маса дощової води близько  $7,3 \text{ кг/м}^2$ , друга (основна) хвиля тривала 40-45хв з інтенсивністю  $I_{\max} = 1,47 \text{ мм/хв}$ , маса води, що випала на земну поверхню, була  $37,9 \text{ кг/м}^2$ , третя хвиля підсилення опадів тривала близько 40 хв, сформувавши шар опадів висотою 5.9 мм. Відмітимо, що опади значної інтенсивності ( $\geq 1,0 \text{ мм/хв}$ ) спостерігали близько 10 хв, що становить 2% від тривалості випадіння опадів у межах досліджуваного процесу. Представлений часовий розподіл інтенсивності вказує на поєднання різних типів процесів опадоутворення, які виникли у цьому випадку, коли на фоні незначних швидкостей висхідних рухів, що формують шарувату хмарність, утворювалися окремі області динамічної конвекції або ж підсилювалася уже існуюча термічна конвекція. Такі процеси призводять до утворення осередків конвективних хмар в масивах шаруватих і, відповідно, до утворення комірок зливових опадів на фоні облогових. У [5] показано, що саме процеси блокування призводять до підсилення існуючих або формування нових областей висхідних рухів за рахунок динамічної конвекції. Очевидно, процеси блокування відповідають також за збільшення довжини (тривалості) хвиль підсилення опадів (друга хвиля на рис.1а) та збільшення інтенсивності опадів (динамічна конвекція) в їх межах. Описаний вище процес, згідно запропонованої типізації, відносимо до облогових опадів з включеннями зливових, що випадають з конвективних хмар.

01.07.2013 р., на ст. Запоріжжя (рис.1б) за 4 години 12 хв на земну поверхню випало 57,5 мм опадів, при чому основна маса сформувалася протягом періоду з 9 год 45хв до 10 год 15хв. Довжина хвилі підсилення опадів становила близько 30-35 хвилин, а сума опадів за цей час дорівнювала 51 мм. Максимальну інтенсивність  $I_{\max} = 1,88 \text{ мм/хв}$ , що відмічалася 1-2 хвилини можна розглядати як амплітуду хвилі. За час підсилення опадів величина інтенсивності змінювалася в межах  $0,40 \div 1,88$

мм/хв на висхідній гілці і в межах 1,88-0,29 мм/хв – на низхідній. Відмітимо, що опади значної інтенсивності  $\geq 1,0$  мм/хв відмічалися близько 5% від усього часу випадання опадів у межах досліджуваного процесу. У часовому ході інтенсивності ще одна хвиля підсилення інтенсивності опадів формувалася з 12 год 10 хв і тривала близько 25 хв з  $I_{\max} = 0,11$  мм/хв. Маса води, що досягла земної поверхні під час другої хвилі становила близько  $1,2 \text{ кг/м}^2$ . В інші моменти випадіння опадів значення інтенсивності та маси води, що досягла земної поверхні несуттєві. У [14] вказується, що опади 01.07.2013р. пов'язані з меридіонально орієнтованими хмарними системами фронтів північно-західного циклону. Значення інтенсивності опадів та їх часовий розподіл дозволяє процес їх формування та випадіння віднести до зливових, де є основна та додаткова хвиля з незначним підсиленням опадів.

Динаміка інтенсивності опадів 01-02.07.2011р. (ст. Яготин), коли за 1 год 30 хв випало 55,5 мм опадів наведена на рис.2а. Виділяється одна хвиля підсилення опадів тривалістю 30-35 хв з  $I_{\max} = 2,92$  мм/хв. За цей час утворився шар опадів близько 45,9 мм (або  $45,9 \text{ кг/м}^2$  води), середня за проміжок часу інтенсивність за об'ємом становила  $165,4 \cdot 10^{-4} \text{ л/с м}^2$ . Опади інтенсивністю  $>1$  мм/хв спостерігали близько 20 хв, що становило 24% загальної тривалості випадання опадів у межах процесу. За величинами інтенсивності та характером часового розподілу цей випадок, відповідно до запропонованої типізації, відносимо до зливових опадів. Екстремальні максимальні інтенсивності розглядаємо як результат підсилення термічної конвекції та «вимушеного» підйому повітряних мас за рахунок процесів блокування.

Максимальна інтенсивність, що спостерігали 01-02.07.2011р. є найбільшою серед детально розглянутих випадків небезпечних та сильних опадів на рівнинній території України за період 2005-2017рр. Аналіз даних наукового експерименту 1969 року також показав, що з усього масиву результатів тільки 11.08.1969р. (точка «обсерваторія») на п'ятій хвилині зливи спостерігали  $I_{\max} = 2,70$  мм/хв, вимірювання ж у всі інші моменти часу і для усіх випадків показали менші значення інтенсивності. Для минулих кліматичних періодів на основі багаторічних спостережень встановлено, що *середні максимальні інтенсивності* небезпечних та дуже сильних опадів у теплий період року в Україні досягають 1,24 – 1,74 мм/хв. При детальних вимірюваннях в окремі моменти (впродовж 1-2 хв) значення інтенсивності опадів могли досягати  $3,0 \div 4,0$  мм/хв. [6]. Порівняння отриманих у представленому дослідженні максимальних величин інтенсивності опадів та аналогічних значень, отриманих в минулі кліматичні періоди, показало, що порядок величини не змінюється, а їх значення практично співпадають. Можливо висловити припущення, що існує широтна (зональна) «верхня межа» інтенсивності процесів опадоутворення та вологозапасу хмар, що забезпечує сталість величини інтенсивності опадів у часі, навіть в умовах сучасних кліматичних змін.

Проводився також аналіз динаміки інтенсивності при формуванні небезпечних опадів (15-49 мм за 12 год. і менше) [11], що спостерігалися 18.05, 11.07 та 16.08 2014р. на метеорологічній станції Київ. Часовий розподіл інтенсивності (рис. 2 б, рис. 3 а, б) показує, що основна маса дощової води формується під час хвилі підсилення опадів. В кожному з розглянутих випадків маємо по одній (основній) хвилі тривалістю близько 35-45 хв. та 1-2 додаткові, коли значення інтенсивності значно менші. Максимальні інтенсивності в межах основних хвиль становили відповідно 1,73, 1,38, 1,40 мм/хв., а маса води, яка випала на одиницю площі за період підсилення опадів відповідно – 28,5; 29,0 та 18,7 мм/м<sup>2</sup>. За типом часового розподілу значень інтенсивності перший і третій випадки відносимо до злив, а другий – до облогових опадів зі зливовими включеннями.

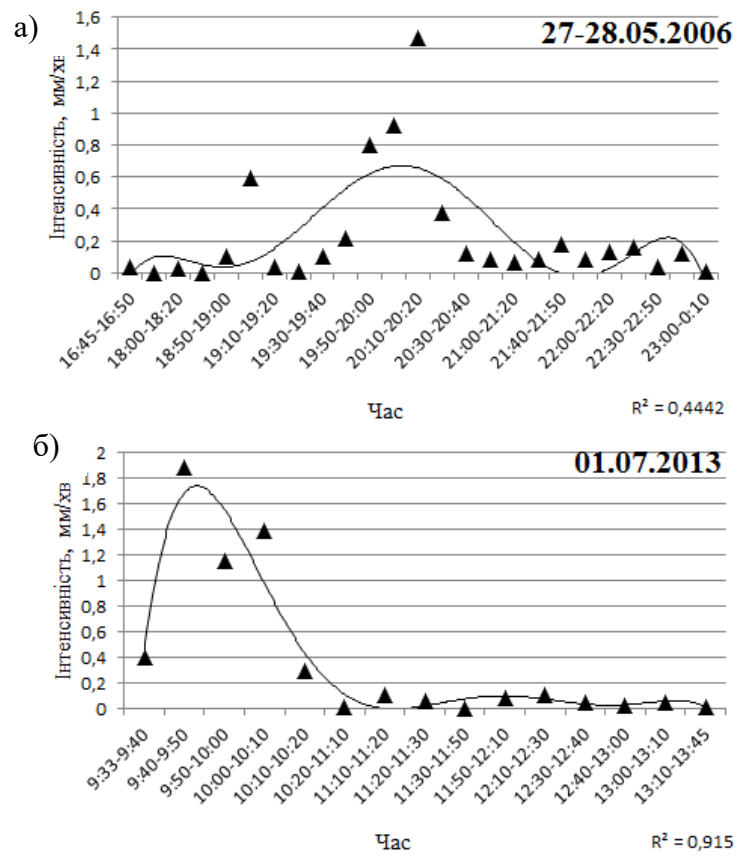


Рис. 1. Динаміка інтенсивності опадів: а) 27-28.05.2006(ст. Одеса), б) 01/07/2013 (ст. Запоріжжя)

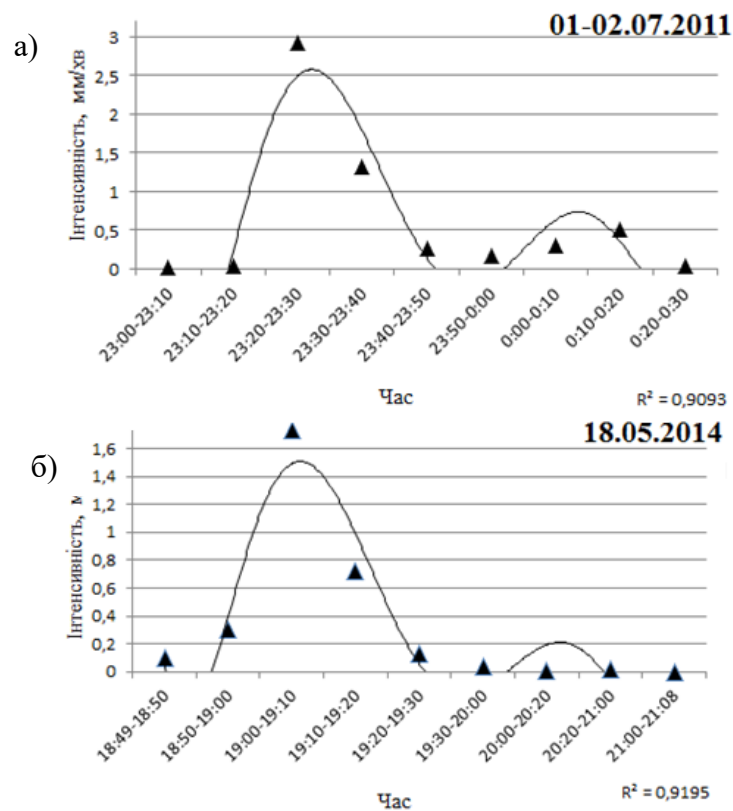
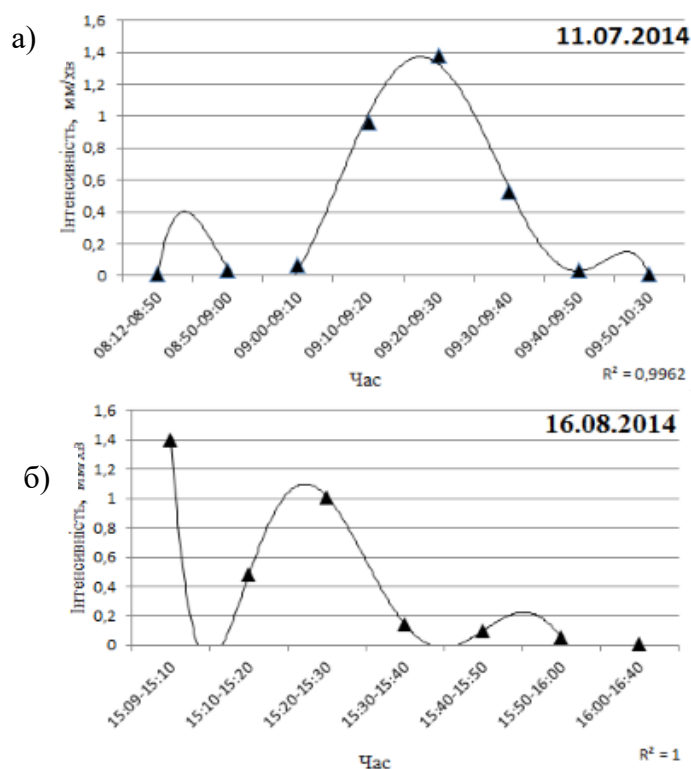


Рис. 2. Динаміка інтенсивності опадів: а) 01-02.07.2011(ст. Яготин), б) 18.05.2014 (ст. Київ)



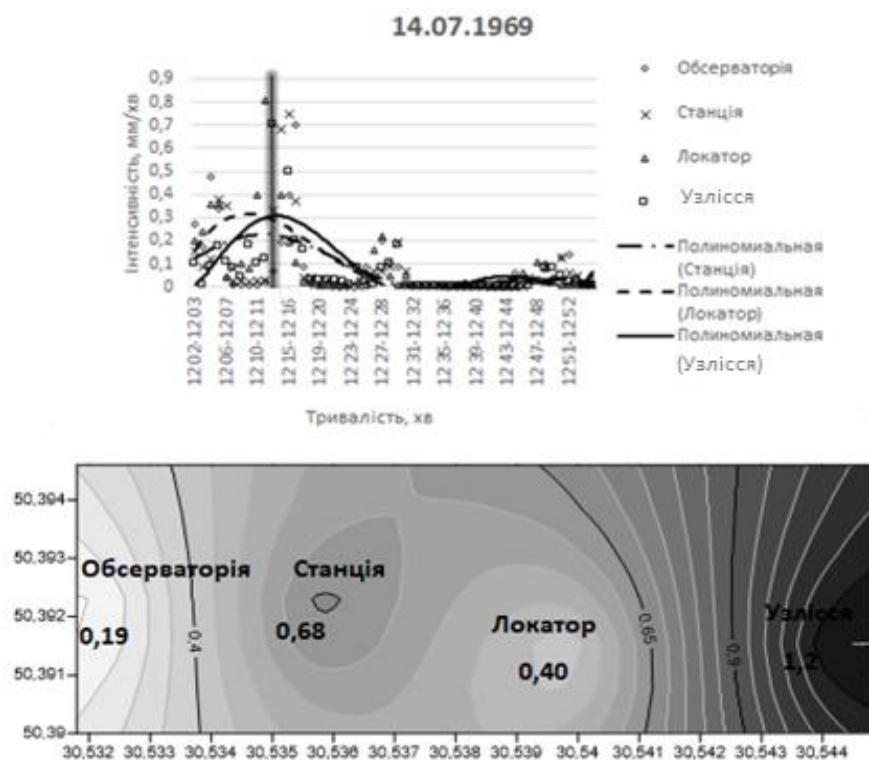
**Рис. 3. Динаміка інтенсивності опадів: а) 11/07/2014, б) 16/08/2014 (ст. Київ)**

Результати аналізу наукового експерименту наведено на рис.4–6, де представлена часова динаміка інтенсивності та її просторові розподіли для моментів часу, що відмічені вертикальною лінією на часовому розподілі. Поле величини отримано за рахунок одночасних вимірювань інтенсивності опадів в 4-х точках, відстані між якими становили 250-400 м. Часовий розподіл значень для 4-х точок вимірювань (рис.4, 14.07.1969 р). показує існування трьох хвиль підсилення опадів. Перша хвиля тривала 20-22 хв, максимальні значення інтенсивності змінювалися в межах  $1,20 \div 0,70$  мм/хв. Виділяється чітка висхідна гілка основної хвилі з початковими значеннями інтенсивності 0,1-0,2 мм/хв, що характерно для випадків формування комірок зливових опадів в загальному масиві облогових.

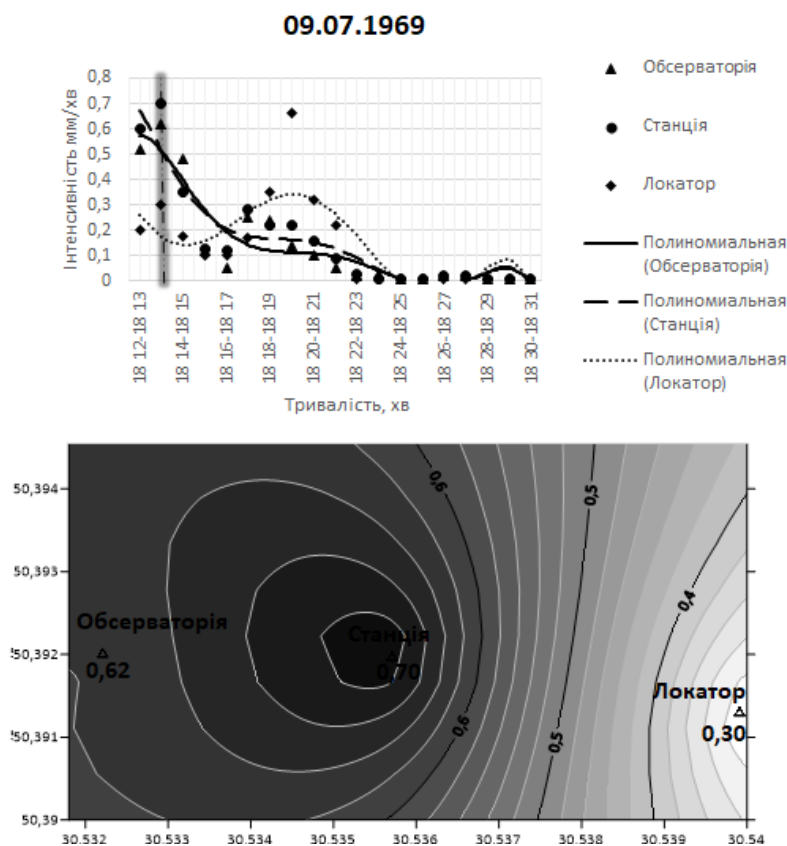
Як буде показано нижче, на початку типової зливи частіше утворюється тільки низхідна гілка у розподілі інтенсивності. Також відмічається і зміщення екстремумів у просторі в межах основної хвилі на 10-12 хв. Друга хвиля тривала 12-15 хв, з максимальною інтенсивністю- 0,22 мм/хв, в межах останньої, третьої хвилі підсилення, максимальна інтенсивність не перевищувала 0,14 мм/хв. Під час першої хвилі підсилення опадів (12.02-12.23) на точці «локатор» випало 4,36 мм опадів, що склало 81,4% від усієї суми опадів за весь період їх випадання. Подібні результати отримано і для інших точок спостережень.

Просторовому розподілу опадів притаманна значна неоднорідність. Максимальні просторові градієнти (між 3 та 4 точками) становлять 0,09-0,11 мм/хв на 100 м відстані. В зв'язку з цим у структурі поля інтенсивності опадів можна виокремити неоднорідності у розподілі значень, які мають різні масштаби від декількох десятків до декількох сотень метрів.

Часовий хід та просторовий розподіл, представлений на рис.5, типовий для зливових опадів. Особливістю таких процесів є значна інтенсивність саме на початку ( $I_{\max}=0,70$  мм/хв), з подальшим швидким зменшенням.



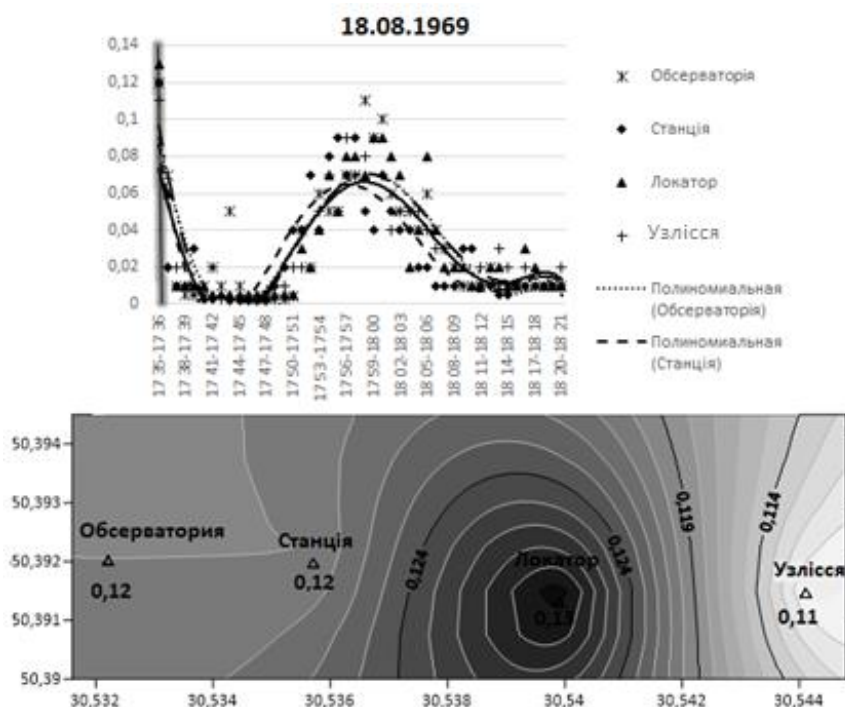
**Рис. 4. Динаміка інтенсивності опадів та її просторовий розподіл при випаданні різних типів опадів – облогові опади з включеннями зливи**



**Рис. 5. Динаміка інтенсивності опадів та її просторовий розподіл при випаданні різних типів опадів – зливові опади**

На рис.5 виділяється низхідна гілка (півхвиля). Незважаючи на те, що максимальні значення інтенсивності для цього процесу нижчі, ніж середні для виділеного типу, саме раптовість початку дозволяє віднести опади до зливи. Існує друга хвиля підсилення інтенсивності тривалістю близько 10 хв, значення максимальної інтенсивності на двох з трьох точок спостережень зменшуються в цей час у 2-2,5 рази. Близько 96% загальної суми опадів (2,99 мм, точка «станція») сформувалися за перші 9 хв. Їх випадіння, загальна тривалість якого-19хв. Для незначних просторових розмірів ділянки вимірювань отримуємо відносно однорідний розподіл величини інтенсивності, хвиля підсилення має масштаби 250÷300 м, а найбільші просторові градієнти 0,1-0,14 мм/хв на 100 м.

На рис. 6 показано просторово-часовий розподіл інтенсивності для облогових опадів. Отримано порівняно малі значення величин ( $I_{\max}=0,13$  мм/хв), при цьому спостерігаються коливання величини і виділяються періоди збільшення інтенсивності.



**Рис. 6. Динаміка інтенсивності опадів та її просторовий розподіл при випаданні різних типів опадів – облогові опади**

В даному випадку відмічаємо існування декількох хвиль підсилення (17.33,17.59 на рис. 6) з близькими значеннями тривалості та амплітуди. У період з 17.47 до 18.14, коли спостереження зафіксували хвилю підсилення опадів, їх сума складала 0,88 мм, що становило 59,9% від загальної суми опадів за час. Максимальні просторові градієнти - 0,008 – 0,01мм/хв на 100 м. Наведені результати показують значну просторово-часову варіабельність інтенсивності опадів, залежність змін від особливостей формування опадів та підтверджують теоретичні положення про хвильову природу процесів опадоутворення, що притаманна кожному з визначених типів опадів.

Повторюваності значень інтенсивності опадів, осереднених за 10-хвилинні інтервали, для усіх масивів даних наведено в табл.1а.

Зазначимо, що максимальні значення інтенсивності для кожного типу опадів спостерігаються впродовж 1-5 хвилин, що підтверджує обернену залежності тривалості опадів від величини інтенсивності. Проведене осереднення величин

інтенсивності опадів (табл.1) зменшило максимальні значення, у порівнянні з отриманими для конкретних процесів їх випадіння. Величини інтенсивності при випадінні небезпечних та сильних опадів (табл.1а) знаходяться переважно в інтервалах  $\leq 0,1-0,29$  мм/хв (75%) , 21% випадків у межах значень  $0,3-1,0$  мм/хв, крім того, виділяється градація інтенсивності  $>1,0$  мм/хв (4%). Незважаючи на те, що інтенсивності, які перевищують  $>0,3$  мм/хв, мають повторюваність близько 25% у більшості випадків основна маса дощової води випадає під час утворення основних хвиль підсилення інтенсивності, що тривають незначний період часу у порівнянні з періодом випадіння опадів в цілому (табл.2).

**Таблиця 1. Повторюваність (%) значень інтенсивності опадів, осередненої за 10-хв інтервали. Теплий період року**

*а) небезпечні та сильні опади – 2005-2017рр.*

| Градації інтенсивності, мм/хв | <0,1 | 0,1-0,29 | 0,3-0,49 | 0,5-1 | >1 |
|-------------------------------|------|----------|----------|-------|----|
| Кількість вимірювань          | 276  | 216      | 81       | 61    | 26 |
| Повторюваність, %             | 42   | 33       | 12       | 9     | 4  |

*б) науковий експеримент (1969р.)*

| Градації інтенсивності, мм/хв                                | <0,1 | 0,1-0,29 | 0,3-0,49 | 0,5-1 | >1  |
|--------------------------------------------------------------|------|----------|----------|-------|-----|
| Кількість вимірювань, (зливові опади)                        | 23   | 18       | 10       | 2     | 4   |
| Повторюваність, %                                            | 40,4 | 31,6     | 17,5     | 3,5   | 7,0 |
| Кількість вимірювань(облогові опади )                        | 192  | 1        | -        | -     | -   |
| Повторюваність, %                                            | 99,5 | 0,5      | -        | -     | -   |
| Кількість вимірювань(облогові опади з включеннями зливових ) | 155  | 33       | 4        | -     | -   |
| Повторюваність, %                                            | 80,7 | 17,2     | 2,1      | -     | -   |

**Таблиця 2. Характеристика випадіння опадів для різних типів процесів**

| Тип опадів                        | Середні та максимальні значення інтенсивності, мм/хв | Часова довжина хвилі, час, хв | Просторова довжина хвилі, м | Величина поверхневого стоку, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Злизові                           | 1,22 (1,39)*                                         | 11,2 (32,6)*                  | 50-300                      | $2 \cdot 10^{-2} (2,3 \cdot 10^{-2}) *$                      |
| Облогові                          | 0,11                                                 | 21,8                          | 250-300                     | $2 \cdot 10^{-3}$                                            |
| Облогові зі зливовими включеннями | 0,49 (0,67)*                                         | 23,1 (40,8)*                  | 80-200                      | $1 \cdot 10^{-2} (1,1 \cdot 10^{-2}) *$                      |

**Примітка.** \* – відповідні значення, окремо для випадків дуже сильних опадів сучасного періоду.

Узагальнені результати наукового експерименту показують, що максимальні величини інтенсивності для зливових опадів становлять  $\geq 1,0$  мм/хв і спостерігаються у 7% випадків. Для облогових опадів зі зливовими включеннями найвищі значення знаходяться у діапазоні  $0,3-0,49$  мм/хв, їх повторюваність становить 4%. При випадінні облогових опадів у 99% випадків вимірювань спостерігають інтенсивність менше, ніж  $0,1$  мм/хв, а максимальні значення знаходяться у діапазоні  $0,1-0,29$  мм/хв.

Як показано у табл. 2, для випадків облогових опадів осереднена максимальна інтенсивність становить  $I_{\text{max}} = 0,11$  мм/хв. При наявності затопленої конвекції середні максимальні значення зростають до  $0,49$  мм/хв., відповідно для злив –  $1,22$  мм/хв. Величини поверхневого стоку, що формуються при опадах різних типів істотно різняться між собою і теж являються своєрідною характеристикою, що підкреслює принципову різницю фізичної природи формування опадів різних типів. Так,

величина поверхневого стоку при зливових опадах більша за величину поверхневого стоку при облогових опадах з затопленою конвекцією в два рази, а величина поверхневого стоку при зливових опадах більше на порядок величини поверхневого стоку при облогових опадах.

Для небезпечних та сильних опадів теплого періоду року у минулі кліматичні періоди [6] отримано наступний розподіл інтенсивності: для 25% випадків величина інтенсивності знаходиться у діапазоні 0,06-0,10 мм/хв, для 70% випадків – 0,10-1,0 мм/хв і тільки для 3% випадків інтенсивність більшою 1,0 мм/хв. Відносно коректним може бути порівняння наведених вище даних та результатів, показаних у табл.1а, де виключені випадки облогових опадів. Так, у сучасний період, для 42% вимірювань значення інтенсивності  $\leq 0,1$  мм/хв, для 54% – у діапазоні 0,1÷1,0 мм/хв і для 4% вимірювань –  $\leq 1,0$  мм/хв. Тобто, у сучасний період спостерігають перерозподіл повторюваності інтенсивності в бік збільшення ймовірності опадів з нижчими значеннями величини. Безумовно, для остаточного висновку потрібні додаткові дослідження на більших масивах даних та з однаковими методичними підходами при оцінюванні для усіх кліматичних періодів.

Аналіз даних інтенсивності опадів для періоду 2005-2017рр та у науковому експерименті 1969 р. підтвердив існуючі теоретичні положення про те, що величину інтенсивності опадів, у широкому розумінні, визначають особливості та характер термодинамічних процесів у фронтальних хмарних системах, їх вологозапас, особливості фізичних процесів опадоутворення на атмосферних фронтах, які, в свою чергу, визначаються типом синоптичного процесу, траєкторією переміщення циклону, стадією його розвитку, регіоном формування.

Повторюваність інтенсивності опадів у межах визначених інтервалів значень (табл.1а) дає змогу розрахувати та представити емпіричну та теоретичну інтегральні криві розподілу досліджуваної величини. Отриманий результат можна використати для попереднього прогнозування, а саме, визначення ймовірності настання інтенсивності опадів вище заданого порогового значення. На рис. 7 показані інтегральні криві, що побудовані з використанням значень інтенсивності при випаданні небезпечних та сильних опадів у 2005-2017рр. за різних методичних підходів у їх розрахунках. Для визначення координат точок емпіричної інтегральної кривої використовувалося співвідношення:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (1)$$

де  $P_m$  – забезпеченість у (%),  $n$ - кількість випадків вимірювань величини,  $m$ - порядковий номер членів статистичного ряду.

Оцінити ступінь достовірності отриманої емпіричної кривої можливо шляхом її порівняння з теоретичною кривою забезпеченості, яка розраховується з використанням таких статистичних параметрів як середні значення інтенсивності ( $\bar{x}$ ), коефіцієнту варіації  $C_v$ , та коефіцієнту асиметрії. Названі показники розраховувалися на основі даних спостережень за досліджуваний період з використанням стандартних результатів їх обробки та нижче наведених співвідношень:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{x_i}{\bar{x}} - 1)^2}{n-1}} = 0,58 \quad (2)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{nC_v^3} = 1,19, \quad (3)$$

де  $k = \frac{x_i}{\bar{x}}$ .

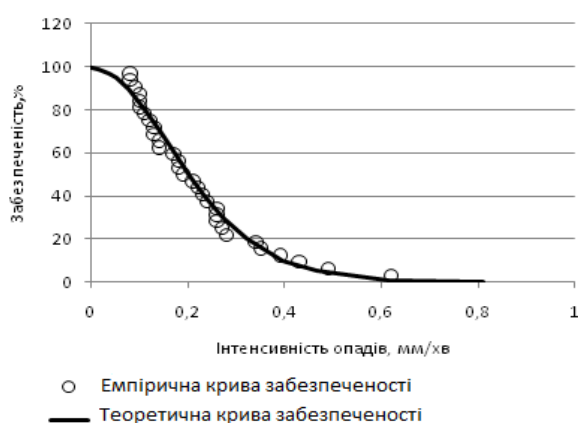
Побудова теоретичної кривої забезпеченості дозволила оцінити достовірність

емпіричної кривої та з більшою точністю встановити ймовірність настання прогнозованих величин інтенсивності опадів. Представлені на рис.7 криві забезпеченості показують задовільну співставність, що забезпечує достатній рівень точності для визначення ймовірності будь-яких значень середньої інтенсивності опадів. Повторюваність (P) того чи іншого значення інтенсивності можна розрахувати за формулами:

$$\text{при } P \leq 50\% \quad N = \frac{100}{P}, \quad (4)$$

$$\text{при } P \geq 50\% \quad N = \frac{100}{100-P}, \quad (5)$$

де N- кількість випадків.



**Рис. 7. Інтегральна крива забезпеченості для значень інтенсивності небезпечних та дуже сильних опадів, мм/хв**

На основі представлених розподілів проведено оцінювання ймовірності настання величин інтенсивності опадів при різних рівнях забезпеченості. Результати показали, що при випаданні небезпечних та дуже сильних опадів 100%-у забезпеченість матимуть інтенсивності в інтервалі < 0,1 мм/хв, опади інтенсивністю 0,1 мм/хв мають забезпеченість 55%, далі зі збільшенням інтенсивності забезпеченість різко падає. Так, інтенсивність 0,3 мм/хв має забезпеченість 30%, 0,5 мм/хв – близько 20%, 1,0 мм/хв. – 5% випадків.

**Висновки.** Проведене дослідження небезпечних та дуже сильних опадів у теплий період року на рівнинній території України показало, що вони формуються за умови виникнення блокуючих циркуляційних процесів у регіоні і безпосередньо пов'язані з фронтальними хмарними системами циклонів. Часовий розподіл значень інтенсивності опадів у теплий період, в тому числі. небезпечних та дуже сильних, має хвильову структуру, що є підтвердженням теоретичних висновків про особливості процесів хмаро- та опадоутворення. Тривалість (довжина) хвилі підсилення опадів та її амплітуда (значення  $I_{\max}$ ) залежать від макросиноптичних процесів та фізичних процесів хмаро- і опадоутворення. Виділяються зливові опади, для яких середні максимальні інтенсивності становлять 1,22–1,39 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 11,2 до 32,6 хв, облогові – з середньою максимальною інтенсивністю 0,11 мм/хв, тривалість хвиль підсилення – 20,8 хв; облогові зі зливовими включеннями, коли середні максимальні інтенсивності змінюються від 0,49 до 0,69 мм/хв, тривалість основних хвиль підсилення – від 21,1 до 40,8 хв. Основна маса води, що формує поверхневий стік утворюється переважно під час хвиль підсилення інтенсивності опадів, за цей час може утворитися від 60 до 90% поверхневого стоку. Аналіз динаміки значень інтенсивності опадів для періоду 2005-2017 рр., порівняння з відповідними величинами, отриманими в науковому експерименті 1969р та даними, наведеними у наукових джерелах для минулих кліматичних періодів, показує, що величини максимальних значень інтенсивності для одного і того ж типу опадів у різні періоди

спостережень співпадають. Очевидно, що існує зональна «верхня межа» інтенсивності процесів опадоутворення та запасів вологи у хмарах, що забезпечує відносну сталість інтенсивності опадів у часі. У випадку формування небезпечних та сильних опадів сучасного періоду відмічаємо збільшення довжини (тривалість періодів) хвиль підсилення опадів та кількості таких хвиль, що очевидно приводитиме до збільшення сум опадів, які випадають протягом окремого процесу. Отримані залежності потребують додаткового вивчення на більших масивах даних як сучасних, так і минулих кліматичних періодів із застосуванням однотипних методів аналізу.

### Список літератури

1. *Алибегова Ж.Д.* Пространственно-временная структура полей жидких осадков. Л. Гидрометеиздат, 1985. 228 с.
2. *Балабух В.О.* Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. Наукові праці УкрНДГМІ, 2004. Вип. 253. с. 37-49.
3. *Балабух В.О.* Мінливість дуже сильних дощів та сильних злив в Україні. Наукові праці УкрНДГМІ, 2008. Вип. 257. с. 61-72.
4. *Гладуш Н.В., Корниенко Е.Е., Ченакал Ж.И.* О структуре поля интенсивности летних осадков. Труды УкрНИГМИ, 1976, вып. 146. С. 79 - 90.
5. *Заболоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М.* Небезпечно сильні опади в Україні та можливі причини їх утворення. Наукові праці УкрНДГМІ, 2006. Вип. 255. С. 25-40.
6. Климат Украины/ под редакцией Г.Ф. Прихотько, А.В.Ткаченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 413 с.
7. *Корниенко Е.Е.* О динамике выпадения ливневых осадков. Труды УкрНИГМИ, 1971. Вып. 101. с. 84-91.
8. *Курейко И.А.* О разделении ливневых и обложных осадков. Труды УкрНИГМИ, 1978. Вып. 161. С. 97-102.
9. *Кульбіда М., Бабіченко В., Ніколаєва Н., Гущина Л.* Особливості просторово-часового розподілу дуже сильного дощу в Україні за останнє двадцятиріччя // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Т. III. К.: Обрії, 2004. С. 138-140.
10. *Логвинов К.Т., Бабіченко В.Н., Кулаковская М.Ю.* Опасные явления погоды на Украине. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 236 с.
11. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. К.: Держ. гідрометеорологічна служба, 2003. 30 с.
12. *Паламарчук Л.В., Пирнач А.М.* Исследование внутренней структуры фронтальных зон при помощи трехмерных полуэмпирических моделей. Труды УкрНИГМИ, 1992. Вып. 243. С. 107-124.
13. *Паламарчук Л.В., Краковська С.В., Пирнач Г.М., Шпиг В.М.* Чисельне дослідження бароклінної та гідродинамічної нестійкості на різних стадіях розвитку фронтальних хмар. Наукові праці УкрНДГМІ, 2006, Вип. 255. С. 69-79.
14. *Паламарчук Л.В., Сокур К.С.* Синоптичні умови формування сильних опадів у теплий період року. Збірник матеріалів Міжнар. наук. практик. конференції «Географія в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка: 85 років – досягнення та перспективи», м. Київ, 30-31 березня 2018 р. К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. 2018. С. 259-262.
15. Проведення просторового аналізу тенденцій зміни частоти і інтенсивності гідрометеорологічних явищ на території України внаслідок зміни клімату. УкрГМІ. 2013. URL: [//uhmi.org.ua/prject/rvndr/climate.pdf](http://uhmi.org.ua/prject/rvndr/climate.pdf)
16. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5, РД 52.04.320-91. Спб: Гидрометеиздат. 1993. 356 с.
17. Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005pp.). К.: Ніка-Центр, 2006. 311 с.
18. *Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 454 с.
19. *Brandes, E.A.* Optimizing rainfall estimates with aid of radar. Journal of Applied Meteorology, 1975. Vol. 14. №7. P. 1339-1345.
20. *Cotton W. R.* Modification of Precipitation from Warm Clouds. Bulletin American Meteorological Society, 1982. Vol. 63 №2. P. 146-160.
21. *Rudolph J.V., Friedrich K.* Dynamic and Thermodynamic Predictors of Vertical Structure in Radar-Observed Regional Precipitation. J. Climate, 2014. Vol 27. P. 2143-2158.
22. *Willems P., Arnbjerg-Nielsen K., Olsson J., Nguyene V.T.V.* Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. Atmospheric Research, 2012. Vol 103. P. 106-118.
23. *Woodley W.L., Olsen A.R., Herndon A., Winggent V.* Comparison of gage and radar methods of convective rain measurement. Journal of Applied Meteorology, 1975. Vol. 14. №5. P. 909-928.

## References

1. *Alibegova Zh.D.* Prostranstvenno-vremennaja struktura polej zhidkih osadkov. L.:Gidrometeoizdat, 1985. 228 s. 2. *Balabukh V.* Traiektorii tsykloniv, scho zumovliuiut' nebezpechnu i stykhiynu kil'kist' opadiv v Ukraini u teplyj period roku. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2004. Vyp.253, S.37-49. 3. *Balabukh V.* Minlyvist' duzhe syl'nykh doschiv ta syl'nykh zlyv v Ukraini. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2008. Vyp.257. s.61-72. 4. *Gladush N.V., Kornienko E.E., Chenakal Zh.I.* O strukture polja intensivnosti letnih osadkov. Trudy UkrNIGMI,1976. Vyp. 146. S.79-90. 5. *Zabolots'ka T.M., Pidhurs'ka V.M., Shpytal' T.M.* Nebezpechno syl'ni opady v Ukraini ta mozhlyvi prychny ikh utvorennia. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2006. Vyp.255. S. 25-40. 6. *Klimat Ukrainy/ pod redakciej G.F. Prihot'ko, A.V.Tkachenko.* L.: Gidrometeoizdat,1967. 413 s. 7. *Kornienko E.E.* O dinamike vypadenija livnevnyh osadkov. Trudy UkrNIGMI, 1971. Vyp.101. S.84-91. 8. *Kurejko I.A.* O razdelenii livnevnyh i oblozhnyh osadkov. Trudy UkrNIGMI, 1978. Vyp.161. S. 97-102. 9. *Kul'bida M., Babichenko V., Nikolaieva N., Huschyna L.* Osoblyvosti prostorovo-chasovoho rozpodilu duzhe syl'noho doschu v Ukraini za ostannie dvadtsiatyrichchia// Ukraina: heohrafichni problemy staloho rozvytku. T.III. K.: Obrii, 2004. S.138-140. 10. *Logvinov K. T., Babichenko V.N., Kulakovskaja M.Ju.* Opasnye javlenija pogody na Ukraine.L.: Gidrometeoizdat,1972. 236 s. 11. *Nastanova po sluzhbi prohnoziv ta poperedzhen' pro nebezpechni ta stykhiyni iavyscha pohody.* K.: Derzh. hidrometeorologichna sluzhba, 2003. 30 s. 12. *Palamarchuk L.V., Pirnach A.M.* Issledovanie vnutrennej struktury frontal'nyh zon pri pomoshhi trehmernyh polujempiricheskikh modelej. Trudy UkrNIGMI, 1992. Vyp. 243. S.107-124. 13. *Palamarchuk L.V., Krakovs'ka S.V., Pirnach H.M., Shpyh V.M.* Chysel'ne doslidzhennia baroklynnoi ta hidrodynamichnoi nestijkosti na riznykh stadiakh rozvytku frontal'nykh khmar. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2006. Vyp. 255, S. 69-79. 14. *Palamarchuk L.V., Sokur K.S.* Synoptychni umovy formuvannia syl'nykh opadiv u teplyj period roku. Zbirnyk materialiv Mizhnar. nauk. praktyk. konferentsii «Heohrafiia v Kyivs'komu natsional'nomu universyteti imeni Tarasa Shevchenka: 85 rokiv – dosiahnennia ta perspektyvy», m. Kyiv, 30-31 bereznia 2018 r. K. :Kyivs'kyj natsional'nyj universytet imeni Tarasa Shevchenka, 2018. S.259-262. 15. *Provedennia prostorovoho analizu tendentsij zminy chastoty i intensyvnosti hidrometeorologichnykh iavysch na terytorii Ukrainy vnaslidok zminy klimatu.* UkrHMI. 2013. URL://uhmi.org.ua/prjct/rvndr/climate.pdf. 16. *Rukovodstvo po proizvodstvu nabljudenij i primeneniju informacii s neavtomatizirovannyh radiolokatorov MRL-1, MRL-2, MRL-5, RD 52.04.320-91-Spb:* Gidrometeoizdat, 1993. 356 s. 17. *Stykhiyni meteorologichni iavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005rr.).* K.:Nika-Tsentr, 2006. 311s. 18. *S.P.Khomov, L.I.Mamontova* Meteorologicheskij slovar. L.: Gidrometeoizdat,1972, 454 s.. 19. *Brandes,E.A.* Optimizing rainfall estimates with aid of radar. Journal of Applied Meteorology,1975, Vol. 14. №7, 1339-1345. 20. *Cotton W. R.* Modification of Precipitation from Warm Clouds. Bulletin American Meteorological Society, 1982. Vol. 63. №2. P. 146-160. 21. *Rudolph J.V., Friedrich K.* Dynamic and Thermodynamic Predictors of Vertical Structure in Radar-Observed Regional Precipitation. J. Climate,2014, Vol 27. P. 2143-2158. 22. *Willems P., Arnbjerg-Nielsen K., Olsson J., Nguyene V.T.V.* Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. Atmospheric Research, 2012. Vol 103. P. 106-118. 23. *Woodley W.L., Olsen A.R., Herndon A., Winggent V.* Comparison of gage and radar methods of convective rain measurement. Journal of Applied Meteorology, 1975. Vol. 14. №5. P. 909-928.

### **Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України**

**Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заблоцька Т.М.**

В роботі розглянуто структуру часових змін інтенсивності опадів та просторовий розподіл величини для окремих процесів випадіння небезпечних та сильних опадів теплового періоду року. Аналіз виконувався на основі даних спостережень гідрометеорологічної мережі за період 2005-2017рр та результатів, отриманих в ході спеціального наукового експерименту (м. Київ, Багринова гора, теплий період 1969 року). Встановлено 123 випадки опадів такого типу, складена характеристика їх просторового поширення, сезонного та добового ходу. Для окремих процесів, на основі плювіометричних спостережень, визначалися максимальні інтенсивності опадів, час їх настання, наявність та кількість періодів (хвиль) підсилення опадів та їх часові і просторові параметри. Розраховувалася маса дощової води, що надходить на одиничну площу поверхні та інтенсивність опадів за об'ємом води для моментів максимальних значень або хвиль

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

підсилення опадів. Аналіз просторових і часових флуктуацій значень інтенсивності в межах окремих процесів дозволив виокремити три типи опадів теплої пори року: зливові (максимальні інтенсивності  $\geq 1$  мм/хв., частіше спостерігаються на початку процесу; наявність однієї/двох хвиль підсилення опадів з різними амплітудами; облогові – максимальні інтенсивності  $\approx 0,1$  мм/хв., існує кілька (3-5) хвиль підсилення опадів з незначними, але однаковими амплітудами, а також «мікс» облогових і зливових опадів за умови їх формування у фронтальних шаруватих хмарах з «затопленою» конвекцією, тоді максимальні інтенсивності  $\leq 1$  мм/хв., існує кілька хвиль підсилення різної амплітуди. Порівняння характеристик випадіння опадів в умовах сучасного кліматичного періоду та за минулі періоди показало, що величини максимальних значень інтенсивності для одного і того ж типу опадів у різні періоди спостережень практично співпадають. Очевидно, існує зональна «верхня межа інтенсивності процесів опадоутворення та вологозапасу хмар, що забезпечує сталість у часі характеристик опадів у межах відповідної широтної зони. Для остаточного підтвердження такого висновку необхідні додаткові дослідження на більш широкій базі даних.

**Ключові слова:** небезпечні та сильні опади; максимальна інтенсивність; хвилі підсилення; інтенсивність опадів за об'ємом води; типи опадів; повторюваність значень інтенсивності.

#### **Динамика интенсивности осадков и мезоструктурные особенности их полей в теплый период года на равнинной части территории Украины**

**Паламарчук Л.В., Сокур Е.С., Заболоцкая Т.Н.**

В работе рассмотрено структуру временных изменений интенсивности осадков и пространственное распределение характеристики для отдельных процессов выпадения опасных и сильных осадков теплой пори года. Анализ проводился с использованием данных наблюдений гидрометеорологической сети за период 2005-2017 гг. и результатов, полученных в специальном научном эксперименте (г. Киев, Багринова гора, теплый период 1969 года). Выявлено 123 случая осадков такого типа, составлены характеристики их пространственного распределения, годового и суточного хода. Для отдельных процессов на основании pluviометрических наблюдений устанавливались максимальные интенсивности осадков, время их наблюдения, наличие и количество периодов (волн) усиления осадков, а также их часовые и пространственные параметры. Рассчитывались масса дождевой воды, которая выпадает на единичную площадь поверхности, а также интенсивность осадков по объему воды для моментов максимальных значений или волн усиления осадков. Анализ пространственных и временных флуктуаций значений интенсивностей в пределах отдельных процессов позволил выделить три типа осадков теплой пори года: ливневые с максимальными интенсивностями  $\geq 1,0$  мм/мин, которые наблюдаются в начале выпадения, существование одной(двух) волн усиления осадков с разными амплитудами; обложные осадки с максимальными интенсивностями  $\approx 0,1$  мм/мин, существует несколько волн (3-5) усиления осадков с незначительными и равными амплитудами, а также «микс» обложных и ливневых осадков при условии их образования во фронтальных слоистообразных облаках с «затопленной» конвекцией, тогда максимальные интенсивности  $\leq 1,0$  мм/мин, существует несколько волн усиления с разной амплитудой. Сравнение характеристик выпадения осадков в условиях современного климата и прошлых периодов показало, что величины максимальных значений интенсивности совпадают. Очевидно существует верхний зональный «предел» интенсивности процессов осадкообразования и влагозапаса облаков, который обеспечивает относительную стабильность во времени основных характеристик осадков. Для окончательного подтверждения таких выводов необходимы дополнительные исследования на более обширной базе данных.

**Ключевые слова:** опасные и сильные осадки; максимальная интенсивность; волны усиления; интенсивность осадков по объему воды; типы осадков; повторяемость значений интенсивности.

#### **Dynamics of rainfall intensity and mesostructural characteristics of their fields in the warm period of the year in the plain part of Ukraine**

**Palamarchuk L., Sokur K., Zabolotska T.**

The research deals with the structure of temporal changes in rainfall intensity and the spatial distribution of magnitude within separate processes of fallout of dangerous and heavy rainfalls in the warm season. The analysis based on the data from the Ukrainian hydrometeorological observation network (2005-2017) and the data obtained during a special scientific experiment (Kyiv, Bagrynova Mt., warm period 1969). It has been determined 97 cases of such rainfalls, the characteristics of their spatial distribution, seasonal and daily variations. For individual processes, on the basis of pluviometric measurements there were determined the maximum rainfall intensities, the time of their occurrence, the presence and the number of waves (periods) of rainfall amplification and their temporal and spatial parameters. The mass of

rainwater per unit area and the volumetric intensity were calculated for moments of maximum intensity or amplification waves. The analysis of spatial and temporal fluctuations of intensity values within a separate process allowed to distinguish three types of rainfall during the warm period of the year: heavy precipitations (maximum intensities greater than 1 mm/min., such intensities more often observed at the beginning of the process; it notes the presence of one/two waves of amplification of rainfall with different amplitudes), slight precipitations (maximum intensities are approximately equal to 0.1 mm/min, several (3-5) waves of amplification of rainfall with small but equal amplitudes), and a "mix" of heavy and slight precipitations during the development of frontal stratus with so-called "flooded" convection (maximum intensities less than 1 mm / min; there are several waves of amplification of different amplitude). Conditions for the formation of heavy precipitations of the last type are the combination of mechanisms of thermal and dynamic convection, which is manifested in the enhancement of vertical lifting of air masses due to the blocking processes. It was made a comparison of the intensity and nature of precipitation in the current climatic period and in previous periods. It was found that the values of the maximum intensity for the same type of precipitation during the different observation periods practically coincide. Obviously, there is a zone of "upper limit" of the intensity of the processes of precipitation and moisture storage of clouds, which ensures the constant intensity of rainfall over time. There is some increase in number and length of waves of rainfall amplification, as well as an increase in the frequency of rainfalls with "flooded" convection. The research shows the recurrence of rainfall intensity for certain types within certain gradations of their values. On this basis an integral providing curve is created, which makes it possible to estimate the probability or recurrence of given precipitation intensity values at different levels of providing.

**Keywords:** dangerous and heavy rainfalls, maximum intensity, amplification waves, volumetric intensity, types of rainfalls, recurrence of intensity values.

**Надійшла до редколегії 28.08.2019**

УДК 551.570.04

**Дячук В.А., Баштаннік М.П., Кіптенко Є.М., Козленко Т.В., Надточій Л.М.**  
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, Київ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ КИЄВІ ТА НАПРЯМКИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ**

**Ключові слова:** забруднення атмосферного повітря, викиди, концентрації, забруднюючі речовини, якість повітря, система спостережень.

**Вступ.** Моніторинг забруднення атмосферного повітря великого промислового міста має свої особливості, які пов'язані зі складністю механізму взаємодії сукупності забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу від різних джерел викидів (промислові підприємства, автотранспорт тощо) та енергетикою граничного шару атмосфери, яка призводить до розсіювання домішок [10-13,16]. Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря в Києві є складовою частиною багаторівневої системи управління якістю повітря, спрямованої на забезпечення її відповідно до національних стандартів щодо умов проживання населення й стану природного середовища. Основною складовою інформаційного забезпечення є дані приземних концентрацій пріоритетних забруднюючих домішок достатнього просторово-часового розподілу, які отримано шляхом вимірювань або розрахунків у приземному шарі повітря. Під час організації моніторингу враховується кількість населення, розміщення основних джерел викидів, перелік пріоритетних речовин та деякі кліматичні характеристики їх розсіювання. Діюча на сьогодні Державна система моніторингу забруднення атмосферного повітря потребує свого удосконалення (згідно з [7] кожні три роки).

**Вихідні дані та методика дослідження.** Для вирішення питання удосконалення системи моніторингу забруднення атмосферного повітря сумісно аналізували матеріали інвентаризації джерел викидів, просторовий розподіл концентрацій ЗР протягом 2000-2016 рр., характеристики потенціалу забруднення