

УДК 504.453

ЧАСОВА СТРУКТУРА РІЧНИХ СУМ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ В МЕЖАХ ПРИП'ЯТСЬКО-ВОЛИНСЬКОЇ МОРЕННО-ЗАНДРОВОЇ РІВНИНИ ТА ВОЛИНСЬКОЇ ДЕНУДАЦІЙНОЇ ВИСОЧИНИ

Галік О.І., Будз О.П., Косяк Д.С., Куцевич М.В.

Національний університет водного господарства та природокористування

Проведена оцінка статистичної значущості регіональних трендів річних сум атмосферних опадів з урахуванням зв'язності та циклічності рядів спостережень на метеостанціях Волинського Полісся та Волинської височини. За допомогою різницевого інтегрального кривих виявлені моменти переходу від фаз зменшення до фаз зростання річних сум опадів. Для підтвердження наявності трендів були застосовані параметричні та непараметричні статистичні критерії однорідності рядів спостережень.

Ключові слова: атмосферні опади, автокореляція, тренд, інтегральні криві, статистичні критерії однорідності.

Вступ. Інтенсивність екзогенних процесів тісно пов'язана з активністю зовнішніх факторів. Ці процеси в значній мірі визначаються фізичними умовами на поверхні Землі і зокрема, кліматом. Коливання температури і кількості атмосферних опадів є головними факторами, які визначають динаміку екзоморфогенезу. Характеристика змін та коливань атмосферних опадів може бути достатньо актуальною.

На сьогодні основним методом оцінки змін клімату є порівняння змін за даними натурних спостережень та змін за результатами розрахунку по моделям загальної циркуляції атмосфери і океану (МЗЦАО). Головна увага приділена аналізу змін температури повітря, як елементу тепло обігу, що у свою чергу є одним із процесів утворення клімату. Вважається, що можливість аналізу змін інших елементів в процесах кліматоутворення (і в першу чергу атмосферних опадів) є обмеженою. Причини цього вважається недостатньо повне фізичне розуміння кліматичної системи, а також недоліки системи спостережень, що не дозволяє одержати достатньо точну інформацію [4]. При цьому, в регіональному масштабі, порівняння трендів температур (не говорячи вже про опади), розрахованих по моделям та визначених за даними спостережень в ряді випадків є малорезультативним. Вважається, що основною причиною цього є велика невизначеність оцінок трендів за даними спостережень. В свою чергу, однією із причин, зазначеної невизначеності є зв'язність рядів спостережень, проявом якої вважаються різноманітні цикли [4].

Мета даного дослідження - охарактеризувати статистичну значущість (визначеність оцінок) регіональних трендів сум атмосферних опадів, враховуючи можливу зв'язність та циклічність рядів спостережень.

Виклад основного матеріалу. В роботі для аналізу регіональних змін атмосферних опадів за рік використані дані інструментальних спосте-

режень на 8 метеостанціях Західного Полісся та північної частини Волино-Подільської височини з 1943 року по 2010 рік (враховуючі базовий період 1961-1990 рр.)

Попередня візуальна оцінка багаторічного ходу річних сум опадів (H_i), їх модульних коефіцієнтів ($K_i = H_i / H_0$, де H_0 - середнє багаторічне значення річних опадів), відхилень річних опадів від їх середньої величини ($K_i - 1$) та $(K_i - 1) / C_v$, показує наявність можливої тенденції на збільшення опадів за період спостережень (рис. 1). В результаті був проведений аналіз часової структури рядів спостережень в таких напрямках; наявність зв'язків між сусідніми членами ряду; регресія даних спостережень на час; можлива наявність різноманітних циклів; однорідність рядів спостережень за статистичними критеріями.

Про наявність зв'язності членів ряду між собою говорить коефіцієнт автокореляції $r(1)$. Для його визначення, попередньо утворюють з одного вихідного ряду два, при цьому другий допоміжний ряд буде частиною першого. Число пар значень вихідної величини на одну менше загального об'єму сукупності. Для беззв'язного ряду $r(1)$ фактично дорівнює нулю. Для рядів із слабкими внутрішньорядними зв'язками коефіцієнт $r(1)$ зазвичай дорівнює 0,2-0,4 [3]. В таблиці 1 наведена характеристика зв'язності рядів річних сум атмосферних опадів.

Фактично, для зазначеної території можна говорити про відсутність зв'язку між членами рядів річних атмосферних опадів, тобто ряди сформовані із випадкових величин та про ймовірну відсутність проявів різноманітних циклів.

Для вивчення змін параметрів клімату за даними рядів спостережень використовують оцінки трендів середнього значення. Найчастіше визначають коефіцієнт лінійного тренду, який характеризує швидкість зміни рівня ряду на часовому відрізку, що розглядається. В даному дослідженні коефіцієнти лінійних трендів різних сум

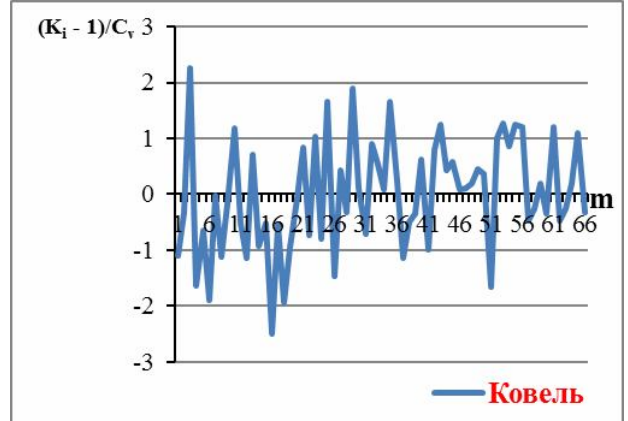
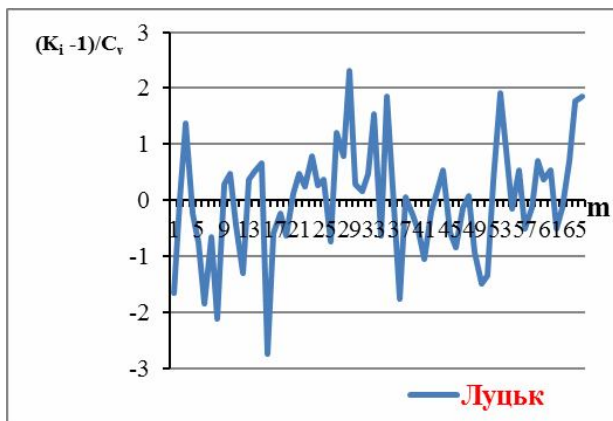
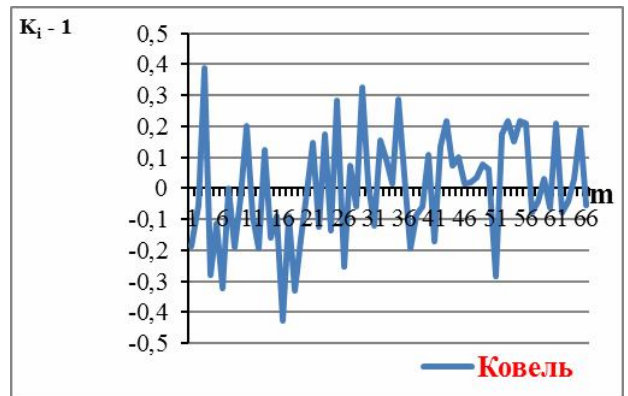
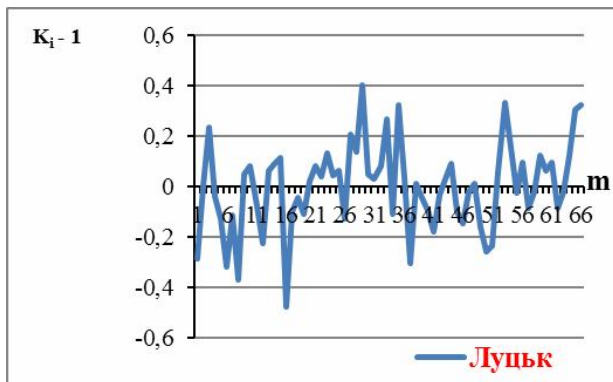
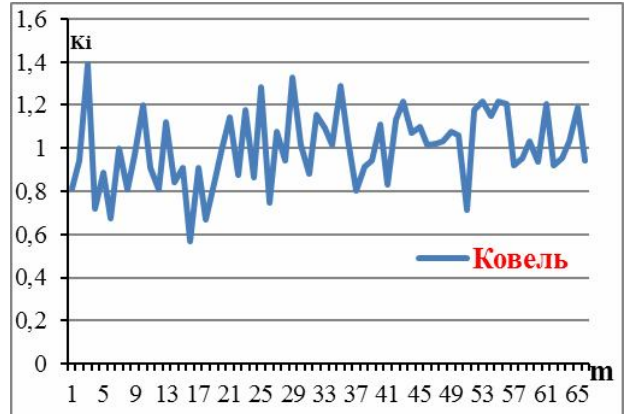
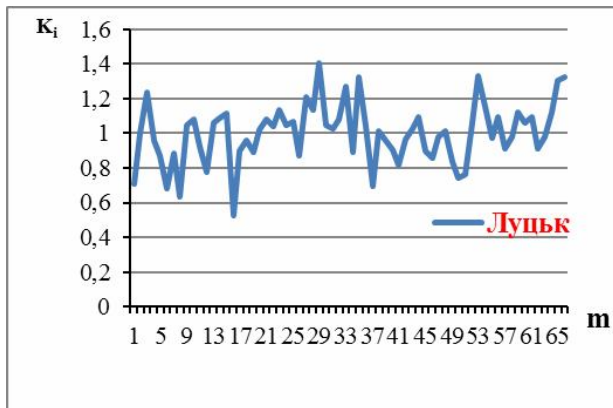
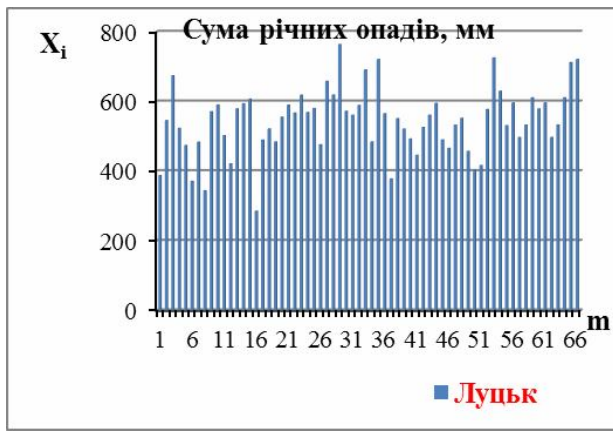


Рис. 1. Багаторічний хід річних опадів (Луцьк, Ковель)
 Pic. 1. Long-term motion of annual fallouts (Lutsk, Kovel)

Коефіцієнти автокореляції рядів річних сум атмосферних опадів

Метеостанції	Період спостережень	$r(I)$
Рівне	1945-2010	-0,005
Дубно	1945-2011	+0,054
Луцьк	1946-2011	+0,259
Володимир-Волинський	1946-2011	+0,077
Ковель	1946-2011	-0,032
Світязь	1947-2011	-0,002
Любешів	1947-2011	-0,079
Сарни	1946-2011	+0,048

атмосферних опадів (a) були визначені за співвідношенням регресійного аналізу [1]. Для оцінки статистичної значущості наявності тренду зазвичай застосовують співвідношення a/ba , де ba - вибіркова мінливість лінійного тренду [4]. В якості критичної умови, за якої не відхиляють наявність тренду, часто використовують умову $a/ba > 2$. В таблиці 2 наведені результати трендового аналізу рядів річних сум атмосферних опадів.

Для досліджуваних рядів фактично виявлені статистично значущі додатні тренди річних сум атмосферних опадів.

Попередньо, для оцінки можливої циклічності та однорідності рядів спостережень були визначені показники їх мінливості та симетричності. Коефіцієнти варіації (Cv), асиметрії (Cs) та ексцесу (CE) були обчислені за відомими співвідношеннями [5]. Для перевірки гіпотези про нормальний розподіл були визначені критерії узгодженості за методом моментів [6]. Зазначені показники та критерії наведено в таблиці 3.

Гіпотеза про нормативний розподіл відхиляється, якщо хоча б одне із значень $/CS/$ та $/CE/$ буде перевищувати відповідний критерій узгодженості. За ряду на метеостанції Любешів розглянута гіпотеза не відхиляється.

Оцінка часової структури рядів річних сум опадів вимагає визначення однорідності рядів за статистичними критеріями однорідності. Для їх застосування слід точно визначити моменти поділу сукупності на дві частини за характеристикою можливої циклічності опадів. Дослідження циклічності коливань річних сум опадів проводилися за календарними графіками їх змін (рис. 1). Вони не завжди дають повну уяву про можливу циклічність через наявність малих циклів на фоні багаторічних коливань. Також були використані графіки ковзних середніх значень за деякий проміжок часу (рис. 2). Вони включають вплив різких коливань в окремі роки, але завдяки

згладжуванню одночасно роблять більш невизначеними межі різних циклів. Більш наглядну уяву про цикли коливання річних сум атмосферних опадів дають різниці інтегральні криві (сумарні криві відхилень річних значень від середнього його значення за період спостережень).

Інтегральні криві будують для рядів тривалістю спостережень не менше 50-60 років [2] у відносних величинах - модульних коефіцієнтах (K_i). Для цього послідовно додають відхилення модульних коефіцієнтів опадів хронологічного ряду від середнього багаторічного значення, що дорівнює одиниці, тобто знаходять $[СУМА t-1(K_i-1)]$. Поточні ординати інтегральної кривої на кінець t -го року від початку кривої визначають як $СУМА t-1(K_i-1)=f(t)$. Для того, щоб виключити вплив ступеня мінливості на модульні коефіцієнти інтегральні криві будують по ординатам $[СУМА t-1(K_i-1)/Cv]=f(t)$. Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил вгору відповідає фазі збільшення опадів. Період часу, для якого ділянка кривої має нахил вниз відповідає фазі зменшення річних сум опадів. Інтегральні криві річних сум опадів за роками спостережень на зазначених метеостанціях наведено на рисунку 3.

Аналіз різницевої інтегральних кривих показує, що для 5 метеостанцій можна виділити одну фазу зменшення річних сум опадів, за якою розпочинається фаза їх збільшення, а для 3 метеостанцій виділяється по дві відповідні фази. Порівняння інтегральних кривих показує, що багаторічні коливання річних сум опадів є синфазними, тобто на різних метеостанціях одночасно спостерігаються однакові фази, але співвідношення середніх значень за ці фази змінюються (таблиця 4).

Абсциси інтегральних кривих, які відповідають 1965-1966 рокам та 1982 і 1997 рокам були визначені моментами переходу між фазами зміни опадів.

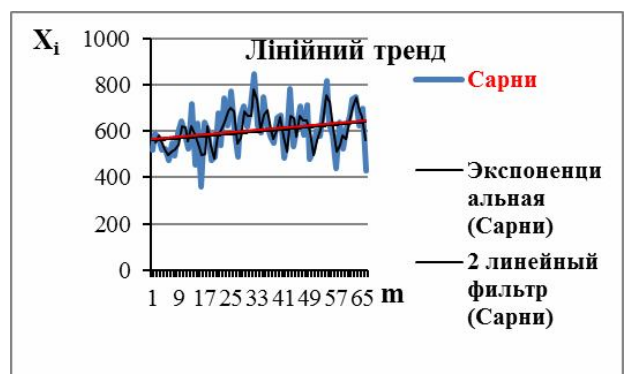
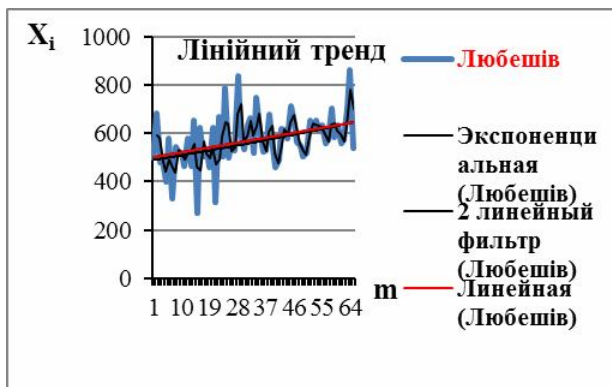
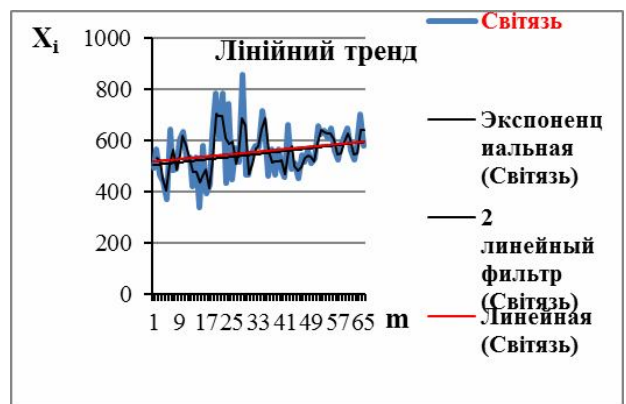
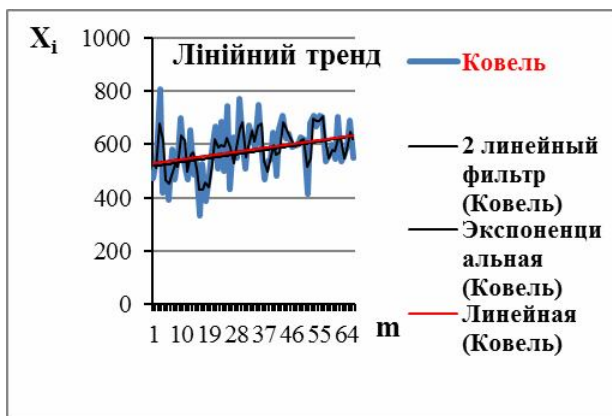
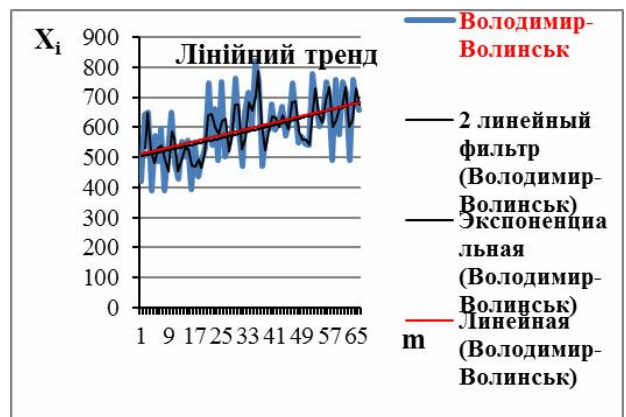
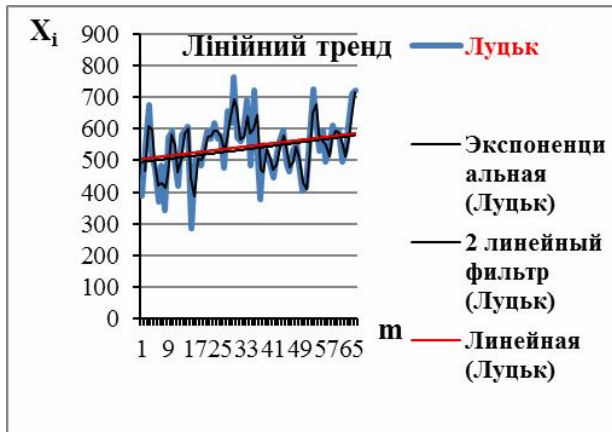
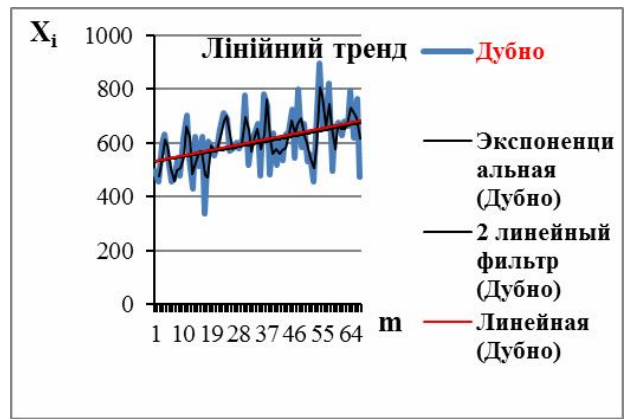
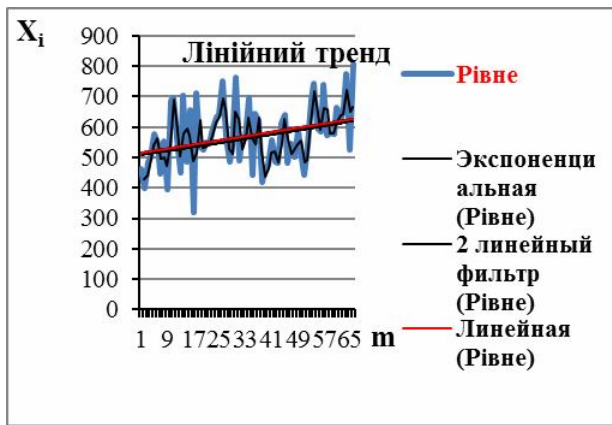


Рис 2. Тренди річних сум атмосферних опадів
 Fig. 2. Trends of annual sums of atmospheric fallouts

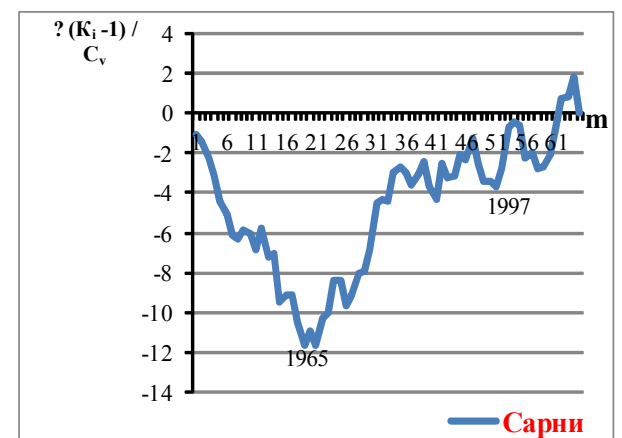
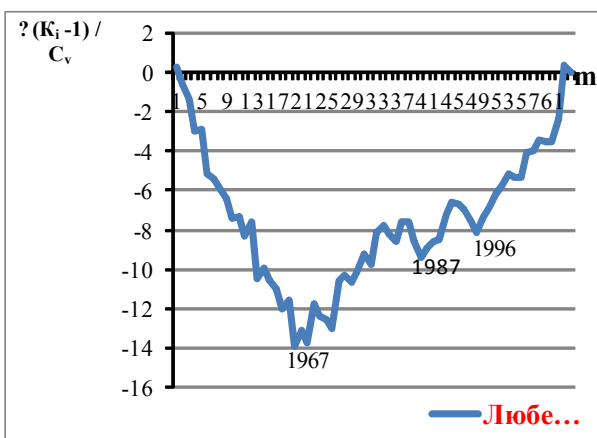
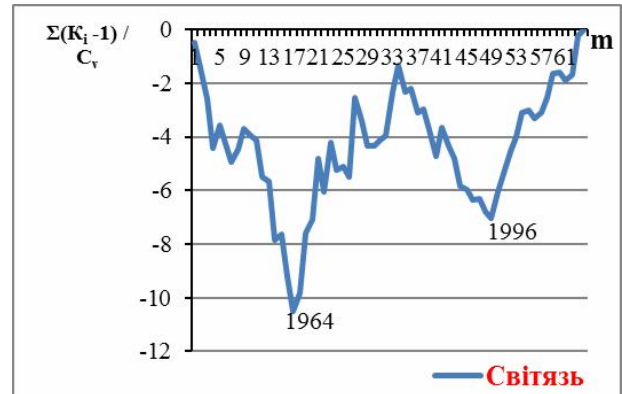
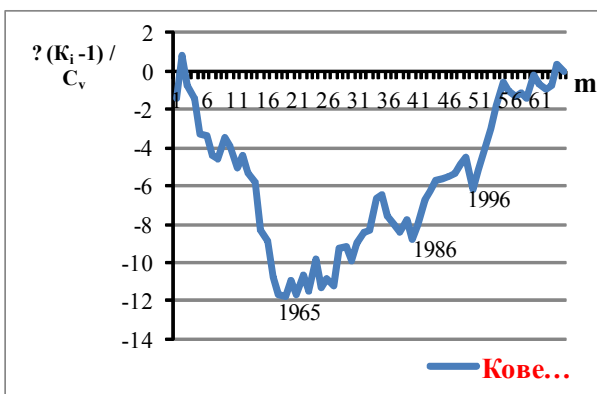
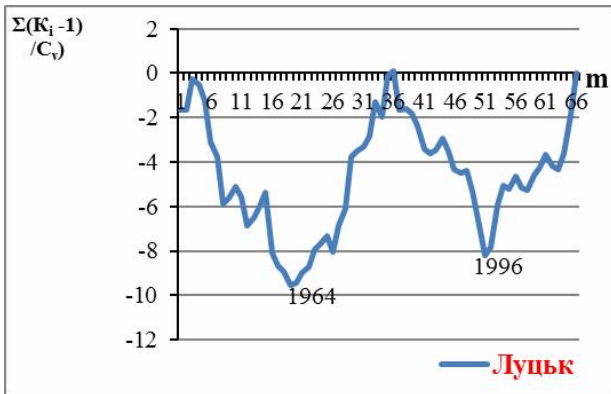
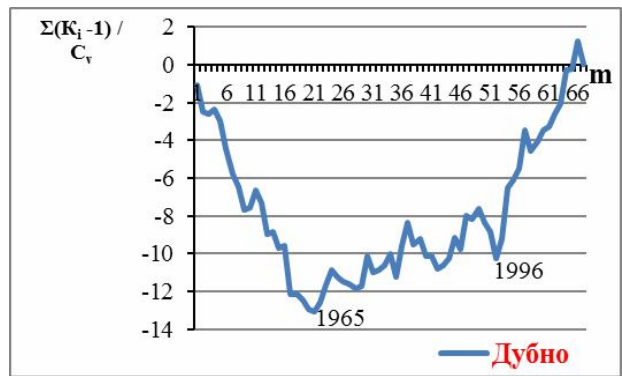
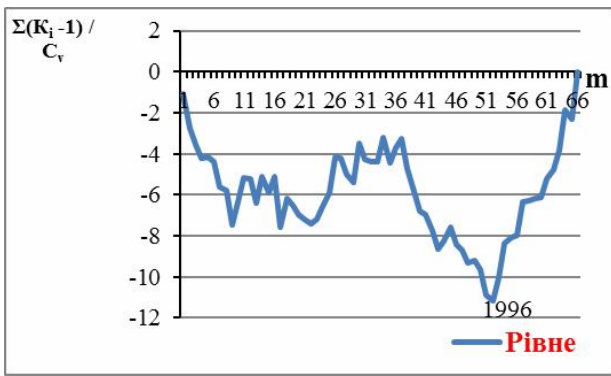


Рис. 3. Різницеві інтегральні криві річних сум атмосферних опадів
 Pic. 3. Differencive integral curves of annual sums of atmospheric fallouts

Характеристика лінійних трендів рядів річних сум атмосферних опадів

Метеостанція	a , мм/рік	a/σ_a	Метеостанція	a , мм/рік	a/σ_a
Рівне	+1,68	3,74	Ковель	+1,57	3,69
Дубно	+2,21	4,87	Світязь	+1,23	2,73
Луцьк	+1,21	3,19	Любешів	+2,24	4,34
Володимир-Волинський	+2,67	5,39	Сарни	+1,26	2,94

Таблиця 3

Статистичні показники рядів річних сум атмосферних опадів

Метеостанція	H_o , мм	C_v	$ C_s $	Критерії узгодженості C_s	$ C_E $	Критерії узгодженості C_E
Рівне	570,1	0,180	0,193	0,562	0,369	1,056
Дубно	608,2	0,174	0,002	0,558	0,046	1,050
Луцьк	555,0	0,174	0,158	0,562	0,296	1,056
Володимир-Волинський	597,1	0,181	0,042	0,562	0,804	1,056
Ковель	581,3	0,172	0,101	0,562	0,357	1,056
Світязь	555,0	0,181	0,518	0,566	0,462	1,062
Любешів	573,3	0,188	0,033	0,566	1,081	1,062
Сарни	606,3	0,166	0,016	0,562	0,323	1,056

Послідовність фаз зменшення та зростання опадів дозволяє виділити цикли зміни опадів. За допомогою інтегральних кривих для рядів спостережень на метеостанціях Рівне, Луцьк, Світязь можна виділити два цикли зміни атмосферних опадів (таблиця 5).

Виділені цикли перевірялися на репрезентативність. Для цього, застосовано співвідношення $K_{ср. - 1} = (lk - ln)/m$. В ньому: $K_{ср. - 1}$ - відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) за інтервал часу m років від його середнього багаторічного значення за весь період спостережень, яке дорівнює одиниці; lk та ln - кінцева та початкова ордината інтегральної кривої за відрізок часу m років (таблиця 5). Виділені цикли можна вважати показовими, якщо $K_{ср. - 1}$ для них буде близьким до $K_{ср. - 1}$ за весь період спостережень. Для зазначених метеостанцій (за виключенням метеостанції Луцьк) виділені цикли не можна вважати репрезентативними. Фактично, для даної території можна виділяти один повний цикл зміни річних сум опадів, який включає дві фази. Фаза зменшення - від середини 1940-х до

1960-х років. Фаза зростання - від середини 1960-х років і до сьогодення. Моменти переходу від фаз зменшення опадів до фаз їх зростання (моменти неоднорідності) для метеостанцій Світязь і Луцьк відповідає 1964-1965 роки, для метеостанцій Рівне, Дубно, Володимир-Волинський, Ковель, Сарни - 1965-1966 роки, для метеостанції Любешів - 1967-1968 роки.

Для підтвердження значущості виділених трендів опадів також були застосовані статистичні критерії оцінки однорідності рядів. Якщо розглянута сукупність буде однорідною, то не можна вважати виділений тренд статистично значущим. Оцінка однорідності проводилася за параметричними і непараметричними статистичними критеріями. Параметричними називають критерії, які ґрунтуються на припущенні, що розподіл ознаки в сукупності підпорядковується деякому відомому закону, наприклад - закону нормального розподілу. Непараметричними називають критерії, використання яких не вимагає попереднього визначення закону розподілу. Кожен ряд спостережень за опадами з урахуванням моменту неоднорідності

Таблиця 4

Характеристика зміни річних сум атмосферних опадів за фазами по різницею інтегральним кривим

Метеостанція	Тривалість фаз	Зміна опадів	Метеостанція	Тривалість фаз	Зміна опадів
Рівне	1945-1965	-	Дубно	1945-1965	-
	1966-1981	+		1966-2011	+
	1982-1996	-	Володимир-Волинський	1946-1965	-
	1997-2010	+		1966-2011	+
Луцьк	1946-1964	-	Ковель	1946-1965	-
	1965-1981	+		1966-2011	+
	1982-1996	-	Любешів	1947-1967	-
	1997-2011	+		1968-2011	+
Світязь	1947-1964	-	Сарни	1946-1965	-
	1965-1981	+			
	1982-1996	-		1966-2011	+
	1997-2011	+			

Примітка: "-" - зменшення опадів; "+" - збільшення опадів

Таблиця 5

Оцінка репрезентативності циклів зміни річних сум атмосферних опадів

Метеостанція	Тривалість циклу	Число років, m	$K_{cp} - 1$ за циклами	$K_{cp} - 1$ за період спостережень
Рівне	1945-1981	37	-0,060	+0,016
	1982-2011	29	+0,113	
Луцьк	1948-1981	34	+0,012	+0,007
	1982-2011	30	-0,004	
Світязь	1948-1981	34	-0,025	+0,008
	1982-2011	30	+0,045	

поділявся на дві сукупності і за дослідженим критерієм оцінювалася їх однорідність.

Оцінку однорідності рядів за параметричними критеріями починають з оцінки однорідності вибірових дисперсій, яку здійснюють за критерієм Фішера F з урахуванням $r(1)$. Для усіх рядів виявлено, що $F < F(a)$, де $F(a)$ - критичне значення статистики Фішера. Таким чином, можна вважати, що відмінності у відхиленнях сукупностей відсутні. Надалі, застосовують критерій Стюдента t , який характеризує однорідність вибірових середніх. У всіх випадках виявлено, що $t > t(a)$, де $t(a)$ - критичне значення статистики Стюдента при наявності $r(1)$ для рівня значущості $\alpha = 0.005$ (5%). Це свідчить, що за різницею середніх значень, ряди річних сум опадів слід вважати неоднорідними.

Для підтвердження виявленої неоднорідності також були використані непараметричні критерії.

Були обчислені: критерій Вілкоксона W та критерій Вандервардена X , які виявляють відмінності в середніх значеннях виборок; критерій Сіджела і Тьюкі S , який виявляє відмінності у відхиленнях; критерій Серін Q та критерій Колмогорова-Смирнова u_2 , які виявляють відмінності характері розподілів. Всі визначені критерії порівнювалися з критичними значеннями відповідних статистик при рівні зачущості $\alpha = 0.005$ (5%). Результати оцінки однорідності за визначеними критеріями наведено у таблиці 6.

Фактично, за найбільш потужними з непараметричних статистичних критеріїв (X та u_2), ряди річних сум опадів можна вважати неоднорідними за відмінностями в середніх значеннях та за відмінностями в характері розподілів.

Висновок. Таким чином, аналіз часової структури рядів річних сум атмосферних опадів

**Оцінка однорідності рядів річних сум атмосферних опадів
за непараметричними критеріями з урахуванням моментів неоднорідності**

Метеостанція	<i>W</i>	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>Q</i>	λ^2
Рівне	О	Н	О	О	Н
Дубно	О	Н	О	О	Н
Луцьк	О	Н	О	О	Н
Володимир- Волинський	О	Н	О	Н	Н
Ковель	О	Н	О	Н	Н
Світязь	О	Н	О	О	Н
Любешів	О	Н	О	О	Н
Сарни	О	Н	О	О	Н

Примітка: О - ряд однорідний; Н - ряд неоднорідний

для досліджуваної території показує їх постійне зростання. Додатний тренд атмосферних опадів з урахуванням їх циклічності можна вважати статистично значимим. Факт, збільшення річних опадів із середини 60-х років 20 століття слід враховувати при геоморфологічних дослідженнях території Волинського Полісся та Волинської височини.

Список літератури

1. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. - М.: ЮНИТИ, 1998. - 1022 с.
2. Галущенко Н. Г. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Н. Г. Галущенко. - К.: Вища школа, 1987. - 248 с.
3. Кобышева Н. В. Климатология / Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 344 с.
4. Мелешко В. П. Насколько наблюдаемое потепление климата России согласуется с расчетами по объединенным моделям общей циркуляции атмосферы и океана / В. П. Мелешко, В. М. Мирвис, В. А. Говоркова // Метеорология и климатология. - 2007. - № 10. -- С. 5 - 19. - (Серия "Метеорология и гидрология").
5. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 448 с.
6. Справочник по математическим методам в геологии / [Родионов Д. А., Коган Р. И., Голубева В. А. и др.]. - М.: Недра, 1987. - 335 с.

Галик О.И., Будз Е.П., Косяк Д.С., Куцевич Н.В. Временная структура годовых сум атмосферных осадков в пределах Припятско - Волынской моренно-зандровой и террасной равнины и Волынской денудационные возвышенности.

Проведена оцінка статистическої значимості регіональних трендів годових сум атмосферних опадів з урахуванням зв'язності та циклічності рядів спостережень на метеостанціях Волинського Полісся та Волинської височини. С допомогою різностних інтегральних кривих виявлені моменти переходу від фаз зменшення до фаз зростання годових сум опадів. Для підтвердження наявності трендів були застосовані параметричні та непараметричні статистическі критерії однорідності рядів спостережень.

Ключевые слова: атмосферные осадки, автокорреляция, тренд, интегральные кривые, статистические критерии однородности.

Galik O.I., Budz O.P., Kosyak D.S., Kutcevich M.V. Sentinel structure of annual sums atmospheric fallouts in Pripyat-Volyn terrace plain and Volyn sublimity. Conducted estimation of statistical information for regional annual of atmospheric fallouts with cyclic rows supervision on weather-stations in Volyns Polissya and Volyn sublimity. With difference integral curves has been discovered transition moments from diminishing phases to phases of increase of annual rainfalls. For confirmation presence of trends were applied self-reactance and not self-reactance criteria for rows of supervisions.

Key words: atmospheric fallouts, autocorrelation, trend, integral curves, statistical criteria.