

Katsalova L.M., Shpyg V.M.

The choice of variographical model for the pressure, temperature and precipitation forecast data

In this paper the criteria choice is described for the variographical models for kriging interpolation of COSMO model data forecast. The concepts of optimal and quasi-optimal models are proposed. The results of the experimental evaluation of optimal and quasi-optimal variographical

models for the pressure, temperature and precipitation by COSMO model forecast for the period from April 2013 to March 2014. The obtained results and conclusions, that have practical significance for the post-processing of results of numerical weather prediction models for the territory of Ukraine, are discussed.

Keywords: kriging, interpolation, variography, experimental variogram.

УДК 551.509.6;551.577.2

С.В. Носар, Є.А. Степура

ОЦІНКА МОЖЛИВОГО ШТУЧНОГО ЗБІЛЬШЕННЯ ОПАДІВ У ПІВНІЧНОМУ ПРИЧОРНОМОР'І В ХОЛОДНУ ЧАСТИНУ РОКУ (НА ПРИКЛАДІ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Розглянуто ресурси хмар у сезон проведення робіт у Північному Причорномор'ї (Херсонська область) за тридцятирічний період (з 01.11.1980 по 31.03.2010 рр.). У результаті виконаних розрахунків показано, що штучні впливи на всі хмари, з яких у регіоні випадають природні опади, можуть збільшити суму опадів за сезон проведення робіт (з листопада по березень включно) на величину від 19,2 мм до 105,6 мм, а відносне збільшення опадів становитиме від 24 % до 77 % суми природних опадів за цей же період.

Ключові слова: дефіцит природних опадів, ресурси хмар, штучні впливи на зимові хмари, додаткові опади.

Створена й апробована в Україні в семидесяти роки ХХ ст. технологія інтенсифікації природних опадів холодної частини року показала, що відносне збільшення їх кількості, отримане завдяки штучному впливу на хмари, сягало 35-40 % від суми природних опадів за цей період та залежало від їх інтенсивності [1-4].

Опираючись на результати згаданої вище вітчизняної розробки, на підставі матеріалів метеорологічних спостережень за хмарністю та опадами в Миколаївській області, яка розташована в Північно-Західному Причорномор'ї, було досліджено ресурси хмар під час сезонів проведення робіт з інтенсифікації природних опадів [5]. Тривалість сезону проведення робіт – з 1 листопада по 31 березня. Дані досліджень узагальнено протягом 30-річного періоду спостережень (1980-2010 рр.). Головною метою цих досліджень стало обчислення можливої кількості додаткових опадів, які можна було б отримати протягом сезону робіт, здійснюючи штучний вплив на всі хмари, з яких зафіксовано випадіння природних опадів. У [5] було показано, що за умови використання

для штучних впливів усіх (100 %) хмар, з яких випадають природні опади, можливе збільшення суми природних опадів за сезон проведення робіт (5 місяців) може становити від 47,3 мм на півдні до 72,7 мм на північному заході цієї області (від 32 % до 41 % суми природних опадів за сезон).

Ця стаття присвячена узагальненню результатів подібних обстежень ресурсів хмар та розподілу природних опадів у сезони проведення робіт на метеостанціях Херсонської області за тридцятирічний період (з 1980 по 2010 рік). Її мета – визначити можливу кількість додаткових опадів, які могли би бути отримані внаслідок штучного впливу на хмари, з яких випадали природні опади, протягом сезону робіт у цій частині України.

Матеріали та методи досліджень, отримані результати

Для обстежень розподілу природних опадів застосовано дані метеорологічних спостережень за кількістю, видом, типами та часом випадіння (початок – закінчення) атмосферних опадів

з усіх типів хмар холодної частини року на всіх 9 метеорологічних станціях Херсонської області, а саме: Асканія Нова, Бехтери, Велика Олександрівка, Генічеськ, Нижні Сірогози, Нова Каховка, Стрілкове, Херсон, Хорли. На рис. 1 показано розташування цих метеостанцій.

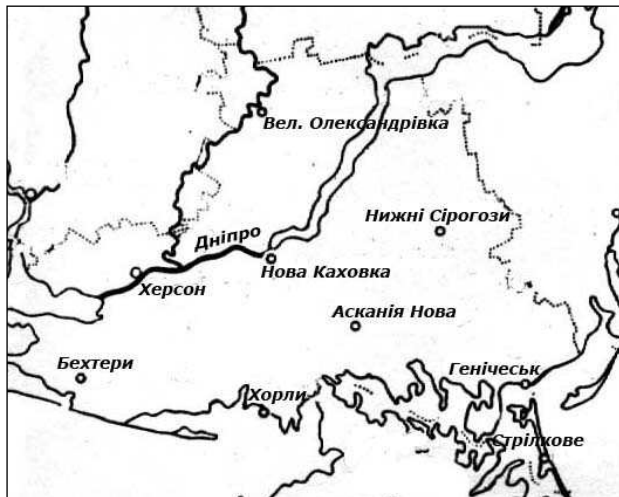


Рис. 1. Схема розташування метеостанцій Херсонської області

Обробці підлягали дані щодобових спостережень за опадами в чотири строки, які входили в єдині стандартні строки спостережень за міжнародним скоординованим часом (МСЧ). Винятком був лише невеликий період з 1 листопада 1981 р. по грудень 1983 року включно, коли опади на всіх метеостанціях вимірювали лише в два строки. За 30-річний період строки спостережень за опадами змінювались 4 рази: (03, 09, 15, 21 год – з листопада 1980 р. по березень 1981 р. включно; 09 та 21 год – з листопада 1981 р. по грудень 1983 р. включно; 06, 09, 18, 21 год – з січня 1984 р. по грудень 1992 р. включно; 03, 06, 15, 18 год – з січня 1993 р. по грудень 2002 р. включно; 00, 06, 12, 18 год, починаючи з 1 січня 2003 р. і аж до закінчення взятого до обробки тридцятирічного періоду спостережень – 31 березня 2010 р.). На основі цих спостережень за атмосферними явищами (час фіксації їх початку й закінчення) визначали тривалість кожного факту випадіння атмосферних опадів з хмар та типи й види атмосферних опадів, які дали визначену кількість опадів між строками їх вимірювань.

Усього за вказаний 30-річний період метеорологічних спостережень по кожній із 9 метеостанцій для кожного строку спостережень, коли відмічались опади, ми обчислили інтенсивність природних опадів, які випадали з хмар. За цими даними й алгоритмом, приведеним у [6], із використанням формули:

$$\Delta R = k * T * I_{\text{ш}}, \quad (1)$$

для кожного випадку вимірювання опадів під час сезону робіт було проведено розрахунок можливого збільшення кількості опадів внаслідок активного впливу на хмари, з яких випадали природні опади. Позначення параметрів у формулі (1) такі: ΔR – кількість додаткових опадів [мм], k – коефіцієнт придатності хмар, T – час, протягом якого випадають природні опади (у годинах і десятих долях години), $I_{\text{ш}}$ – інтенсивність штучних опадів [мм/год].

На рис. 2-10 і в табл. 1 для кожної метеостанції приведено дані про динаміку коливань кількості природних опадів та розрахованих величин можливих додаткових опадів і їх відносного збільшення, вказаного у відсотках до кількості природних опадів. На рисунках та в таблиці приведено середні місячні та сезонні значення, а також максимальні та мінімальні значення цих характеристик. Обчислено їх для кожного сезону робіт і усереднено за 30 років спостережень.

Приведені параметри в таблиці та на рисунках такі: R , $R_{\text{мін}}$, $R_{\text{макс}}$ – середня, мінімальна та максимальна кількості природних опадів [мм]; ΔR , $\Delta R_{\text{мін}}$, $\Delta R_{\text{макс}}$ – середня, мінімальна та максимальна кількості додаткових опадів [мм]; $R_{\text{в}}$, $R_{\text{відн}}$ та $R_{\text{вмін}}$, $R_{\text{вмакс}}$ у % до кількості природних опадів – середня, мінімальна й максимальна величини відносного збільшення опадів [%], тренд R , тренд ΔR – лінії трендів середньої кількості природних і додаткових опадів відповідно.

Розглянемо отримані результати. Як видно із даних табл. 1, середня, обчислена за період 30 років (1980–2010 рр.), сумарна за сезон кількість природних опадів сягала найбільших значень на півночі Херсонської області – 173,5 мм (Велика Олександрівка) та на південному сході в Генічеську – 170,4 мм. Найменші значення її спостерігали на півдні (узбережжя Чорного моря) і в центрі Херсонської області: метеостанції Хорли (147,0 мм) та Асканія Нова (152,8 мм) відповідно. Сезонна кількість природних опадів мала тенденцію до зменшення значень з півночі на південь області: від 173,5 мм у Великій Олександрівці (північ) до 165,6 мм у Новій Каховці, 160,3 мм у Херсоні, 158,6 мм у Нижніх Сірогозах, 152,8 мм на метеостанції Асканія Нова (у середній та центральній частинах області), і подальшому зниженні значень у південно-західній та південній частинах області (Бехтери – 154,3 мм, Хорли 147,0 мм). Загалом різниця між північчю і півднем області була вищою в західній частині Херсонської області – від 19 мм до 26 мм, у східній частині вона становила від 3 мм до 15,5 мм.

Таблиця 1

Середні та екстремальні значення величин природних опадів та їх можливого абсолютного й відносного збільшення по місяцях та за сезон робіт. Херсонська область.
Усі метеостанції. XI – III місяці, 1980-2010 рр.

Метеостанція	Місяць	XI	XII	I	II	III	Сезон
	Величина						
Асканія Нова	R, мм	40,1	30,9	26,0	27,9	27,5	152,8
	R _{min} , мм	2,8	2,7	2,2	5,3	0,5	57,5
	R _{max} , мм	112,8	96,8	74,8	82,3	51,3	269,3
	ΔR, мм	12,4	13,3	11,9	11,8	11,4	60,4
	ΔR _{min} , мм	2,9	3,3	1,9	3,2	1,3	29,7
	ΔR _{max} , мм	26,9	28,6	28,6	23,8	21,9	90,4
	Rв, %	31	43	46	42	42	40
	Rв _{min} , %	12	21	25	25	21	29
Rв _{max} , %	211	126	118	93	260	55	
Бехтери	R, мм	38,3	32,4	26,3	30,0	27,1	154,3
	R _{min} , мм	2,5	1,8	2,1	3,3	1,3	66,5
	R _{max} , мм	88,6	94,1	69,1	70,6	55,2	248,4
	ΔR, мм	12,9	14,6	14,6	13,4	12,2	67,8
	ΔR _{min} , мм	2,9	6,0	3,5	2,2	2,0	37,9
	ΔR _{max} , мм	31,4	28,8	34,6	26,2	26,5	105,6
	Rв, %	34	45	56	45	45	44
	Rв _{min} , %	16	24	32	22	26	33
Rв _{max} , %	124	333	167	124	252	65	
Велика Олександрівка	R, мм	40,7	35,2	32,5	34,4	30,7	173,5
	R _{min} , мм	2,0	3,2	5,1	6,9	1,5	71,6
	R _{max} , мм	89,5	100,0	92,1	95,0	75,2	291,3
	ΔR, мм	10,9	12,3	13,0	12,3	11,3	59,8
	ΔR _{min} , мм	1,2	2,7	3,6	3,4	1,4	31,4
	ΔR _{max} , мм	22,1	32,2	26,9	29,3	28,2	96,6
	Rв, %	27	35	40	36	37	34
	Rв _{min} , %	4	20	24	18	23	27
Rв _{max} , %	115	94	107	77	93	46	
Генічеськ	R, мм	35,9	37,0	32,1	30,9	33,8	170,4
	R _{min} , мм	4,6	4,1	7,5	6,9	4,0	69,7
	R _{max} , мм	74,3	75,4	85,9	82,5	84,2	285,2
	ΔR, мм	12,4	15,5	14,4	14,0	13,3	69,6
	ΔR _{min} , мм	3,0	6,5	7,4	5,5	2,8	44,3
	ΔR _{max} , мм	23,0	27,3	26,5	28,2	26,9	94,4
	Rв, %	34	42	45	45	39	41
	Rв _{min} , %	17	24	23	30	20	30
Rв _{max} , %	136	159	105	105	90	70	
Нижні Сірогози	R, мм	40,4	33,9	27,7	29,3	29,3	158,6
	R _{min} , мм	6,3	3,4	3,9	4,1	0,3	64,1
	R _{max} , мм	93,6	90,6	67,9	81,9	71,8	276,9
	ΔR, мм	10,8	11,8	10,9	11,1	10,8	54,8
	ΔR _{min} , мм	1,4	3,6	1,4	3,6	0,3	23,8
	ΔR _{max} , мм	23,9	24,6	24,9	26,9	29,8	96,2
	Rв, %	27	35	39	38	37	35
	Rв _{min} , %	15	19	21	25	19	24
Rв _{max} , %	59	124	63	93	100	47	

Метеостанція	Місяць	XI	XII	I	II	III	Сезон
	Величина						
Нова Каховка	R, мм	38,0	34,7	30,0	32,3	30,6	165,6
	R _{min} , мм	4,7	3,5	5,8	5,9	0,3	79,6
	R _{max} , мм	85,9	84,2	79,7	81,3	78,9	300,2
	DR, мм	10,8	12,8	11,9	11,4	11,0	57,9
	DR _{min} , мм	2,3	2,6	4,0	4,0	1,2	36,2
	DR _{max} , мм	19,9	26,8	25,7	26,1	23,5	89,1
	Rв, %	28	37	40	35	36	35
	Rв _{min} , %	18	18	21	18	22	28
Rв _{max} , %	157	99	102	75	400	46	
Стрількове	R, мм	34,1	35,3	29,2	28,6	31,9	157,9
	R _{min} , мм	6,8	3,4	9,1	5,2	0,7	62,4
	R _{max} , мм	78,9	76,3	97,4	65,0	76,0	239,4
	DR, мм	9,6	12,8	11,0	10,1	10,4	53,4
	DR _{min} , мм	2,7	3,7	3,8	2,1	0,9	28,3
	DR _{max} , мм	20,1	24,5	23,4	20,7	27,1	82,1
	Rв, %	28	3	38	35	33	34
	Rв _{min} , %	14	20	16	17	17	24
Rв _{max} , %	96	115	111	75	114	49	
Херсон	R, мм	38,2	33,8	29,9	32,0	29,1	160,3
	R _{min} , мм	2,4	2,0	4,1	3,7	1,2	63,0
	R _{max} , мм	95,6	83,7	71,5	78,9	70,9	270,4
	DR, мм	10,0	12,2	11,9	11,0	10,1	55,2
	DR _{min} , мм	2,4	1,5	3,4	2,4	1,6	31,9
	DR _{max} , мм	25,7	26,5	27,7	22,7	18,5	93,0
	Rв, %	26	36	40	34	35	34
	Rв _{min} , %	12	19	19	15	20	24
Rв _{max} , %	138	154	90	78	133	77	
Хорли	R, мм	39,3	31,6	25,0	27,5	25,3	147,0
	R _{min} , мм	1,9	1,5	1,6	5,2	2,3	54,9
	R _{max} , мм	97,5	124,8	77,6	61,2	67,4	278,4
	DR, мм	9,4	10,3	9,4	9,4	8,9	47,0
	DR _{min} , мм	1,1	1,1	1,7	1,9	1,5	19,2
	DR _{max} , мм	22,0	19,7	18,3	20,7	20,1	68,1
	Rв, %	24	32	38	34	35	32
	Rв _{min} , %	13	16	20	20	16	24
Rв _{max} , %	95	80	106	60	95	50	

На рис. 2-10 приведено динаміку щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів на всіх метеостанціях Херсонської області, дані з яких оброблялись. З рисунків видно, що максимальних значень середня сезонна сума природних опадів досягла в сезоні 2009-2010 рр. Її значення були найбільшими на метеостанціях північної частини області – Нова Каховка (300,2 мм), Велика Олександрівка (291,3 мм) та в південно-східній частині області – метеостанція Генічеськ (285,2 мм). Найменші значення максимуму відмічено на метеостанціях Стрількове (239,4 мм) – на південному сході Херсонської

області та Бехтери (248,4 мм) – на південному заході області.

Більші за величиною значення мінімуму середньої сезонної суми природних опадів також притаманні метеостанціям північної частини області – у Новій Каховці (79,6 мм) та Великій Олександрівці (71,6 мм) у сезоні 1989-90 рр. Дещо менші значення мінімуму характерні для західної і південно-західної частини області – Херсон (63,0 мм у сезоні 2001-02 рр.) та Бехтери (66,5 мм у сезоні 1993-94 рр.), а найменші величини відмічено на метеостанціях Асканія Нова (57,5 мм у 1989-90 рр.) та Хорли (54,9 мм у 1992-93 рр.).

На південному сході області (Генічеськ) значення мінімуму середньої сезонної суми природних опадів (69,7 мм у сезоні 1989-90 рр.) виявилось ближчим до значень на її півночі.

Найбільше природних опадів на метеостанціях Херсонської області випадало в листопаді та грудні. До того ж, для переважної більшості пунктів найвища середня місячна кількість природних опадів характерна саме для листопада: на півночі області – Велика Олександрівка

(40,7 мм), Нижні Сірогози (40,4 мм); у центрі області – Асканія Нова (40,1 мм); на півдні – Хорли (39,3 мм), Бехтери (38,3 мм). У грудні для згаданих вище метеостанцій її величини трохи зменшуються. А найменше опадів було в січні. У наступні місяці (лютий та березень) порівняно з січнем місячна кількість природних опадів дещо зросла. Лише на метеостанціях, розташованих на південному сході області, найбільші значення середньої місячної кількості природних опа-

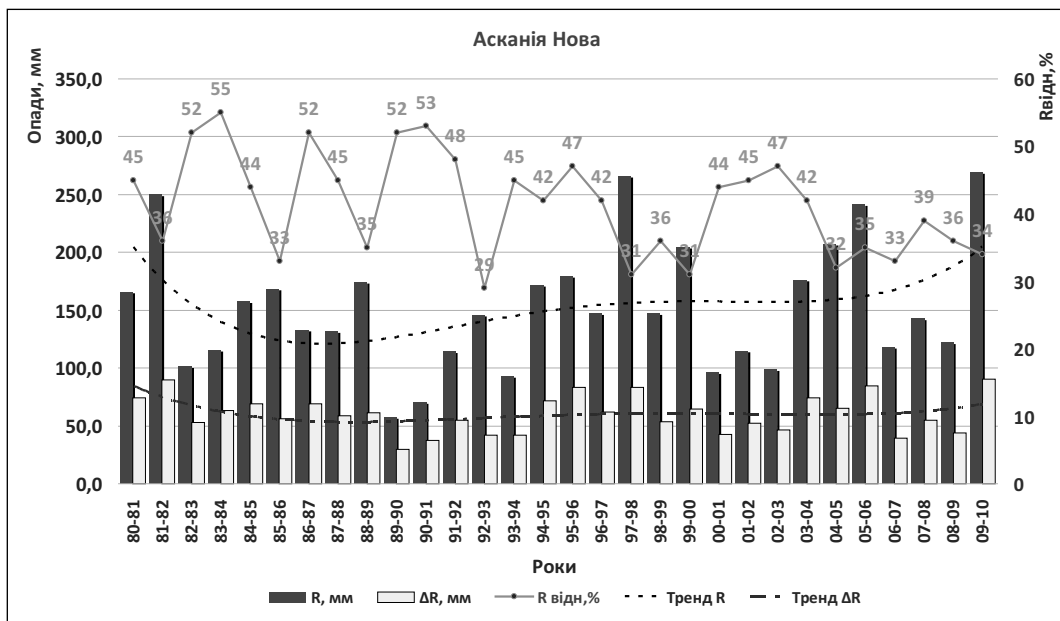


Рис. 2. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Асканія Нова

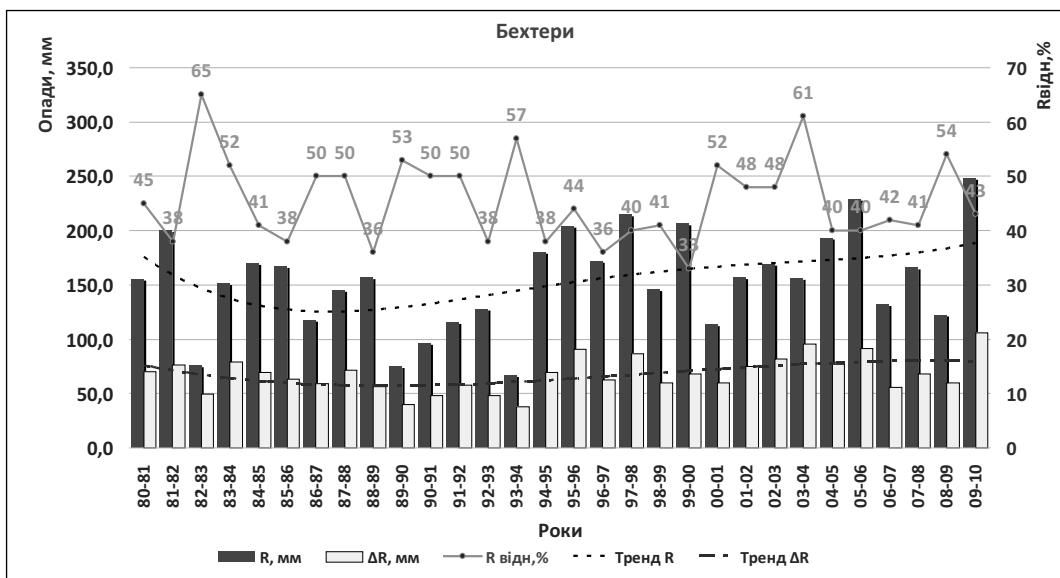


Рис. 3. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Бехтери

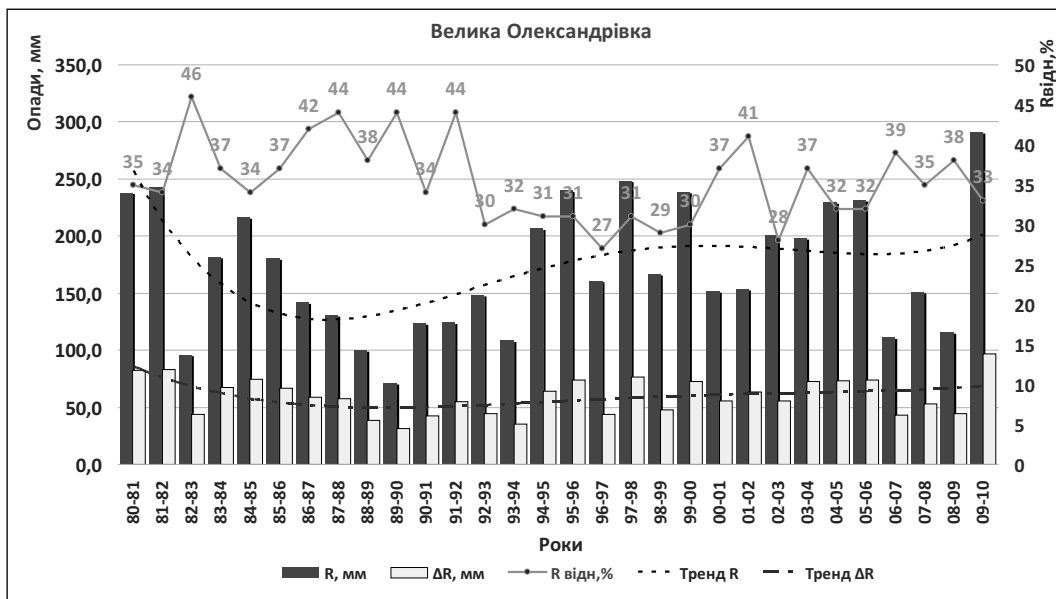


Рис. 4. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Велика Олександрівка

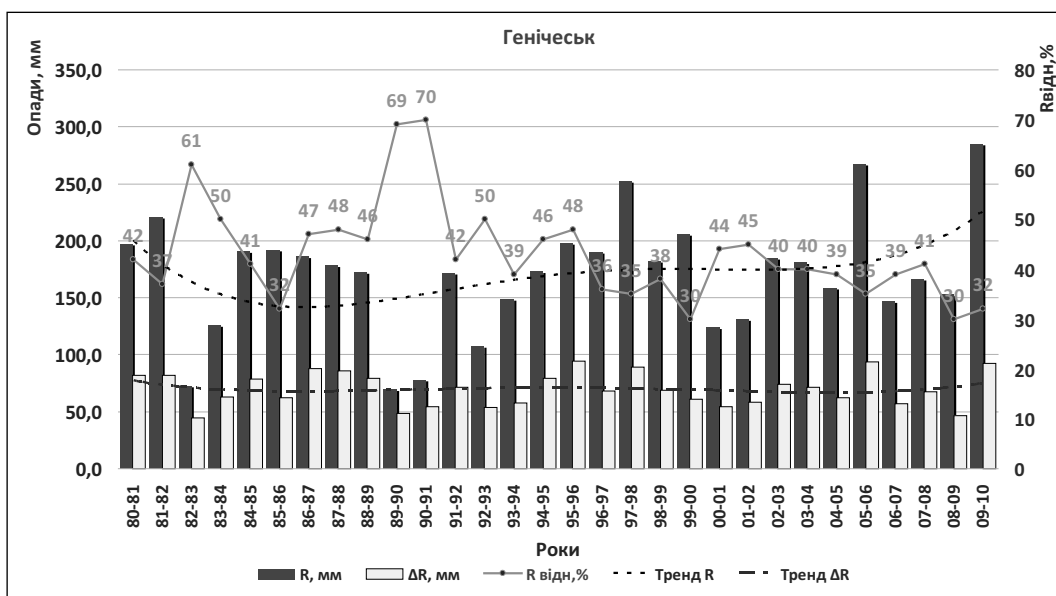


Рис. 5. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Генієськ

дів характерні для грудня: Генієськ (37,0 мм) та Стрілкове (35,3 мм), а найменшими вони були в лютому: 30,9 мм у Генієську та 28,6 мм у Стрілковому. У березні середня за 30 років місячна сума природних опадів на цих двох метеостанціях дещо збільшена порівняно з лютом.

Екстремальні значення середніх місячних сум природних опадів на метеостанціях півночі Херсонської області (рис. 2-10) такі: максимуми – у Великій Олександрівці – 100 мм за грудень у се-

зоні 1981-82 рр., у Нижніх Сірогозах – 93,6 мм у листопаді сезону 1995-96 рр.; мінімуми – у Великій Олександрівці – 1,5 мм за березень 1989-90 рр., у Нижніх Сірогозах – 0,3 мм за березень 1985-86 рр. У центральній частині області: Асканія Нова – максимум 112,8 мм у листопаді сезону 1981-82 рр., мінімум – 0,5 мм у березні сезону 1985-86 рр., Нова Каховка – максимум 85,9 мм (листопад сезону 1985-86 рр.), мінімум 0,3 мм у березні 1985-86 рр., Херсон – 95,6 мм (максимум

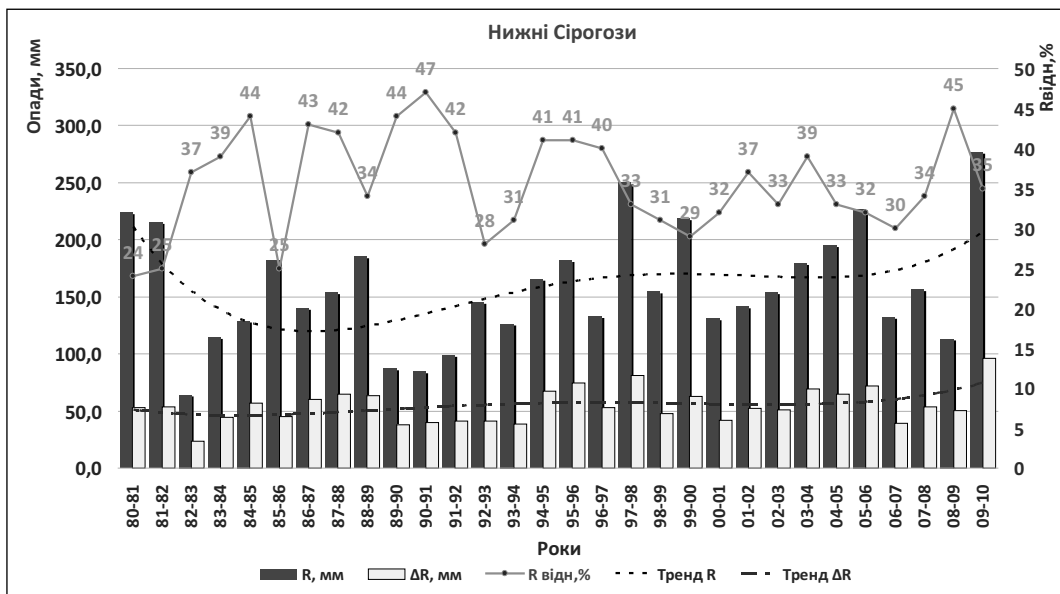


Рис. 6. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Нижні Сірози

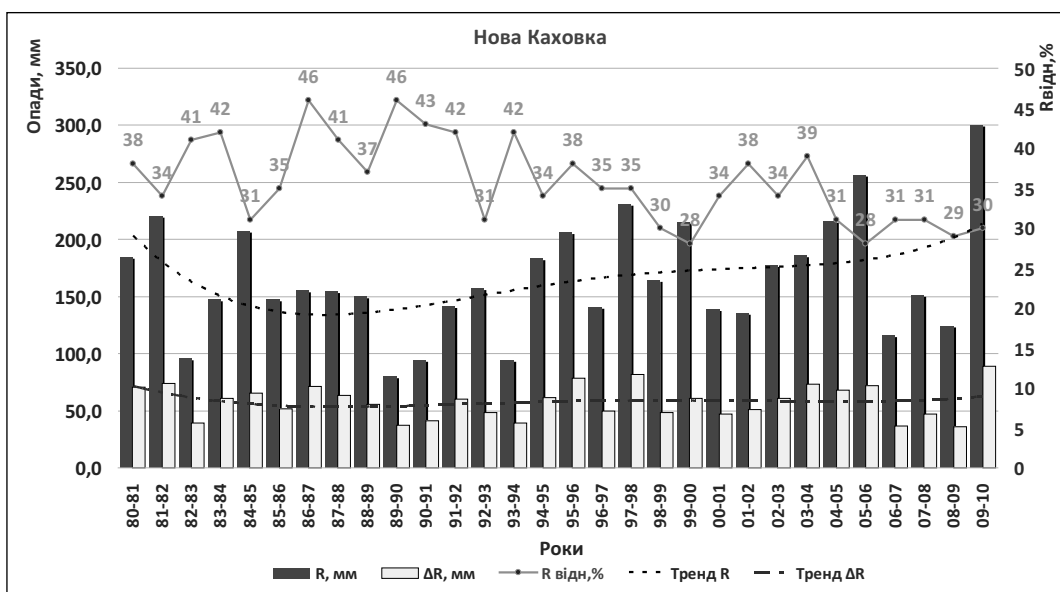


Рис. 7. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Нова Каховка

у листопаді сезону 1981-82 рр.), мінімум – 1,2 мм (у березні сезону 1985-86 рр.). На метеостанціях, що знаходяться на узбережжі Чорного та Азовського морів, екстремальні значення середньої місячної кількості природних опадів за період обробки становили: Бехтери – максимум 94,1 мм у грудні сезону 2005-06 рр., мінімум – 1,3 мм у березні сезону 1985-86 рр., Хорли – максимум 124,8 мм у грудні сезону 2005-06 рр., мінімум – 1,5 мм у грудні сезону 2002-03 рр., Стрілкове –

максимум 97,4 мм у січні сезону 2003-04 рр., мінімум – 0,7 мм у березні сезону 1985-86 рр., Генічеськ – максимальне значення 85,9 мм у січні сезону 2003-04 рр., мінімальне – 4,0 мм у березні сезону 1989-90 рр.

Виходячи з розподілу природних опадів на метеостанціях Херсонської області, розглянемо коливання розрахованих даних абсолютного та відносного збільшення опадів, яке ймовірно отримати внаслідок штучного впливу на хмари,

з яких випадали природні опади. Обчислені нами за 30-річний період для цього регіону України середні значення зазначених характеристик, становили для північної частини області (Велика Олександрівка) 59,8 мм або 34 % від суми природних опадів за сезон робіт.

Для середньої частини Херсонської області ці величини становили: у Херсоні – 55,2 мм або 34 % від суми природних опадів за сезон робіт, у Новій Каховці – 57,9 мм або 35 %, у Нижніх Сірокозах – 54,8 мм або 35 %. Тобто, можна кон-

статувати, що для метеостанцій цієї частини області середня величина відносного збільшення природних опадів є сталою, а абсолютні значення можливого збільшення опадів коливаються в межах не більше ± 5 мм. У центральній частині, ближче до півдня області (Асканія Нова), ця величина становила 40 % від суми природних опадів (60,4 мм). Найвищі значення середніх величин абсолютного та відносного збільшення опадів за XI-III місяці, розрахованих за 30 років, як слідує із табл. 1 та рис. 2-10, були на при-

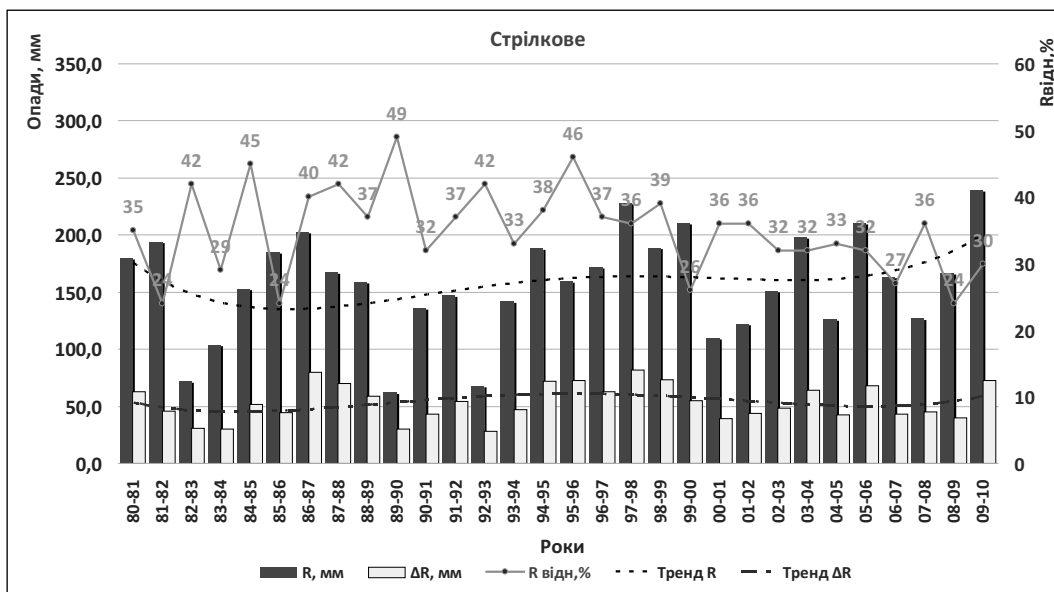


Рис. 8. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Стрілкове

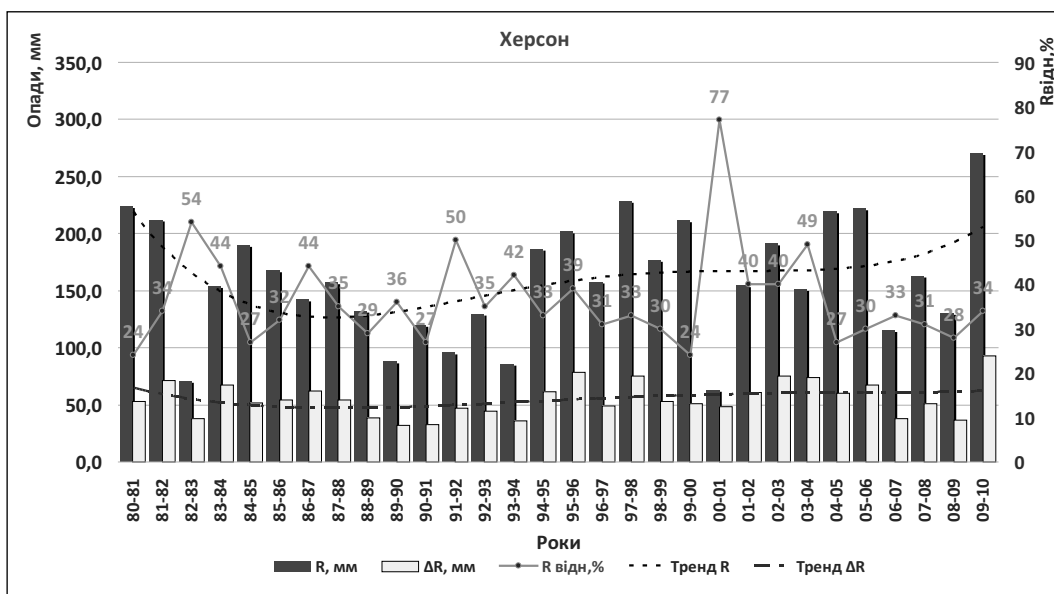


Рис. 9. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Херсон

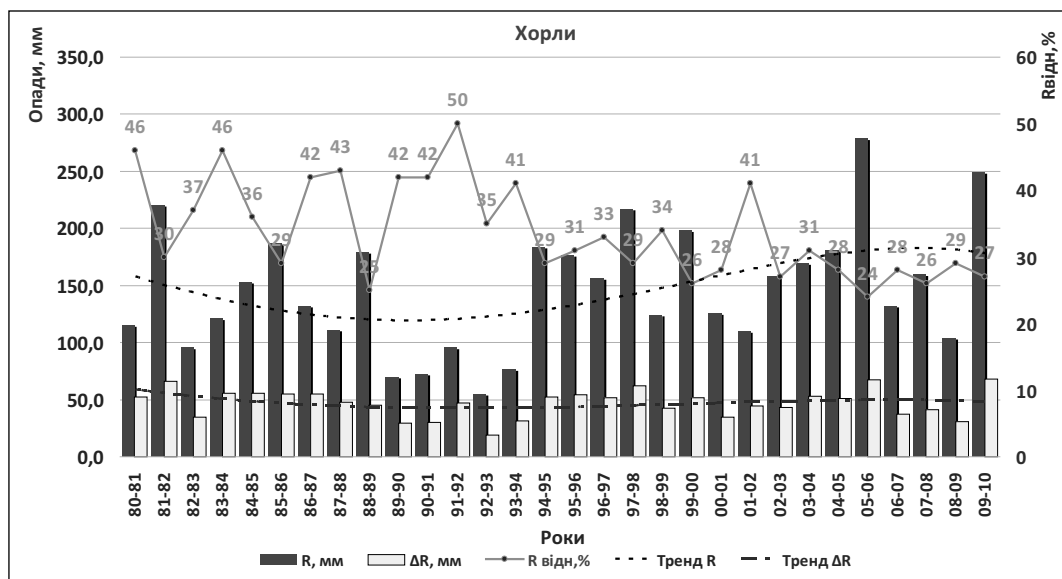


Рис. 10. Динаміка щорічних коливань кількості природних і обчислених штучних опадів з їх лініями трендів та можливим відносним збільшенням кількості опадів у сезон робіт (листопад-березень) за 1980-2010 рр. на метеостанції Хорли

бережних метеостанціях Чорного та Азовського морів, що розташовані в крайніх точках: Бехтери (південний захід області) – 67,8 мм (44 %) та Генічеськ (південний схід області) – 69,6 мм (41 %). Найменші величини цих же характеристик було зафіксовано на приморських метеостанціях, ближчих до центру прибережної зони: Хорли – 47,0 мм (32 %) і Стрілкове – 53,4 мм (34 %). Значення середньої за сезон робіт розрахованої суми додаткових опадів, отримані в південно-західних та південно-східних пунктах спостережень прибережних районів півдня Херсонської області, де зафіксовано максимальні величини цієї характеристики, перевищують ті ж самі характеристики, відмічені на пунктах спостережень у центральній частині прибережних районів на 16-22 мм відповідно.

Абсолютні максимальні значення розрахованої сезонної суми додаткових опадів на півночі та в середній смузі Херсонської області зафіксовано в сезоні 2009-10 рр.: у Великій Олександрівці – 96,6 мм, Нижніх Сірогозах – 96,2 мм, Новій Каховці – 89,1 мм, Херсоні – 93,0 мм, Асканії Новій – 90,4 мм. Найвище максимальне значення цієї величини в Херсонській області спостережено на південному заході її прибережної смуги – у Бехтерах (105,6 мм за сезон 2009-10 рр.).

На інших метеостанціях прибережної смуги ця величина була дещо меншою: Хорли (68,1 мм у сезоні 2009-10 рр.), Стрілкове (82,1 мм у сезоні 1997-98 рр.), Генічеськ (94,4 мм у сезоні 1995-96 рр.). На більшості метеостанцій області най-

вищі абсолютні значення цієї величини спостерігали в сезоні 2009-10 рр.

Абсолютні мінімальні значення розрахованої сезонної суми додаткових опадів на півночі області та в її середній смузі становили: у Великій Олександрівці – 31,4 мм в сезоні 1989-90 рр., у Нижніх Сірогозах – 23,8 мм у сезоні 1982-83 рр., у Херсоні – 31,9 мм у сезоні 1993-94 рр., у Новій Каховці – 36,2 мм у сезоні 2008-09 рр., у Асканії Новій – 29,7 мм у сезоні 1989-90 рр.. У прибережній частині вони сягнули: у Бехтерах – 37,9 мм в сезоні 1993-94 рр., у Хорлах – 19,2 мм в сезоні 1992-93 рр., у Стрілковому – 28,3 мм в сезоні 1992-93 рр., у Генічеську – 44,3 мм в сезоні 1982-83 рр. З наведеного вище випливає, що значення абсолютних мінімумів цієї характеристики збігаються із сезонами, коли спостерігали абсолютні мінімальні кількості природних опадів, лише на 5-ти метеостанціях області – Велика Олександрівка, Асканія Нова (в сезоні 1989-90 рр.), Нижні Сірогози (в сезоні 1982-83 рр.), Бехтери (сезон 1993-94 рр.), Хорли (сезон 1992-93 рр.). Для чотирьох інших метеостанцій такого збігу не було виявлено, а найменші значення зазначеної характеристики відмічено на метеостанції Хорли.

На півночі та центральній смузі Херсонської області за 30-річний період обробки даних екстремальні значення величин середнього відносного збільшення опадів протягом сезону робіт знаходилися в межах: Велика Олександрівка – від 27 % у сезоні 1996-97 рр. до 46 % у сезоні

1982-83 рр., Нижні Сірогози – від 24 % у сезоні 1980-81 рр. до 47 % у сезоні 1990-91 рр., Нова Каховка – від 28 % у сезонах 1999-2000 рр. і 2005-06 рр. до 46 % у сезоні 1986-87 рр., Херсон – від 24 % у сезоні 1999 – 2000 рр. до 77 % у сезоні 2000-01 рр., Асканія Нова – від 29 % у сезоні 1992-93 рр. до 55 % у сезоні 1983-84 рр. Для прибережних метеостанцій на півдні області вони сягали: у Бехтерах – від 33 % у сезоні 1999-2000 рр. до 50 % у сезоні 1991-92 рр., у Хорлах – від 24 % у сезоні 2005-06 рр. до 50 % у сезоні 1991-92 рр., у Стрілковому – від 24 % у сезонах 1981-82 рр., 1985-86 рр., 2008-09 рр. до 49 % у сезоні 1989-90 рр., у Генічеську – від 30 % у сезоні 1999-2000 рр. до 70 % у сезоні 1990-91 рр. Таким чином, за 30-річний період крайні величини відносного збільшення опадів за сезон робіт коливалися на метеостанціях області від 24 % - 30 % до 70 – 77 %. Причому амплітуда коливань для максимумів розрахованого відносного збільшення опадів була вищою і досягала між окремими метеостанціями до 30 %.

Розглянемо на метеостанціях Херсонської області розподіл розрахованих середніх сум штучних опадів по місяцях у сезон робіт за весь 30-річний період спостережень. Як слідує з даних табл. 1, для всіх метеостанцій області характерним є зростання розрахованих місячних сум штучних опадів з листопада по січень та подальше поступове зменшення їх значень у лютому та березні. Найбільші середні місячні суми додаткових опадів за нашими розрахунками можна було б отримати в грудні й січні в Генічеську (14,4 мм і 15,5 мм відповідно) та в Бехтерах (по 14,6 мм), тобто на приморських метеостанціях. Мінімальні ж значення цих же величин характерні для метеостанції Хорли (8,9 і 9,4 мм), що знаходиться в центрі приморської частини області.

Максимальні значення середньої місячної суми штучних опадів, які можливо було б отримати внаслідок активного впливу на хмари, з яких випадали природні опади, сягнули 34,6 мм у Бехтерах (січень сезону 2003-04 рр.), тобто в південно-західній частині приморської смуги, та на півночі області (Велика Олександрівка – 32,2 мм у грудні сезону 1981-82 рр.). Для інших метеостанцій області характерні значення максимуму середньої місячної суми розрахованих штучних опадів у межах 26,8-28,6 мм. Лише на метеостанції Хорли ця величина досягнула ще менших значень і становила 22,0 мм (листопад сезону 1981-82 рр.).

Абсолютний мінімум значень середніх місячних сум штучних опадів, які можна було б отримати внаслідок активного впливу на хмари у цій області, було одержано на станції Ниж-

ні Сірогози в березні сезону 1985-86 рр. (лише 0,3 мм). Менше 1 мм додаткових опадів за місяць ми могли б отримати і на метеостанції Стрілкове за березень у сезоні 1985-86 рр. – 0,9 мм. На інших станціях значення абсолютного мінімуму місячної кількості розрахованих штучних опадів коливалися від 1,2 мм до 2,8 мм і в більшості випадків було отримано в сезоні 1985-86 рр. З цього можна зробити висновок, що в березні сезону 1985-86 рр. на більшості метеостанцій випала найменша кількість природних опадів і, відповідно, отримано найменше додаткових опадів за весь період спостережень (1980-2010 рр.).

Проаналізуємо на метеостанціях Херсонської області хід можливого відносного збільшення опадів із хмар, які давали природні опади. На півночі області та в її середній смузі (Велика Олександрівка, Нижні Сірогози, Нова Каховка, Херсон) середні сезонні значення відносного збільшення опадів за розглянутий 30-річний період становили 34-35 % від сезонної суми природних опадів. Коливання середніх місячних значень відносного збільшення опадів знаходились у межах 26-40 %, причому його максимальні середні місячні значення припали, в основному, на січень і грудень. Дещо вищим середнє багаторічне значення відносного збільшення опадів було в центрі області (Асканія Нова – 40 %). Тут і середні місячні значення були дещо вищими (46 % у січні).

На метеостанціях прибережної зони середні багаторічні значення розрахованого відносного збільшення опадів досягли максимальних значень у крайніх точках: південно-західна (Бехтери – 44 %) та південно-східна (Генічеськ – 41 %). На метеостанціях Хорли і Стрілкове ці величини були близькими за значеннями до метеостанцій північної частини області: у Хорлах – 32 %, у Стрілковому – 34 %. Помісячний розподіл відносного збільшення опадів на цих же метеостанціях свідчить, що найбільші його значення припадають також на січень (Бехтери – 56 %, Генічеськ – 45 % та по 38 % на двох інших прибережних метеостанціях), а найменші – на листопад (від 24 % до 28 % у Хорлах та Стрілковому відповідно та до 34 % на інших метеостанціях прибережної зони).

Розглянемо хід екстремальних значень відносного збільшення опадів за сезон робіт на метеостанціях Херсонської області по роках у період 1980-2010 рр. Найбільше перевищення значень між екстремумами (у 2,5-3 рази) характерні для метеостанцій Херсон (від 24 % у сезоні 1999-2000 рр. до 77 % у сезоні 2000-01 рр.) та Генічеськ (від 30 % у сезоні 1999-2000 рр. до 70 % у сезоні

1990-91 рр.). Для всіх інших метеостанцій області це перевищення було не більше, ніж у 2 рази.

Що стосується помісячного розподілу екстремумів цієї величини, то найбільше перевищення між її крайніми значеннями – у 22 рази було досягнуто на метеостанціях Нова Каховка (мінімум 18 % – у грудні сезону 1999-2000 рр., листопаді сезону 2007-08 рр., лютому сезону 2008-09 рр.; максимум 400 % – у березні сезону 1985-86 рр.) та Бехтери (мінімум 16 % – у листопаді сезону 1992-93 рр.; максимум 333 % – у грудні сезону 2002-03 рр.). Прив'язки максимумів і мінімумів відносного збільшення опадів до певних періодів часу на метеостанціях області не простежували. Такі великі значення максимумів відносного збільшення опадів за календарний місяць на деяких метеостанціях області пояснюються тим, що у випадку, коли сума природних опадів на метеостанції за вказаний період, була близька до 0 мм, то фактичне фізичне збільшення опадів методами активного впливу на хмари, з яких вони випадали, в декілька разів перевищувало природну суму опадів за цей же період – табл. 1.

Виходячи з даних, приведених на рис. 2-10, проаналізуємо за згаданий період спостережень на метеостанціях області динаміку щорічних сезонних коливань кількості природних і додаткових штучних опадів, які потенційно можна було б отримати з цих природних опадів. Відстежимо також зміни розрахованого відносного збільшення кількості опадів у сезон робіт.

Як видно з графіків, для майже для всіх метеостанцій, розташованих у північній та центральній частинах області, характерним є збіг: пікові значення кількості природних і розрахованих можливих штучних опадів спостережено на початку 30-річного періоду обробки даних (у 2-х сезонах: 1980-81 рр. та 1981-82 рр.), потім відбувається різке зменшення значень сезонної суми природних опадів та їх можливого збільшення в сезон 1982-83 рр. Та ж закономірність властива і для трьох приморських метеостанцій – Бехтери, Генічеськ і Стрілкове. Хоча для них є і невелика відмінність – пік значень величин припадає на сезон (1981-82 рр.), а різниця у значеннях між цим і попереднім сезоном дещо більша, ніж для метеостанцій, розташованих у середній і північній частинах області.

Виняток становлять лише дві метеостанції, які розташовані ближче до умовної лінії, що проходить з півночі на південь через центр Херсонської області. Це Асканія Нова (у середній частині області) та Хорли (на узбережжі). Для них характерний пік значень кількості природних і розрахованих штучних опадів усередині вказано-

го проміжку часу (сезон 1981-82 рр.) та набагато менші їх величини в сезонах 1980-81 рр. та 1982-83 рр. На цих двох метеостанціях спостережено дуже подібну динаміку щорічних коливань кількості природних і розрахованих штучних опадів у наступні сезони. Так, починаючи з листопада 1983 року і по березень 1988 року, ми спостерігали поступове збільшення сезонних сум природних і розрахованих штучних опадів до максимуму, що настав у сезоні 1985-86 рр. Потім відбувається їх поступове зменшення до мінімальних значень у сезоні 1987-88 рр. Надалі бачимо максимальні значення величини сезонної суми природних опадів у сезоні 1988-89 рр., що відбуваються без зростання розрахованої величини суми штучних опадів. У наступних п'яти сезонах робіт, починаючи з листопада 1989 року і включно по березень 1994 року, на цих метеостанціях настає найпосушливіший період за всі роки спостережень. Сезонні суми природних і розрахованих штучних опадів характеризуються незначними коливаннями і набувають найменших значень за весь тридцятирічний період. З листопада 1994 р. по березень 2000 р. відмічається тенденція поступового, з невеликими коливаннями, зростання сезонних сум природних опадів порівняно з попередніми сезонами. Максимальні значення сезонної суми природних опадів на обох метеостанціях припадають на сезон 1997-98 рр. При цьому зростання сезонних сум обчислених нами штучних опадів було незначним порівняно з попереднім 5-річним періодом, що став найпосушливішим. У сезонах робіт 2000-03 років на метеостанції Асканія Нова відзначаємо набагато менші, ніж у попередній сезон 1999-2000 рр., значення сезонних сум природних опадів та розрахованих штучних опадів. На метеостанції Хорли зменшення сезонних сум природних опадів спостерігалось лише протягом двох сезонів (2000-02 рр.), а з сезону 2002-03 рр. відбулось поступове зростання значень кількості природних опадів з настанням максимуму (278,4 мм) у сезоні 2005-06 рр. При цьому збільшення кількості розрахованих штучних опадів було невеликим, з максимумом значень у тому ж сезоні, що і для природних опадів.

Початок останнього відтинку періоду обробки даних (листопад 2006 року - березень 2010 року) на метеостанціях Асканія Нова та Хорли характеризувався, порівняно з попереднім сезоном, значним зменшенням значень сезонної суми природних опадів та розрахованих штучних опадів. Надалі спостерігаємо невеликі сезонні коливання вказаних характеристик, причому сплеск їх значень припав на останній сезон обробки

(2009-10 рр.). Тоді ж для метеостанції Асканія Нова було відмічено й абсолютні максимальні значення за весь 30-річний період спостережень сезонних сум природних опадів (269,3 мм) та розрахованих штучних опадів (90,4 мм).

На метеостанціях, що належать до північної та середньої частин Херсонської області (Велика Олександрівка, Нижні Сірогози, Нова Каховка, Херсон), та для трьох приморських метеостанцій (Бехтери, Генічеськ і Стрілкове) наступний посушливий сезон після 1982-83 рр., спостерігали через 6 років – у 1989-90 рр. А згаданий шестирічний період характеризувався невеликими коливаннями сезонних сум природних і розрахованих штучних опадів на фоні помітного підвищення їхніх значень після сезону 1982-83 рр. Надалі, після сезону 1989-90 рр., спостерігаємо поступове зростання сезонних сум природних опадів і розрахованих штучних опадів, з невеликими коливаннями, аж до кінця періоду обробки даних (березень 2010 р.). На це вказують і лінії трендів, відображені на рис. 2-10. Абсолютні максимальні значення сезонної суми природних і розрахованих штучних опадів для переважної більшості метеостанцій припали на останній сезон робіт 2009-10 рр.: Бехтери (248,4 мм і 105,6 мм); Велика Олександрівка – 291,3 мм і 96,6 мм; Генічеськ – 285,2 мм і 92,4 мм; Нижні Сірогози – 276,9 мм і 96,2 мм; Нова Каховка – 300,2 мм і 89,1 мм; Стрілкове – 239,4 мм і 72,3 мм та Херсон – 270,4 мм і 93,0 мм відповідно.

У багаторічному ході відносного збільшення опадів, розрахованого нами, на переважній більшості метеостанцій відмітимо максимум його значень (від 42 % на станції Стрілкове до 65 % на станції Бехтери), що припав на сезон 1982-83 рр. Саме тоді, порівняно з попередніми роками, спостерігали мінімум кількості природних і обчислених штучних опадів. Після цього проміжку часу відбулось подальше зниження значень відносного збільшення опадів, з мінімумом у сезоні 1984-85 рр. На метеостанціях Асканія Нова, Нова Каховка, Хорли пік максимуму значень розрахованого відносного збільшення опадів припав на сезон 1983-84 рр., а на станції Нижні Сірогози – ще на один сезон пізніше – (1984-85 рр.). Мінімум значень розрахованого відносного збільшення опадів для станцій Асканія Нова, Нижні Сірогози та Хорли спостерігався в сезоні 1985-86 рр., тоді як для станції Нова Каховка він настав у сезоні 1984-85 рр. Надалі на всіх цих чотирьох метеостанціях до сезону 1992-93 рр. прослідковуються трирічні та чотирирічні цикли коливань розрахованого відносного збільшення опадів, а його максимуми припадають на

роки з найменшими значеннями суми природних опадів за сезон робіт. На метеостанції Асканія Нова мінімум значень цієї величини настав через 5 сезонів (у 1997-98 рр.), а в Нижніх Сірогозах і Новій Каховці – через 7 сезонів (у 1999-2000 рр.). А от для станції Хорли, після мінімуму в сезоні 1992-93 рр., і аж до наступного сезону з мінімальними значеннями (1999-2000 рр.), розраховані значення відносного збільшення опадів коливались незначно.

Для станцій Асканія Нова і Нова Каховка між мінімумами значень $R_{\text{відн}}$ у сезонах 1999-2000 рр. і 2004-05 рр. були чотири сезони з підвищеннями його значень, а надалі відмічались незначні коливання цієї величини аж до сезону 2009-10 рр. Для метеостанції Хорли, після мінімальних значень величини $R_{\text{відн}}$ у сезоні 1999-2000 рр., через 2 сезони настав невеликий пік її значень у 2001-02 рр., а надалі спостерігались незначні коливання цієї величини аж до останнього сезону обробки даних. Для метеостанції Нижні Сірогози після мінімуму значень відносного збільшення опадів, що спостерігався в сезоні 1999-2000 рр., надалі відбувались незначні коливання сезонних величин $R_{\text{відн}}$ аж до сезону 2006-07 рр. Пізніше настав пік збільшення значень згаданої величини в сезоні 2008-09 рр., і такий же пік зменшення її значень у останньому сезоні.

Для більшості інших метеостанцій області (Бехтери, Велика Олександрівка, Генічеськ, Стрілкове, Херсон) після настання мінімуму значень розрахованого відносного збільшення опадів у сезоні 1984-85 рр. надалі спостерігались трьох-чотирьохрічні цикли коливань його значень, де різниці між максимумами й мінімумами значень становили від 17 % (Велика Олександрівка) до 53 % (Херсон).

Висновки

1. Середня (за період 30 років) сумарна за сезон робіт (листопад-березень) кількість природних опадів у Херсонській області має тенденцію до зменшення значень у напрямку з півночі на південь області. Загалом різниця в кількості опадів між північчю і півднем області була вищою в її західній частині – від 19 мм до 26 мм, у східній частині вона становила від 3 мм до 15,5 мм.
2. Максимальні сезонні суми природних опадів відмічено в сезоні 2009-10 рр. на метеостанціях північної частини області – Нова Каховка (300,2 мм), Велика Олександрівка (291,3 мм) та в її південно-східній частині – Генічеськ (285,2 мм).

3. Мінімальні значення сезонних сум природних опадів спостерігали на метеостанціях Асканія Нова (57,5 мм у 1989-90 рр.) та Хорли (54,9 мм у 1992-93 рр.).
4. Найбільше природних опадів у сезоні робіт випадало в листопаді та грудні. У переважній більшості пунктів максимальна місячна кількість опадів характерна саме для листопада, лише на південному сході області – для грудня.
5. Мінімум природних опадів на переважній більшості метеостанцій області настає в січні. У наступні місяці порівняно з січнем місячні суми природних опадів дещо збільшуються. Лише для південного сходу області (Стрілкове, Генічеськ) найменші їх значення – у лютому, а для крайньої півночі (Велика Олександрівка) – у березні.
6. Осереднені за період 30 років величини можливого абсолютного та відносного збільшення опадів у разі використання штучного впливу на хмари, з яких випадають природні опади, за сезон робіт становили на півночі області 59,8 мм або 34 % від суми природних опадів. У центральній частині області ці величини становили від 54,8 мм до 57,9 мм. За 30 років величина відносного збільшення природних опадів тут залишалася сталою (34-35 %), а межа коливань абсолютних значень збільшення опадів не перевищувала ± 5 мм. У крайніх точках південного заходу та південного сходу Херсонщини на прибережних метеостанціях ці величини досягали найвищих значень: Бехтери – 67,8 мм (44 %) та Генічеськ – 69,6 мм (41 %). Найменші значення цих же характеристик зафіксовано на інших прибережних метеостанціях: Хорли – 47,0 мм (32 %) і Стрілкове – 53,4 мм (34 %).
7. Максимальне значення величини розрахованої сезонної суми штучних опадів (105,6 мм) отримано для південного заходу прибережної частини області – у Бехтерах у сезоні 2009-10 рр. Саме тоді тут відмічено й максимальну сезонну суму природних опадів. Мінімальне значення цієї ж характеристики (19,2 мм) отримано на метеостанції Хорли в сезоні 1992-93 рр. і збіглося воно з абсолютним мінімумом природних опадів. Прив'язку мінімумів значень цієї характеристики до сезонів з абсолютною мінімальною кількістю природних опадів спостережено лише на 5 метеостанціях області – Велика Олександрівка, Асканія Нова (сезон 1989-90 рр.), Нижні Сірогози (сезон 1982-83 рр.), Бехтери (сезон 1993-94 рр.), Хорли (сезон 1992-93 рр.), для чотирьох інших такого збігу не було.
8. Для всіх метеостанцій Херсонської області помічено збільшення розрахованої місячної суми штучних опадів з листопада по січень та поступовий спад її значень у лютому та березні. Найбільші середні за тридцятирічний період (1980-2010 рр.) місячні значення величини додаткових опадів, які можливо отримати, становили близько 15 мм на прибережних станціях, розташованих у крайніх точках півдня області (Генічеськ, Бехтери), найменші – у його центрі (близько 9 мм – Хорли). Абсолютний максимум значень місячних сум розрахованих штучних опадів досяг 34,6 мм у січні сезону 2003-04 рр. (Бехтери) та 32,2 мм (Велика Олександрівка) – у грудні сезону 1981-82 рр. Абсолютний мінімум цієї величини спостерігався в березні сезону 1985-86 рр. на станції Нижні Сірогози (0,3 мм). Узагалі березень сезону 1985-86 рр. на більшості метеостанцій області виявився найсухішим проміжком за весь період спостережень (1980-2010 рр.).
9. На півночі області та в її середній частині за розглянутий 30-річний період коливання середніх місячних значень відносного збільшення опадів знаходилися в межах 26-40 %, причому максимальні значення припадали, в основному, на січень і грудень. У центральній частині області вони були дещо вищими – 31-46 %. На узбережжі максимальні значення цієї величини відмічено в крайніх пунктах: південно-західній точці – Бехтери (56 %) та південно-східній – Генічеськ (45 %). Найменші її значення припадали на листопад. Максимум сезонного відносного збільшення опадів перевищив його мінімум у 2,5-3 рази в Херсоні та Генічеську. На інших метеостанціях області це відношення було двократним. За весь період обробки даних на деяких метеостанціях місячний максимум значень відносного збільшення опадів перевищив мінімум у 22 рази.
10. Для майже всіх метеостанцій у Херсонській області характерно є те, що в перші два сезони 30-річного періоду обробки даних сезонні величини кількості природних і розрахованих штучних опадів мали високі значення. Потім, у сезоні 1982-83 рр., відбулось різке зменшення цих значень. Винятком були лише метеостанції Асканія Нова (у південній частині середньої смуги області) та Хорли (на Чорноморському узбережжі). Для цих двох пунктів вищі значення зазначених величин

спостережено посеред вказаного проміжку часу (сезон 1981-82 рр.), а в сезонах 1980-81 рр. та 1982-83 рр. зафіксовано набагато менші значення цих характеристик.

* *

1. *Леонов М.П., Перелет Г.И.* Активные воздействия на облака в холодное полугодие. — Л.: Гидрометеоиздат. — 1967. — 152 с.
2. *Лесков Б.Н.* Результаты воздействий на фронтальные облака с целью увеличения осадков в холодный период года // Тр. УкрНИГМИ. — Вып. 114. 1972. — С. 124-137.
3. *Лесков Б.Н.* Результаты воздействий на облака холодного периода года с целью увеличения осадков // Тр. УкрНИГМИ. — Вып. 163. — 1978. — С. 5-14.
4. *Половина И.П.* Воздействия на внутримассовые облака слоистых форм. — Л.: Гидрометеоиздат. — 1971. — 216 с.
5. *Носар С.В., Степура Є.А.* Можливість штучного збільшення зимових опадів у Північно-Західному Причорномор'ї // Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2014. — Вип. 266. — С. 26-38.
6. *Лесков Б.Н., Неробеева Т.Д.* О пригодности к воздействиям фронтальных облаков, дающих осадки // Тр. УкрНИГМИ. — 1971. — Вып. 103. — С. 34-41.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

С.В. Носарь, Е.А. Степура

Оценка возможного искусственного увеличения осадков в северном Причерноморье в холодную часть года (на примере Херсонской области)

Рассмотрены ресурсы облаков в сезон проведения работ в северном Причерноморье (Херсонская область) за тридцатилетний период (с 01.11.1980 по 31.03.2010 года). В результате проведенных расчётов показано, что искусственные воздействия на все облака, из которых в регионе выпадают естественные осадки, могут увеличить сумму осадков за сезон проведения работ (с ноября по март включительно) на величину от 19,2 мм до 105,6 мм, а относительное увеличение осадков может составлять от 24 % до 77 % суммы естественных осадков за этот же период.

Ключевые слова: дефицит природных осадков, ресурсы облаков, искусственные воздействия, зимние облака, дополнительные осадки.

S.V. Nosar, E.A. Stepura

Assessment of potential artificial increasing of precipitation by weather modification in the northern Black Sea region during cold part of the year (on example, Kherson region)

Considered cloud resources in a season of work in the northern Black Sea region (Kherson region) of the thirty-year period (from 11.01.1980 to 31.03.2010 years). As a result, of the analysis it was shown, that weather modification on all clouds, from which in the Kherson region the natural precipitation falls, can increase the amount of precipitation for the season of work (from November to March inclusive) by an amount of 19.2 mm to 105.6 mm, and the relative precipitation increase can range from 24 % to 77 % of the amount of natural precipitation during the same period.

Keywords: deficit of natural precipitation, resources of clouds, weather modification, winter clouds, additional precipitation.