

а лише серед визначеної вибірки, що економить час виконання інтерполяції.

* *

1. Кацалова Л.М., Шпиг В.М. Крігінг-інтерполяція в задачах прогнозу погоди // Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2013. — Вип. 264. — С. 3-9.
2. Каневский М.Ф., Демьянов В.В., Савельева Е.А., Чернов С.Ю., Тимонин В.А. Элементарное введение в геостатистику // ВИНТИ. Серия "Проблемы окружающей среды и природных ресурсов". — М. — 1999. — № 11. — 135 с.
3. McBratney A.B. and Webster R. Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates // Journal of Soil Science. — 1986. — Vol. 37. — P. 617-639.
4. Справка ArcGIS 10.1: <http://resources.arcgis.com>.
5. <http://www.dvseisgeo.ru/Methodics/GeoModel-9-91.htm>.
6. Калиткин Н.Н. Численные методы. — М.: Наука, 1978. — 512 с.
7. Кошель С.М., Мусин О.Р. Методы цифрового моделирования: кригинг и радиальная интерполяция // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 2000. — №4(26)-№5(27). — С. 32-33.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Л.Н. Кацалова, В.М. Шпиг

Вариографические модели распределения метеовеличин на территории Украины для кригинг-интерполяции

В статье описано понятие вариографии и представлены наиболее распространённые вариографические модели. Предложен алгоритм определения оптимальной модели для интерполяции данных прогноза метеорологических величин методом кригинга. Определены оптимальные модели для кригинг-интерполяции полей температуры, давления и осадков, которые получены с помощью модели COSMO для территории Украины.

Ключевые слова: вариография, экспериментальная вариограмма, вариографическая модель, интерполяция, метод кригинга.

L.M. Katsalova, V.M. Shpyg

Variographic models of meteorological parameters distribution on the territory of Ukraine for kriging-interpolation

In this paper describes the concept of the variography and presented the most spread variographic models. The algorithm of determining of the optimal model for further interpolation of forecasting meteorological data by kriging is proposed. Here are shown the optimal models for the kriging-interpolation of temperature, pressure, and precipitation fields, which are obtained by using COSMO model for Ukraine.

Keywords: variography, experimental variogram, variographic model, interpolation, kriging.

УДК 551.509.6;551.577.2

С.В. Носар, Є.А. Степура

МОЖЛИВІСТЬ ШТУЧНОГО ЗБІЛЬШЕННЯ ЗИМОВИХ ОПАДІВ У ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ ПРИЧОРНОМОР'І (НА ПРИКЛАДІ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Досліджені ресурси хмар сезону робіт (тривалістю з 01 листопада по 31 березня) у Північно-Західному Причорномор'ї (Миколаївська область) за тридцятирічний період (з 01.11.1980 по 31.03.2010 року). Показано, що за умови використання для штучних впливів усіх хмар (100%), з яких випадають природні опади, можливе збільшення суми опадів за сезон проведення робіт (5 місяців) може скласти від 47,3 мм на півдні області до 72,7 мм на північному заході області, що складає від 32% до 41% суми природних опадів за цей же період.

Ключові слова: нестача природних опадів, ресурси хмар, штучні впливи на зимові хмари, Миколаївська область, можлива кількість додаткових опадів.

Вступ

Південні регіони України відомі своїми чорноземами, що є одними з найродючіших ґрунтів світу. Але головною проблемою, яка заважає оптимальній вегетації рослин і стримує отримання стабільно високих урожаїв сільськогосподар-

ських культур, є недостатня кількість природних опадів. Зважаючи на цей чинник, можливість одержати і накопичити додаткову вологу завдяки проведенню штучних впливів на хмари поряд із традиційним зрошуванням у сільському господарстві, яке використовує недостатній тут

ресурс води, є дуже важливою для стабілізації стану зволоження цих регіонів.

У 1966-1970 роках в Україні було розроблено технологію інтенсифікації опадів холодного періоду року (сезон проведення робіт тривалістю з 01 листопада по 31 березня) з метою їх збільшення, яку успішно апробовано з 1974 по 1992 рр. на території Дніпропетровської області, що також належить до зони недостатнього зволоження. Експериментальні та виробничі роботи, проведені там, показали, що відносне збільшення опадів, отриманих завдяки штучному впливу на хмари холодного півріччя, може сягати 35-40% від суми природних опадів за цей період, та залежить від кількості та інтенсивності природних опадів [1-4].

Отримані позитивні результати згаданих вище наукових досліджень та їх виробничих застосувань дають змогу визначити перспективи розповсюдження зазначеної технології інтенсифікації опадів у холодний період року на інші регіони нашої держави, що страждають від нестачі атмосферної вологи. Для цього потрібно, опираючись на ці результати, провести в таких регіонах розрахунок кількості додаткових штучних опадів, які можна отримати, впливаючи на всі придатні для активного впливу хмари холодного періоду року протягом всього часу їх існування.

Таке дослідження ресурсів, придатних для активних впливів хмар, було проведено наприкінці 90-х років ХХ ст. у [5], де на базі 10-річних спостережень (1971-1980 рр.) за опадами в холодний період року було розраховано ймовірні значення кількості штучних опадів у різних регіонах України.

За час, що минув, режими атмосферної циркуляції, хмарності та опадів, як показують останні дослідження (Балабух В.О., Заблоцька Т.М.), дещо змінилися [6-9]. Тому маємо підстави вважати, що дослідження, які будуть проводитись на новому матеріалі спостережень (1980 – 2010 рр.), дозволять скоригувати отримані раніше результати.

У цій статті проведено дослідження опадів з хмар у сезон проведення робіт (тривалістю з 01 листопада по 31 березня) в Північно-західному Причорномор'ї над його конкретним районом (Миколаївська область) за тридцятирічний період спостережень (з 1980 р. до 2010 рр. включно). **Головна мета** такого дослідження – обчислення можливої кількості додаткових опадів, які можна було б отримати завдяки штучному впливу на всі хмари цього сезону, з яких під час спостережень на метеорологічних станціях області зафіксовано випадіння природних опадів.

Матеріали і методи досліджень та отримані результати

У дослідженні використано дані метеорологічних спостережень за кількістю, видом, типами та часом випадіння (початок – закінчення) атмосферних опадів з усіх типів хмар сезону робіт на всіх 5 метеорологічних станціях Миколаївської області (Баштанка, Вознесенськ, Миколаїв, Очаків, Первомайськ), рис. 1.



Рис.1. Схема розташування метеостанцій Миколаївської області.

Проаналізовано дані щоденних спостережень за опадами в чотири строки, які входили у єдині стандартні строки спостережень за міжнародним скоординованим часом (МСЧ) за вказаний вище 30-річний період (крім невеликого періоду з 1 листопада 1981 по грудень 1983 включно, коли опади на всіх метеостанціях вимірювались лише у два строки). Строки спостережень за опадами змінювались за 30-річний період 4 рази (о 03, 09, 15, 21 год – з листопада 1980 р. по березень 1981 р. включно; о 09 та 21 год – з листопада 1981 р. по грудень 1983 р. включно, о 06, 09, 18, 21 год – з січня 1984 р. по грудень 1992 р. включно, о 03, 06, 15, 18 год – з січня 1993 р. по грудень 2002 р. включно, та о 00, 06, 12, 18 год, починаючи з січня 2003 р. аж до закінчення взятого нами тридцятирічного періоду спостережень – 31 березня 2010 р.). Також на основі даних спостережень за атмосферними явищами (час фіксації їх початку і закінчення) визначалася тривалість опадів між строками таких спостережень та фіксувались типи і види атмосферних опадів, які визначали вимірювану кількість опадів.

Усього за період спостережень по кожній із 5 вказаних вище метеостанцій за даними про кількість (у мм) і початок – закінчення (у год, хв.) випадіння опадів було обчислено трива-

лість (у годинах і частках год) та інтенсивність (у мм/год) природних опадів, зафіксовано їх види та визначені типи, які вплинули на суму опадів, у кожен строк спостережень за опадами (приблизно від 4200 до 5100 випадків на окремо взятій метеостанції). Отримані дані стали основою для подальшого розрахунку можливого збільшення кількості опадів сезону робіт методами активного впливу на хмари, з яких зафіксовано випадіння природних опадів, за вказаний вище період спостережень.

У проведених раніше дослідженнях показано, що найбільше додаткових опадів (85-90%) отримано завдяки інтенсифікації процесів опадотворення у шарувато-дошових хмарах, з яких випадали природні опади [10, 11]. Придатність хмар для впливів визначалась за допомогою коефіцієнту придатності (k), що являє собою відношення проміжку часу, коли хмари були придатні для впливів згідно критеріїв придатності, наведеними там же, до повної тривалості знаходження хмар над районом досліджень. У [2,5,12] показані наявні залежності коефіцієнта придатності хмар (k) та інтенсивності штучних опадів ($I_{\text{шт}}$), отриманих під час активних впливів, від інтенсивності природних опадів ($I_{\text{п}}$) (рис. 2).

Як видно з рисунка, числове значення коефіцієнту придатності хмар для впливів (k) знаходиться в діапазоні 0 - 0,56. Чим більша інтенсивність природних опадів ($I_{\text{п}}$), тим менше вони придатні до штучних впливів. Для своїх розрахунків ми використали залежність, що визначається формулою, наведеною в [12]:

$$k = 55 - 23 * I_{\text{п}}, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт придатності хмар, $I_{\text{п}}$ - інтен-

сивність природних опадів [мм/год]. Графік цієї залежності приведений у верхній частині рис.2.

Використовуючи наведені у [2] дані про інтенсивність природних опадів, що випадали із хмар, на які здійснювався активний вплив з літаків, та дані про отримані з них штучні опади, було підібрано криву, яка найбільш точно відображає залежність інтенсивності штучних опадів ($I_{\text{шт}}$) від $I_{\text{п}}$ - інтенсивності природних опадів.

Залежність $I_{\text{шт}}$ від $I_{\text{п}}$ показано на рис. 3. Таку криву можна описати формулою, що має вигляд:

$$I_{\text{шт}} = - 0,2765 * I_{\text{п}}^2 + 0,9649 * I_{\text{п}} + 0,0973 \quad (2)$$

з ступенем достовірності величини апроксимації $R^2 = 0,997$.

Враховуючи дані розрахунків тривалості та інтенсивності природних опадів за допомогою формули (2) було обчислено інтенсивність штучних опадів ($I_{\text{шт}}$) для 5 метеостанцій Миколаївської області за кожний строк спостережень, коли випадали природні опади (за 30-річний період).

Використовуючи вираз:

$$\Delta R = k * T * I_{\text{шт}}, \quad (3)$$

який визначає кількість додаткових опадів, отриманих шляхом впливу на хмари холодної половини року [2], ми обчислили можливу кількість додаткових опадів, які можна отримати, впливаючи на ці хмари протягом тривалості випадіння з них природних опадів. У формулі (3): ΔR - кількість додаткових опадів (у мм), k - коефіцієнт придатності хмар, T - час, протягом якого випадають природні опади (у годинах і десятих частках години), $I_{\text{шт}}$ - інтенсивність штучних опадів (у мм/год).

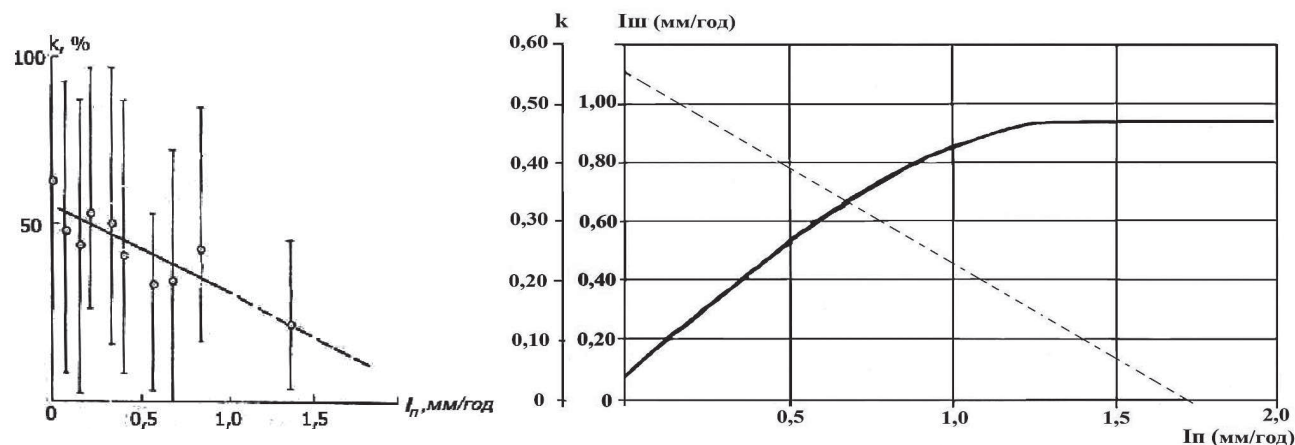
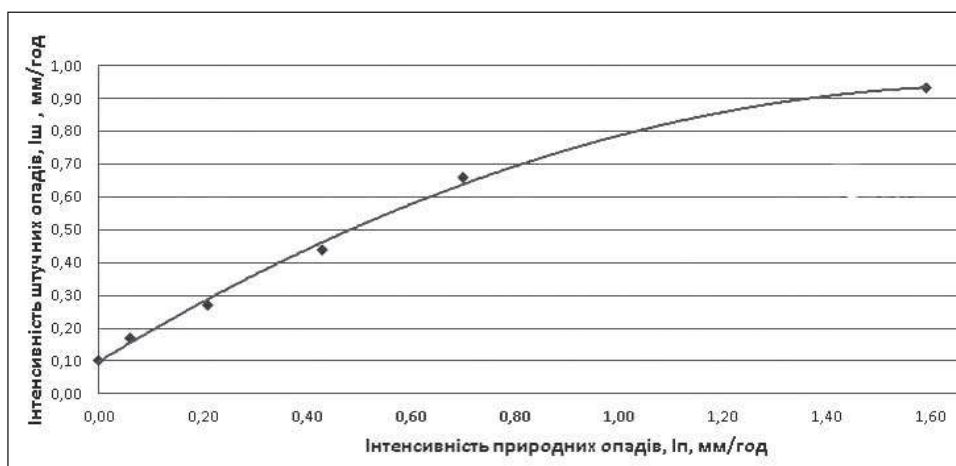


Рис. 2. Залежність коефіцієнта придатності хмар (k) та інтенсивності штучних опадів ($I_{\text{шт}}$) від інтенсивності природних опадів ($I_{\text{п}}$)

Рис. 3. Залежність інтенсивності штучних опадів ($I_{\text{ш}}$) від $I_{\text{п}}$ — інтенсивності природних опадів

Дані цих розрахунків наведено в табл. 1 - 5 та графічно відображено на рис. 4 - 8. Позначення параметрів у таблицях та на рисунках наступні: R , мм — кількість природних опадів у міліметрах, ΔR , мм — можлива кількість додаткових опадів, яку можна отримати шляхом впливу на хмари холодного півріччя в міліметрах, $R_{\text{відн.}}$, % - відносне збільшення опадів, яке може бути отримане шляхом впливу на хмари сезону проведення робіт у відсотках до кількості природних опадів.

Як видно із даних табл. 1 - 5 та рис. 4 - 8, сумарна сезонна кількість природних опадів за сезон робіт зростає в напрямку з півдня на північ та зі сходу на захід Миколаївської області (від 150,2 мм на метеостанції Миколаїв — південь об-

ласті, до 185,2 мм на метеостанції Первомайськ — на півночі області), від 159,1 мм — схід області (метеостанція Баштанка), до 185,2 мм на заході (метеостанція Первомайськ). Сумарна різниця кількості природних опадів за сезон робіт становила від 35 мм між північчю і півднем області, до 26,1 мм між заходом і сходом області. Мінімальне значення сезонної суми опадів за сезон робіт за тридцять років спостережень було на метеостанції Вознесенськ (52 мм), але і в цьому випадку найбільше значення сезонного мінімуму спостерігалось на північному заході області (метеостанція Первомайськ — 103,3 мм). Що стосується максимуму кількості природних опадів сезон робіт, то тут чітко видно збільшення значень мак-

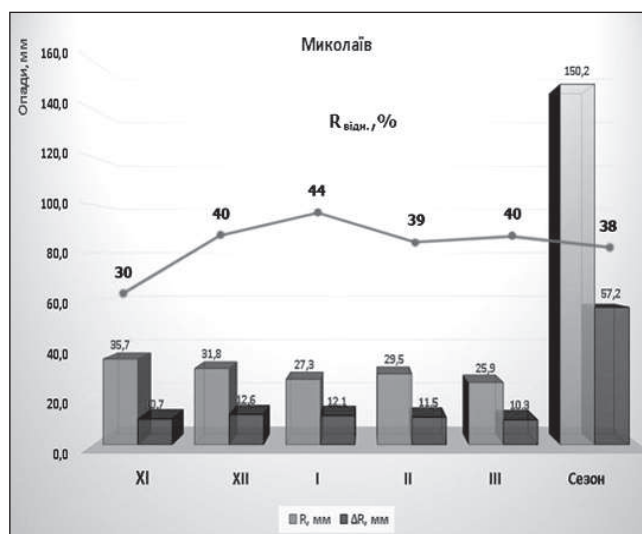


Рис. 4. Кількість природних опадів та їх можливе абсолютне та відносне збільшення у сезон робіт. Метеостанція Миколаїв, XI — III місяці, 1980-2010 рр.

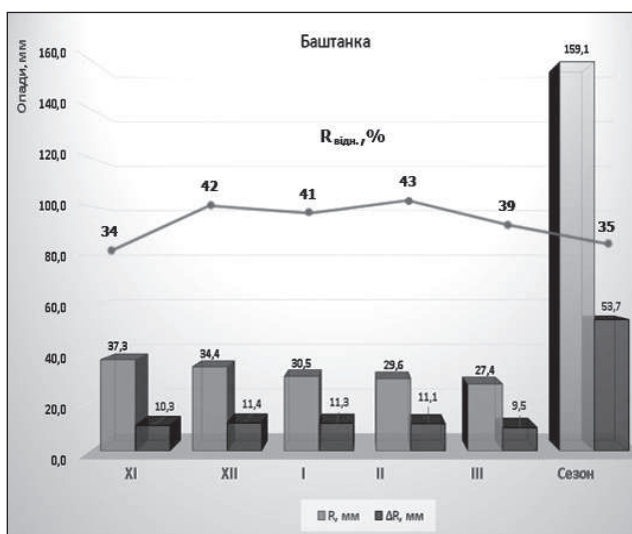


Рис. 5. Кількість природних опадів та їх можливе абсолютне та відносне збільшення у сезон робіт. Метеостанція Баштанка, XI — III місяці, 1980-2010 рр.

Таблиця 1

Статистичні характеристики природних опадів та розрахунок їх можливого збільшення у сезон робіт.
Метеостанція Миколаїв, XI – III місяці, 1980-2010 рр.

Місяці	листопад			грудень			січень			лютий			березень			Сезон		
Статистичні характеристики	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %
Середнє місячне	35,7	10,7	41	31,8	12,6	52	27,3	12,1	55	29,5	11,5	45	25,9	10,3	47	150,2	57,2	39
Стандартна похибка	4,6	1,1	5	4,2	1,1	5	3,5	1,3	4	3,3	1,1	3	3,0	1,0	4	8,8	2,9	1
Медіана	35,3	10,6	32	28,3	12,3	48	22,1	10,3	47	25,1	9,5	40	22,5	10,2	42	155,0	56,5	39
Мода	-	11,3	-	18,7	9,6	-	-	7,5	-	19,2	8,0	-	39,8	15,1	-	-	65,7	-
Стандартне відхилення	25,0	5,9	29	22,9	6,1	25	19,4	7,0	22	18,3	6,0	19	16,7	5,5	19	48,3	16,0	7
Дисперсія вибірки	626,6	34,6	838	523,5	36,6	632	376,3	49,2	493	335,4	35,5	345	277,8	30,1	369	2 336,6	257,1	46
Експес	1,1	0,7	5	0,0	0,1	1	-0,5	0,9	-1	-0,1	-0,1	2	0,0	-0,4	11	0,1	0,0	4
Асиметричність	0,9	0,9	2	0,8	0,5	1	0,7	1,1	1	0,8	0,8	1	0,7	0,5	3	0,1	0,2	1
Інтервал	105,4	24,0	128	82,4	25,6	92	66,3	28,9	83	67,9	23,5	72	62,2	20,0	107	197,4	71,7	34
Мінімум	3,9	3,0	13	2,6	1,9	18	3,3	2,4	21	3,0	2,0	24	1,8	2,3	20	55,7	24,5	29
Максимум	109,3	27,0	141	85,0	27,5	110	69,6	31,3	105	70,9	25,5	95	64,0	22,3	128	253,1	96,2	63
Сума	1 071,9	320,3	1242	952,9	377,2	1571	817,7	364,4	1643	886,4	344,5	1357	778,3	310,3	1405	4 507,2	1 716,7	1177
Кількість місяців	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Таблиця 2

Статистичні характеристики природних опадів та розрахунок їх можливого збільшення у сезон робіт.
Метеостанція Баштанка, XI – III місяці, 1980-2010 рр.

Місяці	листопад			грудень			січень			лютий			березень			Сезон		
Статистичні характеристики	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{відн}$, %
Середнє місячне	37,3	10,3	34	34,4	11,4	42	30,5	11,3	41	29,6	11,1	43	27,4	9,5	39	159,1	53,7	35
Стандартна похибка	4,0	0,9	4	4,6	1,0	3	3,2	1,1	2	3,6	1,0	3	2,7	0,9	3	9,2	2,5	1
Медіана	34,4	10,0	28	26,4	9,6	40	28,9	10,2	41	26,1	10,0	41	27,9	9,5	37	152,2	50,5	34
Мода	15,7	14,8	-	-	14,0	-	10,8	12,6	-	-	12,8	-	-	10,8	32	-	46,8	-
Стандартне відхилення	22,1	5,1	20	25,3	5,6	17	17,7	5,9	13	19,7	5,5	18	15,0	4,8	16	50,5	13,9	7
Дисперсія вибірки	488,8	25,9	382	638,4	31,6	296	311,7	35,0	163	389,4	30,8	310	224,1	23,4	246	2 553,3	194,3	50
Експес	-1,0	-0,7	7	0,1	0,3	0	0,1	2,6	-1	4,3	2,7	4	-0,9	0,8	11	-0,2	0,9	1
Асиметричність	0,3	0,2	2	1,1	0,8	1	0,7	1,4	0	1,9	1,3	2	0,2	0,6	3	0,1	0,9	1
Інтервал	76,6	18,5	100	89,8	23,0	65	70,0	26,2	47	86,0	25,3	83	55,3	21,4	85	207,4	62,2	28
Мінімум	3,1	2,2	10	5,0	3,4	15	7,5	2,1	22	7,1	3,5	21	3,9	2,0	20	60,5	30,8	26
Максимум	79,7	20,7	110	94,8	26,4	80	77,5	28,3	69	93,1	28,8	103	59,2	23,4	105	267,9	93,0	53
Сума	1119,3	310,3	1025	1 030,9	342,1	1266	914,8	339,4	1223	886,8	333,4	1292	821,0	285,4	1165	4 772,8	1 610,6	1056
Кількість місяців	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Таблиця 3

Статистичні характеристики природних опадів та розрахунок їх можливого збільшення у сезон робіт.
Метеостанція Вознесенськ, XI – III місяці, 1980-2010 рр.

Місяці	листопад			грудень			січень			лютий			березень			Сезон		
Статистичні характеристики	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %
Середнє місячне	38,9	10,7	36	34,3	12,6	50	29,2	12,2	51	30,6	11,9	44	28,5	10,7	43	161,5	58,0	38
Стандартна похибка	5,2	0,9	3	4,5	1,1	5	4,2	1,3	3	3,5	1,2	3	3,3	1,1	3	10,5	2,5	1
Медіана	39,3	10,4	31	24,2	12,6	47	19,9	10,6	44	26,1	10,1	40	24,2	9,7	39	159,2	57,9	37
Мода	-	6,4	-	20,0	10,9	-	-	-	-	-	7,9	-	-	6,4	-	-	51,5	-
Стандартне відхилення	28,6	5,2	17	24,9	5,8	27	23,0	7,0	17	18,9	6,4	14	18,1	5,9	17	57,7	13,6	7
Дисперсія вибірки	820,6	26,9	280	620,1	33,4	751	530,6	48,8	285	358,7	40,9	192	327,8	35,2	301	3 326,8	184,4	54
Експес	0,4	-0,8	2	-0,6	-0,7	6	2,4	2,1	-1	-0,1	0,2	0	-0,1	-0,2	10	-0,2	0,0	0
Асиметричність	0,9	0,2	1	0,8	0,0	2	1,5	1,4	0	0,6	0,7	1	0,7	0,6	3	0,3	-0,1	1
Інтервал	105,3	17,8	62	81,2	21,0	139	96,1	28,3	58	74,9	26,3	55	65,9	23,1	95	245,4	59,0	28
Мінімум	3,9	2,1	18	2,1	2,0	16	5,1	3,7	24	3,8	2,4	25	2,0	1,4	20	52,0	25,4	27
Максимум	109,2	19,9	81	83,3	23,0	155	101,2	32,0	82	78,7	28,7	80	67,9	24,5	115	297,4	84,4	56
Сума	1 166,8	320,1	1067	1 028,7	376,8	1489	874,6	365,8	1520	917,3	358,3	1328	856,2	319,9	1297	4 843,6	1 740,9	1141
Кількість місяців	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Таблиця 4

Статистичні характеристики природних опадів та розрахунок їх можливого збільшення у сезон робіт.
Метеостанція Очаків, XI – III місяці, 1980-2010 рр.

Місяці	листопад			грудень			січень			лютий			березень			Сезон		
Статистичні характеристики	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %	R, мм	ΔR, мм	R _{відн} , %
Середнє місячне	38,1	9,2	28	31,8	10,1	40	26,0	9,7	46	30,3	9,6	35	27,3	8,8	37	153,5	47,3	32
Стандартна похибка	4,4	1,0	2	4,1	0,9	3	3,6	1,1	3	3,2	0,9	2	3,1	1,1	4	8,8	2,5	1
Медіана	34,9	9,4	27	25,7	9,3	38	23,9	8,0	44	29,8	8,7	36	27,5	6,7	32	160,5	47,7	31
Мода	49,8	12,9	23	33,0	12,2	28	24,2	8,0	53	30,7	8,7	40	-	4,4	34	-	-	-
Стандартне відхилення	24,1	5,6	12	22,2	5,2	17	19,7	6,2	19	17,7	4,8	13	17,0	6,0	20	48,0	13,4	7
Дисперсія вибірки	580,2	31,4	143	492,3	26,7	276	387,7	38,8	367	312,5	22,6	159	290,1	36,1	399	2 305,1	180,8	43
Експес	-0,1	2,7	0	-0,2	-0,5	1	1,5	4,0	0	1,0	-0,3	0	-0,3	0,0	6	-0,6	-0,9	1
Асиметричність	0,5	1,2	1	0,8	0,5	1	1,2	1,7	1	1,0	0,6	0	0,4	0,7	2	-0,4	-0,2	1
Інтервал	94,2	25,2	44	77,6	19,4	74	83,9	29,1	81	70,8	18,1	51	67,6	24,3	79	181,4	50,8	26
Мінімум	4,6	2,2	8	3,5	2,6	15	3,2	2,5	16	3,1	1,5	13	0,9	0,2	21	55,2	19,4	23
Максимум	98,8	27,4	52	81,1	22,0	89	87,1	31,6	97	73,9	19,6	64	68,5	24,5	100	236,6	70,2	49
Сума	1 144,2	274,8	846	952,5	301,5	1193	780,9	291,5	1386	909,9	287,3	1062	818,7	264,4	1098	4 606,2	1 419,5	956
Кількість місяців	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Таблиця 5

 Статистичні характеристики природних опадів та розрахунок їх можливого збільшення у сезон робіт.
 Метеостанція Первомайськ, XI – III місяці, 1980–2010 рр.

Місяці	листопад			грудень			січень			лютий			березень			Сезон		
	R, мм	ΔR , мм	$R_{\text{натур}}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{\text{натур}}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{\text{натур}}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{\text{натур}}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{\text{натур}}$, %	R, мм	ΔR , мм	$R_{\text{натур}}$, %
Статистичні характеристики																		
Середнє місячне	46,0	14,0	39	37,9	15,8	51	34,5	15,8	54	34,3	14,9	51	32,6	12,8	45	185,2	72,7	41
Стандартна похибка	5,8	1,2	4	4,1	1,1	4	4,5	1,7	4	3,8	1,2	4	3,8	1,3	3	10,0	3,3	1
Медіана	42,6	13,2	33	36,8	15,7	47	27,7	13,1	49	31,9	15,2	45	29,9	11,5	41	190,6	72,4	41
Мода	14,2	9,0	26	25,8	20,9	28	-	10,8	79	-	10,6	36	-	11,6	39	172,3	-	-
Стандартне відхилення	31,6	6,8	20	22,4	6,2	22	24,4	8,9	21	20,9	6,7	20	21,0	7,0	15	54,6	18,0	8
Дисперсія вибірки	1 000,0	46,0	406	499,8	38,1	478	594,3	79,3	425	437,1	44,2	417	441,0	49,3	217	2 976,3	323,2	59
Експес	-0,2	1,6	4	-0,8	-0,7	1	1,4	3,1	3	0,9	-0,2	1	-0,1	-0,3	3	-0,4	-0,3	1
Асиметричність	0,8	1,0	2	0,5	0,1	1	1,4	1,7	1	0,9	0,2	1	0,6	0,6	2	0,3	0,4	0
Інтервал	107,2	30,7	90	74,5	23,3	86	95,5	37,3	97	90,1	26,5	78	79,5	28,3	71	209,1	68,7	37
Мінімум	8,5	4,0	18	3,7	3,7	26	7,0	5,2	27	3,5	2,8	25	2,8	1,1	20	103,3	44,4	26
Максимум	115,7	34,7	108	78,2	27,0	112	102,5	42,5	124	93,6	29,3	103	82,3	29,4	91	312,4	113,1	63
Сума	1 378,9	421,2	1169	1 135,6	472,6	1522	1 036,0	457,4	1620	1 027,5	448,2	1538	979,3	383,0	1337	5 557,3	2 182,5	1216
Кількість місяців	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

симумів з півдня на північ області (від 236,6 мм в Очакові до 312,4 мм в Первомайську).

Що стосується розподілу природних опадів за місяцями, то найбільша їхня кількість випадала в листопаді та грудні (на всіх метеостанціях області). Також спостерігалась тенденція збільшення середніх місячних сум опадів з півдня на північ (від 35,7 мм у Миколаєві до 46 мм у Первомайську за листопад, від 31,8 мм до 46,0 мм за грудень). Найбільші значення середньомісячних сум природних опадів характерні для північного заходу Миколаївської області (Первомайськ), найменші - для прилеглих до моря районів півдня області, де може проявлятися бризовий ефект (Очаків, Миколаїв). У січні та лютому середньомісячні суми опадів знижуються порівняно з груднем на 4,5 – 5 мм по всіх метеостанціях області, а найменше природних опадів випадало в березні. Це спостерігалось на всіх метеостанціях Миколаївської області (від 25,9 мм на півдні до 32,6 мм на півночі), за винятком метеостанції Очаків, де мінімум природних опадів за 30-річний період спостерігався в січні (26,0 мм).

Сумарна розрахункова сезонна кількість штучних додаткових опадів сезон робіт, як і у випадку з природними опадами, також збільшується в напрямку з півдня на північ та зі сходу на захід Миколаївської області (від 47,3 мм на метеостанції Очаків – південь області, до 72,7 мм на метеостанції Первомайськ – на півночі області), від 53,7 мм – схід області, метеостанція Баштанка, до 72, 7 мм на заході (метеостанція Первомайськ). Сумарна різниця в розрахунковій кількості штучних опадів сезон робіт становила від 25,4 мм між північчю і півднем області, до 19,0 мм між заходом і сходом області. Мінімальне значення розрахункової сезонної суми штучних опадів за тридцять років спостережень було на метеостанції Очаків (47,3 мм), найбільше значення сезонного мінімуму розрахованих штучних опадів спостерігалось на північному заході області (метеостанція Первомайськ – 72,7 мм). Як видно з табл. 1 – 5, кількість розрахованих штучних додаткових опадів сезон робіт збільшується з півдня на північ та зі сходу на захід області. Така ж тенденція спостерігається і з величиною відносного збільшення опадів, розрахованою у відсотках до величини природних опадів. Найбільше відносне збільшення опадів, як видно із проведених розрахунків у вказаних вище таблицях, спостерігається на північному заході Миколаївської області (Первомайськ – 41%), найменше – на півдні області (Очаків – 32%).

Помісячний розподіл розрахованої кількості штучних опадів показує, що по всіх станціях об-

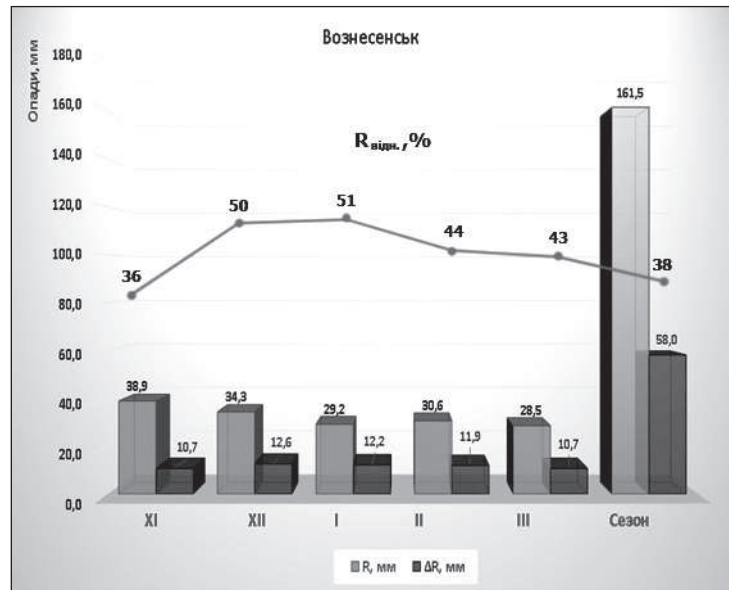


Рис. 6. Кількість природних опадів та їх можливе абсолютне та відносне збільшення у сезон робіт. Метеостанція Вознесеньк, XI – III місяці, 1980-2010 рр.

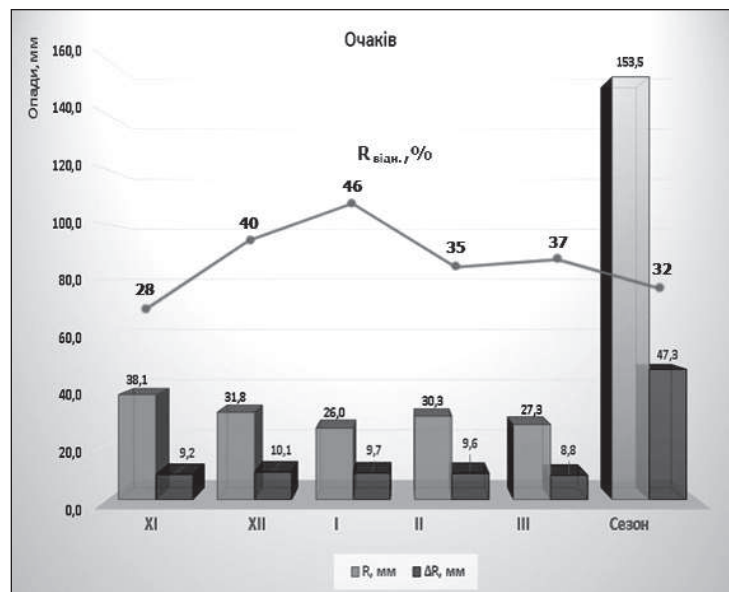


Рис. 7. Кількість природних опадів та їх можливе абсолютне та відносне збільшення у сезон робіт. Метеостанція Очаків, XI – III місяці, 1980 - 2010 рр.

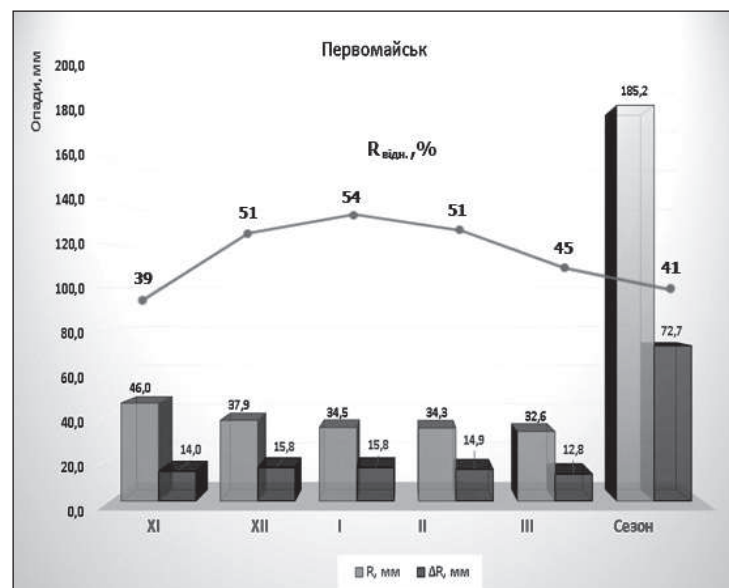


Рис. 8. Кількість природних опадів та їх можливе абсолютне та відносне збільшення у сезон робіт. Метеостанція Первомайськ, XI – III місяці, 1980-2010 рр.

ласті максимум спостерігається в грудні та січні, мінімум – в березні. Максимальну кількість додаткових опадів можна отримати на північному заході області (Первомайськ – 15,8 мм у грудні та січні, мінімальну – на півдні (Очаків – 10,1 мм у грудні і 9,7 мм у січні). Відносне збільшення опадів має найбільші значення в Первомайську (в середньому 51% і 54% у грудні та січні), зафіксований максимум за сезон – 63%, найменші – в Очакові (28% – у листопаді), при мінімумі – 8%.

В табл. 1 – 5 наведено також інші статистичні характеристики: стандартна похибка, медіана, мода, стандартне відхилення, дисперсія, асиметрія, ексцес.

Якщо проаналізувати мінливість кількості сезонних природних і штучних опадів та їх відносного збільшення за сезон робіт (XI – III місяці) у 1980 – 2010 роках на метеостанціях Миколаївської області, то можна зробити висновок, що для всіх 5-ти станцій характерним є наступне співпадіння: пік у кількості опадів, що спостерігається на початку періоду (1980-1982 рр.), потім різке зменшення в 1982 – 1983 рр., далі цей мінімум у кількості опадів з невеликими коливаннями простежується до 1993-1994 рр., потім поступове зростання опадів сезону робіт до 2005-2006 рр., далі різкий спад у сезоні 2006 – 2007 рр., а потім зростання з піком у 2009 – 2010 рр. Це чітко видно з рис. 9 – 13, де відображено ковзні середні сумарної кількості природних опадів за сезони робіт (XI – III місяці) у 1980 – 2010 рр., а

також розрахованого їх штучного та відносного збільшення за цей же період.

Там же наведено лінії трендів сезонної кількості природних та розрахованих кількостей штучних опадів для всіх метеостанцій Миколаївської області. Що стосується розрахованої кількості штучних опадів та відносного збільшення опадів, то, як видно з рис. 9 – 13, спостерігається приблизно такий же хід їх значень по роках, як і у випадку з природними опадами, за винятком метеостанцій Миколаїв і Первомайськ, де в 2009 – 2010 рр. під час зростання кількості природних опадів відбувалося зменшення розрахованої кількості штучних опадів та їх відносного збільшення. Причиною цього, на наш погляд, є те, що найвагоміший внесок у загальну суму опадів вклали природні опади, інтенсивність яких була або близькою до 0,0 мм/год, або перевищувала 2,35 мм/год. У таких випадках, як видно з рис. 14, 15, розраховані на основі формули (2), інтенсивність штучних опадів та похідна від неї – кількість штучних опадів та їх відносне збільшення, були або дуже близькими до 0, або взагалі за таких умов отримати штучні опади під час впливів на хмари холодного сезону за умови використання наявної технології впливу неможливо.

Висновки

Аналіз результатів проведеного дослідження дав підстави для наступних висновків.

1. Сумарна сезонна середня за 30-річний період (1980 – 2010 рр.) кількість природних опадів

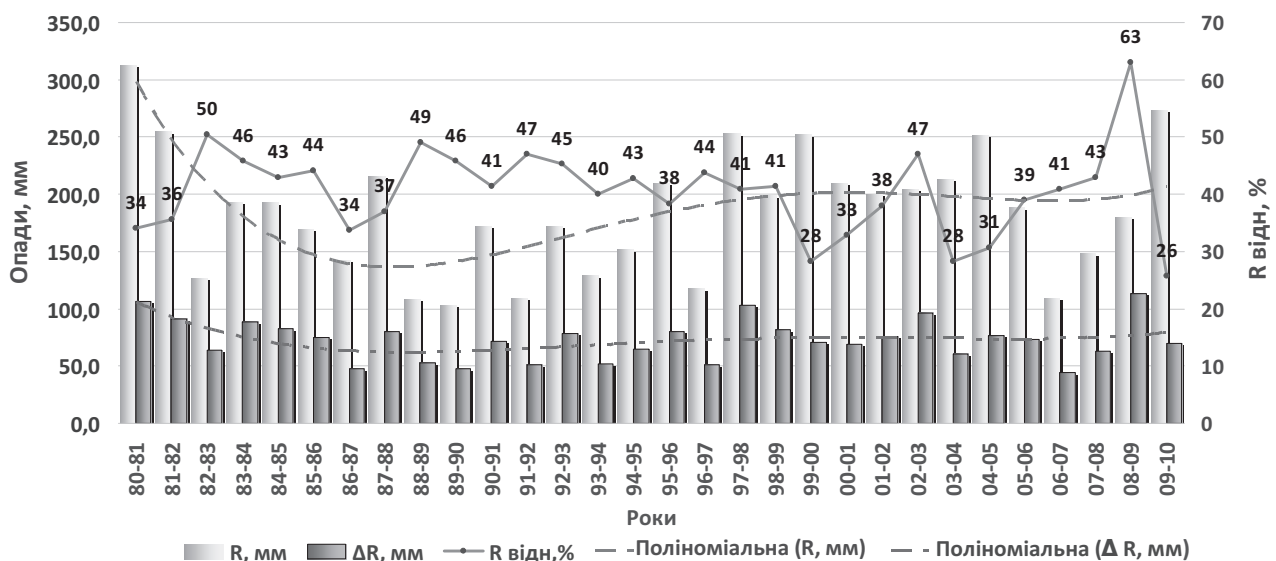


Рис. 9. Мінливість кількості природних і штучних опадів з лініями трендів та їх відносного збільшення за сезон робіт, XI-III місяці, 1980-2010 рр. на метеостанції Миколаїв

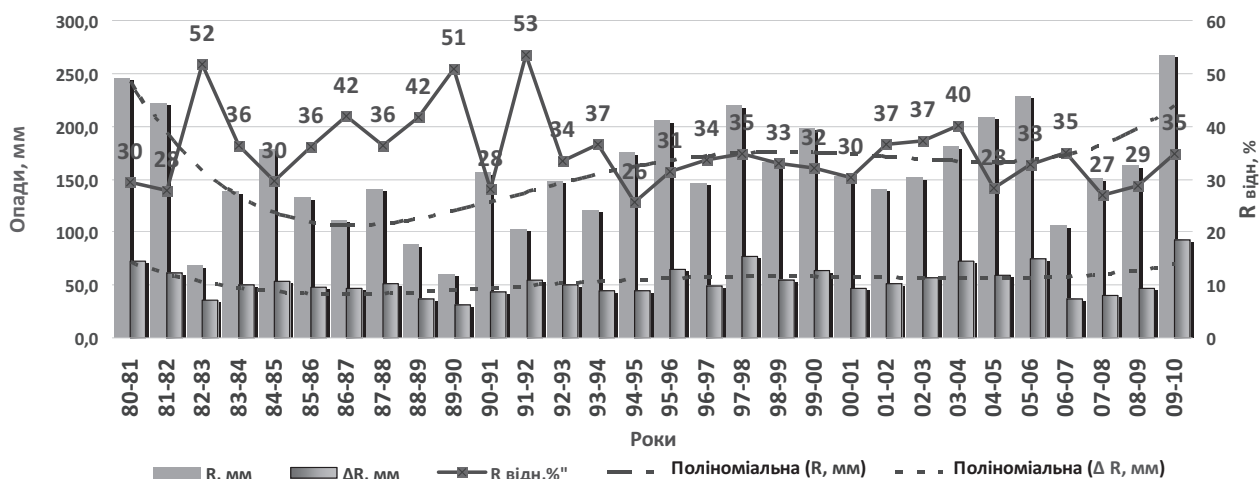


Рис. 10. Мінливість кількості природних і штучних опадів з лініями трендів та їх відносного збільшення за сезон робіт, XI-III місяці, 1980-2010 рр. на метеостанції Баштанка

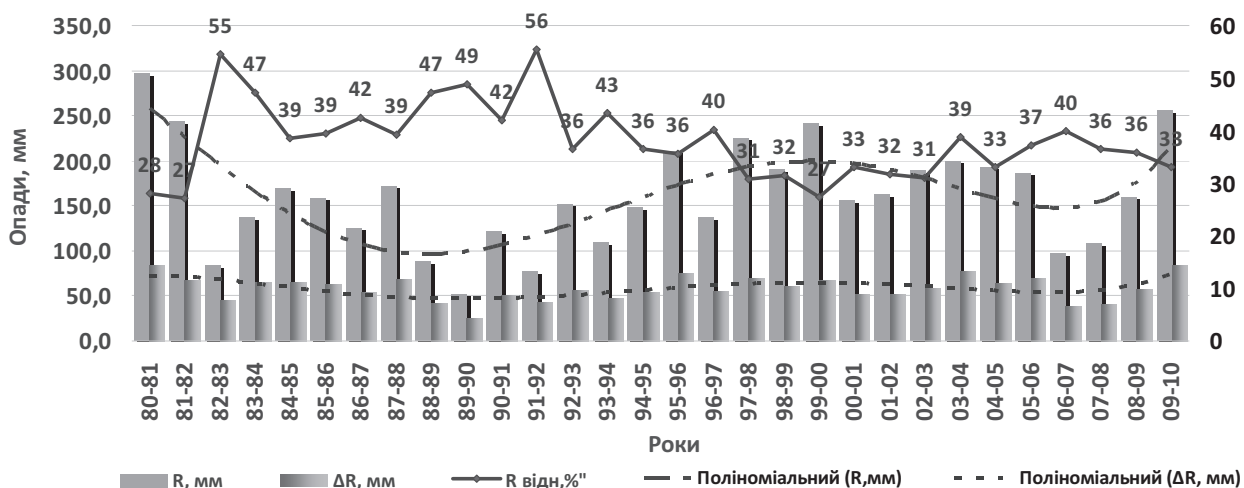


Рис. 11. Мінливість кількості природних і штучних опадів з лініями трендів та їх відносного збільшення за сезон робіт, XI-III місяці, 1980-2010 рр. на метеостанції Вознесенськ

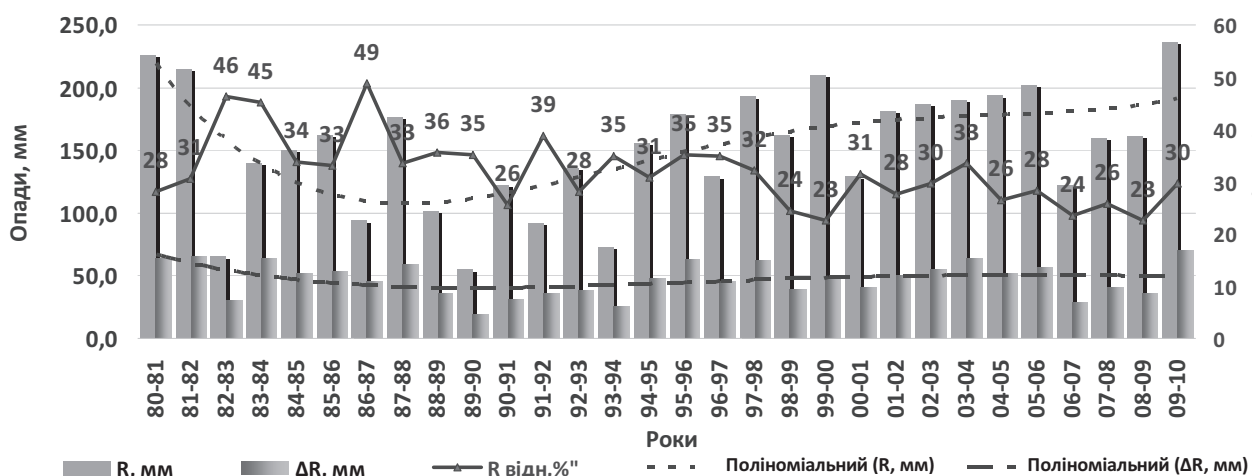


Рис. 12. Мінливість кількості природних і штучних опадів з лініями трендів та їх відносного збільшення за сезон робіт, XI-III місяці, 1980-2010 рр. на метеостанції Очаків

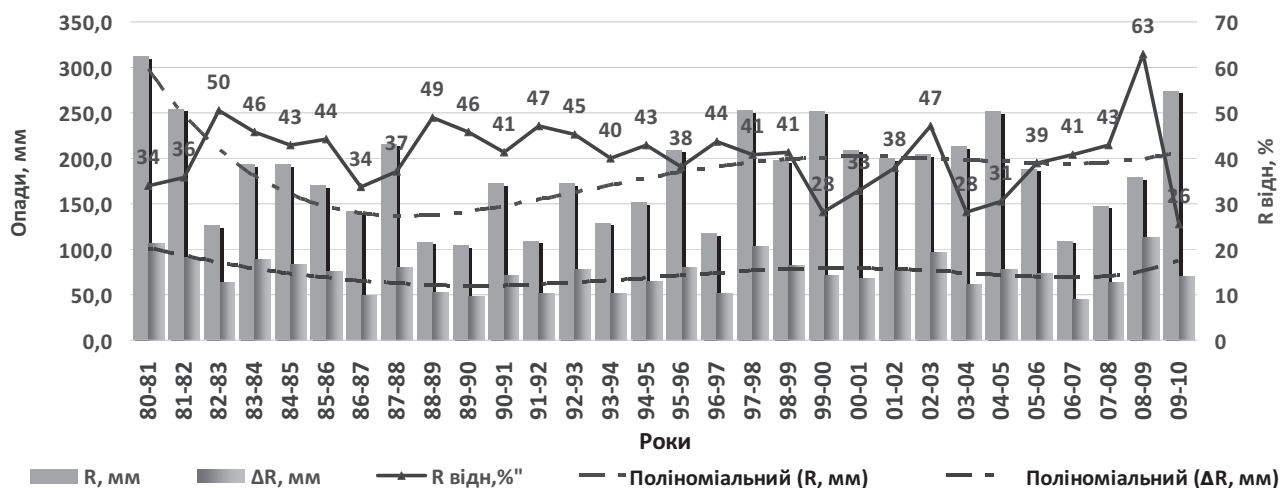


Рис. 13. Мінливість кількості природних і штучних опадів з лініями трендів та їх відносного збільшення за сезон робіт, XI-III місяці, 1980-2010 рр. на метеостанції Первомайськ

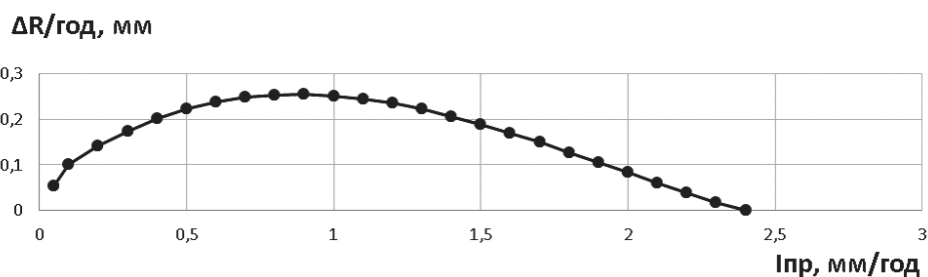


Рис. 14. Залежність кількості додаткових опадів ΔR , отриманих за 1 годину впливу на хмари холодної половини року від інтенсивності природних опадів $I_{\text{пр}}$

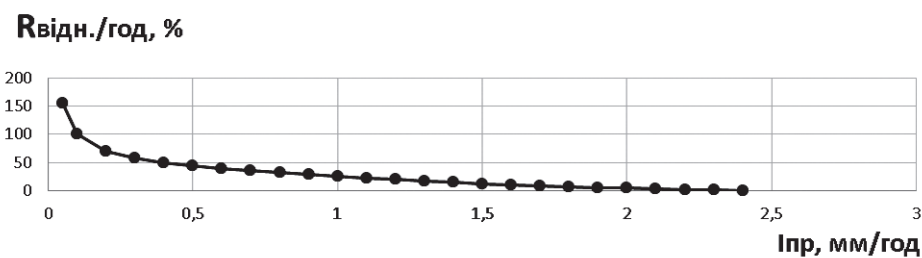


Рис. 15. Залежність кількості відносного збільшення опадів $R_{\text{відн}}$, отриманих за 1 годину впливу на хмари холодної половини року від інтенсивності природних опадів $I_{\text{пр}}$

за сезон робіт збільшується в напрямку з півдня на північ та зі сходу на захід Миколаївської області (від 150,2 мм на метеостанції Миколаїв – південь області, до 185,2 мм на метеостанції Первомайськ – на північному заході області), від 159,1 мм – схід області, метеостанція Баштанка, до 185, 2 мм на заході (метеостанція Первомайськ).

2. Максимуми кількості природних опадів за сезон робіт збільшуються з півдня на північ області (від 236,6 мм в Очакові до 312,4 мм у Первомайську).

3. Розподіл природних опадів по місяцях показує, що найбільша їхня кількість спостерігалась в листопаді та грудні.

4. Помічена тенденція зростання середніх місячних сум опадів з півдня у північному напрямку (від 35,7 мм у Миколаєві до 46 мм у Первомайську за листопад, від 31,8 мм до 46,0 мм за грудень).

5. Найбільші значення середньомісячних сум природних опадів характерні для північного заходу Миколаївської області (Первомайськ), найменші – для прилеглих до моря районів півдня області.

6. За умови використання для активних впливів усіх придатних для засіву хмар за сезон робіт (листопад – березень) можливе збільшення сезонної суми опадів може сягати від 47,3 мм на півдні до 72,7 мм на північному заході області, що становить від 32% до 41% від сезонної суми природних опадів відповідно.

7. Кількість штучних додаткових опадів за сезон робіт збільшується з півдня на північ та зі сходу на захід області.

8. Така ж тенденція спостерігається і з величиною відносного збільшення опадів, розрахованою в відсотках до величини природних опадів. Найбільше відносне збільшення опадів спостерігалось на північному заході Миколаївської області (Первомайськ – 41%), найменше – на півдні області (Очаків – 32%).

9. Для всіх п'яти метеостанцій Миколаївської області хід опадів за сезон робіт у 1980-2010 рр. має характерні збіги: пік у кількості опадів на початку періоду (1980-1982 рр.), потім різке зменшення у 1982–1983 рр., далі цей мінімум у кількості опадів з невеликими коливаннями простежується до 1993-1994 рр., потім поступове зростання опадів за сезон робіт до 2005-2006 рр., далі різкий спад у сезоні 2006-2007 рр., а потім зростання з піком у 2009-2010 рр.

10. Такий же хід характерний і для розрахованої кількості штучних опадів та відносного

збільшення опадів за невеликими окремими винятками.

Висловлюємо подяку співробітникам Центральної геофізичної обсерваторії за надані нам матеріали для досліджень та Б.Н. Лескову за цінні поради під час виконання цієї роботи.

**

1. *Леонов М.П., Перелет Г.И.* Активные воздействия на облака в холодное полугодие. -Л., Гидрометеоздат, 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., Гидрометеоздат, 1971, 216 с.
5. *Заболоцька Т.М., Лесков Б.Н., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М.* Оцінка можливої кількості штучних опадів з хмар холодного періоду року // Наук. пр. УкрНДГМІ.-2000.-Вип.248.-С.57-66.
6. *Балабух В.О., Лавриненко О.М.* Особливості мезомасштабної циркуляції, що обумовлює небезпечні і стихійні конвективні явища погоди та її зміна наприкінці ХХ ст. // Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища -2002: Тези доповідей міжнародної наукової конференції. Одеса: ОДЕКУ, 2002.-С.77-78.
7. *Балабух В.О.* Регіональні особливості розподілу небезпечних і стихійних конвективних явищ погоди при переміщенні на Україну циклонів і фронтів з північною складовою наприкінці ХХ ст. //Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища -2002: Матеріали міжнародної наукової конференції . Одеса: ОДЕКУ, 2002.-С.31-36.
8. *Заболоцька Т.М.* Динаміка змін хмарного покриву над територією України в умовах сучасного клімату. // Наук. пр. УкрНДГМІ.-2010.-Вип. 259.-С. 91-103.
9. *Заболоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М.* Особливості змін хмарного покриву над територією України протягом 1961 – 2008 рр.// Наук. пр. УкрНДГМІ.-2011.-Вип. 260.-С. 54-66.
10. *Лесков Б.Н.* Параметры облаков, засевавшихся в экспериментах по регулярному увеличению осадков // Тр. УкрНИГМИ. -1977. -Вып.152. -С.74-79.
11. *Галаджий Н.М., Лесков Б.Н., Сухомлинова В.А.* О критериях пригодности зимних слоистых облаков к засеву с целью увеличения осадков. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы // Тр. Всесоюзной конференции. -Л.: Гидрометеоздат, 1990. -С. 343 - 348.
12. *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

S.V. Nosar, E.A. Stepura

Возможность искусственного увеличения зимних осадков в Северо-Западном Причерноморье (на примере Николаевской области)

Possibility of artificial increase in winter precipitation in the North-Western Black Sea region (on example, Mykolaiv region)

Исследованы ресурсы облаков сезона работ (продолжительностью с 01 ноября по 31 марта) в Северо-Западном Причерноморье (Николаевская область) за тридцатилетний период (с 01.11.1980 по 31.03.2010 года). Показано, что при использовании для искусственных воздействий всех облаков (100%), из которых выпадают природные осадки, возможное увеличение суммы осадков за сезон проведения работ (5 месяцев) может составить от 47,3 мм на юге области до 72,7 мм на северо-западе области, что составляет от 32% до 41% суммы природных осадков за этот же период.

Resources of clouds during the working season (which duration is from 01 November to 31 March) in the North-Western Black Sea region (Mykolaiv region) for the thirty-year period (from 01.11.1980 to 31.03.2010) were investigated. It is shown that for all cases of clouds (100%) with natural precipitation which were used for artificial influences, possible increasing of rainfall amount during 5-monthes season, that is useful for cloud seeding, may reach from 47.3 mm in the south to 72.7 mm in the north-west of the region that is from 32% to 41% of the amount of natural precipitation for this period.

Ключевые слова: недостаток природных осадков, ресурсы облаков, искусственные воздействия на зимние облака, Николаевская область, возможное количество дополнительных осадков.

Keywords: shortage of natural rainfall, resources of clouds, artificial effects on winter clouds, Mykolaiv region, possible amount of additional precipitation.

УДК 551.580:(477)

Л.С.Рибченко, С.В.Савчук

РАДІАЦІЙНИЙ РЕЖИМ В ПЕРІОДИ ІНТЕНСИВНИХ ЗАСУХ 1991–2000 РР. В УКРАЇНІ

Наведено зміни складових радіаційного режиму в періоди інтенсивних засух 1991-2000 рр. порівняно зі стандартною кліматологічною нормою 1961-1990 рр. Зафіксовано відхилення складових радіаційного режиму в умовах засух по всій території України в окремі місяці вегетаційного періоду, а також значне збільшення тривалості сонячного сйява та прямої сонячної радіації, що супроводжується зменшенням розсіяної, але не призводить до помітного збільшення сумарної сонячної радіації.

Ключові слова: радіаційний режим, сонячна радіація, інтенсивна засуха, кліматологічна норма.

Вступ

Засуха — складне метеорологічне явище, зумовлене тривалим періодом збільшеного надходження короткохвильової сонячної радіації та температури повітря, що значно перевищує середню, нестачі вологи в повітрі та ґрунті. За цих умов у результаті випаровування з поверхні ґрунту та транспірації рослин створюються несприятливі умови для розвитку сільськогосподарських культур. Ці умови призводять до пошкодження або навіть загибелі рослин.

Результатам дослідження засух на території

країни присвячено низку робіт, що оцінюють ступінь посушливості окремих періодів вегетації, їх вплив на стан сільськогосподарських рослин, причини виникнення засух та зміни метеорологічних величин щодо середніх значень [2-9].

В умовах засухи збільшуються енергетичні можливості підстильної поверхні внаслідок значної повторюваності ясної та малохмарної погоди, що призводить до підвищення потоків короткохвильової радіації та перерозподілу енергії між складовими сумарної радіації та радіаційного балансу. Зростає тривалість сонячного сйява.