

S.K. Kudriavtseva, B.N. Leskov

Results of full-scale project of winter precipitation increasing in Ukraine

The results of the full-scale project, the aim of which was to increase the amount of winter precipitation on the area of 500 000 hectares in the Dnipropetrovsk Region (1986-1994), were summarized in this article. The relative increase of precipitation on the target, compared with the control area, in a technologically aspect better ensured seasons (1987-1991 years) was within 8,0-21,0 %. This result was obtained

in circumstances when the real level of using of acceptable situations for weather modification not exceeds 30 %. In the case of using of all resources of clouds suitable for weather modification, possible increase in seasonal precipitation amounts with respect to the climate norm estimated at 43-56 %. The highest percentage of hours of suitable clouds for increasing precipitation observed during moving of west (26,8 %) and the south-western and southern (39,7 %) cyclones.

Keywords: weather modification, target, airplane, reagent, artificial increasing of winter precipitation.

УДК 551.576.3+551.583.2:[502.3:504.7]

Т.М. Заблоцька, В.М. Шпиг**КІЛЬКІСНІ ЗМІНИ ХМАРНОСТІ
ЯК ІНДИКАТОР ПЕРІОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

Проаналізовано особливості змін кількості загальної та нижньої хмарності, повторюваності ясного та похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю, повторюваності основних форм хмар послідовно від одного до іншого десятиріччя впродовж 1961-2010 рр. Показано, що найбільші зміни всіх показників хмарного покриву були в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.).

Ключові слова: загальна та нижня хмарність, стан неба, основні форми хмар, десятиріччя, кількісні зміни.

Вступ

У XIX столітті видатні кліматологи Берг, Брікнер, Брукс, Камінський, Воейков, Мекінг звернули увагу на квазіперіодичність змін метеорологічних величин. Брікнер у 1890 р. вперше наголосив про 35-річний цикл коливань температури, опадів, тиску. Повного збігу періодів коливань не було (коливання опадів відставали від коливань температури). Зміни температури в межах одного періоду становили близько 1° до 1850 р., а після 1850 р. менше 1°. Амплітуда коливань опадів за один період становила близько 12 %. Період 35 років – це середня цифра. Брікнер, а пізніше Воейков вказували на період 20-50 років і більше [1].

Згідно з репрезентативними вимірами приземної температури повітря в XX ст. глобальне потепління клімату спостерігали протягом двох періодів: з 1911 до 1945 р. та з 1976 р. до теперішнього часу. Зміни приземної температури повітря, температури поверхні океану та верхнього шару ґрунту відбувались узгоджено [2].

Сьогодні існує два погляди щодо причин потепління: зміни природних чинників (обертання Землі навколо своєї осі й Сонця, сонячна активність, інтенсифікація процесів у земній корі, зміна механізмів циркуляційних процесів та ін.) й дія антропогенних чинників (створення парникового ефекту внаслідок викидів газів промисловістю).

Ці причини, що сприяють глобальному потеплінню, впливають безпосередньо й на режим хмарності. Особливості кліматичних змін хмарного покриву за тривалі проміжки часу оцінено американськими вченими над усіма континентами й островами (25-річний період, з 1971 до 1996 р.), над територією Росії (період 1951-2000 рр.) та над Україною (період 1961-2008 рр.) [3-6].

У [3] за даними 5400 станцій, які охоплюють усю земну кулю, отримано, що глобальний середній хмарний покрив над суходолом має від'ємний тренд (0,7 %/10 років), а над океаном – додатний (0,4 %/10 років). За широтою хмарний покрив має додатний тренд узимку та навесні в арктич-

них районах (60-80° пн. ш.), проте від’ємний у всі сезони року на інших широтах.

У [4] показано, що в другій половині ХХ ст. над територією Росії спостерігали невелике збільшення загальної хмарності, яке чіткіше проявлялось над азійською частиною країни й слабкіше над європейською. Також установлено, що на всій території в кінці століття, тобто в період прояву глобального потепління, кількість нижньої хмарності зменшилась порівняно з середньою століття.

Відповідні дослідження кліматичних змін показників хмарного покриву над територією України показали, що кількість загальної хмарності майже не змінилась, а нижньої зменшилась (особливо кількість похмурих днів). Основні зміни показників хмарного покриву узгоджуються зі змінами атмосферного тиску й зумовлені дією циркуляційних процесів [5, 6].

Загалом аналіз результатів кількісних змін хмарного покриву, отриманих за даними тривалих спостережень (25-50 років), вказує на їх квазіперіодичний характер [6].

Мета і методика дослідження

З метою дослідження періодичності змін хмарного покриву використано дані спостережень за загальною та нижньою хмарністю, повторюваністю ясного, похмурого стану неба та основних форм хмар на 34 станціях, майже рівномірно розташованих на території України, упродовж 1961-2010 рр. Порівнювались середні десятирічні значення, які відповідають за флуктуації клімату.

Результати дослідження

На рис. 1 представлено зміни кількості загальної та нижньої хмарності від першого до п’ятого десятиріччя. Дані свідчать, що найсуттєвіші зміни (зменшення кількості хмар, особливо нижнього ярусу) відбулись у третьому десятиріччі (1981-1990 рр.), далі процес змін стабілізувався. Кількість загальної хмарності практично відновила своє значення. Кількість нижньої хмарності хоча й збільшилась своє значення в четвертому десятиріччі, проте надалі залишилась незмінною (п’яте десятиріччя).

Повторюваність ясного (0-2 бали), напів’ясного (3-7 балів) та похмурого (8-10 балів) стану неба є найінформативнішим показником хмарного покриву. Значення повторюваності різного стану неба в кожному десятиріччі впродовж п’ятдесятиліття представлено в табл. 1, а послідовні зміни від одного десятиріччя до іншого на рис. 2.

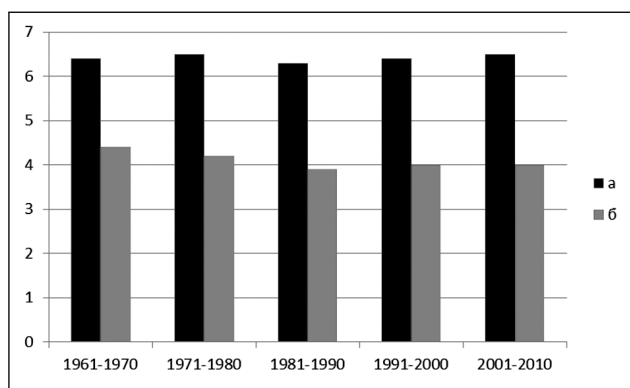


Рис. 1. Кількість загальної (а) та нижньої хмарності (б) за окремі десятиріччя, бали

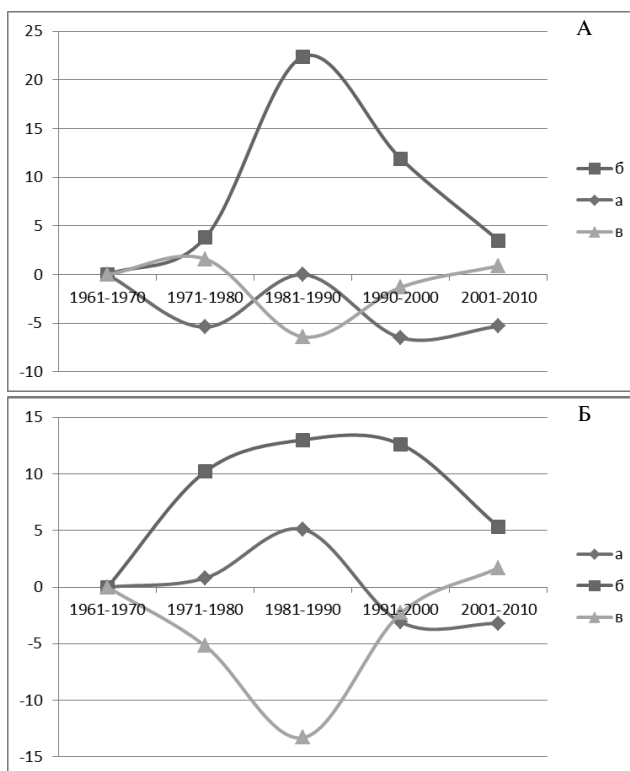


Рис. 2. Послідовні зміни повторюваності (%) різного стану неба (а – ясний; б – напів’ясний; в – похмурий) за загальною (А) та нижньою (В) хмарністю від першого до п’ятого десятиріччя

Повторюваність ясного стану неба за нижньою хмарністю зростала впродовж перших трьох десятиріч, а далі зменшувалася. Особливістю розподілу є те, що в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.) ясний стан спостерігали найчастіше (його повторюваність збільшилась більше ніж на 5 % щодо другого десятиріччя, рис. 2). Надалі повторюваність ясного стану неба зменшувалася (кожне десятиріччя більш ніж на 3 %) і в кінці досліджуваного періоду (2001-2010 рр.) повернулася до свого початкового значення (відповідно 48,5 та 48,8 %).

Таблиця 1
Повторюваність (%) різного стану неба за загальною та нижньою хмарністю у кожному десятиріччі протягом 1961-2010 рр.

Роки	Стан неба		
	ясний	напів'ясний	похмурий
	нижня хмарність		
1961-1970	48,8	14,7	36,5
1971-1980	49,2	16,2	34,6
1981-1990	51,7	18,3	30,0
1991-2000	50,1	20,6	29,3
2001-2010	48,5	21,7	29,8
	загальна хмарність		
1961-1970	27,6	15,9	56,5
1971-1980	26,1	16,5	57,4
1981-1990	26,1	20,2	53,7
1991-2000	24,4	22,6	53,0
2001-2010	23,1	23,4	53,5

Повторюваність ясного стану за загальною хмарністю весь час зменшувалася, проте виділяється знову третє десятиріччя, в якому повторюваність залишилася незмінною щодо другого десятиріччя.

Повторюваність похмурого стану неба за нижньою хмарністю зменшувалася протягом чотирьох десятиріч, тільки в останньому десятиріччі (2001-2010 рр.) спостерігали незначне збільшення (на 1,7 % щодо періоду 1991-2000 рр.). Особливістю можна вважати те, що найбільше зменшення повторюваності (на 13,3 %) фіксували в третьому десятиріччі порівняно з другим. Подібні зміни повторюваності похмурого неба були і за загальною хмарністю.

Одночасно повторюваність напів'ясного стану неба (3-7 балів) як за нижньою, так і за загальною хмарністю весь час зростала (для всіх станцій тренди значущі), проте в останньому

десятиріччі це зростання стало менш помітним. Найбільше зростання спостерігали знову ж у третьому десятиріччі щодо другого (на 13 % за нижньою хмарністю та на 22,4 % – за загальною).

Загальну картину змін повторюваності хмар різних форм між десятиріччями представлено в табл. 2.

Хмари верхнього ярусу. Помітних регіональних особливостей у зміні повторюваності перистих хмар (Сі) не було: від першого десятиріччя (1961-1970 рр.) до другого (1971-1980 рр.) і особливо до третього (1981-1990 рр.) домінувало зменшення повторюваності перистих хмар на 56 та 70 % станцій відповідно. У четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.) більша частина станцій (53 %) фіксувала вже збільшення повторюваності, яка в п'ятому десятиріччі (2001-2010 рр.) охоплювала ще більшу кількість станцій і становила 76 %.

Флуктуації коливань повторюваності перисто-купчастих хмар (Сс) були деякою мірою подібні до перистих: домінує зменшення від 1961 до 1990 р. й подальше збільшення, особливо в 2001-2010 рр.

Повторюваність перисто-шаруватих хмар (Сs) протягом досліджуваного періоду зменшувалася практично на всій території (від'ємні тренди були значущими в 76 % випадків). Спостерігали це на всій території. Переважне зменшення фіксували до 2000 р. Зменшення повторюваності від одного до іншого десятиріччя повільно знижувалося, відповідно 70, 70, 59, 30 %. В останньому десятиріччі (2001-2010 рр.), хоча й менше станцій фіксували безпосередньо зменшення повторюваності перисто-шаруватих хмар, проте на кожній третій станції змін не було (35 % станцій).

Таблиця 2
Кількість станцій (у %) з різними змінами повторюваності основних форм хмар між десятиріччями*

Форма хмар	1961-1970 → 1971-1980 рр.			1971-1980 → 1981-1990 рр.			1981-1990 → 1991-2000 рр.			1991-2000 → 2001-2010 рр.		
	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0
St	38	62	-	71	26	3	26	71	3	47	47	6
Sc	32	65	3	41	56	3	76	24	-	50	50	-
Cu	47	41	12	38	59	3	41	56	3	56	44	-
Cb	76	15	9	68	32	-	71	29	-	68	32	-
Ns	3	94	3	35	63	3	20	68	12	24	74	2
Fr nb	18	79	3	38	62	-	20	68	12	41	56	3
Ac	65	35	-	65	35	-	80	20	-	40	60	-
As	24	70	6	56	41	3	26	74	-	20	65	15
Ci	38	56	6	21	70	9	53	38	9	76	18	6
Cc	26	50	24	26	41	33	44	18	38	56	12	32
Cs	12	70	18	24	70	6	32	59	9	35	30	35

* Примітка: + зростання, - зменшення, 0 - без змін.

Хмари середнього ярусу. Протягом трьох десятиріч (із 1961 до 1990 р.) більшість станцій (65 %) фіксували збільшення повторюваності висококупчастих хмар (As), 35 % – зменшення. У четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.) повторюваність висококупчастих хмар була максимальною, її фіксували найбільше станцій (80 %), проте в п'ятому десятиріччі (2001-2010 рр.) вже тільки 40 % станцій відмічали збільшення повторюваності As, тобто, домінувало їх зменшення, особливо на заході країни.

На більшій частині території (близько 70 % станцій) зафіксовано зменшення повторюваності високошаруватих хмар (As). У кожному десятиріччі домінувало зменшення повторюваності високошаруватих хмар, за винятком 1981-1990 рр. У цей період на більшості станцій (56 %) повторюваність As зростала.

Хмари нижнього ярусу. Коливання між десятиріччями вказують на переважне зменшення повторюваності купчастих хмар (Cu) до 2000 р., в останньому десятиріччі (2001-2010 рр.) їх повторюваність дещо збільшилася (це зафіксовано на 56 % станцій). Регіональних відмінностей не виявлено.

Підвищення повторюваності купчасто-дошових хмар (Cb) упродовж досліджуваного періоду відмічали 80 % станцій, коливання між десятиріччями були стабільні: у кожному десятиріччі домінувало збільшення повторюваності Cb.

Увесь період, з 1961 до 2010 р., незначно переважала тенденція до зменшення повторюваності шаруватих хмар (St), це зафіксовано на 53-47 % станцій. Водночас спостерігали суттєві коливання повторюваності St між послідовними десятиріччями: у другому (1971-1980 рр.) та п'ятому (2001-2010 рр.) десятиріччях повторюваність St зменшувалась незначно, проте діаметрально протилежна картина була в третьому (1981-1990 рр.) й четвертому (1991-2000 рр.). У третьому десятиріччі на всій території, крім заходу, зросла повторюваність шаруватих хмар, а в четвертому – повсюди зменшилась (71 % станцій).

Коливання повторюваності шарувато-купчастих хмар (Sc) між десятиріччями були такими: у другому й третьому десятиріччях, тобто до 1990 р., повторюваність Sc незначно зменшувалась (56-65 % станцій), у четвертому (1991-2000 рр.) повсюди збільшувалась (76 % станцій), а в п'ятому (2001-2010 рр.) рівною мірою як зменшувалась, так і збільшувалась.

Тенденція до зменшення повторюваності хмар фронтального походження (шарувато-дошові Ns та розірвані шарувато-дошові Fr nb) збе-

рігалася протягом усього досліджуваного періоду та на всій території. Коливання між десятиріччями вказують, що найбільше зменшення повторюваності Ns і Fr nb спостережено в другому десятиріччі (1971-1980 рр.), цей стан фіксували відповідно 94 і 79 % станцій. У подальші десятиріччя дещо частіше стали відмічати фронтальну хмарність, проте загалом домінувало її зменшення, відповідно для Ns 63, 68, 74 % станцій і для Fr nb – 62, 68, 56 %.

Різниця між повторюваністю ясного стану неба за загальною та нижньою хмарністю відповідає повторюваності хмар середнього та верхнього ярусів кількістю 0-2 бали. Її значення від першого до п'ятого десятиріччя становлять 21,2, 23,1, 25,6, 25,7 і 25,4 % та вказують, що в другому й ще більше в третьому десятиріччі суттєво зросла повторюваність ясного неба серед хмар середнього та верхнього ярусів. Цей факт узгоджується з даними табл. 2, де наведено загальну характеристику змін повторюваності хмар різних форм між послідовними десятиріччями на території країни.

За багаторічними даними повторюваність As, Cc, Cs невелика (у межах 2-4 %), значно більшу повторюваність мають Ac (10-20 %) і Ci (10-15 %). Згідно з даними табл. 2, у другому й третьому десятиріччях як зростання, так і зменшення повторюваності Ac було однаковим, а повторюваність Ci зменшувалась у другому, й найбільше, в третьому десятиріччі. Тобто, для висококупчастих хмар у другому й третьому десятиріччях не було умов для потужнішого розвитку хвильових рухів. Перисті хмари переважно характерні для передньої частини хмарних систем теплового фронту або фронту оклюзії, їх повторюваність також зменшувалась, очевидно, через послаблення фронтальної діяльності.

Різниця між повторюваністю похмурого неба за загальною та нижньою хмарністю (відповідно 20,0, 22,8, 23,7, 23,7, 23,7 %) вказує, що хмар нижнього ярусу 8-10 балів найменше спостерігали знову в третьому десятиріччі. Протягом четвертого й п'ятого десятиріччя подальше зменшення призупинилось. Такі зміни повторюваності похмурого стану неба між десятиріччями також узгоджуються з даними табл. 2. До хмар нижнього ярусу належать шаруваті (St), шарувато-купчасті (Sc), купчасті та купчасто-дошові (Cu, Cb), шарувато-дошові та розірвані шарувато-дошові (Ns, Fr nb). Їх повторюваність за багаторічними даними на території країни становить 5-10; 15-25; 15-20; 5-10%. Саме в другому й третьому десятиріччях домінувало зменшення шарувато-купчастих хмар та хмар безпосеред-

ньо фронтального походження. Навіть перевага зростання повторюваності Сб, яку спостерігали впродовж усього досліджуваного періоду, стабілізувалася. Зменшили свою повторюваність і купчасті хмари.

Усі наведені дані свідчать про призупинення різких кількісних змін хмарного покриву впродовж четвертого й п'ятого десятирічч.

Кожний тип хмар має свій механізм утворення, який повністю залежить від баричного поля в атмосфері. Якщо розглядати зміни атмосферного тиску між десятиріччями, то від першого до другого десятиріччя практично всі станції фіксували зростання тиску (93-94 %) в межах 0,1-3,3 гПа. Від другого до третього десятиріччя більшість станцій продовжували фіксувати ріст тиску (у межах 0,1-2,1 гПа), проте третина станцій (36 %) відмічала падіння. Від третього до четвертого десятиріччя менше половини станцій (43 %) фіксували зменшення тиску, 27 % – без змін і тільки 30 % – зростання. Від четвертого до п'ятого десятиріччя на всій території країни переважно спостерігали падіння тиску (79 % станцій) або без змін (21 %).

Таким чином, повсюдне зростання тиску було впродовж 1971-1980 рр., поступово ця тенденція все менше проявлялася і в 2001-2010 рр. практично на всій території фіксували падіння тиску щодо попередніх значень. Зміни кількісних показників хмарного покриву та повторюваності хмар різних форм повністю узгоджуються зі змінами баричного поля, тобто циркуляційними процесами в атмосфері.

Висновки

Зміни кількості загальної та нижньої хмарності, повторюваності ясного й похмурого стану неба, повторюваності хмар різних форм послідовно від одного до іншого десятиріччя впродовж п'ятидесятиліття (1961-2010 рр.) свідчать, що основні зміни були в другому й третьому десятиріччях, вони зумовлені пануванням антициклонного поля. Останніми десятиріччями процес змін стабілізувався, проте попередніх своїх значень більшість із наведених вище показників не досягли.

* *

1. Берг Л.С. Успехи климатологии. – М.: Учпедгиз. – 1938. – 196 с.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 50-66.
3. Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J. A survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land

from Surface Observations, 1971-96 // Climate. – 2007. – № 20. – P. 717-738.

4. Хлебникова Е.И., Салль И.А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 7. – С. 5-13.
5. Заблоцька Т.М. Динаміка змін хмарного покриву над територією України в умовах сучасного клімату // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2010. – Вип. 259. – С. 91-103.
6. Заблоцькая Т.Н., Подгурская В.Н., Шпиталь Т.Н. Особенности изменений облачного покрова над территорией Украины // В кн. Глобальные и региональные изменения климата. – 2011. – К.: Ника-Центр. – С. 174-183.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Т.Н. Заблоцькая, В.М. Шпиг

Количественные изменения облачности как индикатор периода глобального потепления

Проанализированы особенности изменений количества общей и нижней облачности, повторяемости ясного и пасмурного состояния неба по общей и нижней облачности, повторяемости основных форм облаков последовательно от одного к другому десятилетию в течение 1961-2010 гг. Показано, что наибольшие изменения всех показателей облачного покрова были в третьем десятилетии (1981-1990 гг.).

Ключевые слова: общая и нижняя облачность, состояние неба, основные формы облаков, десятилетие, количественные изменения.

T.M. Zabolotska, V.M. Shpyh

Quantitative changes of cloud cover as indicator of global warming period

The features of changes in quantity of total and lower cloudiness and frequency of clear and cloud sky and frequency of basic cloud forms sequentially from one to the other decades during 1961-2010 were analyzed. It was shown that the greatest changes of all indicators of cloud cover were in the third decade (1981-1990).

Keywords: total and lower cloudiness, clear and overcast sky, the basic cloud forms, the decade, quantitative changes.