

$\lambda = 0,6$ мкм, що узгоджується із даними супутникових радіометричних вимірювань.

Ключові слова: мікрофізична модель змішаних шаруватоподібних хмар, оптична товщина та відбиваність сонячного випромінювання тонких хмар, результати моделювання, супутникові дані.

V.P. Bakhanov, B.A. Dorman, A.A. Kryvobok, O.Ya. Manzhara

Numerical modeling of microphysical and optical characteristics of thin stratiform clouds

The article presents the results of numerical modeling of microphysical and optical characteristics of frontal mixed

stratiform clouds of thin clouds (with thickness less than 0,9 km). Special attention is paid to analysis of the dependence of optical thickness of clouds and cloudy reflectances (in satellite radiometric channels with wavelength $\lambda = 0,6 \mu$ and $\lambda = 1,6 \mu$) on the phase composition of clouds. Thin clouds are characterized by small values of optical thickness ($COT < 10-15$), and also small values of cloud reflectance ($CR < 0,4$ for $\lambda = 1,6 \mu$ and $CR < 0,66$ for $\lambda = 0,6 \mu$), which is consistent with satellite radiometric measurements.

Keywords: microphysical model of mixed stratiform clouds, optical thickness and reflectance of sunlight of thin clouds, results of simulation, satellite data.

УДК 551.576

Т.М. Заблоцька, Т.М. Шпиталь

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ПОВТОРЮВАНOSTІ ЯСНОГО Й ПОХМУРОГО СТАНУ НЕБА ЗА ЗАГАЛЬНОЮ ТА НИЖНЬОЮ ХМАРНІСТЮ

За даними спостережень на 29 метеорологічних станціях України протягом 1961-2010 рр. визначено зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю. Довгоперіодичну складову кліматичних змін оцінено за тридцятирічними ковзними та лінійним трендом, флуктуації – за різницею сезонних та річних значень повторюваності між послідовними десятиріччями.

Ключові слова: кліматичні зміни, повторюваність ясного й похмурого стану неба, загальна й нижня хмарність, довгоперіодична складова, флуктуації, тридцятирічні ковзні, послідовні десятиріччя.

Вступ

Повторюваність ясного й похмурого стану неба – це один із головних показників хмарного покриву. Саме за цією величиною можна найточніше оцінювати кліматичні зміни хмарності. Безпосередньо хмарний покрив є одним з головних регуляторів радіаційного балансу, також за ним можна визначати особливості циркуляції атмосфери та випадання опадів.

Вибраний період дослідження (1961-2010 рр.) збігається з періодом глобального потепління. На сьогодні чітко не визначено причину підвищення приземної температури повітря (рівнозначно вважають, що це дія природних чинників [1, 4, 5] або вплив антропогенного фактора [2, 3]), тому оцінка різних показників, що формують кліматичну систему, є актуальною.

Матеріали та метод дослідження

Для дослідження змін повторюваності ясного й похмурого стану неба використано дані спостережень за хмарним покривом на 29 метеорологічних станціях, що рівномірно висвітлюють територію. Період дослідження з 1961 до 2010 р. включно. До аналізу залучено середні за місяць та рік розрахунки повторюваності ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю.

Довгострокову складову кліматичних змін повторюваності ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю оцінювали за змінами між тридцятирічними ковзними (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 рр.) та лінійними трендами, флуктуації – за різницею між послідовними десятиріччями (1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 рр.). Отримані дані систематизовано за регіонами (північ, захід, центр, схід, південь) та сезонами року.

Результати досліджень та їх аналіз

Оцінку змін повторюваності ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю наведено в табл. 1-3, рис. 1, 2.

Кліматологічна стандартна норма (1961-1990 рр.) свідчить про такий розподіл повторюваності ясного стану неба за загальною хмарніс-

тю: найменшу повторюваність (23 %) фіксують на заході, яка поступово збільшується на півночі (25,6 %), центрі (26,7 %) та півдні (31,4 %). Повторюваність похмурого стану неба за загальною хмарністю, навпаки, найменша на півдні (52,2 %), поступово зростає від сходу

Таблиця 1

Довгоперіодична складова змін повторюваності (%) ясного (чисельник) та похмурого (знаменник) стану неба за загальною та нижньою хмарністю в різних регіонах

Період, роки	Північ	Захід	Центр	Схід	Південь
	загальна хмарність				
1961-1990	25,6 / 56,7	23,0 / 59,0	26,7 / 55,6	28,1 / 54,1	31,4 / 52,2
1971-2000	25,3 / 55,3	21,9 / 57,8	25,2 / 54,8	27,4 / 52,0	30,1 / 51,4
1981-2010	24,2 / 54,2	20,8 / 55,5	23,5 / 53,7	25,9 / 50,3	29,5 / 49,9
Період, роки	нижня хмарність				
	Північ	Захід	Центр	Схід	Південь
1961-1990	48,8 / 34,5	47,1 / 33,0	49,5 / 35,1	48,7 / 36,3	55,7 / 31,3
1971-2000	49,6 / 31,2	47,0 / 31,3	49,9 / 32,7	49,2 / 34,8	56,4 / 28,2
1981-2010	49,6 / 29,4	46,3 / 30,6	49,6 / 30,9	49,7 / 33,2	57,2 / 25,6

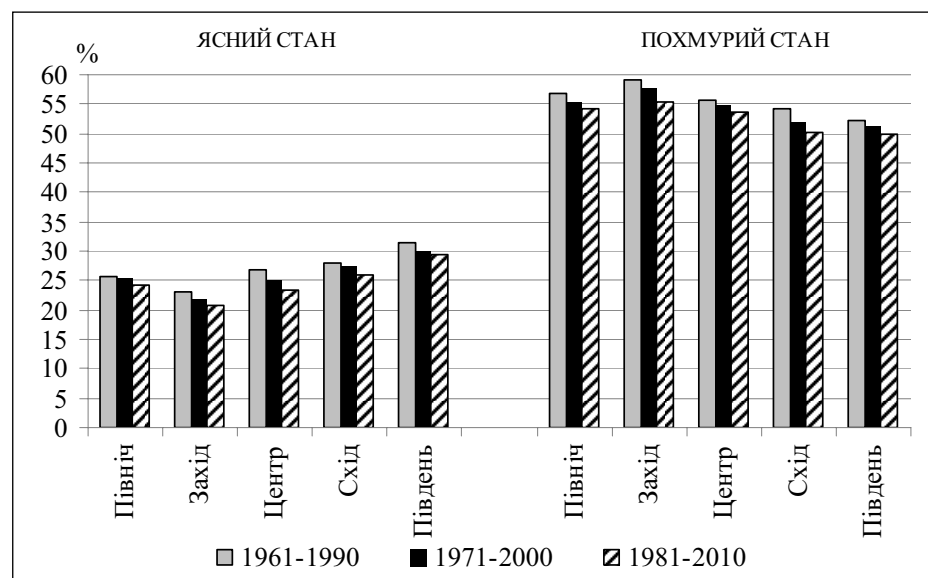


Рис. 1. Довгоперіодична складова змін повторюваності (%) ясного та похмурого стану неба за загальною хмарністю

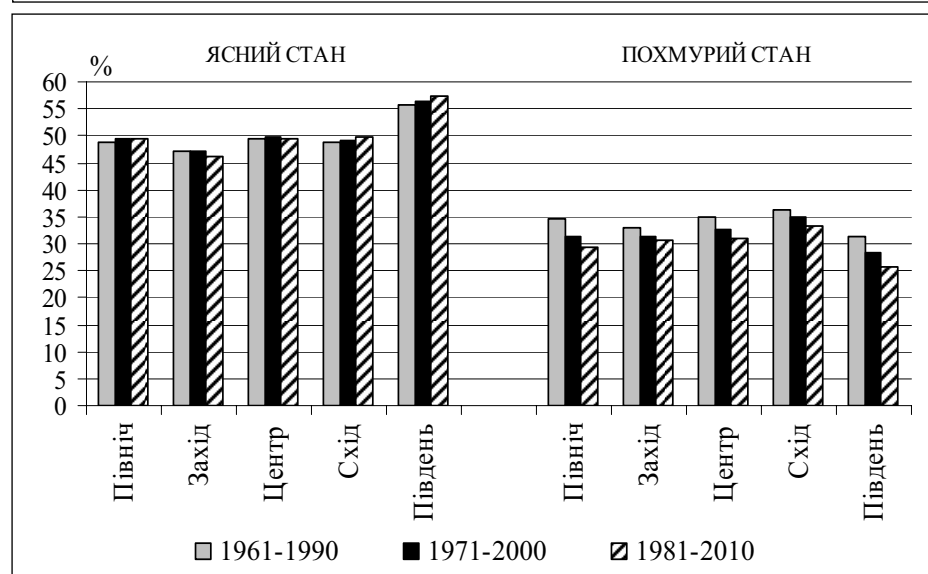


Рис. 2. Довгоперіодична складова змін повторюваності (%) ясного та похмурого стану неба за нижньою хмарністю

(54,1 %) до центру (55,6 %), далі на північ (56,7 %) і найбільше (59 %) на заході (табл. 1).

За нижньою хмарністю повторюваність ясно-го неба найменша на заході (47,1 %), незначно більша на півночі та сході (48,8 і 48,7 %), збільшується в центрі (49,5 %) і найбільша на півдні (55,7 %).

За наведеними даними повторюваність ясно-го неба за нижньою хмарністю майже вдвічі більша порівняно із загальною, а просторовий розподіл менш виражений. Повторюваність похмурого стану неба за нижньою хмарністю також не має чіткого розподілу по території: найменша вона на півдні та заході (31,3 і 33 %), дещо більша на півночі та центрі (34,5 і 35,1 %) і найбільша на сході (36,3 %).

Тенденція змін просторового розподілу повторюваності ясно-го й похмурого стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю з часом (інші два тридцятиріччя) практично зберігається.

Кількісно зміни повторюваності ясно-го чи похмурого стану неба, що визначені за довгоперіодичною складовою, свідчать про зменшення в кліматичному розрізі повторюваності ясно-го (на 2-3 %) й похмурого (на 2-4 %) стану неба за загальною хмарністю. Відчутніше зменшення ясно-го стану неба відмічали в центральних районах (на 3 %), а похмурого – у східних (на 4 %).

Зміни повторюваності ясно-го й похмурого стану неба за нижньою хмарністю складніші: у північних, східних і південних районах фіксували незначне збільшення ясно-го стану неба (на 1 %), на заході зменшення (на 1 %) , а в центральних районах без змін. Повторюваність похмурого неба в усіх регіонах тільки зменшувалась (на 3-6 %). Найсуттєвіше зменшення було в північних, центральних і південних районах (на 4-6 %).

Тенденції кліматичних змін повторюваності ясно-го та похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю визначають і дані лінійних трендів (табл. 2, 3).

Повторюваність ясно-го стану неба за загальною хмарністю зменшується значимо практично на всій території за винятком Ковеля й Запоріжжя, де кількість ясних днів незначно зростає. Також значуще зменшується й повторюваність похмурого стану неба, тільки в Семенівці, Ковелі й Полтаві фіксують не значиме збільшення.

За нижньою хмарністю тенденції кліматичних змін складніші. Переважає збільшення повторюваності ясно-го стану неба – на півночі, півдні та в Закарпатті (значуще в 55 % випадків), а на заході, дещо на сході – здебільшого зменшення (значуще в 60 % випадків). Водночас повторюваність похмурого стану неба практично на всій території значимо зменшується.

Таблиця 2

Характеристика змін повторюваності ясно-го стану неба (чисельник) й похмурого (знаменник) за загальною хмарністю в 1961-2010 рр.

Станція	Коефіцієнт тренду	Рівень достовірності	Станція	Коефіцієнт тренду	Рівень достовірності	Станція	Коефіцієнт тренду	Рівень достовірності
Семенівка	-0,0865 0,0443	0,1351 0,0254	Вінниця	-0,1362 -0,1678	0,2401 0,3115	Полтава	-0,2003 0,0685	0,467 0,0678
Чернігів	-0,0845 -0,1338	0,1253 0,2344	Івано-Франківськ	-0,1632 -0,2031	0,3854 0,2881	Харків	-0,0619 -0,2605	0,0677 0,4694
Суми	-0,1178 -0,1653	0,1718 0,2507	Кіровоград	-0,0888 -0,0883	0,1539 0,0928	Тернопіль	-0,2369 -0,0137	0,619 0,002
Ковель	0,0316 0,0703	0,024 0,0745	Дніпропетровськ	-0,2233 -0,1306	0,4553 0,1804	Черкаси	-0,1961 -0,0542	0,3362 0,0423
Луцьк	-0,0599 -0,3584	0,0777 0,6113	Кривий Ріг	-0,1737 -0,0188	0,392 0,006	Луганськ	-0,1296 -0,1261	0,215 0,1603
Рівне	-0,0171 -0,0905	0,0094 0,1203	Донецьк	-0,1329 -0,1584	0,2226 0,2452	Запоріжжя	0,0024 -0,1134	0,0001 0,1644
Житомир	-0,0007 -0,1153	0,0001 0,1817	Ужгород	-0,0966 -0,106	0,151 0,1077	Миколаїв	-0,1789 -0,0313	0,3646 0,0155
Київ	-0,0923 -0,1435	0,1647 0,2688	Чернівці	-0,091 -0,237	0,1543 0,3403	Херсон	-0,0069 -0,1826	0,0007 0,3161
Львів	-0,1751 -0,0778	0,4198 0,0586	Любашівка	-0,1111 -0,0523	0,2313 0,0359	Сімферополь	-0,0294 -0,021	0,0133 0,0064
Хмельницький	-0,2138 -0,0228	0,4917 0,0057	Одеса	-0,2985 -0,0519	0,6034 0,0517			

Таблиця 3

Характеристика змін повторюваності ясного стану неба (чисельник) й похмурого (знаменник) за нижньою хмарністю в 1961-2010 рр.

Станція	Коефіцієнт тренду	Рівень достовірності	Станція	Коефіцієнт тренду	Рівень достовірності	Станція	Коефіцієнт тренду	Рівень достовірності
Семенівка	0,0038 -0,0614	0,0002 0,032	Вінниця	-0,0399 -0,309	0,015 0,5238	Полтава	-0,0964 -0,0982	0,081 0,0978
Чернігів	0,0906 -0,3495	0,0893 0,6596	Івано-Франківськ	-0,0454 0,0724	0,0164 0,0402	Харків	-0,1792 0,1206	0,3078 0,1448
Суми	0,0752 -0,5993	0,0654 0,7672	Кіровоград	0,0258 -0,0924	0,0074 0,1223	Тернопіль	-0,2476 -0,3506	0,5095 0,537
Ковель	-0,3094 0,2693	0,3971 0,3666	Дніпропетровськ	-0,1432 -0,1003	0,1989 0,1425	Черкаси	0,0432 -0,2641	0,0166 0,3364
Луцьк	-0,0496 -0,0733	0,0221 0,0454	Кривий Ріг	0,089 -0,3372	0,0729 0,5792	Луганськ	0,2916 -0,4678	0,4497 0,7225
Рівне	-0,2448 0,0796	0,4019 0,0349	Донецьк	-0,0432 -0,0913	0,022 0,1086	Запоріжжя	0,2541 -0,3318	0,3681 0,5465
Житомир	0,1196 -0,3561	0,1649 0,6432	Ужгород	0,2002 -0,1848	0,3474 0,3145	Миколаїв	0,0093 -0,4213	0,0013 0,7142
Київ	0,1479 -0,2421	0,2058 0,4386	Чернівці	0,1154 -0,4544	0,1088 0,6362	Херсон	-0,1726 -0,0416	0,2498 0,0177
Львів	0,0069 0,0908	0,0009 0,1171	Любашівка	0,2249 -0,3637	0,3567 0,5966	Сімферополь	-0,0361 -0,0552	0,0174 0,0921
Хмельницький	-0,0982 -0,2613	0,0858 0,3593	Одеса	0,0326 -0,361	0,0117 0,5973			

Більше деталізують зміни повторюваності ясного та похмурого стану неба в часі середні значення за послідовні десятиріччя (табл. 4).

Таблиця 4

Повторюваність (%) ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю в окремі десятиріччя

Період, роки	Загальна хмарність		Нижня хмарність	
	ясний стан	похмурий стан	ясний стан	похмурий стан
1961-1971	27,6	56,5	48,8	36,5
1971-1980	26,1	57,4	49,2	34,6
1981-1990	26,1	53,7	51,7	30,0
1991-2000	24,4	53,0	50,1	29,3
2001-2010	23,1	53,5	48,5	29,8

Стійкі зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба протягом досліджуваного періоду спостерігали через послідовне зменшення від одного до іншого десятиріччя повторюваності ясного стану неба за загальною хмарністю та похмурого за нижньою.

Зміни повторюваності похмурого стану неба за загальною хмарністю та ясного за нижньою теж схожі між собою тим, що в основному вони були в період 1961-1990 рр. (синхронно відмічали як збільшення, так і зменшення між десятиріччями), а також зменшились в останні два десятиріччя.

Повторюваність похмурого стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю зменшилась найзначніше (4-5 %) між другим і третім десятиріччям. Зменшення повторюваності ясного стану неба за загальною хмарністю було менш помітним (~ 2 % між першим і другим, а також між третім і четвертим десятиріччями), за нижньою хмарністю – між другим і третім (на 2,5 %).

Якщо розглядати послідовні зміни сумарної повторюваності ясного й похмурого стану неба впродовж п'яти десятиріч, то як за загальною, так і за нижньою хмарністю відмічають її поступове зменшення. Це зменшення свідчить про зростання повторюваності напів'ясного стану неба на всіх ярусах тропосфери.

Різниця повторюваності ясного або похмурого неба між загальною та нижньою хмарністю збільшується послідовно від першого до останнього десятиріччя. Це свідчить про зростання повторюваності хмар середнього та верхнього ярусів і зменшення повторюваності хмар нижнього ярусу (особливо фронтального походження), що можливо за зменшення активності циклонічної діяльності.

Тенденції змін повторюваності ясного та похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю за довгоперіодичною складовою (тридцятирічні ковзні 1 – 1961-1990, 2 – 1971-

2000, 3 – 1981-2010 рр.) у різні сезони року загалом по території та по регіонах указано в табл. 5 і 6.

Таблиця 5

Різниця повторюваності (%) ясного (чисельник) й похмурого (знаменник) стану неба за загальною та нижньою хмарністю між тридцятирічними ковзними в різні сезони

Хмарність	Тридцятиріччя	Зима	Весна	Літо	Осінь
Загальна	Між 1 і 2	-0,0/-3,1	-0,7/-1,1	-1,9/-0,0	-1,5/-0,5
	Між 2 і 3	-1,8/-0,4	-0,1/-2,2	-0,8/-1,5	-0,8/-1,3
Нижня	Між 1 і 2	1,3/-4,5	0,5/-2,3	-0,2/-1,0	0,1/-1,9
	Між 2 і 3	-1,6/-1,1	1,1/-2,8	-0,0/-1,1	-0,1/-1,5

Таблиця 6

Різниця повторюваності (%) ясного (чисельник) й похмурого (знаменник) стану неба за загальною та нижньою хмарністю між тридцятирічними ковзними в різних регіонах

Регіон	Тридцятиріччя	Зима	Весна	Літо	Осінь
Північ	Між 1 і 2	-0,1/-2,3	0,2/-1,7	-0,6/-1,0	-0,6/-1,2
	Між 2 і 3	-2,1/ 0,9	0,2/-2,0	-0,6/-1,2	-0,8/-0,7
Захід	Між 1 і 2	-0,1/-3,0	-1,0/-0,9	-1,8/-0,3	-1,6/-0,4
	Між 2 і 3	-1,5/-0,8	-0,3/-2,4	-1,2/-1,8	-0,6/-2,4
Центр	Між 1 і 2	-0,3/-3,5	-1,0/-0,7	-2,9/ 1,0	-2,1/ 0,1
	Між 2 і 3	-2,3/-0,4	-0,8/-1,7	-1,3/-0,9	-1,3/-0,7
Схід	Між 1 і 2	-0,1/-3,4	-0,7/-1,8	-1,6/-1,1	-0,3/-2,0
	Між 2 і 3	-2,6/ 0,3	-0,6/-2,8	-0,8/-0,9	-1,0/-1,6
Південь	Між 1 і 2	0,4/-3,7	-1,0/-0,7	-2,4/ 0,9	-2,4/ 0,4
	Між 2 і 3	-1,0/-0,9	0,7/-2,3	-0,1/-1,3	-0,6/-0,7
нижня хмарність					
Північ	Між 1 і 2	1,2/-4,5	1,2/-3,5	0,6/-2,0	0,6/-2,9
	Між 2 і 3	-1,7/-0,7	1,5/-3,2	-0,1/-1,4	-0,1/-2,0
Захід	Між 1 і 2	0,3/-3,4	-0,9/-1,4	-0,5/-0,5	-0,3/-1,3
	Між 2 і 3	-1,7/-0,9	-0,2/-0,9	-0,9/ 0,2	-0,1/-1,2
Центр	Між 1 і 2	1,9/-5,5	0,6/-2,0	-0,8/-0,5	-0,1/-1,7
	Між 2 і 3	-2,0/-1,2	1,0/-3,2	-0,1/-1,3	-0,8/-1,1
Схід	Між 1 і 2	1,0/-3,6	0,3/-1,3	0,2/-0,2	0,6/-1,2
	Між 2 і 3	-2,4/ 0,1	1,9/-3,4	1,1/-1,6	0,8/-1,7
Південь	Між 1 і 2	2,4/-5,7	0,8/-3,0	-0,2/-1,4	-0,0/-2,2
	Між 2 і 3	-0,7/-2,4	2,3/-4,1	0,7/-1,8	0,0/-1,8

За загальною хмарністю відмічають тенденцію до зменшення повторюваності як ясного, так і похмурого стану неба впродовж усього досліджуваного періоду. Повторюваність ясного стану неба зменшувалась відчутніше (до 2 %) влітку й восени між 1 і 2 тридцятиріччям та продовжувалась взимку між 2 і 3. Повторюваність похмурого стану неба найбільше зменшилась (до 3 %) узимку між 1 і 2 тридцятиріччям та навесні між 2 і 3 (до 2 %).

За нижньою хмарністю тенденція змін повторюваності ясного й похмурого неба відрізнялись від відповідних тенденцій за загальною хмарністю. Так, повторюваність ясного стану неба переважно збільшувалась (особливо між 1 і 2 тридцятиріччям) у всі сезони (крім зими між 2 і 3 тридцятиріччям). Одночасно повторюваність похмурого стану неба зменшувалась у межах від 1,1 до 4,5 %.

За загальною хмарністю протягом досліджуваного періоду на всій території переважало зменшення повторюваності ясного неба, проте є відмінності між окремими регіонами.

На заході, в центрі та на сході зменшення повторюваності ясного неба спостерігали в усі сезони року, найбільше в центрі, далі на заході та сході. Це зменшення було помітніше влітку й восени в центрі та на заході, узимку та влітку на сході. На півночі зменшення було менш помітним, а навесні навіть спостерігали незначне збільшення. На півдні зменшення повторюваності ясного неба також було відчутнішим улітку та восени, проте взимку й навесні були періоди, коли частіше був ясний стан неба.

За нижньою хмарністю, навпаки, переважало збільшення повторюваності ясного стану неба, особливо на півночі, сході та півдні. На заході тільки взимку спостерігали окремі періоди, коли збільшувалась повторюваність ясного неба, навесні, улітку й восени вона зменшувалась. У центрі зменшення фіксували влітку та восени, взимку й навесні були періоди, коли ясний стан неба переважав.

Повторюваність похмурого стану неба за загальною хмарністю в усіх регіонах весь час зменшувалась, найбільше в такій послідовності – захід, схід, південь, північ, центр. Найпомітніше зменшення відбувалось узимку та навесні, менш за все – улітку. В окремі періоди відмічали і збільшення: узимку на півночі і сході, влітку в центрі та на сході, восени в центрі.

Повторюваність похмурого стану неба за нижньою хмарністю зменшувалась значніше, ніж за загальною, у всіх регіонах протягом усього досліджуваного періоду. Це зменшення було

найбільшим узимку й навесні, найменшим – улітку.

У всіх регіонах найзначніші зміни повторюваності ясного (збільшення) й похмурого (зменшення) стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю відбулись узимку між першим і другим десятиріччями, тобто зима в другому десятиріччі була малохмарною (табл. 7). Така ж тенденція (тільки меншою мірою) продовжувалась і навесні на півночі, центрі та сході, тоді як на заході й півдні фіксували зменшення повторюва-

ності ясного стану неба й збільшення похмурого. Улітку та восени на всій території зменшувалась повторюваність ясного стану неба й збільшувалась похмурого.

За річними даними саме в другому десятиріччі спостерігали найбільшу кількість загальної та нижньої хмарності, найменшу кількість ясних і найбільшу похмурих днів. Таким чином, зростання хмарності загалом за рік було завдяки тепловому періоду (літа та осені).

У третьому десятиріччі порівняно з другим

Таблиця 7

Різниця середніх значень повторюваності (%) ясного (чисельник) та похмурого стану неба (знаменник) за загальною та нижньою хмарністю між послідовними десятиріччями в різних регіонах

Region	Сезон	Хмарність	Між десятиріччями			
			1 і 2	2 і 3	3 і 4	4 і 5
Північ	Зима	Загальна	4,6/-6,0	-3,9/ 0,7	-1,0/-1,5	-1,8/ 3,7
		Нижня	6,4/-8,3	-0,4/-3,5	-0,1/-1,8	-3,5/ 3,7
	Весна	Загальна	0,3/-1,5	3,3/-6,4	-3,0/2,9	0,3/-2,7
		Нижня	2,1/-4,2	5,7/-7,1	-2,6/0,7	4,0/-3,9
	Літо	Загальна	-2,1/ 0,6	-1,5/-0,9	1,9/-2,8	-2,5/ 0,1
		Нижня	0,5/-3,2	-1,0/-0,8	2,8/-2,0	0,3/-1,9
	Осінь	Загальна	-1,0/ 1,7	-0,2/-3,1	-0,6/-0,8	-1,7/ 0,9
		Нижня	-0,9/-1,8	3,3/-5,3	0,6/-1,5	-3,3/ 0,9
Захід	Зима	Загальна	2,7/-2,7	-2,1/-3,2	-0,8/-3,1	-1,8/ 2,3
		Нижня	2,2/-4,2	2,3/-7,1	-3,4/ 1,1	-5,0/ 4,0
	Весна	Загальна	-2,4/ 3,8	2,1/-6,7	-2,5/ 0,2	-0,7/-0,6
		Нижня	1,1/-1,7	3,9/-6,2	-5,6/ 3,7	0,8/ 0,2
	Літо	Загальна	-5,4/ 6,7	0,0/-3,8	0,1/-3,7	-4,4/ 2,1
		Нижня	-1,4/-0,4	0,6/-1,2	-0,4/ 0,0	-3,5/ 1,9
	Осінь	Загальна	-3,9/ 5,4	3,2/-8,5	-4,4/ 1,8	-0,9/-0,7
		Нижня	-1,7/ 0,1	5,0/-7,0	-4,2/ 2,8	-1,7/ 0,9
Центр	Зима	Загальна	4,1/-6,4	-4,3/-0,2	-0,9/-4,0	-2,0/ 3,2
		Нижня	7,1/-7,9	0,6/-4,5	-1,9/-3,9	-5,6/ 5,1
	Весна	Загальна	0,4/-1,0	-0,6/-2,0	-3,0/ 1,0	1,2/-4,7
		Нижня	1,2/-1,2	6,1/-6,2	-5,4/ 1,4	2,3/-5,6
	Літо	Загальна	-6,9/ 5,1	-1,9/-0,2	0,3/-2,0	-2,6/-0,7
		Нижня	-2,7/ 0,9	0,0/ 0,3	0,4/-2,7	-0,8/-2,0
	Осінь	Загальна	-4,2/ 4,2	1,0/-3,7	-2,9/-0,3	-2,5/ 2,1
		Нижня	-2,6/ 1,7	5,1/-5,8	-2,6/-0,9	-6,1/ 3,9
Схід	Зима	Загальна	5,5/-7,6	-5,6/ 0,6	-0,3/-3,0	-2,4/ 3,5
		Нижня	5,8/-5,7	-3,8/-1,1	0,9/-2,9	-4,8/ 4,7
	Весна	Загальна	1,5/-2,2	1,2/-7,4	-4,9/ 4,3	2,0/-5,8
		Нижня	-1,4/ 1,6	5,5/-7,2	-3,1/ 1,6	3,6/-5,3
	Літо	Загальна	-3,3/ 2,5	0,5/-5,1	-2,1/-0,5	-1,3/-0,1
		Нижня	0,1/ 2,0	-1,7/ 0,3	-0,9/-3,0	-0,4/-2,8
	Осінь	Загальна	-2,6/ 2,8	2,5/-6,5	-0,9/-2,3	-5,5/ 4,5
		Нижня	-3,5/ 3,9	5,0/-5,7	0,5/-1,7	-3,9/ 2,4
Південь	Зима	Загальна	3,7/-5,9	-1,7/-2,4	-0,9/-2,8	-0,5/ 2,5
		Нижня	5,7/-6,7	1,3/-5,7	0,2/-4,6	-3,0/ 3,3
	Весна	Загальна	-1,6/ 0,8	1,8/-5,0	-3,4/ 2,0	3,9/-4,6
		Нижня	-0,7/-1,0	4,8/-6,7	-1,9/-1,7	4,6/-4,6
	Літо	Загальна	-8,7/ 7,1	1,0/-3,9	0,4/-0,5	-1,9/ 0,7
		Нижня	-3,5/ 1,1	1,3/-2,8	1,5/-2,3	-0,8/-0,5
	Осінь	Загальна	-6,5/ 4,8	4,2/-6,3	-4,7/ 2,8	-2,0/ 2,6
		Нижня	-3,0/ 0,8	5,5/-6,6	-2,5/-1,0	-3,6/ 2,5

переважало збільшення повторюваності ясного стану неба та зменшення похмурого за загальною та нижньою хмарністю, що стійко фіксували навесні, улітку і восени на заході, сході й півдні, навесні та восени – на півночі, у центрі – восени за загальною, а за нижньою – навесні і восени, тобто такий стан спостерігали більшу частину року. Тому саме в третьому десятиріччі за річними даними мали найменшу кількість загальної та нижньої хмарності.

У четвертому десятиріччі малохмарну погоду (збільшення ясного та зменшення похмурого стану неба) спостерігали за загальною та нижньою хмарністю на півночі, заході й центрі тільки влітку. На сході за загальною хмарністю протягом усього року зменшувалась повторюваність як ясного, так і похмурого стану неба (тільки навесні зростала повторюваність похмурого стану), за нижньою хмарністю навесні ситуація була подібна, а взимку й восени зростала повторюваність ясного стану та зменшувалась повторюваність похмурого, тобто зростала повторюваність хмар середнього та верхнього ярусів. На півдні за загальною хмарністю теж навесні (ще й восени) хмар було більше, бо зменшувалась повторюваність ясного стану та збільшувалась похмурого, за нижньою хмарністю таку ситуацію мали взимку й влітку, тобто навесні й восени більше було хмар нижнього ярусу, а взимку й влітку, навпаки, переважали хмари середнього та верхнього ярусів. Збільшення хмар середнього та верхнього ярусів призвели загалом за рік до зростання бала загальної хмарності, кількість нижньої хмарності залишилась без змін.

У п'ятому десятиріччі сезонні зміни (порівняно з четвертим десятиріччям) повторюваності ясного й похмурого стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю мали однаковий характер на всій території. Узимку й восени хмар було більше, тому що зменшувалась повторюваність ясного й збільшувалась похмурого стану неба (тільки на заході такий стан спостерігали не восени, а влітку). Навесні, навпаки, хмар було менше. Річні дані в п'ятому десятиріччі мало відрізняються від даних четвертого.

Висновки

За тридцятирічними ковзними повторюваність ясного стану неба за загальною хмарністю зменшилась на 2-3 % (найбільше в центрі, на 3 %), похмурого – на 2-4 % (найбільше на сході, на 4 %). Зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба за нижньою хмарністю складніші: на півночі, сході й півдні фіксували незначне збільшення ясного стану неба (на 1 %), на за-

ході – зменшення на 1 %, а в центрі – без змін. Повторюваність похмурого неба в усіх регіонах тільки зменшувалась на 3-6 % (найбільше на півночі, у центрі й на півдні, на 4-6 %).

За лінійними трендами повторюваність ясного й похмурого стану неба за загальною хмарністю значимо зменшується практично на всій території. За нижньою хмарністю тенденції кліматичних змін складніші. Переважає збільшення повторюваності ясного стану неба, в основному на півночі, півдні та в Закарпатті (значуще в 55 % випадків), а на заході, децю на сході – здебільшого зменшення (значуще в 60 % випадків). Одночасно повторюваність похмурого стану неба практично на всій території значимо зменшується.

Загалом на всій території стійкі зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба протягом досліджуваного періоду спостерігали через послідовне зменшення від одного до іншого десятиріччя повторюваності ясного стану неба за загальною хмарністю та похмурого за нижньою. Зміни повторюваності похмурого стану неба за загальною хмарністю та ясного за нижньою теж схожі між собою – в основному вони були в період 1961-1990 рр. (синхронно відмічали як збільшення, так і зменшення між десятиріччями), а також зменшення в останні два десятиріччя.

Сумарна повторюваність ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю впродовж п'яти десятиріч поступово зменшувалась. Це зменшення свідчить про зростання повторюваності напів'ясного стану неба на всіх ярусах тропосфери.

Різниця повторюваності ясного або похмурого неба між загальною та нижньою хмарністю збільшується послідовно від першого до останнього десятиріччя, що вказує на зростання повторюваності хмар середнього та верхнього ярусів і зменшення повторюваності хмар нижнього ярусу (особливо фронтального походження). Такий стан можливий у разі зменшення активності циклонічної діяльності.

У всіх регіонах найзначніші зміни повторюваності ясного (збільшення) й похмурого (зменшення) стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю відбулись узимку між першим і другим десятиріччями, тобто зима в другому десятиріччі була малохмарною, такий стан продовжувався й навесні на Лівобережжі. Улітку та восени на всій території зменшувалась повторюваність ясного стану неба і збільшувалась похмурого, що загалом призвело до найбільшої кількості хмар.

У третьому десятиріччі порівняно з другим

більшу частину року переважало збільшення повторюваності ясного стану неба та зменшення похмурого за загальною та нижньою хмарністю.

У четвертому десятиріччі спостерігали складний характер змін між сезонами року. Зменшення повторюваності ясного стану неба й збільшення похмурого за загальною й нижньою хмарністю, тобто хмарну погоду на всій території спостерігали навесні. Узимку та восени за загальною хмарністю переважав напів'ясний стан неба. Улітку було малохмарно як за загальною, так і за нижньою хмарністю.

У п'ятому десятиріччі сезонні зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю мали однаковий характер на всій території. Узимку й восени хмар було більше, тому що зменшувалась повторюваність ясного й збільшувалась похмурого стану неба (тільки на заході такий стан спостерігали не восени, а влітку). Навесні, навпаки, хмар було менше.

* *

1. Бардин М.Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. — 1995. — № 11. — С. 24-37.
2. Дзюба А.В., Панин Г.Н. Механизм формирования многолетних направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 5. — С. 5-27.
3. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Ч. 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // Метеорология и гидрология. — 2008. — № 6. — С. 5-19.
4. Петросяни М.А., Гуцина Д.Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. — 1998. — № 5. — С. 5-24.
5. Попова В.В., Шмакин А.Б. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 12. — С. 15-24.

Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ

Т.Н. Заболоцкая, Т.Н. Шпиталь

Климатические изменения повторяемости ясного и пасмурного состояния неба по общей и нижней облачности

По данным наблюдений 29 метеорологических станций Украины определены изменения повторяемости ясного и пасмурного состояния неба согласно общей и нижней облачности в период 1961-2010 гг. Длиннопериодическую составляющую климатических изменений оценивали по тридцатилетним скользящим и линейным трендам, флуктуации — по разнице сезонных и годовых значений повторяемости между последовательными десятилетиями.

Ключевые слова: климатические изменения, повторяемость ясного и пасмурного состояния неба, общая и нижняя облачность, длиннопериодическая составляющая, флуктуации, тридцатилетние скользящие, последовательные десятилетия.

T.M. Zabolotska, T.M. Shpital

The climatic changes of clear and overcast sky repeatability for total and lower cloudiness

From the data of supervision 29 meteorological stations of Ukraine are defined changes of repeatability of a clear and cloudy condition of the sky according to the general and bottom cloudiness during 1961-2010. Estimated the long-period component of climatic changes in above parameters by means of trends and sliding of thirty years, and fluctuations — due to seasonal and annual differences between successive decades.

Keywords: climatic changes, clear and overcast sky repeatability, total and lower cloudiness, long-period component, fluctuations, sliding of thirty years, successive decades.