

**Study of the air pollution state monitoring and directions for its improvement in Kiev city
Dyachuk V.A., Bashtannik M.P., Kiptenko E.M., Kozlenko T.V., Nadtochii L.M.**

The state of air pollution monitoring in Kyiv city was investigated. There were discussed the relevance of observation system optimization, advantages and disadvantages of the current monitoring network for air pollution in the urban atmosphere. The united complex approach was used for justification of mentioned optimization, which was combined with emission inventories databases, meteorological air pollution potential characteristics, ratified ground-based measurements data of main pollutants, and demographic urban features. The paper discusses main meteorological parameters which drive pollutants' dispersion. Analysis provide evidence of its huge impact for the pollution regime formation and tendency to the decline of air quality, which must be taken in consideration during optimization for atmospheric air monitoring. The process of optimization for atmospheric air monitoring takes into account the orographic urban features used mainly for the purpose of statistically valid data provision. Therefore, in small microclimatic zones the monitoring sites are located within relief bodies, which are representative for the area. The research estimates results of boundary pollutants' content caused by middle and high stationary emission sources, defined from the methodology connected with combined IEM diffusive model. Analysis of observations confirms the accuracy of defined structure for urban pollution fields. The combine usage of modeling results and observations allows increasing of atmospheric air quality estimations and helps to optimize the network with minimal amount of necessary representative sites.

Keywords: air pollution, emissions, concentrations, pollutants, air quality, observational system

Надійшла до редколегії 01.08.2019

УДК 551.576.3

Заболоцька Т.М.¹, Шпиг В.М.¹, Ціла А.Ю.^{1,2}

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

**ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ХМАРНОГО ПОКРИВУ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ
ВПРОДОВЖ ПЕРІОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

Ключові слова: загальна та нижня хмарність, стан неба, основні форми хмар, регіон, повторюваність, коззні, флуктуації.

Вступ. Глобальне потепління, що почалося з другої половини ХХ ст., продовжується до теперішнього часу. Серед причин, що зумовлюють його, називають вплив антропогенного фактору та природну мінливість клімату великої значущості. Остаточного стверджуючого висновку щодо причин потепління поки що не досягнуто, тому дослідження різних кліматичних параметрів з використанням багаторічного статистичного матеріалу є доцільним.

Хмарність є однією з важливих характеристик клімату. Знаючи режим хмарності, можна визначати особливості циркуляції атмосфери, планетарне альbedo кліматичної системи, ефективне випромінювання підстильної поверхні, можливий розподіл опадів, тому кількісна оцінка змін хмарності в сучасних умовах є актуальною.

Досліджень змін хмарного покриву виконано небагато. Особливості кліматичних змін загальної хмарності над всіма континентами та островами визначали американські вчені [10]. За міжнародним проектом ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) вивчали мінливість глобальної осередненої хмарності [9]. В Росії досліджували зміни загальної та нижньої хмарності окремо над європейською та азійською частинами [8]. В [1-6] наведені результати досліджень щодо оцінки змін хмарного покриву над територією України.

В усіх цих роботах використано різні як роки спостережень, так і показники хмарного покриву, тому тенденції змін, тим більше, над різними континентами важко зіставити. Єдиним результатом, що можна виділити, є більша мінливість нижньої хмарності порівняно із загальною.

Мета та методика дослідження. Метою даної роботи є узагальнення даних спостережень за хмарністю на території України впродовж 1961-2017 рр. та визначення кліматичних змін основних показників хмарного покриття: кількість загальної та нижньої хмарності, повторюваність різного стану неба та повторюваність основних форм хмар.

Методика дослідження – це аналіз кліматичних змін річних значень загальної та нижньої хмарності, середніх місячних та сезонних значень повторюваності різного стану неба (ясний, напівясний, похмурий) та річних значень повторюваності основних форм хмар над територією України за даними спостережень на 27 метеорологічних станціях впродовж 1961-2017 рр. й додатково на 3-х станціях (Сімферополь, Донецьк, Луганськ) за 1961-2013 рр. Довгоперіодичну складову змін визначено за 30-річними ковзними: 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 й 1991-2017 рр., а флуктуації – за 10-річними середніми значеннями.

Результати дослідження. Зміни покриття небосхилу хмарами відрізняються за загальною та нижньою хмарністю. Побудовані тренди свідчать, що впродовж періоду глобального потепління в Україні спостерігали як зростання, так і зменшення кількості хмар, проте за загальною хмарністю переважає незначне її зростання (0,07 %/10 років), в той час як за нижньою переважає зменшення (-0,5 %/10 років). Рівень достовірності трендів загальної хмарності тільки для третини станцій (27 %) був у межах 0,15-0,25 (тобто тренди повністю охоплювали коливання), а для нижньої – в межах 0,15-0,61 для 57 % станцій. Зменшення загальної хмарності більше фіксували на півночі та сході, за нижньою – на півночі, в центрі та на півдні.

Більш точною та поширеною кількісною характеристикою хмар є повторюваність ясного (0-2 бали), напівясного (3-7 балів) та похмурого (8-10 балів) стану неба. Відповідний стан неба фіксують у кожний з 8-ми строків спостережень за добу. Для всіх 30 станцій були розраховані середні місячні, середні сезонні та річні значення, надалі за цими даними – середні десятирічні та тридцятирічні ковзні як за загальною, так і за нижньою хмарністю.

Зміни стану неба по різному проявлялися на території України. Отримані дані були згруповані для 5-ти регіонів (захід, північ, центр, схід, південь), табл.1.

Таблиця 1. Зміни повторюваності (%) ясного, напівясного та похмурого стану неба між 30-річними ковзними за загальною та нижньою хмарністю

Регіон	Стан неба								
	ясний			напівясний			похмурий		
	між I та II	між II та III	між III та IV	між I та II	між II та III	між III та IV	між I та II	між II та III	між III та IV
загальна хмарність									
захід	-0,9	-1,0	-1,3	1,9	3,1	1,8	-1,0	-2,1	-0,4
північ	-0,4	-1,0	-0,6	2,2	2,0	0,8	-1,6	-0,8	-0,2
центр	-1,7	-1,5	-0,5	2,5	2,3	2,0	-1,0	-0,7	-1,5
схід	-1,0	-1,8	-2,0	3,0	3,2	2,5	-2,0	-1,5	-0,5
південь	-1,2	-0,7	-0,2	2,0	1,8	0,6	-0,5	-1,5	-0,2
нижня хмарність									
захід	-0,2	-1,3	-1,8	1,8	1,3	0,7	-1,6	0,0	1,3
північ	1,2	0,6	0,6	2,8	2,2	0,6	-4,0	-2,8	-1,4
центр	0,3	-0,9	-1,0	2,0	2,3	1,8	-2,3	-1,7	-0,7
схід	0,3	-0,8	0,0	0,8	2,5	2,0	-1,0	-1,8	-2,0
південь	0,7	0,5	-1,2	2,7	1,8	1,8	-3,3	-2,3	-0,6

Ясний стан неба за загальною хмарністю зменшувався у всіх регіонах, проте з різною інтенсивністю. На заході та сході це зменшення посилювалося з часом. На півдні та в центрі, навпаки, довгоперіодичні зміни вказували на поступове призупинення зменшення. На півночі відмічали зростання повторюваності ясного неба в третьому 30-річчі й суттєве призупинення в четвертому.

Зміни частоти ясного неба за нижньою хмарністю були більш складними. Тільки на заході хід змін був таким як і за загальною хмарністю, тобто фіксували інтенсивніше з часом зменшення повторюваності 0-2 балів. В інших регіонах зміни не мали спрямованого напрямку, були різнонаправленими: на півночі спостерігали весь час зростання повторюваності, на півдні також переважало зростання, проте зменшення в кінці досліджуваного періоду (четверте 30-річчя). Більш менш подібні зміни були в центрі та на сході – невелике зростання у другому 30-річчі, надалі зменшення у третьому й подальше зменшення в центрі та без змін на сході.

Похмурий стан неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю зменшувався впродовж досліджуваного періоду в усіх регіонах. Винятком є західний регіон за нижньою хмарністю. Зменшення частоти хмарності 8-10 балів спостерігали тільки в другому 30-річчі, в третьому повторюваність залишалася без змін, а в четвертому, навпаки, зросла. За загальною хмарністю можна стверджувати єдине: на всій території країни повторюваність похмурого стану неба зменшувалася з різною інтенсивністю як в просторі, так і в часі. Зміни повторюваності похмурого стану неба за нижньою хмарністю були більш виражені: для всіх регіонів, крім сходу, характерне поступове зниження інтенсивності зменшення. Також можна відмітити, що найсуттєвіше зменшення повторюваності похмурого неба спостерігали на півночі та півдні.

Напівясний стан неба впродовж досліджуваного періоду тільки збільшувався, як за загальною, так і за нижньою хмарністю, проте з різною інтенсивністю в часі. За загальною хмарністю зростання повторюваності 3-7 балів фіксували впродовж I-III тридцятиріч і тільки в IV це зростання стало повільнішим. За нижньою хмарністю характер змін був подібним, дещо менш інтенсивним порівняно із загальною хмарністю, крім півночі та півдня. В цих регіонах зростання частоти напівясного неба за нижньою хмарністю було більшим ніж за загальною хмарністю.

Загалом для всієї території України відмінності між 30-річними ковзними за критерієм Стюдента були статистично значущі з ймовірністю 93-99 %. На сьогодні кліматичні зміни, що почалися з 70-х рр. XX ст., продовжуються, тому має інтерес порівняння двох послідовних тридцятиріч (1961-1990 та 1991-2017 рр.), табл. 2.

Повторюваність **ясного стану неба** за загальною хмарністю зменшувалася впродовж 1991-2017 рр. в усіх регіонах, особливо в січні (7%), вересні (6,4%) та жовтні (5,8%). За нижньою хмарністю це зменшення було менш виражене. Максимальне зменшення в усіх регіонах було в січні (8,2%). Загалом, тільки на заході впродовж усього року частота ясного неба зменшувалася, в інших регіонах, особливо на півночі та півдні, фіксували її зростання або незмінність. **Напівясний стан неба** збільшувався на всій території країни, частіше за загальною хмарністю.

Повторюваність **похмурого стану неба** за загальною хмарністю майже по всій країні та впродовж усього року зменшувалася, особливо на сході (до 6%), найбільше у листопаді та грудні. Виділяється жовтень, коли на більшій частині території (центр, схід, південь) зростала повторюваність похмурого неба. За нижньою хмарністю частота похмурого неба майже протилежна: на заході вона тільки зростала (7%), в інших регіонах зменшувалася – найбільше на півночі (8%) та півдні (6%). Найсуттєвіші зменшення характерні холодному періоду року.

Таблиця 2. Річний хід змін повторюваності (%) різного стану неба між послідовними періодами 1961-1990 та 1991-2017 рр. за загальною (жирним шрифтом) та нижньою (курсивом) хмарністю

Регіон	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
ясний стан неба													
захід	-6 <i>-11</i>	-4 <i>-4</i>	-3 <i>-4</i>	-2 <i>-2</i>	-2 <i>-2</i>	-4 <i>-2</i>	-3 <i>-3</i>	-4 <i>-1</i>	-6 <i>-5</i>	-6 <i>-6</i>	-1 <i>-1</i>	-1 <i>-1</i>	-4 <i>-3</i>
північ	-8 <i>-8</i>	-4 <i>-2</i>	-1 <i>3</i>	0 <i>1</i>	-2 <i>-3</i>	-2 <i>-2</i>	0 <i>1</i>	0 <i>2</i>	-4 <i>-1</i>	-3 <i>-1</i>	-1 <i>1</i>	-1 <i>1</i>	-2 <i>0</i>
центр	-8 <i>-9</i>	-3 <i>-1</i>	-3 <i>-1</i>	-1 <i>-1</i>	-3 <i>-2</i>	-5 <i>-2</i>	-3 <i>1</i>	-3 <i>0</i>	-7 <i>-3</i>	-6 <i>1</i>	-2 <i>2</i>	-1 <i>-4</i>	-4 <i>-1</i>
схід	-8 <i>-9</i>	-4 <i>-4</i>	-4 <i>2</i>	-3 <i>1</i>	-2 <i>1</i>	-7 <i>0</i>	-4 <i>2</i>	-5 <i>2</i>	-7 <i>-2</i>	-7 <i>-3</i>	0 <i>3</i>	-1 <i>2</i>	-2 <i>-1</i>
південь	-5 <i>-4</i>	0 <i>5</i>	-1 <i>4</i>	0 <i>2</i>	1 <i>1</i>	-4 <i>-1</i>	-1 <i>2</i>	-2 <i>1</i>	-8 <i>3</i>	-7 <i>-3</i>	0 <i>0</i>	-1 <i>0</i>	-2 <i>0</i>
напівясний стан неба													
захід	7 <i>7</i>	7 <i>5</i>	6 <i>5</i>	6 <i>2</i>	7 <i>3</i>	8 <i>3</i>	8 <i>2</i>	8 <i>2</i>	6 <i>1</i>	7 <i>4</i>	8 <i>4</i>	8 <i>5</i>	6 <i>6</i>
північ	4 <i>8</i>	5 <i>7</i>	6 <i>7</i>	5 <i>6</i>	5 <i>4</i>	5 <i>6</i>	5 <i>2</i>	5 <i>2</i>	4 <i>4</i>	4 <i>6</i>	5 <i>8</i>	5 <i>9</i>	5 <i>6</i>
центр	9 <i>11</i>	8 <i>8</i>	6 <i>7</i>	6 <i>7</i>	5 <i>6</i>	6 <i>5</i>	7 <i>4</i>	8 <i>2</i>	5 <i>4</i>	6 <i>6</i>	8 <i>7</i>	10 <i>11</i>	7 <i>6</i>
схід	7 <i>6</i>	7 <i>6</i>	8 <i>6</i>	8 <i>4</i>	8 <i>2</i>	9 <i>3</i>	7 <i>2</i>	7 <i>1</i>	8 <i>2</i>	5 <i>3</i>	9 <i>6</i>	9 <i>8</i>	8 <i>4</i>
південь	6 <i>8</i>	6 <i>8</i>	5 <i>8</i>	4 <i>5</i>	4 <i>6</i>	4 <i>3</i>	3 <i>3</i>	2 <i>2</i>	4 <i>4</i>	3 <i>5</i>	4 <i>7</i>	7 <i>9</i>	4 <i>6</i>
похмурий стан неба													
захід	-1 <i>9</i>	-3 <i>6</i>	-4 <i>3</i>	-4 <i>5</i>	-5 <i>5</i>	-4 <i>3</i>	-5 <i>7</i>	-4 <i>5</i>	0 <i>11</i>	-1 <i>9</i>	-7 <i>3</i>	-7 <i>9</i>	-4 <i>7</i>
північ	4 <i>-3</i>	-1 <i>-8</i>	-6 <i>-15</i>	-4 <i>-11</i>	-3 <i>-5</i>	-3 <i>-6</i>	-6 <i>-7</i>	-4 <i>-6</i>	0 <i>-4</i>	-1 <i>-8</i>	-5 <i>-11</i>	-5 <i>-13</i>	-2 <i>-8</i>
центр	-1 <i>-3</i>	-5 <i>-8</i>	-5 <i>-9</i>	-4 <i>-6</i>	-2 <i>-4</i>	-1 <i>-3</i>	-4 <i>-6</i>	-1 <i>-2</i>	-2 <i>1</i>	1 <i>-2</i>	-6 <i>-8</i>	-8 <i>-10</i>	-4 <i>-5</i>
схід	-9 <i>1</i>	-4 <i>-4</i>	-4 <i>-8</i>	-5 <i>-5</i>	-5 <i>-4</i>	-3 <i>-3</i>	-4 <i>-4</i>	-4 <i>-3</i>	-1 <i>-1</i>	1 <i>0</i>	-9 <i>-9</i>	-7 <i>-9</i>	-6 <i>-4</i>
південь	-1 <i>-5</i>	-7 <i>-12</i>	-4 <i>-8</i>	-4 <i>-9</i>	-3 <i>-6</i>	0 <i>-4</i>	-2 <i>-5</i>	-1 <i>-3</i>	5 <i>-1</i>	4 <i>-2</i>	-5 <i>-9</i>	-7 <i>-9</i>	-2 <i>-6</i>

Про квазіперіодичний коливальний характер змін повторюваності різного стану неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю свідчать і флуктуації змін між десятиріччями в різні сезони року. Повторюваність того чи іншого стану неба могла збільшуватися чи зменшуватися або залишатися без змін (різниця до 2%) між послідовними десятиріччями. Відповідна характеристика змін подано в табл. 3, 4.

Ясний стан неба за загальною хмарністю. Та чи інша кількість хмар зумовлена дією циркуляційних процесів, радіаційних факторів та особливостями підстильної поверхні, які по різному проявляються на території країни. Представлені дані свідчать про складний квазіперіодичний характер змін ясного неба. Впродовж досліджуваного періоду майже вдвічі переважало (66 проти 34 %) зменшення частоти ясного неба, проте практично в половині випадків ці зміни були незначними (на 1-2 %). Суттєве збільшення частоти 0-2 балів по всій території країни спостерігали взимку впродовж 1971-1980 рр., менш істотно весною та восени впродовж 1981-1990 рр. та влітку впродовж 2011-2017 рр. Характерною рисою змін повторюваності ясного неба є тривалість періоду одного знаку змін: а) **взимку** зменшення частоти 0-2 балів спостерігали по всій території впродовж трьох десятиріч (з 1981 до 2010 р.); **весною** впродовж майже всього періоду досліджень фіксували невизначеність (зміни незначні й різного знаку в окремих регіонах), тільки

в 1991-2000 рр. по всій території було зменшення частоти 0-2 балів; **влітку** невизначеність була характерна з 1981 до 2000 р., зменшення частоти 0-2 балів у 1971-1980 та 2001-2010 рр. та зростання в 2011-2017 рр.; **восени** зменшення повторюваності 0-2 балів було в 1971-1980 та 1991-2010 рр., переважно зростання в 1981-1990 рр. й невизначеність у 2011-2017 рр.

Таблиця 3. Зміни повторюваності ясного та похмурого стану неба в різні сезони року за загальною хмарністю

Регіон	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ясний стан неба										
захід	+	—*	—*	—	—*	—*	+	—	—*	—*
північ	+	—	—*	—	0	+	+	—	—*	+
центр	+	—	—*	—	+	+	—*	—	+	+
схід	+	—	—*	—*	—*	+	+	—	+	—
південь	+	—*	—*	—*	+	—*	+	—	+	—*
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—	—*	—*	—	+	—	+	—	—*	—
північ	—*	—*	+	—*	+	—*	—*	—*	—	—*
центр	—	—*	+	—*	+	—	+	—	—	+
схід	—	+	—	+	—*	—	+	—*	—	0
південь	—	+	+	—*	+	—	+	—	—	+
похмурий стан неба										
	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—	—	—	+	+	+	—	+	—*	—*
північ	—	+	—*	+	—*	—	—	+	—	—
центр	—	—*	—	+	—	—*	—*	+	—	—*
схід	—	0	—	+	—	—*	—	+	—	—
південь	—	—*	—	+	—	+	—	+	—	—*
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	+	—	—	+	—	+	—	+	—*	+
північ	+	—*	—*	+	—*	+	—	—*	+	—*
центр	+	—*	—*	—*	—	+	—	—*	+	—
схід	+	—	—*	—*	—	+	—	—*	+	—
південь	+	—	—*	0	—	+	—	+	+	—

Примітка: 1 – зміни між десятиріччями 1961-1970 ÷ 1971-1980; 2 – 1971-1980 ÷ 1981-1990; 3 – 1981-1990 ÷ 1991-2000; 4 – 1991-2000 ÷ 2001-2010; 5 – 2001-2010 ÷ 2011-2017 рр. ; + зростання повторюваності; – зменшення; * незначні зміни (1-2 %) або коли більшість станцій регіону фіксують визначений знак змін.

Похмурий стан неба за загальною хмарністю. Знак змін повторюваності похмурого стану неба був протилежним та більш чітким відносно повторюваності ясного неба. Також зменшення переважало зростання частоти похмурого неба (68 проти 32 %). Суттєве зростання повторюваності 8-10 балів по всій території фіксували взимку в 2001-2010, влітку та восени в 1971-1980 рр. Також зростання, проте незначне, відмічали весною 1991-2000 та восени в 2001-2010 рр. Суттєве зниження повторюваності 8-10 балів по всій території було взимку в 1971-1980, весною, літом та восени в 1981-1990, взимку та літом у 1991-2000 та протягом усього року впродовж 2011-2017 рр.

Таблиця 4. Зміни повторюваності ясного та похмурого стану неба в різні сезони року за нижньою хмарністю

Регіон	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ясний стан неба										
захід	+	+	—*	—	+	+	+	—	+	—*
північ	+	+	+	—	+	+	+	—	+	+
центр	+	—*	—*	—	+	+	+	—	+	+
схід	+	—*	—*	—	+	—*	+	—	+	+
південь	+	+	—*	—	+	—*	+	—*	+	—
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—*	—*	—*	—	+	—*	+	—	—*	—*
північ	+	—	+	0	+	—*	+	+	—	+
центр	—	—*	+	+	+	—	+	—	—	+
схід	—	—*	+	+	+	—	+	0	—	+
південь	—	+	+	—*	—*	—*	+	—	—	+
похмурий стан неба										
	Зима					Весна				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—	—	—*	+	—*	—*	—	+	+	+
північ	—	—	—	+	—*	—	—	—*	—	+
центр	—	—*	—	+	—	—*	—	+	—	—*
схід	—	0	—	+	—	+	—	+	—	—
південь	—	—	—	+	—	—*	—	+	—	+
	Літо					Осінь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
захід	—*	—*	+	+	—*	—*	—	+	+	+
північ	—	—*	—*	—*	—*	—*	—	—*	—*	+
центр	+	+	—*	—	—*	+	—	—*	+	—*
схід	+	+	—*	—*	—	+	—	—*	+	—
південь	+	—	—*	—*	+	—*	—	—*	+	—*

Примітка: 1 – зміни між десятиріччями 1961-1970 ÷ 1971-1980; 2 – 1971-1980 ÷ 1981-1990; 3 – 1981-1990 ÷ 1991-2000; 4 – 1991-2000 ÷ 2001-2010; 5 – 2001-2010 ÷ 2011-2017 рр.; + зростання повторюваності; – зменшення; * незначні зміни (1-2 %) або коли більшість станцій регіону фіксують визначений знак змін.

Ясний стан неба за нижньою хмарністю. Незначне зростання повторюваності ясного стану неба найчастіше спостерігали в такій послідовності: весна, зима, літо, осінь (тобто мало місце збільшення впливу антициклоніальних умов). Найбільше зростання (інтенсивне й по всій території України) фіксували взимку 1971-1980 рр., весною та восени 1981-1990 рр.; незначне збільшення, також по всій території, відмічали взимку, влітку та восени в 2011-2017 рр., крім того, весною в 2001-2010 та влітку в 1991-2000 рр. Зменшення частоти ясного неба по всій території було взимку в 2001-2010, весною в 1991-2000, влітку в 1971-1980 (крім півночі) й незначно в 1981-1990, восени в 1971-1980 й 2001-2010 рр.

Похмурий стан неба за нижньою хмарністю. Повторюваність похмурого стану неба переважно зменшувалася (70 проти 30 %). Взимку зменшення спостерігали впродовж всього досліджуваного періоду, крім 2001-2010 рр. В це десятиріччя вона суттєво збільшувалася на всій території. Збільшення повторюваності похмурого неба (незначно) на всій території, крім півночі, фіксували також весною в 1991-2000 та восени 2001-2010 рр. Найбільше зменшення частоти 8-10 балів відмічали взимку в 1971-1980, весною та восени в 1981-1990 рр. Загалом, весною, влітку, восени зменшення повторюваності похмурого стану неба було практично вдвічі частішим за зростання, а взимку – в чотири рази.

В [7] зазначено, що впродовж 1961-2017 рр. в просторовому розподілі приземного атмосферного тиску виділяються два десятиріччя: майже повсюдне зростання тиску в 1971-1980 та зниження в 2001-2010 рр., тобто, перевага відповідно антициклональних та циклональних умов. Розвитку хмарності в таких умовах повністю відповідають флуктуації повторюваності стану неба, а саме: на всій території країни в 1971-1980 рр. спостерігали зростання повторюваності ясного та зменшення похмурого стану неба й, навпаки, в 2001-2010 рр. – зростання похмурого й зменшення ясного стану як для загальної, так і нижньої хмарності. В інші десятиріччя зростання тиску фіксували на 60 % території, відповідно зменшення на 40 %, що сприяло більш складному розподілу показників хмарного покриття.

Флуктуації змін повторюваності основних форм хмар впродовж 1961-2017 рр. представлені в табл. 5.

Таблиця 5. Зміни повторюваності основних форм хмар між десятиріччями в різних регіонах території України

Регіон	Нумерація між десятиріччями	Основні форми хмар										
		Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Fr nb
захід	1	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	–
	3	+	+	+	+	–	–	+	–	+	–	–
	4	+	+	0	–	–	–	+	–	+	–	–
	5	+	+	–	–	+	–	–	+	+	+	–
північ	1	–	–	–	+	–	–	+	+	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	–
	3	–	–	–	+	–	+	+	–	+	–	–
	4	+	+	+	–	–	+	+	–	–	–	–
	5	+	+	+	–	+	–	–	–	–	+	+
центр	1	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	+	+	+	–	–	–
	3	–	–	–	+	–	–	+	–	+	–	–
	4	–	–	–	+	–	–	+	–	+	–	–
	5	+	+	+	+	+	–	–	+	–	+	+
схід	1	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–	+
	2	–	–	–	–	–	+	+	–	+	–	+
	3	+	+	–	+	+	–	–	–	+	–	+
	4	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+
	5	+	+	+	+	+	+	–	+	–	+	+
південь	1	+	+	–	+	–	–	+	–	–	–	–
	2	–	–	–	+	+	–	+	+	+	+	–
	3	+	+	–	+	–	–	+	–	+	–	–
	4	+	+	–	+	–	+	+	–	+	–	+
	5	–	+	–	–	–	–	+	–	+	–	–

Примітка: 1 – зміни між десятиріччями 1961-1970 ÷ 1971-1980; 2 – 1971-1980 ÷ 1981-1990; 3 – 1981-1990 ÷ 1991-2000; 4 – 1991-2000 ÷ 2001-2010; 5 – 2001-2010 ÷ 2011-2017 рр.; + зростання повторюваності; – зменшення.

У всіх регіонах, крім сходу, переважало зменшення повторюваності основних форм хмар: захід – 56, північ – 60, центр – 62, південь – 55 %. На сході, навпаки, кількість хмар збільшувалася, випадків зі зростанням повторюваності було більше (58 проти 42 %). Для таких регіонів як захід, північ та центр найбільше зменшувалася

повторюваність хмар у 1971-1980 рр. (75 %), а зростала в 2011-2017 рр. (55 %); на сході – зменшення в 1981-1990 рр. (36 %), зростання – впродовж 2001-2017 рр. (75-85 %); на півдні – зменшення в 2011-2017 рр. (75 %), а зростання – в 2001-2010 рр. (65 %).

Якщо аналізувати еволюцію хмарності по всій території України послідовно між десятиріччями, то досить чітко проявляється послідовне зростання кількості хмар, табл. 6.

Таблиця 6. Характеристика змін повторюваності основних форм хмар між десятиріччями

Десятиріччя, між якими визначено зміни повторюваності різних форм хмар, рр.	Тип змін повторюваності основних форм хмар	
	зменшення (%)	зростання (%)
1961-1970 ÷ 1971-1980	67	33
1971-1980 ÷ 1981-1990	58	42
1981-1990 ÷ 1991-2000	56	44
1991-2000 ÷ 2001-2010	51	49
2001-2010 ÷ 2011-2017	42	58

Наведені дані свідчать, що значне зменшення хмарності відбулося між першим та другим десятиріччями, саме тоді, коли на всій території (90 %) зростав приземний атмосферний тиск (тобто переважав розвиток антициклональних умов) [7]. Надалі впродовж двох послідовних десятиріч (до 2000 р.) відбувалося повільне зменшення і вже в 2001-2010 рр. практично зрівнялися повторюваності зменшення та зростання (відповідно 51 та 49 %), тому що в цьому десятиріччі за даними [7] на більшій частині території (86%) знижувався приземний тиск, тобто посилювався циклогенез. В останньому десятиріччі вже переважало зростання повторюваності хмар (58 проти 42 %). Тип змін повторюваності основних форм хмар представлено в табл. 7.

Таблиця 7. Тип змін повторюваності основних форм хмар над територією країни

Тип змін, %	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Frnb
зростання	52	56	24	72	44	36	76	36	48	20	32
зменшення	48	44	76	28	56	64	24	64	52	80	68

Впродовж досліджуваного періоду над територією країни зростала повторюваність Cb, Ac, Cc та Ci (відповідно 76, 72, 56, 52 %). Хмари інших форм зменшували свою повторюваність в такій послідовності Ns, Cs, Fr nb, St, Cu, As, Sc (80, 76, 68, 64, 64, 56, 52 %). На заході найбільше зростала повторюваність Ci, Cc, Ac, Cb; на півночі та в центрі – Ac, Cb; на сході – Ci, Cc, Ac, As, Cu, Fr nb; на півдні – Ci, Cc, Ac, Cb, Sc. Загалом відносно повторюваності всіх форм хмар зростання становило 45, а зменшення – 55 %.

За досліджуваний період найбільше зростала повторюваність Ac та Cb. Обидві форми хмар виникають внаслідок динамічної нестійкості атмосфери: Ac утворюються на хвилях Кельвіна–Гельмгольца, Cb – в повітряних масах з підвищеною турбулентністю та нестійкою стратифікацією. Всі отримані дані свідчать про квазіперіодичну динамічну нестійкість, яка в досліджуваний період охоплювала всю атмосферу.

Висновки. Впродовж досліджуваного періоду загальна хмарність незначно зростала (0,07 %/10 років), нижня хмарність зменшувалася (-0,5 %/10 років).

Кількісні зміни показників хмарного покриву мали квазіперіодичний коливальний характер. За даними 30-річних ковзних **ясний стан неба** за загальною

хмарністю зменшувався у всіх регіонах з різною інтенсивністю, в той час як за нижньою хмарністю відповідні зміни не мали спрямованого напрямку та відрізнялися між регіонами. **Похмурий стан неба** як за загальною, так і за нижньою хмарністю зменшувався впродовж досліджуваного періоду в усіх регіонах; найсуттєвіше зменшення повторюваності похмурого неба спостерігали на півночі та півдні. **Напівясний стан неба** тільки збільшувався як за загальною, так і за нижньою хмарністю, проте з різною інтенсивністю в часі.

Квазіперіодичний коливальний характер змін повторюваності різного стану неба за загальною та нижньою хмарністю підтверджується флуктуаціями змін між десятиріччями в різні сезони року. Повторюваність того чи іншого стану неба могла збільшуватися чи зменшуватися або залишатися без змін (різниця до 2 %) між послідовними десятиріччями. Міждесятирічні зміни повторюваності різного стану неба були зіставні з відповідними змінами приземного атмосферного тиску.

У всіх регіонах, крім сходу, переважало зменшення повторюваності основних форм хмар: захід – 56, північ – 60, центр – 62, південь – 55 %. На сході, навпаки, кількість хмар збільшувалася, випадків зі зростанням повторюваності було більше (58 проти 42 %).

Зниження повторюваності основних форм хмар послідовно між десятиріччями зменшувалося до 2000 р. У 2001-2010 рр. зниження й зростання були майже рівнозначні, у 2011-2017 рр. переважало зростання повторюваності.

Впродовж досліджуваного періоду над всією територією України зростала повторюваність С_b, А_s, С_s та С_i (відповідно 76, 72, 56, 52 %). Загалом відносно повторюваності всіх форм хмар зростання становило 45, а зменшення – 55 %.

Найбільше зростала повторюваність А_s та С_b. Обидві форми хмар виникають внаслідок динамічної нестійкості атмосфери, яка квазіперіодично змінювалася в досліджуваний період.

Список літератури

1. Заблоцька Т.М. Динаміка змін хмарного покриття над територією України в умовах сучасного клімату. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2010. Вип. 259. С. 91-103. 2. Заблоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М. Особливості змін хмарного покриття над територією України протягом 1961-2008 рр. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2011. Вип. 260. С. 54-66. 3. Заблоцька Т.М., Шпиталь Т.М. Кліматичні зміни повторюваності основних форм хмар. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2011. Вип. 261. С. 87-104. 4. 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. 5. Заблоцька Т.М., Шпиталь Т.М. Кліматичні зміни повторюваності ясного й похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2013. Вип. 265. С. 7-14. 6. Заблоцька Т.М., Шпиг В.М. Кількісні зміни хмарності як індикатор періоду глобального потепління. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2015. Вип. 267. С. 23-27. 7. Заблоцька Т.М., Ціла А.Ю. Кліматичні зміни атмосферного тиску на території України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. Т. 2 (53). С. 66-74. 8. Хлебникова Е.И., Сааль И.А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России. Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 5-13. 9. Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. № 85. P.167-172. 10. 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.

References

1. Zabolotska T.M. Dynamika zmin khmarnogo pokryvu nad terytorieyu Ukrainy v umovakh suchasnogo klimatu. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2010. Vyp. 259. S. 91-103. 2. Zabolotska T.M., Pidgurska V.M., Shpytal T.M. Osoblyvosti zmin khmarnogo pokryvu nad terytorieyu Ukrainy protiyagom 1961-2008 rr. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2011. Vyp. 260. S. 54-66. 3. Zabolotska T.M., Shpytal T.M. Nayk. Klimatychni zminy povtoriuvanosti osnovnykh form khmar. Nayk. Pr.

UkrNDGMI. 2011. Vyp. 261. S. 87-104. **4.** Zabolotskaya T.M., Podgurskaya V.M., Shpital T.M. Osobennosti izmeneniy oblachnogo pokrova nad territoriy Ukrainy. V kn. Globalnye i regionalnye izmeneniya. 2011. K.: Nika-Centr. S. 174-183. **5.** Zabolotska T.M., Shpytal T.M. Klimatychni zminy povtoriuvanosti yasnogo i pokhmyrogo stanu neba za zagalnoyu ta nuzhnyoyu khmarnistiu. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2013. Vyp. 265. S. 7-14. **6.** Zabolotska T.M., Shpyg V.M. Killisni zminy khmarnosti yak indykator periodu globalnogo poteplinnia. Nayk. Pr. UkrNDGMI. 2015. Vyp. 267. S. 23-27. **7.** Zabolotska T.M., Tsila A.Yu. Klimatychni zminy atmosfernogo tysku na terutorii Ukrainy. Hidrologiya, gidrokimiya i gidroekologiya. 2019. T. 2 (53). S. 66-74. **8.** Khlebnikova E.I., Saal I.A. Osobennosti klimaticheskikh izmenenii oblachnogo pokrova nad territoriy Rossii. Meteorologiya i gidrologiya. 2009. № 7. S. 5-13. **9.** Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. № 85. P.167-172. **10.** 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.

Зміни показників хмарного покриву над територією України впродовж періоду глобального потепління

Заболоцька Т.М., Шпиг В.М., Ціла А.Ю.

Визначено та проаналізовано зміни показників хмарного покриву (кількість загальної та нижньої хмарності, повторюваність ясного, напівясного, похмурого стану неба та повторюваність основних форм хмар) впродовж 1961-2017 рр. Використано довгоперіодичну складову (30-ти річні ковзні) та флуктуації між десятиріччями. Визначені зміни зіставні з відповідними змінами приземного атмосферного тиску.

Ключові слова: загальна та нижня хмарність, стан неба, основні форми хмар, регіон, повторюваність, ковзні, флуктуації.

Изменения показателей облачного покрова над территорией Украины в течение периода глобального потепления

Заболоцкая Т.Н., Шпиг В.М., Цила А.Ю.

Определены и проанализированы изменения показателей облачного покрова (количество общей и нижней облачности, повторяемость ясного, полужасного, пасмурного неба и повторяемость основных форм облаков) в течение 1961-2017 гг. Использованы длиннопериодические составляющие (30-ти летние скользящие) и флуктуации между десятилетиями. Определенные изменения согласуются с наблюдаемыми изменениями приземного атмосферного давления.

Ключевые слова: общая и нижняя облачность, состояние неба, основные формы облаков, регион, повторяемость, скользящие, флуктуации.

The changes of cloud cover characteristics over territory of Ukraine during of the global warming

Zabolotska T.M., Shpyg V.M., Tsila A.Yu.

The statistical estimation of changes of the cloud cover characteristics was made by the data of the meteorological observations over Ukraine during 1961-2017. Such characteristics as the quantity of total and lower cloudiness, the frequency of clear and overcast sky, the frequency of main cloud forms were analyzed. Monthly, seasonal and annual observational data were used for computation of the trends, the sliding of thirty years (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 2001-2017) and the fluctuations between successive decades in regions (west, north, central, east and south). The clear sky frequency for total cloudiness was decreasing with different intensity in all regions. This decreasing was forcing all time on west and east and against the gradually stopping on central and south and forcing in third sliding of thirty years and stopping in fourth on north. The clear sky frequency for lower cloudiness was more complex and indeterminate. The overcast sky frequency for total and lower cloudiness was decreasing all time in all regions with different intensity in space and time. The half-clear sky frequency for total and lower cloudiness was forcing all time in all regions with different intensity in space and time. The quasi-periodicity changes of the cloud cover characteristics for total and lower cloudiness confirm the fluctuations of the changes between the successive decades. These changes agree with the corresponding changes of air pressure on level sea. The decreasing of the frequency of main cloud forms was 55 %, the increasing was 45 %. The increasing of the frequency Cb, Ac, Cc and Ci was all time over all territory

Key words: total and clear cloudiness, sky condition, main cloud forms, region, frequency, sliding of thirty years, fluctuations.

Надійшла до редколегії 10.09.2019