

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ПОВТОРЮВАНOSTІ ОСНОВНИХ ФОРМ ХМАР

За даними спостережень на 34 метеорологічних станціях України протягом 1961-2009 рр. визначено зміни повторюваності основних форм хмар: нижнього ярусу – Cu, Cb, St, Sc, Ns, Frnb, середнього – Ac, As та верхнього – Ci, Cs, Cc. Довгоперіодичну складову кліматичних змін оцінено за тридцятирічними ковзними й лінійними трендами, флуктуації – за змінами між послідовними десятиріччями. Оцінку кліматичних змін повторюваності хмар різних форм виконано за сезонами року для регіонів: північ, захід, центр, схід, південь.

Ключові слова: кліматичні зміни, повторюваність хмар різних форм, довгоперіодична складова, тридцятирічні ковзні, тренди, послідовні десятиріччя, сезон, регіон.

Вступ

За час глобального потепління було оцінено кліматичні зміни різних метеорологічних величин, зокрема й повторюваності хмар різних форм [1-3], проте чітких закономірностей не отримано. У [1] наведено, що повторюваність всіх форм хмар у всі сезони року над азіатською частиною Росії збільшувалась від 1936 до 1980 року. Над європейською частиною в північних і центральних регіонах збільшилась тільки повторюваність хмар верхнього й середнього ярусів (Ci, Cs, Cc й Ac, As), а сумарна повторюваність хмар нижнього ярусу (Cu, Cb, St, Sc, Ns, Frnb) протягом 1966-1980 рр. зменшилась відносно періоду 1936-1965 рр.

У роботі [2] за даними спостережень на 150 метеорологічних станціях протягом 1951-2000 рр. та актинометричної мережі Росії протягом 1976-2005 рр. визначено зміни повторюваності хмар верхнього ярусу (Ci, Cs, Cc), нижнього (St, Sc, Ns, Frnb) та хмар вертикального розвитку (Cu, Cb) й отримано такі результати:

- залежність змін від сезону року практично відсутня;
- існує тенденція до збільшення частоти хмар верхнього ярусу в теплий період року;

– у всі сезони року помітна тенденція до збільшення частки хмар вертикального розвитку зі швидкістю 1 % / 10 років взимку й 3 % / 10 років у теплий період;

– частка шарувато-дощових хмар зменшується зі швидкістю 1%/10 років над європейською частиною, а над азійською частиною зменшення було більшим у другій половині ХХ ст., ніж на початку ХХІ ст.

Зміни повторюваності основних форм хмар оцінювали й над всіма континентами та островами (5400 станцій) протягом 1971-1996 рр. [3]. Для перистих хмар (Сі) отримали від’ємний тренд над усіма континентами. У глобальному плані повторюваність хмар, в утворенні та подальшому розвитку яких бере участь конвекція, збільшувалась завдяки шарувато-подібним хмарам як нижнього, так і середнього ярусів.

Кожна хмара має свій механізм утворення, тому детальне дослідження кліматичних змін повторюваності основних форм хмар є актуальним у визначенні причин глобального потепління.

Матеріали та метод дослідження

Для дослідження кліматичних змін повторюваності основних форм хмар використано дані спостережень за хмарним покривом на 34 метеорологічних станціях, що рівномірно висвітлюють територію. Період дослідження тривав з 1961 до 2009 року включно. До аналізу залучено середні за місяць та рік розрахунки повторюваності форм хмар нижнього, середнього та верхнього ярусів.

Довгострокову складову кліматичних змін повторюваності основних форм хмар оцінювали за змінами між тридцятирічними ковзними (1961-1990, 1971-2000, 1981-2009 рр.) та лінійними трендами, флуктуації – за різницею між послідовними десятиріччями (1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2009 рр.). Отримані дані систематизовано за регіонами (північ, захід, центр, схід, південь) та сезонами року.

Результати досліджень та їх аналіз

До основних форм хмар відносяться хмари нижнього ярусу: шарувато-дощові Ns, розірвано шарувато-дощові Frnb, шаруваті St, шарувато-купчасті Sc, купчасті Cu та купчасто-дощові Cb; середнього ярусу: висококупчасті Ac та високошаруваті As; верхнього ярусу: перисті Ci, перисто-купчасті Cs та перисто-шаруваті Cs.

Просторовий розподіл цих форм хмар визначено за весь досліджуваний період і він має такі ознаки:

- Ns і Fmnb більше спостерігають на заході і півночі (>10 %), в центрі та на сході їх 6-7 %, на півдні – 3-4 %;
- St на півночі мають повторюваність ~10 %, на решті території – 5-7 %;
- Sc переважають на заході й на сході (20-25 %), на решті території близько 15 %;
- Cu, Cb мають майже однакову повторюваність на всій території (в межах 15-20 %);
- As більше фіксують на заході (~20 %), на сході та півдні біля 15 %, в центрі – 10 %.
- As мають незначну повторюваність, в центрі та півдні < 2 %, на півночі, заході й сході – 2-4 %,
- Ci, Cc, Cs рівнозначно спостерігають на всій території, їх загальна повторюваність складає близько 15 %, дві третини якої припадає на Ci.

Кліматичні зміни повторюваності хмар різних форм визначали за довгоперіодичною складовою (табл. 1) та лінійними трендами. Обидва чинники дають загальну картину змін.

Чіткої тенденції змін повторюваності Ci не визначено. На півночі, сході й півдні вони були незначними, на заході і в центрі спочатку спостерігали зменшення між першим і другим тридцятиріччям, а потім практично без змін.

Повторюваність Cc зростає на півночі, сході й півдні, на заході та в центрі зміни відсутні. Хмар Cs стало менше на заході, центрі й півдні, на півночі й сході спочатку теж фіксували зменшення, проте в подальшому на півночі відмітили зростання повторюваності Cs, а на сході без змін. Вказані хмари відносяться до хмар верхнього ярусу, механізм їх утворення різний, тому і характер кліматичних змін відрізняється.

Повторюваність As зростає на всій території, тільки на заході зростання було відчутнішим між першим і другим тридцятиріччям, а далі змін майже не було. Тоді як повторюваність іншої форми хмар середнього ярусу (As) всюди тільки зменшувалась.

Купчастих хмар (Cu) ставало більше в центрі і то незначно, на всій іншій території їхня кількість зменшувалась. У той же час повторюваність Cb зростала, проте на сході вона спочатку зросла, але в третьому тридцятиріччі зменшилась.

Повторюваність St зростала весь час тільки на півночі, на іншій території між першим і другим тридцятиріччями фіксували зменшення, а далі – без змін.

Таблиця 1

Довгоперіодична складова повторюваності (%) хмар різних форм у регіонах

Період, роки	Форма хмар										
	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Fr nb
	Північ										
1961-1990	11,7	0,3	1,6	16,3	4,5	7,2	5,5	8,2	14,1	4,6	7,0
1971-2000	11,7	0,3	1,3	18,7	4,1	6,9	7,7	8,8	12,5	3,6	6,0
1981-2009	11,9	0,5	1,5	21,0	3,6	6,6	8,9	9,1	11,5	3,2	5,5
Захід											
1961-1990	9,9	0,1	0,6	16,8	4,3	6,3	8,0	5,7	19,1	4,6	5,8
1971-2000	8,4	0,1	0,3	18,9	3,7	5,9	9,8	5,5	20,0	3,6	4,8
1981-2009	8,5	0,1	0,2	18,6	3,0	5,9	11,4	5,6	20,9	3,1	4,5
Центр											
1961-1990	13,1	0,3	0,8	13,4	2,6	8,0	7,7	8,6	14,4	4,2	5,5
1971-2000	11,9	0,2	0,5	14,8	2,1	8,1	10,6	8,1	15,2	2,9	4,4
1981-2009	12,0	0,3	0,4	15,5	1,9	8,2	12,6	8,0	16,0	2,1	3,7
Схід											
1961-1990	11,2	0,3	1,3	14,1	3,2	7,8	6,4	5,8	17,3	4,8	3,2
1971-2000	11,0	0,5	1,0	14,9	2,6	7,3	7,4	5,2	19,6	4,4	3,2
1981-2009	10,9	0,7	1,0	15,8	2,6	7,1	6,8	5,2	21,7	3,9	3,7
Південь											
1961-1990	13,9	0,7	2,0	14,1	2,5	11,0	6,7	6,2	14,6	3,6	3,4
1971-2000	13,7	1,0	1,5	15,8	2,2	10,4	7,6	6,0	15,5	2,7	2,5
1981-2009	13,9	1,3	1,2	16,5	2,0	9,9	8,0	6,0	16,7	2,4	2,3

Хмар Sc спостерігали менше на півночі, на всій іншій території їхня повторюваність суттєво збільшувалась.

Повторюваність хмар фронтального походження Ns й Fnb весь час і на всій території тільки зменшувалась. Винятком є схід, де спочатку повторюваність Fnb залишалась без змін, а потім навіть дещо зросла.

Для кожної форми хмар за даними спостережень на 34 станціях, що рівномірно висвітлюють територію України, було побудовано лінійні тренди, які теж визначають тенденції кліматичних змін. Отримано такі результати:

Загалом на території переважає значне зменшення повторюваності Ci, значуще зростання фіксують тільки на північному заході та південному сході.

Повторюваність Cs зменшувалась на заході й крайньому сході, на іншій території значуще зростала, особливо в Криму.

Повторюваність Cs практично на всій території зменшувалась, тільки на півночі, крайньому сході (значно) та в Криму зростала.

Повторюваність As майже всюди значуще зростала, крім північного заходу, Криму, окремих станцій, що розташовані біля великих водоймищ (слід зазначити, що в цих районах зростала повторюваність Sc).

Повторюваність As значно зменшувалась по всій території, тільки на південному сході спостерігали значуще зростання (як і Ci).

Зміни повторюваності Sc практично всюди значні й протилежні з просторовим розподілом повторюваності As. Там, де зростала повторюваність As, зменшувалась повторюваність Sc і навпаки. Загалом – зменшення на південному заході й північному сході, на іншій території – зростання. Слід зазначити, що на Правобережжі та в центрі Лівобережжя фіксують зростання як Sc, так і As.

Повторюваність St переважно всюди дуже зменшується. Зростання фіксують тільки на крайньому заході, включаючи північний захід. Також відмічають не значне зростання на північному сході.

Повторюваність Cu зменшується значуще майже на всій території, крім південного сходу й крайнього заходу, тоді як повторюваність Cb, навпаки, всюди збільшується.

Повторюваність Ns й Fnb значуще зменшувалась на всій території. Відмінність тільки в тому, що повторюваність Fnb зростала на крайньому сході.

Як довгоперіодична складова, визначена за тридцятирічними ковзними, так і лінійні тренди вказують на однакові тенденції змін повторюваності хмар різних форм за досліджуваний період. Загалом для території України ці **тенденції повторюваності різних форм хмар такі:**

Хмари верхнього ярусу (C_i, C_s, C_s) – переважає зменшення повторюваності C_i та C_s, проте зростання повторюваності C_s.

Хмари середнього ярусу (A_s, A_s) – повсюди зростання повторюваності A_s і зменшення A_s.

Хмари нижнього ярусу (C_u, C_b, S_t, S_c, N_s, F_{rn}b):

а) зменшення повторюваності C_u і зростання C_b;

б) зменшення повторюваності S_t (на півночі зростання) і зростання S_c (крім південного заходу й північного сходу);

в) повторюваність N_s всюди зменшується, повторюваність F_{rn}b теж зменшується, проте зростає на сході.

Детальнішу картину кліматичних змін повторюваності хмар різних форм висвітлюють дані табл. 2-5 (зміни в різних регіонах за сезонами року).

Розглянемо, як змінювалась повторюваність хмар різних форм на всій території за сезонами року.

Зима: чітких закономірностей у розповсюдженні C_i не виявлено. Між першим і другим десятиріччями (на півночі навіть до третього) спостерігали зростання повторюваності C_i на всій території, крім заходу, де фіксували зменшення. В останні десятиріччя зменшувалась повторюваність, менш виразно на сході та півдні, а на заході зростала.

Повторюваність C_s за досліджуваний період зростала на сході й півдні. У центрі протягом перших трьох десятиріч (1961-1990 рр.) вона не змінювалась, а далі спостерігали зменшення. На заході фіксували зменшення і тільки в останньому десятиріччі незначне зростання. На півночі зростання повторюваності C_s спостерігали в другому (1971-1980 рр.) й останньому (2001-2009 рр.) десятиріччях.

Повторюваність C_s практично всюди зменшувалась, тільки на півночі зміни від одного до іншого десятиріччя мали коливальний характер між зменшенням та зростанням.

Повторюваність A_s зростала протягом всього досліджуваного періоду на півночі й півдні, крім останнього десятиріччя на заході й у центрі, проте на сході впродовж трьох перших десятиріч (1961-1990 рр.)

незначно зменшувалась, у четвертому (1991-2000 рр.) зросла і знову зменшилась у п'ятому десятиріччі.

Таблиця 2

Повторюваність (%) хмар різних форм взимку протягом послідовних десятиріч за регіонами

Послідовні десятиріччя	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Frb
Північ											
1961-1970	6,1	0,1	1,9	7,5	6,3	0,5	0,9	15,6	17,1	11,0	12,2
1971-1980	6,9	0,3	0,9	9,2	4,1	0,5	2,2	18,1	15,6	8,5	9,9
1981-1990	7,8	0,1	1,4	13,4	6,6	0,2	5,1	18,1	10,5	7,2	11,3
1991-2000	6,9	0,1	0,9	15,7	4,5	0,3	6,9	19,4	14,3	7,0	9,1
2001-2009	5,9	0,4	1,4	16,4	4,7	0,4	8,9	18,3	14,5	6,0	9,4
Захід											
1961-1970	6,6	0,1	1,1	10,5	6,0	0,4	3,8	11,5	20,0	11,0	11,1
1971-1980	5,9	0,0	0,2	11,7	4,6	0,4	4,5	11,1	23,4	7,6	8,4
1981-1990	5,0	0,0	0,3	15,7	6,7	0,4	5,7	10,9	19,8	7,6	8,8
1991-2000	5,1	0,0	0,2	16,0	4,2	0,3	8,7	11,6	24,3	5,9	7,2
2001-2009	5,5	0,1	0,2	13,6	3,1	0,2	12,0	11,5	27,0	5,4	7,2
Центр											
1961-1970	6,6	0,1	0,9	6,2	3,6	0,6	1,9	18,8	16,1	10,5	11,2
1971-1980	8,8	0,1	0,5	8,7	2,3	0,7	2,6	17,2	18,4	7,5	8,0
1981-1990	7,9	0,1	0,7	10,1	6,4	0,7	5,5	18,4	13,6	7,4	6,7
1991-2000	7,2	0,0	0,2	12,3	3,1	0,9	7,8	17,3	19,9	5,0	7,1
2001-2009	7,2	0,0	0,2	11,8	3,0	1,5	13,6	15,9	21,3	3,2	6,1
Схід											
1961-1970	5,3	0,1	1,4	8,1	4,8	0,6	1,9	12,9	21,9	11,7	6,2
1971-1980	7,8	0,3	1,3	8,0	3,7	0,7	3,8	13,9	18,1	9,0	5,0
1981-1990	5,7	0,2	1,1	7,7	4,6	0,4	4,4	11,9	22,3	10,5	6,0
1991-2000	6,3	0,3	0,7	11,0	3,4	0,3	4,8	9,8	29,3	9,6	6,0
2001-2009	5,6	0,5	0,9	9,7	3,7	0,3	3,8	12,1	31,5	6,8	9,4
Південь											
1961-1970	8,8	0,3	2,5	10,4	3,9	4,1	3,8	11,9	20,3	11,4	7,0
1971-1980	10,2	0,7	2,1	11,5	2,9	4,3	5,5	11,1	20,4	7,4	5,1
1981-1990	9,7	0,6	1,8	12,2	3,0	4,2	5,6	14,8	17,9	6,5	4,9
1991-2000	8,8	0,7	1,1	15,2	2,8	2,8	6,1	11,9	25,5	5,0	3,2
2001-2009	9,8	1,6	0,9	14,1	2,3	2,4	8,3	11,1	26,9	4,1	4,7

Коливального характеру зміни, але однакові на всій території, були в повторюваності As: у другому десятиріччі – зменшення, у третьому – зростання, четвертому – зменшення, п'ятому – знову зменшення, крім півночі й сходу.

Зміни повторюваності Cu теж мали коливальний характер: у другому десятиріччі на всій території відмічали зростання, у третьому – зменшення, четвертому та п'ятому на півночі й центрі – зростання, а на заході, сході й півдні продовжувалось зменшення повторюваності Cu.

Повторюваність Сb протягом всього досліджуваного періоду зростала на всій території, тільки на сході в останньому десятиріччі (2001-2009 рр.) вона зменшилась.

Складний характер змін був у повторюваності St: схожі зміни були в центрі та на півдні, коли переважало зменшення, і тільки в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.) фіксували зростання. На заході теж переважало зменшення, але зростання фіксували в четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.). На півночі найбільше часу, упродовж чотирьох десятиріч (1961-2000 рр.), повторюваність St зростала. На сході зростання фіксували в другому (1971-1980 рр.) та останньому (2001-2009 рр.) десятиріччях.

Більш чіткі були закономірності змін повторюваності Sc: на заході, центрі й півдні переважало зростання повторюваності цих хмар і тільки в третьому десятиріччі фіксували зменшення. Певна схожість змін була на півночі й сході. Там спочатку (1971-1980 рр., а на півночі ще й 1981-1990 рр.) відмічали зменшення повторюваності Sc, потім – зростання. Характерним для всієї території є зростання повторюваності Sc у четвертому й п'ятому десятиріччях.

Повторюваність Ns протягом досліджуваного періоду на всій території тільки зменшувалась. Винятком є схід, де було зростання в третьому десятиріччі.

Зміни повторюваності Fgnb мали більш складний характер: на півночі, заході й сході зменшення спостерігали в другому й четвертому десятиріччях (відповідно 1971-1980 і 1991-2000 рр.), у третьому й п'ятому – зростання. У центрі та на півдні переважало зменшення повторюваності Fgnb майже протягом всього досліджуваного періоду (у центрі зростання фіксували в четвертому, а на півдні – у п'ятому десятиріччях).

Весна. Характерні риси змін повторюваності Сі: практично на всій території, крім півночі, до 2000 р. фіксували зменшення і тільки в п'ятому

десятиріччі було зростання повторюваності Сі, на півночі зростання було ще й у третьому десятиріччі (1981-1990 рр.).

Таблиця 3

Повторюваність (%) хмар різних форм навесні протягом послідовних десятиріч за регіонами

Послідовні десятиріччя	Сі	Сс	Сs	Ас	Аs	Сu	Сb	St	Sc	Ns	Fmb
Північ											
1961-1970	14,6	0,3	3,1	14,6	5,4	8,5	4,2	4,9	16,2	5,3	7,8
1971-1980	13,2	0,4	2,4	17,4	5,5	8,6	5,5	4,6	13,7	4,0	6,0
1981-1990	14,1	0,3	1,8	20,5	4,9	7,6	7,5	5,8	9,9	2,2	4,8
1991-2000	13,6	0,3	2,0	22,3	4,1	7,2	9,9	4,9	12,5	2,9	4,9
2001-2009	14,8	1,1	3,2	24,8	3,5	7,9	9,7	3,2	10,6	1,9	3,5
Захід											
1961-1970	13,6	0,2	1,3	15,6	4,5	7,2	8,4	3,5	20,0	4,8	5,8
1971-1980	12,5	0,1	0,9	17,4	5,5	7,2	7,9	2,7	19,2	3,9	4,9
1981-1990	9,2	0,1	0,4	21,1	4,5	7,0	9,5	4,0	17,3	2,7	3,7
1991-2000	9,0	0,1	0,3	20,6	3,0	6,6	13,2	2,5	22,1	2,3	3,3
2001-2009	12,0	0,2	0,4	18,3	2,0	6,9	14,3	2,2	21,8	1,9	3,5
Центр											
1961-1970	17,6	0,2	1,4	13,1	3,2	8,6	6,4	6,0	14,9	4,7	6,8
1971-1980	15,8	0,2	0,9	14,6	2,7	9,0	8,7	4,7	14,5	3,7	5,4
1981-1990	14,1	0,1	0,5	16,4	3,7	8,8	11,3	5,6	12,3	2,1	3,2
1991-2000	13,2	0,0	0,2	16,4	1,9	9,5	15,1	3,9	17,1	1,8	4,1
2001-2009	16,4	0,2	0,1	17,9	1,1	9,9	15,4	2,5	17,0	0,6	1,9
Схід											
1961-1970	14,1	0,4	2,4	16,4	4,5	7,8	5,2	4,1	16,6	4,8	3,5
1971-1980	13,8	0,3	1,8	14,5	3,5	8,5	8,3	3,9	14,5	4,3	3,1
1981-1990	12,1	0,4	1,8	15,6	2,7	8,5	7,9	3,8	17,8	3,3	2,7
1991-2000	11,5	0,7	1,2	18,6	3,3	6,6	8,5	2,3	24,6	3,9	3,0
2001-2009	14,2	1,0	1,4	19,4	3,0	9,0	6,4	2,2	20,2	2,5	3,8
Південь											
1961-1970	16,7	0,8	3,8	14,4	3,8	10,3	6,1	4,9	15,7	4,0	4,3
1971-1980	16,9	0,9	3,2	13,9	2,7	10,9	7,7	4,6	13,3	3,0	3,4
1981-1990	16,4	0,8	3,0	16,0	3,2	10,1	7,4	6,0	11,5	2,8	2,8
1991-2000	16,2	1,3	1,9	18,4	2,6	9,4	8,8	4,4	16,7	2,5	2,1
2001-2009	18,0	2,4	1,6	18,1	2,0	10,4	9,1	3,2	15,6	1,4	2,0

Повторюваність S_s зростала на сході й півдні, на іншій території фіксували зменшення до 2000 р., а в останньому десятиріччі зростання.

Повторюваність S_s всюди зменшувалась, тільки на півночі й незначно на сході зростала в останньому десятиріччі (2001-2009 рр.).

Повторюваність A_s зростала протягом всього досліджуваного періоду на півночі і в центрі; на заході зростала до 1990 р., потім зменшувалась; на сході й півдні зменшення було тільки в другому десятиріччі (1971-1980 рр.), далі фіксували зростання.

Повторюваність A_s переважно зменшувалась протягом досліджуваного періоду, проте є й відмінності: на півночі й заході в другому десятиріччі фіксували зростання, а далі – тільки зменшення; в центрі й на півдні зростання було в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.); на сході – у четвертому.

Достатньо чіткі були зміни повторюваності S_u : у другому й п'ятому десятиріччях спостерігали зростання, третьому й четвертому – зменшення на всій території (тільки в центрі в четвертому десятиріччі було зростання).

Повторюваність S_b зростала протягом всього досліджуваного періоду практично на всій території (особливо в центрі), дещо менше це зростання фіксували на сході (тільки в другому та четвертому десятиріччях).

Майже однакові зміни повторюваності S_t на всій території, переважає зменшення протягом всього досліджуваного періоду, тільки в третьому десятиріччі всюди, крім сходу, спостерігали зростання.

Чіткі зміни повторюваності S_c визначали на всій території до 1990 р. фіксували зменшення (тільки на сході в 1981-1990 рр. було зростання), у четвертому десятиріччі – зростання, а в п'ятому зменшення.

Чіткі зміни повторюваності N_s теж спостерігали на всій території: на заході, центрі й півдні протягом всього досліджуваного періоду відмічали зменшення, на півночі й сході також фіксували зменшення повторюваності N_s , проте в четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.) – зростання.

Загалом протягом досліджуваного періоду на всій території повторюваність F_{np} зменшувалась: на півдні весь час; на півночі, центрі, сході до 1990 р., на заході до 2000 р. У четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.) зростання відмічали на півночі, центрі й сході, а в п'ятому – тільки на заході й сході.

Таблиця 4

Повторюваність (%) хмар різних форм влітку протягом послідовних десятиріч за регіонами

Послідовні десятиріччя	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Frnb
Північ											
1961-1970	16,4	0,3	1,5	20,1	3,0	16,0	7,6	1,3	13,7	1,4	3,6
1971-1980	15,4	0,7	0,9	21,4	3,4	15,4	8,4	1,7	9,6	1,0	3,0
1981-1990	15,4	0,3	0,9	24,0	2,9	14,8	11,5	1,9	8,0	0,8	3,4
1991-2000	16,5	0,3	1,3	24,9	1,8	15,3	11,3	1,6	8,8	0,4	1,6
2001-2009	18,1	1,7	2,5	24,9	2,0	14,9	11,5	1,1	7,1	0,4	1,3
Захід											
1961-1970	14,7	0,2	0,6	18,3	2,9	13,9	11,3	1,3	16,3	1,6	3,3
1971-1980	12,8	0,1	0,2	20,4	3,4	13,7	10,8	1,3	15,0	1,8	3,0
1981-1990	9,2	0,0	0,2	23,4	2,7	13,2	13,8	1,6	14,6	1,1	2,6
1991-2000	10,2	0,1	0,1	22,0	1,6	13,3	14,3	1,1	16,5	0,7	1,7
2001-2009	13,8	0,2	0,2	19,6	0,9	14,1	16,4	0,9	17,4	0,5	1,6
Центр											
1961-1970	17,5	0,3	0,4	17,4	1,3	17,0	10,4	1,2	11,2	1,0	3,0
1971-1980	17,0	0,3	0,3	18,3	1,0	16,1	12,8	1,5	9,4	0,8	2,5
1981-1990	14,3	0,1	0,3	16,8	0,7	17,7	15,5	1,1	9,0	0,4	1,9
1991-2000	13,4	0,1	0,0	18,8	0,3	17,3	15,4	1,0	11,9	0,1	1,0
2001-2009	18,9	0,2	0,1	19,6	0,2	16,3	15,3	0,6	11,6	0,0	0,4
Схід											
1961-1970	14,9	0,4	1,2	19,5	2,3	16,9	8,5	0,6	10,2	0,5	0,7
1971-1980	16,2	0,4	0,9	17,7	1,8	16,4	11,6	0,5	8,9	0,4	0,6
1981-1990	13,2	0,7	1,0	16,2	1,1	17,9	11,5	0,6	11,9	0,3	0,6
1991-2000	13,7	1,1	0,7	21,8	1,3	15,9	9,4	0,4	14,3	0,2	0,4
2001-2009	16,7	1,6	1,3	21,5	1,8	15,1	8,4	0,5	12,4	0,2	0,8
Південь											
1961-1970	16,1	0,9	2,1	15,9	1,4	19,7	8,3	0,6	9,1	0,6	1,2
1971-1980	16,9	1,1	1,9	16,3	1,1	20,4	10,1	0,6	7,4	0,4	1,1
1981-1990	15,0	1,2	1,8	15,9	1,5	19,7	9,4	0,9	7,0	0,4	0,8
1991-2000	15,2	1,7	1,0	18,7	1,1	18,2	8,9	0,9	9,0	0,3	0,5
2001-2009	18,3	3,0	0,9	17,9	0,6	18,1	9,8	0,7	9,6	0,2	0,3

Літо. Повторюваність Ci протягом досліджуваного періоду більше зростала, ніж зменшувалась. Зменшення спостерігали в другому десятиріччі (1971-1980 рр.) на півночі, заході та центрі (на сході й півдні було зростання), у третьому десятиріччі (1981-1990 рр.) на всій території,

а в останні два десятиріччя (1991-2009 рр.) всюди фіксували зростання повторюваності Сі.

Повторюваність Сс зростала на сході й півдні, на заході й центрі зменшувалась упродовж 1961-1990 рр., далі незначно зростала. На півночі зростання спостерігали в другому (1971-1980 рр.) й особливо – у п'ятому (2001-2009 рр.) десятиріччях.

Повторюваність Сs зменшувалась весь час на заході, півдні та в центрі. На сході зменшення спостерігали до 2000 р., а в останньому десятиріччі (2001-2009 рр.) – зростання. На півночі також фіксували зменшення протягом 1961-1990 рр., в останні два десятиріччя зростання.

Повторюваність Ас зростала весь час тільки на півночі, в центрі теж переважало зростання, але в період 1981-1990 рр. відмічали зменшення. На заході впродовж 1961-1990 рр. було зростання, потім (1991-2009 рр.) – зменшення частоти Ас. На сході повторюваність Ас більший час зменшувалась, тільки протягом 1991-2000 рр. фіксували зростання. На півдні зміни повторюваності мали коливальний характер від одного до іншого десятиріччя.

Складний коливальний характер змін повторюваності Аs спостерігали на всій території, тільки в центрі вона весь час зменшувалась. На півночі й заході тенденції змін були схожі з 2000 р. (зростання в другому десятиріччі, зменшення протягом третього й четвертого), проте в останньому десятиріччі (2001-2009 рр.) на півночі повторюваність Аs зростала, а на заході – зменшувалась. На сході впродовж 1961-1990 рр. відмічали зменшення, а далі (1991-2009 рр.) – зростання повторюваності Аs, на півдні переважало зменшення повторюваності, тільки в третьому десятиріччі фіксували зростання.

Зміни повторюваності Сu теж мали складний коливальний характер: у другому десятиріччі всюди фіксували зменшення (тільки на півдні зростання), у третьому десятиріччі зростання вже відмічали в центрі й на сході (на іншій території було зменшення), у четвертому десятиріччі зростання спостерігали на півночі й заході, а в п'ятому – тільки на заході, тобто загалом на території переважало зменшення повторюваності Сu.

Повторюваність Сb переважно зростала на всій території: на півночі, заході (крім другого десятиріччя), у центрі практично весь час; на сході зростання фіксували протягом 1961-1990 рр., потім (1991-2009 рр.) – зменшення, а на півдні зростання – у другому й п'ятому десятиріччях, зменшення – у третьому й четвертому.

Таблиця 5

Повторюваність (%) хмар різних форм восени протягом послідовних десятиріч за регіонами

Послідовні десятиріччя	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns	Fmb
Північ											
1961-1970	11,0	0,3	1,5	14,1	3,8	5,3	2,8	8,4	20,3	4,9	6,9
1971-1980	8,5	0,4	0,8	14,6	3,4	4,1	4,3	9,4	17,7	5,5	7,7
1981-1990	10,2	0,2	0,7	21,1	3,7	3,5	7,6	10,7	13,1	3,5	7,0
1991-2000	10,4	0,3	0,9	20,5	2,3	3,4	8,4	11,9	13,6	3,4	5,6
2001-2009	9,3	0,9	1,4	22,4	3,0	3,6	7,7	11,6	14,6	3,0	5,4
Захід											
1961-1970	11,4	0,2	0,7	15,1	3,4	4,2	6,2	7,1	21,5	4,1	5,2
1971-1980	8,5	0,1	0,3	17,1	4,6	3,5	6,3	5,6	21,8	4,9	6,3
1981-1990	6,8	0,0	0,2	18,9	3,5	3,1	8,0	7,6	20,2	3,4	4,9
1991-2000	7,8	0,1	0,2	19,5	2,5	2,6	9,9	6,7	23,4	3,2	4,5
2001-2009	9,5	0,2	0,2	17,7	1,6	3,4	11,6	6,2	24,6	2,4	4,1
Центр											
1961-1970	13,5	0,2	0,5	12,9	2,0	5,7	3,8	9,1	18,4	4,1	5,5
1971-1980	12,0	0,2	0,3	14,1	1,6	5,0	7,0	8,0	18,1	4,2	6,2
1981-1990	10,4	0,1	0,3	14,5	2,3	5,1	9,2	10,3	16,1	2,9	4,3
1991-2000	10,8	0,0	0,1	15,2	0,6	4,8	11,0	9,3	19,4	1,8	4,0
2001-2009	10,7	0,2	0,1	15,2	0,9	5,9	13,8	9,8	20,0	1,1	3,2
Схід											
1961-1970	11,3	0,3	1,1	16,2	3,2	5,5	3,3	4,7	21,9	4,0	2,9
1971-1980	10,6	0,4	1,0	14,0	2,8	4,9	6,7	6,0	17,9	5,0	3,9
1981-1990	9,4	0,5	0,7	13,4	2,1	4,6	7,1	6,3	23,5	3,3	3,1
1991-2000	10,3	0,6	0,6	15,6	1,9	3,3	5,9	5,1	25,5	3,8	3,3
2001-2009	9,8	0,9	0,9	16,4	2,4	4,1	5,1	7,3	26,5	2,9	4,4
Південь											
1961-1970	13,7	0,9	1,9	12,3	2,0	9,9	4,2	6,2	17,1	2,9	3,0
1971-1980	14,2	0,9	1,9	13,0	1,8	9,8	7,0	4,7	15,9	2,7	3,4
1981-1990	12,6	0,9	1,6	13,2	2,1	8,7	6,7	6,7	16,7	2,5	2,5
1991-2000	13,2	1,4	1,1	15,4	1,6	7,5	6,9	6,0	19,3	2,0	1,7
2001-2009	13,5	2,4	0,8	16,2	1,4	8,2	8,7	6,3	20,9	1,4	2,0

Зміни повторюваності St були більш чіткими: упродовж 1961-1990 рр. на всій території спостерігали переважно зростання, в останні два десятиріччя (1991-2009 рр.) – зменшення повторюваності.

Повторюваність S_c змінювалась дещо по-іншому: упродовж 1961-1990 рр. спостерігали зменшення (тільки на сході протягом 1981-1990 рр. було зростання), далі в четвертому десятиріччі на всій території повторюваність S_c зростала, а в п'ятому зростання фіксували тільки на заході й півдні.

Повторюваність N_s зменшувалась на всій території протягом всього досліджуваного періоду. Такою ж була тенденція змін повторюваності F_{rn} (тільки на сході в останньому десятиріччі відмічено зростання).

Осінь. Упродовж 1961-1990 рр. повторюваність S_i зменшувалась на всій території (тільки на півдні вона зростала протягом 1971-1980 рр., а на півночі – у 1981-1990 рр.), у четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.) всюди фіксували зростання, у п'ятому (2001-2009 рр.) теж спостерігали зростання, крім півночі й сходу.

Повторюваність S_c зростала на сході й півдні (найбільше в останньому десятиріччі), на заході зменшувалась упродовж 1961-1990 рр., далі зростала, в центрі зменшувалась до 2000 р. й зростала в останньому десятиріччі, а на півночі незначне зростання фіксували в другому десятиріччі (1971-1980 рр.), й суттєве в 2001-2009 рр.

Повторюваність S_s зменшувалась в центрі й на півдні, на півночі зменшення спостерігали впродовж 1961-1990 рр., далі зростання. На заході теж фіксували зменшення в 1961-1990 рр., потім без змін, а на сході зменшення до 2000 р. і тільки в останньому десятиріччі зростання.

Повторюваність A_s переважно зростала на всій території: в центрі й на півдні протягом всього досліджуваного періоду, в інших регіонах теж переважало зростання, проте були періоди, коли повторюваність зменшувалась (на півночі – у четвертому десятиріччі, на заході – у п'ятому, на сході – упродовж 1961-1990 рр.).

Зміни повторюваності A_s протягом досліджуваного періоду однакові в центрі, на сході та півдні: зменшення протягом чотирьох десятиріч (1961-2000 рр.) й зростання в останньому (2001-2009 рр.); на заході теж переважало зменшення (1981-2009 рр.), зростання відмічали тільки в другому десятиріччі (1971-1980 рр.); на півночі фіксували як зменшення (1971-1980 й 1991-2000 рр.), так і зростання (1981-1990 й 2001-2009 рр.).

Дуже чіткий хід змін повторюваності S_u відмічали на всій території: протягом 1961-2000 рр. всюди було зменшення повторюваності, а в останньому десятиріччі – зростання.

Повторюваність S_b зростала впродовж досліджуваного періоду практично на всій території: на заході, у центрі й на півдні весь час; на

півночі теж фіксували зростання, тільки в останньому десятиріччі було зменшення; на сході повторюваність С_b зростала в перші три десятиріччя (1961-1990 рр.) й зменшувалась в останні два (1991-2009 рр.).

Характер змін повторюваності St був складним: у другому десятиріччі (1971-1980 рр.) на півночі й сході фіксували зростання, в інших регіонах зменшення, у третьому десятиріччі (1981-1990 рр.) всюди було зростання, у четвертому (1991-2000 рр.) – зменшення (крім півночі), а в п'ятому – зростання (крім півночі й заходу).

Зміни повторюваності Sc були такими: у період 1961-1980 рр. на всій території фіксували зменшення повторюваності, яке продовжувалось на півночі, заході і в центрі ще й у третьому десятиріччі (1981-1990 рр.), в останні два десятиріччя (1991-2009 рр.) відбувалось зростання.

Повторюваність N_s практично на всій території, крім півдня, зростала в другому десятиріччі (1971-1980 рр.), а потім упродовж всього подальшого періоду (1981-2009 рр.) зменшувалась, тільки на сході зростання ще фіксували протягом 1991-2000 рр.

Повторюваність F_{гнб} зростала на всій території впродовж другого десятиріччя (1971-1980 рр.) і зменшувалась у третьому (1981-1990 рр.). Це зменшення продовжувалось у четвертому десятиріччі всюди, крім сходу, і в п'ятому, крім сходу та півдня.

Повторюваність хмар різних форм за сезонами року протягом досліджуваного періоду має складний характер змін, тому доцільно розглянути ці зміни окремо для кожної основної форми хмар.

Характерним для змін повторюваності С_і в часі є її зростання взимку в другому десятиріччі (1971-1980 рр.) на всій території, крім заходу, також зростання повсюди навесні в п'ятому десятиріччі (2001-2009 рр.), влітку в четвертому (1991-2000 рр.), крім центру, у п'ятому (2001-2009 рр.) та восени в четвертому (1991-2000 рр.). Загалом все-таки переважало зменшення повторюваності С_і, крім літа. Регіональні відмінності проявляються в тому, що найчастіше повторюваність С_і зростала на півдні, потім на півночі та сході, рідше на заході і найменше в центрі.

Зміни повторюваності С_с в часі протягом досліджуваного періоду проявляються в тому, що на всій території у всі сезони року фіксували зростання повторюваності в останньому десятиріччі, помітним воно було вже й влітку та восени в четвертому десятиріччі (тобто можна вважати, що зростання повторюваності С_с почалось з літа четвертого десятиріччя і продовжувалось до кінця досліджуваного періоду). Найменше С_с спостерігали в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.).

Зміни повторюваності Сс у просторі, тобто регіональні відмінності, проявлялись у тому, що найчастіше зростання повторюваності у всі сезони року спостерігали на сході та півдні, меншою мірою – на півночі, ще менше на заході і практично не було змін у центрі, крім останнього десятиріччя.

Повторюваність Сс майже протягом всього досліджуваного часу зменшувалась, тільки в останньому десятиріччі (2001-2009 рр.) фіксували зростання, в основному на півночі (тут зростання спостерігали вже й в четвертому десятиріччі) та сході, дещо на заході, проте в центрі й особливо на півдні у всі сезони року відмічали зменшення повторюваності Сс.

У досліджуваній період на всій території у всі сезони року (дещо меншою мірою влітку) переважало зростання повторюваності Ас. Найчастіше це спостерігали на півночі, потім у центрі, далі на півдні, заході і менш за все на сході.

Протягом досліджуваного періоду в усі сезони року переважало зменшення повторюваності Ас, помітні зміни в часі майже відсутні (можна тільки відмітити зростання повторюваності Ас взимку на всій території України в третьому десятиріччі 1981-1990 рр.). Відмінності між регіонами теж відсутні (загалом дещо частіше ці хмари появлялися на півночі та сході).

Повторюваність Сu переважно протягом досліджуваного періоду зменшувалась на всій території, помітним є тільки її зростання навесні в другому (1971-1980 рр.) та п'ятому (2001-2009 рр.) десятиріччях і восени в п'ятому (2001-2009 рр.). Регіональних відмінностей не виявлено, можна тільки відзначити, що частіше ці хмари фіксували в центрі.

Повторюваність Сb зростала на всій території протягом всього досліджуваного періоду, найбільш відчутно взимку та восени, потім навесні і менш за все влітку. Практично однаково зростала повторюваність Сb у всіх регіонах, винятком є схід, де це зростання було найменшим (майже наполовину порівняно з іншими регіонами).

Повторюваність St упродовж досліджуваного періоду переважно зменшувалась, проте є відмінності між сезонами року. Узимку в кожному десятиріччі в якомусь окремому регіоні фіксували зростання повторюваності, проте воно було не системним. В інші сезони чітко визначалось зростання повторюваності St у третьому десятиріччі (1981-1990 рр.), яке було єдиним зростанням навесні, в усі інші десятиріччя було тільки зменшення. Дещо частіше спостерігали St восени (у кожному десятиріччі, особливо в третьому та п'ятому). Регіональні відмінності проявляються в тому, що частіше St спостерігали на півночі та сході, рідше – на заході.

Певні закономірності виявляються в змінах повторюваності Sc. Узимку й восени на всій території спостерігали зростання повторюваності Sc у четвертому й п'ятому десятиріччях (1991-2009 рр.), це зростання фіксували також навесні й влітку, проте тільки в четвертому десятиріччі

(1991-2000 рр.). Найчастіше зростання фіксували на заході, сході та півдні, менше на півночі й центрі. Загалом взимку й восени переважало зростання повторюваності Sc, а весною й влітку – зменшення.

Повторюваність Ns практично зменшувалась протягом всього досліджуваного періоду на всій території. В окремі десятиріччя в деякі сезони (переважно на сході) фіксували її зростання. Єдиною особливістю, яку слід зазначити, є те, що восени в другому десятиріччі (1971-1980 рр.) на всій території спостерігали зростання повторюваності Ns.

Повторюваність Fgnb також всюди зменшувалась упродовж досліджуваного періоду, проте меншою мірою, ніж повторюваність Ns. Як і у Ns, вона зростала в другому десятиріччі на всій території. Частіше ці хмари можна було спостерігати взимку та восени, переважно на сході та півночі.

Висновки

За досліджуваний період збільшили свою повторюваність хмари в такій послідовності:

північ	Ac, Cb, Cc	зима	Cb, Ac, Sc
захід	Cb, Ac, Sc	весна	Cb, Ac
центр	Cb, Ac, Cu	літо	Cc, Cb, Ci, Ac
схід	Cc, Sc	осінь	Cb, Ac, Sc, Cc, St
південь	Cb, Cc, Ac, Ci, Sc		

Повторюваність Cb більше зросла на заході, центрі, півночі, трохи менше на півдні. Зростання відбувалось у будь-який сезон року – найбільше взимку, восени та навесні, найменше – влітку (особливо після 1980 р. протягом останніх трьох десятиріч), тобто зростання повторюваності відбувалось у холодний період року, значить, у перші три вказані сезони збільшилась нестійкість атмосфери і це, мабуть, тільки завдяки діяльності фронтів.

Різні тенденції змін повторюваності Cu й Cb вказують, що загалом тропосфера не мала достатньої кількості вологи, енергія нестійкості була замала, щоб утворювались хмари внутрішньо-масового походження, якими є Cu.

Оскільки підвищення температури (глобальне потепління) якраз проявлялось у холодний період року, це давало можливість за вищої температури повітря посилити інтенсивність висхідних рухів, збільшити енергію нестійкості, що сприяло розвитку купчасто-дошової хмарності. Слід також зазначити, що такий стан можливий, вірогідно, у разі проходження холодних фронтів, бо якби традиційно зміщувались циклонічні фронтальні системи, можна було б спостерігати теплі фронти з характерною для них

хмарністю типу Cs, As, Ns, Frnb, проте повторюваність цих хмар, навпаки, зменшувалась.

Серед хвилеподібних хмар у всі сезони року збільшувалась повторюваність As, взимку й восени – Sc, влітку та восени – Cc.

Повторюваність As суттєво збільшилась на півночі, центрі, півдні та заході. Можливо, це якоюсь мірою зумовлено посиленням інтенсивності планетарних хвиль, з якими пов'язані хвилі Кельвіна-Гельмгольца як головні джерела утворення цих хмар. Повторюваність цих хмар зростала у всі сезони року, найбільше восени, потім взимку та навесні і менше влітку. Існує думка, що більше охолодження стратосфери (можливо через вплив озонового шару) сприяє посиленню інтенсивності планетарних хвиль Росбі і відповідно хвиль Кельвіна-Гельмгольца).

Меншою мірою, ніж попередні хмари, збільшилась повторюваність Sc на сході, рівнозначно на заході та півдні. Підвищення відбувалося взимку та восени.

Серед регіонів виділяється схід, де збільшували свою повторюваність Cc, Sc, проте слід зазначити, що саме на сході порівняно з іншими регіонами повторюваність Ns та Frnb була вищою. Можливо, завдяки розвитку приземних циклонів.

Нестійкість в атмосфері посилилась у такій послідовності: взимку, восени, навесні і меншою мірою – влітку. Значить літо було сухішим, тобто відносна адвекція вологи була меншою.

В атмосфері завжди існують хвильові рухи, тому протягом всього року утворюються As, тоді як у теплий період року (літо, осінь) – Cc, а в холодний (осінь, зима) – Sc. Тобто, протягом досліджуваного періоду умови для утворення хвильових рухів поліпшувались: у холодний період у нижній тропосфері, а в теплий – у верхній.

Також такі хмари можуть супроводжувати циклони, що рухаються в меридіональному напрямку та швидко розмиваються, або приземні циклони, тобто не пов'язані з висотними фронтальними зонами.

* *

1. Байкова И.М., Ефимова Н.А., Строчкина Л.А. Современное изменение облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 9. – С. 52-61.
2. Хлебникова Е.И., Салль И.А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 7. – С. 5-13.

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.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

Т.Н. Заболоцкая, Т.Н. Шпиталь

Климатические изменения повторяемости основных форм облаков

По данным наблюдений 34 метеорологических станций Украины в течение 1961-2009 гг. определены изменения повторяемости основных форм облаков: нижнего яруса – Cu, Cb, St, Sc, Ns, Frnb, среднего – Ac, As и верхнего – Ci, Cc, Cs. Длиннопериодическую составляющую климатических изменений оценивали по тридцатилетним скользящим и линейным трендам, флуктуации – по изменениям между последовательными десятилетиями. Оценка климатических изменений повторяемости облаков различных форм выполнена по сезонам года для регионов: север, запад, центр, восток, юг.

Ключевые слова: климатические изменения, повторяемость облаков различных форм, длиннопериодическая составляющая, тридцатилетние скользящие, тренды, последовательные десятилетия, сезон, регион.

T.M. Zabolotska, T.N. Shpital

Climatic changes of repeatability in main cloud forms

Defined the changes of repeatability in main cloud forms: lower – Cu, Cb, St, Sc, Ns, Frnb, middle – Ac, As, upper – Ci, Cc, Cs. Long-period component of climatic changes in above parameters was estimated by means of trends and sliding of thirty years, and the fluctuations – due to seasonal differences between successive decades in regions (north, west, central, east, south).

Keywords: climatic changes, repeatability in different cloud forms, long-period component, sliding of thirty years, trends, successive decades, season, region.