

Т.М. Заболоцька, В.М. Підгурська, Т.М. Шпиталь

ВЕРТИКАЛЬНИЙ І ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ФАЗОВОГО СТАНУ В ХМАРАХ РІЗНИХ ФОРМ

За даними літакового зондування атмосфери в центральних районах України виділено 16 типів вертикального розподілу фазового стану хмар та визначено їх повторюваність у кожній формі хмар. Наведено середні статистичні значення параметрів хмар різних форм з найбільш поширеними типами вертикального розподілу фазового стану. Проаналізовано горизонтальний розподіл фазового стану в хмарах різних форм.

Ключові слова: літакове зондування атмосфери, вертикальний та горизонтальний розподіл фазового стану, різні форми хмар, типи вертикального розподілу фазового стану хмар.

Вступ

Фазовий стан хмар є однією з найважливіших мікрофізичних характеристик, оскільки впливає на їх стійкість та існування, радіаційний теплообмін, поглинання електромагнітних хвиль, обледеніння літаків.

Фазовий стан хмари в її просторі може бути різним і змінюватись з часом. Поки існує хмара, кристали можуть зароджуватись, рости і випадати, а краплі виникати, випаровуватись або рости до такого розміру, що можуть випадати як опади.

Дослідження фазового стану хмар над територією України проводились [1, 2], але в обмеженому режимі. У [1] досліджувався фазовий стан фронтальних хмар без виділення їхніх форм, у [2] – хмари внутрішньомасового походження за короткий період спостережень (чотири роки).

Фазовий стан хмар різних форм визначають за пробами мікроструктури, які здійснюються під час вертикального зондування хмари, тобто від нижньої до верхньої межі. Загалом виділяють три типи фазового стану: крапельний, кристалічний і змішаний. Але у вертикальному просторі кожної хмари можуть існувати прошарки з різним фазовим станом, що зумовлено дією механізмів хмароутворення.

Матеріали та методика дослідження

Дослідження розподілу фазового стану в горизонтальному та вертикальному просторі хмар різних форм виконували за даними літакових зондувань атмосфери, що проводилися над центральними районами України протягом 1960-1990 рр. У кожній хмарі від нижньої до верхньої межі визначали прошарки з різним фазовим станом, їхню товщину, температуру, відносну вологість, форму та концентрацію крапель і кристалів. За горизонтальним зондуванням хмар, враховуючи швидкість літака, визначали протяжність ділянок з різним фазовим станом, а також температуру, форму і концентрацію крапель і кристалів згідно з прийнятою методикою обробки.

Результати дослідження та їхній аналіз

Вертикальний розподіл фазового стану в хмарах різних форм

За виконаним аналізом матеріалів вертикального зондування хмар (від нижньої до верхньої межі) було виділено 16 типів розподілу по вертикалі фазового стану:

- 1) крапельний;
- 2) крапельний → змішаний;
- 3) крапельний → змішаний → крапельний;
- 4) крапельний → змішаний → кристалічний;
- 5) крапельний → кристалічний;
- 6) крапельний → кристалічний → крапельний;
- 7) крапельний → кристалічний → змішаний;
- 8) крапельний → кристалічний → змішаний → кристалічний;
- 9) змішаний;
- 10) змішаний → крапельний;
- 11) змішаний → кристалічний → змішаний;
- 12) змішаний → кристалічний;
- 13) кристалічний;
- 14) кристалічний → змішаний;
- 15) кристалічний → крапельний;
- 16) кристалічний → змішаний → кристалічний.

Повторюваність виділених типів вертикального розподілу фазового стану в хмарах різних форм наведено в табл. 1. Отримані дані свідчать, що кожній формі хмар характерний свій, відмінний від інших форм хмар,

вертикальний розподіл фазового стану, що зумовлено механізмами їхнього утворення.

Таблиця 1

Повторюваність (%) типів розподілу фазового стану в хмарах різних форм

Форма хмар	Типи вертикального розподілу фазового стану															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
St	92	1							3	0,5			3		0,5	
Sc	75	2	0,5	0,5		2			6	2		0,5	8	3	0,5	
Ac	52				2,5				12				26	2,5	1	4
As	18	2		1	8			1	13	3	2	4	35	4	2	7
Ns	25	9	4	4	4		3		11	4	2	3	22	6	3	
Ns-As	-	3	1	6	37	3	2	3	2		2	10	27	2	1	1

Шаруваті хмари (St)

Шаруватим хмарам найхарактерніший крапельний стан (92 %), досить рідко кристалічний (3 %), іноді хмара може бути змішаною або розділятися (до 5 %) на два прошарки (крапельний та змішаний). Треба зазначити, що хмари з чисто кристалічним фазовим станом потужніші (ΔН близько 500 м), ніж зі змішаним (ΔН близько 350 м). Температура на нижній межі в хмарах з кристалічним фазовим станом нижча (-10,8 °С), ніж у хмарах зі змішаним (-7,4 °С), а відносна вологість менша (відповідно 79 і 92 %). У шаруватих хмарах зі змішаним станом переважають пластинки, а в кристалічних – більш широкий спектр форм кристалів: частіше пластинки, з меншою повторюваністю зірочки, стовпчики, кристали невизначеної форми.

Шарувато-купчасті хмари (Sc)

Шарувато-купчастим хмарам теж більш властивий крапельний фазовий стан (75 %), проте чверть хмар (25 %) мають змішану (6 %) або кристалічну фазу (8 %), а також складний по вертикалі розподіл прошарків з різним фазовим станом (11 %). Найпоширеніші з них такі: перехідні від кристалічного стану до змішаного, від крапельного до кристалічного і знову до крапельного, від крапельного до змішаного. Хмари з кристалічним фазовим станом мають товщину від 250 до 1900 м, змішані – від 250 до 1500 м. Температура на нижній межі в кристалічних хмарах від'ємна (від -2,5 до -14,5 °С), у змішаних – теж від'ємна (від -4,0 до -13,5 °С). Відносна вологість в обох випадках близько 90 %. У хмарах

зі змішаним станом зафіксовано переважно пластинки, рідше зірочки і дуже рідко сніжинки. У кристалічних також переважають пластинки, потім зірочки, кристали невизначеної форми, рідко сніжинки і стовпчики.

Висококупчасті хмари (Ac)

Висококупчасті хмари переважно однофазні: частіше з крапельним станом (52 %), потім з кристалічним (26 %) і змішаним (12 %). Проте в 10 % випадків відмічають двошаровий і навіть трьохшаровий вертикальний розподіл фазового стану. Це переважно кристалічний прошарок переходить у змішаний (може далі знову у кристалічний) або крапельний переходить у кристалічний і навпаки. Товщина крапельних хмар змінювалась від 150-200 м до 850-900 м, кристалічних – від 150 м до 1150 м, змішаних – від 200 до 900 м, температура на нижній межі відповідно від 0 до -8 °С, від -6 до -27 °С і від -7 до -20 °С. Відносна вологість у крапельних хмарах була в діапазоні 85-95 %, кристалічних – 60-90 %, змішаних – 80-100 %. Трьохшарові чи двошарові хмари були різної товщини: і 400, і більше 2000 м. У змішаних хмарах рівнозначно можна спостерігати кристали невизначеної форми, пластинки, зірочки, іноді об'ємні їжачки та сніжинки. У кристалічних хмарах найбільш поширені пластинки, майже рівнозначно зірочки, сніжинки, їжачки, кристали невизначеної форми, рідше стовпчики, комплекси та голчасті кристали.

Високошаруваті хмари (As)

Дві третини високошаруватих хмар (66 %) також мають однофазну структуру, більшою частиною кристалічну (35 %) і майже порівну крапельну (18 %) та змішану (13 %). Проте третина хмар має двошаровий і трьохшаровий вертикальний розподіл фазового стану. Для цієї третини хмар найбільш властиві такі фазові стани: перехід крапельного в кристалічний (8 %) і кристалічного в змішаний і далі в кристалічний (7 %), кристалічного в змішаний (4 %) і навпаки (4 %).

Високошаруваті хмари з крапельним фазовим станом мають товщину 200-500 м, але можуть сягати і 1000-1100 м. Їм найбільш характерні краплі середнього розміру, потім крупні і далі дрібні. Температура на нижній межі коливалась в інтервалі від -2 до -18 °С, але переважно була до -10 °С (табл. 2).

Високошаруваті хмари зі змішаним станом рідко (7-8 %) були товщиною до 2 км. Більша ж частина хмар мали товщину 200-800 м. Температура на нижній межі цих хмар змінювалась від -3,5 °С до -17 °С, проте переважно -10 ~ -12 °С. Для них характерними кристалами є зірочки і пластинки.

Таблиця 2

Характеристика високошаруватих хмар з найпоширенішими типами вертикального розподілу фазового стану

Фазовий стан	Частка, %	ΔH , м	$T_{нг}$, °С	U, %	Мікроструктура
Крапельний	18	200 - 500	-2 ~ -12	85-95	середні, крупні, дрібні краплі
Змішаний	13	200 - 800	-10 ~ -12	80-95	зірочки, пластинки
Кристалічний	35	1500	-15 ~ -20	65-95	пластинки, зірочки, їжачки, сніжинки, стовпчики
Крапельний → кристалічний	8	600 - 3500	-1 ~ -7	55-95	пластинки, сніжинки, зірочки, їжачки, стовпчики
Кристалічний → Змішаний → кристалічний	7	1700-3000	-7 ~ -20	65-85	пластинки, зірочки, сніжинки, комплекси

Найпоширеніші високошаруваті хмари з кристалічним фазовим станом. Дві третини таких хмар мали товщину, що не перевищує 1500 м, а в 75 % випадків не більш як 2000 м. Температура на нижній межі була від -3 до -37 °С, у двох третинах випадків – не нижче ніж -15 °С, а у 90 % – не нижче ніж -20 °С. Температура на верхній межі – від -8 до -41,5 °С, відповідно в двох третинах випадків – не нижче як -20 °С, а у 90 % – не нижче як -30 °С. Відносна вологість змінювалася від 65 до 95 %, у половині випадків не перевищувала 80 %, проте 40 % хмар мали відносну вологість 80-90 %. Найпоширенішими кристалами є пластинки (42 %),

потім зірочки (24 %), сніжинки (14 %), далі їжачки і стовпчики (по 7 %), кристали невизначеної форми, комплекси, об'ємні кристали (6 %).

Достатня кількість високошаруватих хмар мають двошарову (8 %) і трьохшарову (7 %) фазову структуру. Перша (двошарова) структура – це коли нижній крапельний прошарок далі змінюється на кристалічний. Крапельний прошарок переважно в 60 % випадків складає четверту частину загальної товщини, а в 40 % випадків – половину. Температура на нижній межі цих хмар така, як і у хмар з крапельним фазовим станом, а температура на нижній межі другого кристалічного шару нижче на 2-6 °С.

Відносна вологість на нижній межі крапельного прошарку змінювалася в межах від 55 до 95 %, а кристалічного зменшувалася на 3-5 %.

Трьохшарові високошаруваті хмари мали переважно велику товщину (1700-3000 м), але могли бути й товщиною 500-800 м. Це хмари, які мають такий вертикальний розподіл фазового стану: кристалічний → змішаний → кристалічний. Змішаний прошарок складає 30 % загальної товщини хмари. Температура на нижній межі прошарків з переходом від одного до іншого тільки знижується. Відносна вологість практично не змінюється.

Існують високошаруваті хмари, в яких кристалічний прошарок переходить у змішаний (4 %) або навпаки (4 %). Такі хмари можуть мати різну товщину: від 500 до 2000 м. В обох випадках кристалічні прошарки мають більшу товщину, близько 0,6 ΔН. Температура на нижній межі хмар, в яких змішаний прошарок переходить у кристалічний, вища на 5-6 °С, ніж у хмар, де першим є кристалічний прошарок (-9 і -15 °С, відносна вологість 92 і 86 % відповідно).

Шарувато-дощові хмари (Ns)

У шарувато-дощових хмарах зафіксовано 13 типів вертикального розподілу фазового стану. Найбільша кількість хмар є одношаровими за фазовим станом (58 %): із них 25 % (по відношенню до всіх хмар) є крапельними, 11 % – змішаними і 22 % – кристалічними. Хмари з двома (різними за фазою) прошарками складають майже третину хмар (29 %): хмари з крапельним прошарком, що переходить у змішаний і навпаки, мають повторюваність 13 %; хмари, в яких кристалічний прошарок переходить у змішаний або навпаки – 9 %, і крапельний → у кристалічний і навпаки – 7 %.

Невелика кількість хмар (13 %) має по три прошарки з різним фазовим станом:

крапельний → змішаний → крапельний (4 %);

крапельний → змішаний → кристалічний (4 %);

крапельний → кристалічний → змішаний (3 %).

Крапельні шарувато-дощові хмари мали в середньому товщину 500-600 м, температура на нижній межі в 30 % випадків була від 0 до 2 °С, решта – від'ємною (від -2 до -6 °С), переважали краплі крупні та середнього розміру. Відносна вологість складала 95-100 % (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика шарувато-дощових хмар з найбільш поширеними типами вертикального розподілу фазового стану

Фазовий стан	Частка, %	ΔH , м	$T_{нг}$, °С	U, %	Мікроструктура
Крапельний	25	500 - 600	0 ~ -6	95-100	крупні, середні краплі
Змішаний	11	200 - 600	0 ~ -11	85-90	пластинки, об'ємні кристали
Кристалічний	22	1000 - 3000	-4 ~ -16	86-67	пластинки, зірочки, стовпчики, призми, сніжинки
Крапельний → змішаний	9	1000 - 1400	-1 ~ -7	85-90	пластинки, кристали невизначеної форми, комплекси
Кристалічний → змішаний	6	600 - 1400	-4 ~ -12	90-95	пластинки

Змішані шарувато-дощові хмари мали переважно товщину 200-600 м, але з таким фазовим станом були і хмари з ΔH близько 1000-1200 м. Температура на нижній межі була від 0 до -11 °С, відносна вологість – 85-90 %. Форми кристалів – пластинки та об'ємні кристали.

Кристалічні шарувато-дощові хмари невеликої товщини (300-600 м) спостерігали рідко, переважно їхня товщина складала від 1000 до 3000 м і більше. Температура на нижній межі була від'ємною і змінювалась у

діапазоні від -4 до -16 °С. Відносна вологість – 86-87 %. Форми кристалів – пластинки, зірочки, стовпчики, призми, сніжинки.

Поширеними серед шарувато-дощових хмар є двошарові за фазовим станом хмари, коли крапельний прошарок переходить у змішаний. Вони мають товщину більш як 1000 м (діапазон 1000-1400 м), безпосередньо змішаний прошарок становить близько 40 % загальної товщини хмари. Температура на нижній межі – від -1 до -7 °С. Відносна вологість – 85-90 %.

Існує достатньо шарувато-дощових хмар, в яких кристалічний прошарок переходить у змішаний. Товщина таких хмар – від 600 до 1400 м. Температура на нижній межі від -4 до -12 °С, відносна вологість – 90-95 %. Кристалічний прошарок хмар становить від 0,2 до 0,5 частини їхньої загальної товщини.

Системи шарувато-дощових та високошаруватих хмар

Майже всі виділені типи вертикального розподілу фазового стану можна спостерігати в системах шарувато-дощових і високошаруватих хмар, проте більшість із них мають незначну повторюваність. Найбільш властивими для цих хмар були такі фазові стани:

крапельний → кристалічний	(37 %);
кристалічний	(27 %);
змішаний → кристалічний	(10 %);
крапельний → змішаний → кристалічний	(6 %).

Загалом виділені типи фазового стану спостережено в 80 % усіх випадків, проте п'ята частина хмар (20 %) мала інший тип розподілу.

Найбільшу повторюваність (37 %) мали двошарові системи хмар, коли нижня крапельна частина переходить у кристалічну до самої верхньої межі. Товщина цих хмарних систем змінювалась у діапазоні 1200-5400 м. Усього 14 % хмар мали товщину 1200-2000 м, у 60 % випадків – більш як 3000 м, у 40 % – більш як 4000 м. Крапельна частина в 25 % хмар була до $0,3\Delta H$, у половини випадків (47 %) – більша за $0,5 \Delta H$. Спостерігали незначну кількість хмар (10 %), в яких домінував крапельний прошарок ($0,8-0,9\Delta H$), табл. 4.

Температура на нижній межі була переважно від'ємною, у межах від $-0,2$ до -5 °С, чверть хмар (~ 25 %) мали додатну температуру ($0 \sim 2$ °С). Відносна вологість у 55 % хмар була досить високою (95-100 %), а для 86 % випадків – не меншою як 90 %.

Кристалічні системи шарувато-дощових та високошаруватих хмар склали майже третину всіх випадків (27 %). Товщина таких хмар коливалась у межах від 1200 до 5600 м, близько 40 % з них мали товщину до 2000 м, а в двох третинах випадків – не більшу за 3000 м. Проте близько чверті хмар мали значну товщину (більш як 4000 м).

Таблиця 4

Характеристика систем шарувато-дощових та високошаруватих хмар з найпоширенішими типами вертикального розподілу фазового стану

Фазовий стан	Частка %	ΔH , м	$T_{нг}$, °С	U, %	Мікроструктура
Крапельний → кристалічний	37	1200-5400	-0,2 ~ -5	95-100	пластинки, зірочки, трикутники, стовпчики, сніжинки, шестикутники, їжачки, кристали невизначеної форми
Кристалічний	27	1200-5600	-2 ~ -15	75-90	пластинки, зірочки, кристали невизначеної форми, багатогранники, трикутники та шестикутники
Змішаний → кристалічний	10	2000-5000	-1 ~ -8	70-95	пластинки, зірочки, їжачки, стовпчики, сніжинки, об'ємні кристали, шестикутники
Крапельний → змішаний → кристалічний	6	2300-5500	0,1 ~ 2	90-100	пластинки, зірочки, їжачки, стовпчики, комплекси, кристали невизначеної форми

Температура на нижній межі цих хмар була від -2 до -15 °С, на верхній – від -10 до -35 °С. Відносна вологість – 75-90 %. Переважно зафіксовано такі кристали: пластинки, зірочки, кристали невизначеної форми, багатогранники, трикутники та шестикутники.

Характер мікрофізичного стану в кристалічних системах може бути однорідним по всій товщі хмари. Наприклад, у системі Ns-As (нижня межа 1760 м, верхня – 5520 м, ΔH – 3760 м, температура на нижній межі $-10,2$ °С, верхній – $-30,1$ °С) було виконано 8 вимірів мікроструктури на таких висотах: 1760 м – $-10,2$ °С, 1827 м – $-10,4$ °С, 2829 м – -14 °С, 3365 м – $-17,7$ °С, 3887 м – $-20,7$ °С, 4389 м – $-23,7$ °С, 4951 м – -27 °С і 5431 м – $-29,7$ °С). І на всіх цих висотах фіксували тільки кристали, переважно пластинки.

Кожна десята система складалася зі змішаного прошарку, що переходив у кристалічний. Такі хмари мали товщину переважно в межах від 2000 до 5000 м, у 70 % випадків ΔH більшу за 3000 м. Температура на нижній межі була від'ємна (від -1 до -8 °С). У 80 % випадків вона не нижча ніж -5 °С. Відносна вологість – 70-95 %, проте в двох третинах хмар вона не перевищувала 75 %. Форми кристалів такі: домінували пластинки і зірочки, у невеликій кількості зафіксовано їжачки, стовпчики, сніжинки, об'ємні кристали, шестикутники.

Спостережено і трьохшарові системи шарувато-дощових і високошаруватих хмар (6 %): крапельний → змішаний → кристалічний. Вони мали значну товщину (2300-5500 м), проте ΔH більшої їх частини перевищувала 4000 м. Температура на нижній межі загалом додатна ($0,1 \sim 2$ °С), відносна вологість близька до 100 %. Серед кристалів найпоширеніші пластинки, у меншій кількості – зірочки та їжачки, іноді стовпчики та комплекси.

Загалом системи шарувато-дощових та високошаруватих хмар мають складну вертикальну структуру фазового стану. Відмічають чотиришарові системи, в яких, наприклад, фазові стани змінюються в такій послідовності: змішаний → кристалічний → змішаний → кристалічний або навпаки. Іноді крапельний → змішаний → крапельний → змішаний або крапельний → кристалічний → змішаний → крапельний чи кристалічний → змішаний → крапельний → кристалічний. Бувають і інші варіанти чергування прошарків з різним фазовим станом. Всі ці системи мають різну товщину (від 1000 до 5000 м). Температура на їхній нижній межі – від -4 до -12 °С. Відносна вологість – 60-90 %.

Горизонтальний розподіл фазового стану в хмарах різних форм

Горизонтальні виміри мікроструктури було виконано в Sc, Ac, Ns і Ns-As.

1. Шаруватокупчасті хмари Sc мали нижню межу 1670 м, верхню – 2090 м, $\Delta H = 420$ м. Горизонтальний політ здійснювався на висоті 1850 м ($0,45\Delta H$). Це середина хмари. Довжина польоту складала ~ 380 км, температура – у межах від $-11,5$ до $-14,3$ °С.

Змішані та кристалічні прошарки чергувались таким чином: 20 км кристалічний \rightarrow 120 км змішаний \rightarrow 120 км кристалічний \rightarrow 40 км змішаний \rightarrow 80 км кристалічний. Загальна протяжність шару з кристалічною фазою склала 220 км, зі змішаною – 160 км.

Головною формою кристалів були зірочки. Концентрація кристалів суттєво змінювалась. На шляху 40-50 км зміни були такими: 15 км – дрібних кристалів «мало», далі 25 км – дрібних кристалів «середня кількість», ще 10 км – дрібних кристалів «мало».

Таким чином, Sc були за формою кристалів однорідними (зірочки за температури $-13 \sim -14$ °С).

2. Горизонтальний політ у Sc на висоті $0,85\Delta H$ (нижня межа 400 м, верхня – 878 м, температура – $-13,5$ °С). Протяжність польоту – 145 км. Політ здійснювався у верхній частині хмари, яка була переважно кристалічною, на початку і в кінці польоту фіксували змішану фазу (ділянки близько 5-7 км). Форми кристалів – пластинки та зірочки, іноді кристали невизначеної форми, рідко сніжинки та стовпчики. Концентрація кристалів «багато» повторювалась через 40 км, між ними фіксували концентрацію «мало» або «середня кількість».

3. Горизонтальний політ по верхній межі Ac (нижня межа – 4179 м, верхня – 4218 м), температура – $-12,7$ °С. Загальна протяжність польоту – 130 км. Чергування прошарків було в такій послідовності: 5 км сухо \rightarrow 15 км краплі \rightarrow 15 км сухо \rightarrow 20 км окремі пластинки \rightarrow 15 км пластинки \rightarrow 15 км окремі пластинки \rightarrow 20 км пластинки \rightarrow 20 км окремі пластинки \rightarrow сухо.

Таким чином, поблизу верхньої межі висококупчастих хмар середовище розріджене: сухі ділянки мали довжину ~ 25 км (19 %), крапельні ~ 15 км (12 %), ділянки з окремими пластинками ~ 55 км (42 %) і ділянки з пластинками ~ 35 км (27 %). Сухі ділянки були довжиною 5-15 км, ділянки з окремими пластинками чи пластинками – 15-20 км.

4. Горизонтальний політ поблизу верхньої межі Ас на висоті 3918 м, температура – $-11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (нижня межа – 3710 м, верхня – 3918 м). Загальна протяжність польоту – 220 км. Чергування прошарків було в такій послідовності: 15 км сухо → 10 км окремі пластинки → 185 км пластинки → 10 км сухо. Сухі ділянки склали 25 км (11 %), ділянки з окремими пластинками 10 км (5 %) і однорідна ділянка з пластинками 185 км (84 %).

5. Горизонтальні польоти в шарувато-дощовій хмарі Ns (нижня межа 193 м, верхня 2830 м, температура на нижній межі $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, на верхній $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Спочатку було виконано вертикальний підйом. До висоти $0,7\Delta\text{H}$ (2060 м) хмара була крапельною з таким розподілом:

0,025 ΔH – краплі дрібні «середня кількість»;

0,12 ΔH – краплі середні «середня кількість»;

0,4-0,8 ΔH – краплі середні, концентрація «мало» → «середня кількість» → «багато», далі окремі крупні краплі;

з 0,85 ΔH до верхньої межі – хмара кристалічна.

Горизонтальний політ відбувався поблизу верхньої межі (0,9 ΔH) в кристалічній частині хмари. Протяжність польоту – 255 км. На цьому шляху:

а) хаотично чергувались (тобто осередкова структура) крупні, середні та дрібні кристали. Із 255 км одна ділянка (близько 15 км) була сухою;

б) концентрацію «багато» крупних кристалів фіксували через 20 км, середніх – через 25 км, дрібних – через 30 км. Тобто, чим менші за розміром кристали, тим більшу їхню концентрацію відмічають протягом значної ділянки шляху;

в) концентрацію «середня кількість» фіксували через 40-60 км;

г) концентрацію «мало» для дрібних кристалів відмічали через 65 км;

д) форми кристалів були такі: комплекси, трикутники та шестикутники, пластинки неправильної форми.

Далі політ продовжувався в системі Ns-As. Літак зробив спуск із 2440 м до 1533 м, хмара була кристалічною, у ній по вертикалі фіксували дрібні та середні кристали з концентрацією «мало» і тільки поблизу кінцевої точки спуску (~ 1500 м) концентрація дрібних кристалів збільшилась до «середньої кількості».

Потім було виконано підйом з 1480 м до 4560 м. Загалом хмара була кристалічною, але зустрічалися вкраплення змішаної фази. Вертикальний розподіл такий:

- 0,5 °С 1480 м «багато» дрібних кристалів;
- 0,4 °С 1690 м «мало» дрібних і середніх кристалів;
- 1,9 °С 1970 м дуже «мало» дрібних і середніх кристалів;
- 2,6 °С 2200 м «мало» дрібних і середніх кристалів;
- 3,3 °С 2430 м «мало» середніх кристалів;
- 4,0 °С 2690 м «мало» середніх кристалів;
- 8,8 °С 3050 м сніжинки, середні краплі;
- 11,5 °С 3400 м «середня кількість» крупних кристалів;
- 15,8 °С 4070 м «багато» крупних кристалів;
- 17,7 °С 4350 м «багато» середніх кристалів;
- 19,5 °С 4560 м «мало» середніх кристалів.

Потім (через 20 хв) було здійснено горизонтальний політ на висоті 2550-2650 м. Протяжність польоту – 315 км, температура змінювалась від -6 до -10 °С. Зміни мікроструктури були такими: «багато» середніх і дрібних, «мало» крупних кристалів, через 25 км «мало» середніх крапель, через 25 км «мало» крупних крапель, через 50 км «мало» крупних, «середня кількість» середніх крапель, через 35 км «мало» крупних, «середня кількість» середніх крапель, через 115 км «мало» дрібних крапель, через 65 км «мало» середніх крапель.

6. Горизонтальний політ у системі Ns-As. Нижня межа 190 м, температура – -2,7 °С, верхня межа більш як 5000 м (не досягли). Спочатку було виконано підйом з 1159 м (-7,2 °С) до 4737 м (-29,7 °С). На просторі підйому хмара була кристалічною: а) у нижній частині (1100-1500 м) фіксували пластинки, концентрація яких переходила від «малої» до «середньої кількості», б) у середній частині (2000-3300 м) відмічали зірочки, концентрація яких переходила від «малої» до «середньої кількості», в) у верхній частині (3400-4700 м) спостерігали «багато» дрібних пластинок.

Далі було здійснено горизонтальний політ на висоті 1300 м. Протяжність польоту 130 км, температура -6 ~ -7 °С. Зміни мікроструктури були такими: початок польоту дрібні, середні пластинки «мало» → 50 км середні пластинки «мало», краплі «багато» → 30 км середні пластинки «мало», краплі дрібні, середні «багато» → 20 км дрібні

пластинки «середня кількість» → 30 км краплі середні «середня кількість».

Наведені приклади вимірів мікроструктури під час горизонтальних польотів у хмарах різних форм свідчать про значну мінливість фазового стану, що вказує на безперервний процес дії різних механізмів хмароутворення.

Висновки

Проаналізовано вертикальний розподіл фазового стану (від нижньої до верхньої межі) в основних формах хмар (St, Sc, Ns, Ns-As, Ac, As).

Виділено 16 типів вертикального розподілу фазового стану та визначено їхню ймовірність у кожній формі хмар.

Показано, що кожній формі хмар властивий свій тип вертикального розподілу фазового стану, зумовлений особливостями хмароутворення.

У високошаруватих, шарувато-дощових та системах шарувато-дощових і високошаруватих хмар визначено основні їхні параметри (товщина, температура на нижній межі, відносна вологість, форма кристалів) для найпоширеніших типів вертикального розподілу фазового стану, властивих цим хмарам.

Аналіз змін фазового стану в горизонтальних польотах за перетином на різних рівнях відносно нижньої межі шарувато-купчастих, висококупчастих, шарувато-дощових та систем шарувато-дощових і високошаруватих хмар указує на значну просторову мінливість як типу фазового стану, так і на концентрацію та розміри крапель і кристалів у кожній формі хмар, що свідчить про складний механізм хмароутворення.

* *

1. Кошенко А.М. Фазовое состояние и температурный режим облаков в зонах фронтов над Украиной // Тр. УкрНИГМИ. – 1968. – Вып. 75. – С. 47-57.
2. Половина И.П. Зависимость фазового строения облаков St, Sc и Ac от температуры // Тр. УкрНИГМИ. – 1962. – Вып. 31. – С. 158-164.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

Т.Н. Заболоцкая, В.Н. Подгурская, Т.Н. Шпиталь

Вертикальное и горизонтальное распределение фазового состояния в облаках различных форм

По данным самолетного зондирования атмосферы над центральными районами Украины выделено 16 типов вертикального распределения фазового состояния облаков; определена их повторяемость в каждой форме облаков. Приведены средние статистические параметры облаков различных форм с наиболее распространенными типами вертикального распределения фазового состояния. Проанализировано горизонтальное распределение фазового состояния в облаках различных форм.

Ключевые слова: самолетное зондирование атмосферы, вертикальное и горизонтальное распределение фазового состояния, разные формы облаков, типы вертикального распределения фазового состояния.

T.M. Zabolotska, V.M. Pidgurska, T.M. Shpital

Vertical and horizontal distribution of the phase state in different cloud forms

According the data of airborne observations of the atmosphere in central regions of Ukraine 16 types of vertical distribution of the phase state of clouds are allocated, the repeatability of these types in every cloud form is defined. The average statistical values of different cloud forms with best dilated types of vertical phase state distribution brought. Horizontal distribution of the phase state in different cloud forms is analyzed.

Keywords: the airborne observations of the atmosphere, vertical and horizontal distribution of the phase state, different cloud forms, types of vertical distribution of phase state.