

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАКОВ И ОСАДКОВ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

На экспериментальном радиолокационном материале исследованы структура и динамика развития облаков, получено пространственно-временное распределение значений параметров облаков и осадков.

Введение

Цель работы заключается в экспериментальном исследовании структуры и динамики отдельных облачных ячеек (очагов) с повышенной отражаемостью, их пространственного положения в различных фронтах холодного периода года. Работа проводилась по радиолокационным материалам (АКСОПРИ) Экспериментального Метеорологического полигона УкрНИГМИ с использованием данных о термодинамическом состоянии и режиме ветра в атмосфере, полученных по материалам радиозондирования ст. Кривой Рог. Данные об осадках, выпадающих из исследуемых облаков, суммировались за все время наблюдения АКСОПРИ.

Для изучения структуры и динамики развития облаков построены картины радиоэха в изоконтурках радиолокационной отражаемости для различных высот. Картины АКСОПРИ позволили проследить изменение радиоэха через каждые 10 мин.

Общая характеристика облачных процессов

Рассмотрено 14 очагов в феврале 1993 г. (9 очагов в конвективных и 5 – в слоистых и слоисто-дождевых облаках), имеющих на внешнем контуре изоэха 30 дБZ, что соответствует интенсивности осадков до 2 мм/ч. Очаги повышенной радиолокационной отражаемости наблюдались 23 февраля в центральной части окклюдированного фронта (№№ 1-4) и один (№ 5) – в тылу фронта.

24 февраля очаги (№№ 6-9) наблюдались в предфронтальной воздушной массе и очаг № 10 в тылу холодного фронта.

26 февраля на ЭМП стационарировал теплый фронт. Все очаги (№№ 11-14) наблюдались в предфронтальной облачности.

Основные параметры облачных процессов представлены в табл.1.

Таблица 1

Характеристика облачных процессов за февраль 1993 г.

№ очага	Фронт	Дата	Период наблюдений	Облачность	$H_{\max}$ р/э	t°	H_0	Тип очага	Кол. ячеек
1	Окк.	23	18.00 – 19.10	Ac, Cb	3,2	-10,2	2,0	Одн.	1
2	– // –	– // –	18.10 – 19.20	– // –	2,8	-9,8	1,6	– // –	1
3	– // –	– // –	18.40 – 19.00	– // –	2,0	-4,2	0,8	– // –	1
4	– // –	– // –	19.10 – 22.40	– // –	4,0	-17,0	2,8	Мульти.	3
5	– // –	– // –	23.10 – 02.30	– // –	4,0	-16,7	2,8	– // –	4
6	Хол.	24	00.50 – 02.30	– // –	2,8	-7,7	1,6	Одн.	1
7	– // –	– // –	01.40 – 05.10	– // –	2,8	-9,7	1,6	Мульти.	2
8	– // –	– // –	02.20 – 05.10	– // –	2,4	-7,7	1,2	– // –	2
9	– // –	– // –	03.10 – 04.00	– // –	3,2	-14,0	2,0	Одн.	1
10	– // –	– // –	05.30 – 06.10	St, Sc	2,0	-5,0	0,8	– // –	1
11	Тёп.	26	08.10 – 09.10	Ns	4,4	-15,3	2,6	– // –	1
12	– // –	– // –	08.10 – 09.40	– // –	4,8	-21,2	3,6	– // –	1
13	– // –	– // –	08.10 – 09.40	– // –	4,4	-18,0	3,2	– // –	1
14	– // –	– // –	08.10 – 09.10	– // –	2,4	-5,3	1,2	– // –	2

Высота зарождения новых конвективных ячеек обусловлена различными процессами. Максимальная высота ($H_{\max}$) рассматриваемых очагов составляла от 2,0 до 4,8 км. Температура на максимальной высоте была отрицательной, высота нулевой изотермы (H_0) была 0,8-3,6 км.

Очаги были одноячейковыми и мультячейковыми, последние наблюдались в конвективных и один случай в слоисто-дождевых (пример затопленной конвекции) облаках. Конвективные ячейки объединялись в мезоскопления, состоящие из близко расположенных Cu и Cb (3-4 ячейки).

Фронты, на которых наблюдались очаги, смещались с запада, юго-запада. Очаги двигались как по направлению ведущего потока (700 мб), так и под углом к нему. Максимальное отклонение направления движения очагов влево от ведущего потока и направления ветра на верхней границе радиоэха $70-75^{\circ}$ (отклонение 23 февраля 1993 г., когда мультячейка перемещалась почти перпендикулярно ветру на фронте), вправо $-30-35^{\circ}$.

Анализ движения конвективных ячеек показал, что все мультячейковые очаги (за исключением одного) смещались влево от ведущего потока. Отклонение направления движения очагов от направления смещения фронта могло достигать 95° вправо, 50° влево.

Одноячейковые облака перемещались в различных направлениях от ведущего потока.

Отношение скорости движения очагов к скорости ветра на АТ₇₀₀ и ВГ радиоэха близки и в среднем составили 1,16 и 1,40. Эти величины отличаются для очагов, смещающихся влево или вправо. Для смещающихся вправо очагов эти отношения составили 1,76 и 2,17, что вдвое больше, чем для смещающихся влево.

Эти же характеристики рассмотрены отдельно для случаев с конвективной и слоисто-дождевой облачностью. Для Ns, St они значительно выше (1,55 и 2,49), тогда как для Cb – 0,95 и 0,83 соответственно.

Пространственное положение конвективных очагов и динамика их развития

Анализ строения конвективных очагов, зон повышенного отражения, показывает их пространственную асимметрию. Все рассмотренные очаги имели неправильную форму и вытянутость на всех высотах. Схема движения очага представлена в системе координат (рис. 1), в центре расположен локатор.

Радиус обзора его составляет 100 км. На рисунке последовательно во времени нанесена площадь очага, оконтуренная линией 30 дБZ на высоте 1,2 км. Очаг дан в целом, без выделения ячеек. На этом же рисунке нанесена приземная линия фронта.

На рис. 2 дан вертикальный разрез этого очага, находящегося от радиолокатора на расстоянии 90-130 км. Максимальная отражаемость в нем составляла 30 дБZ до высоты

8 км. Очаг имел наклон в сторону господствующего ветра на АТ₇₀₀ мб (160°). Максимальной высоте (8 км) отражаемости 30 дБZ соответствовал и пик интенсивности осадков, до 5 мм/ч.

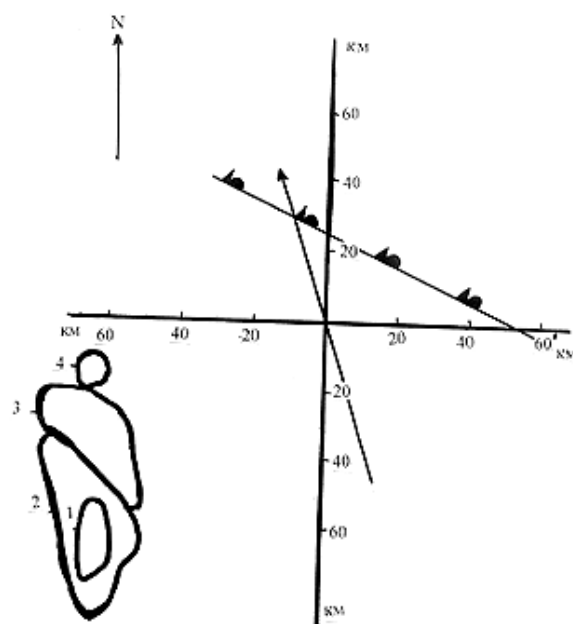


Рис. 1. Схема движения ячейки на высоте 1,2 км в последовательные моменты времени (1 – 18.00; 2 – 18.20; 3 – 18.40; 4 – 19.10) 23.02.1993г. Стрелками показаны линия фронта и направление ведущего потока

В однопячейковых процессах отражаемость более 30 дБZ не наблюдалась, в мультячейковых – до 40 дБZ.

В эволюции развития очага отмечается три стадии развития: роста (τ_1), "квазистационарного" состояния (τ_2) и диссипации (τ_3) (табл. 2).

Стадия роста длится от момента появления облака до момента достижения максимальных радиолокационных характеристик.

Стадия "квазистационарного" состояния – это время, в течение которого радиолокационные характеристики мало меняются. В некоторых случаях изменения характеристик бывает столь существенным, что напоминают стадию диссипации, но затем вновь усиливаются.

Под временем диссипации очага понимается время уменьшения радиолокационных характеристик до исчезновения радиоэха.

Время жизни очага складывается из величин $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3$. Анализ продолжительности жизни 14 очагов показал, что она может меняться от 20 до 240 мин., а наиболее часто (70%) время жизни их не более 60 мин.

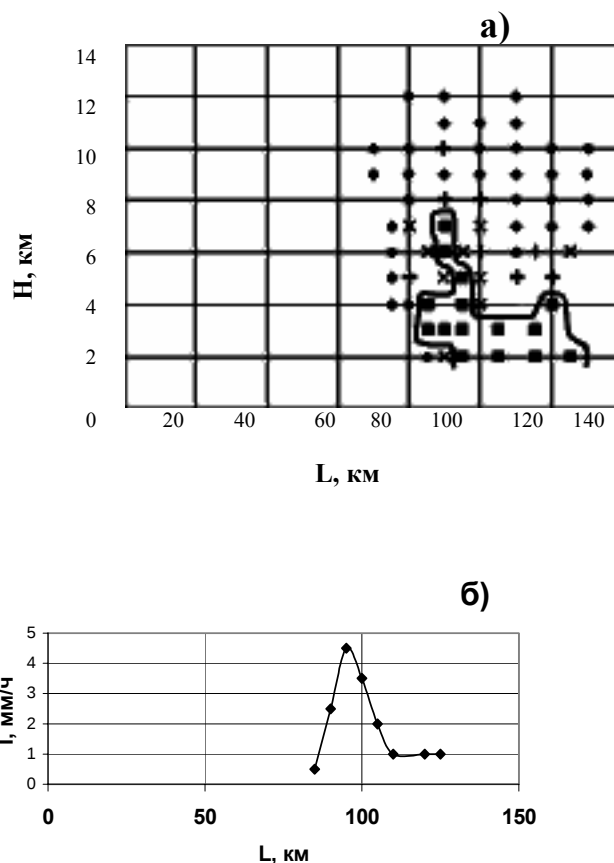


Рис. 2. Вертикальный разрез (а) конвективной ячейки (очаг №1) 23.02.93г. 18:20 и интенсивности осадков (б). Усл. обозначения: ■ – 30дБZ, x – 25дБZ, + – 20дБZ, ● – ≤ 15дБZ

Таблица 2

Средняя продолжительность жизни очага (минуты)

Тип очагов	τ_1	τ_2	τ_3	τ	τ_1 / τ_3	τ_1 / τ	τ_2 / τ	τ_3 / τ
Одноячейковые	30	14	24	66	1,69	0,48	0,20	0,40
Мультячейковые	35	108	65	182	0,93	0,18	0,60	0,32

В одначейковых процессах время жизни очага в среднем 66 мин., в мультячейковых – 182 мин. Стадия τ_1 почти одинакова при любом типе очага, а τ_2 при мультячейковых процессах в несколько раз больше, чем при одначейковых (108 и 14 мин. соответственно). Стадия τ_3 в одначейковых продолжалась 24 мин., но для мультячейковых – 65 мин. Продолжительность τ_2 , τ_3 и τ для мультячейковых процессов значительно больше, чем при одначейковых, однако относительные характеристики значительно меньше, за исключением отношения τ_2/τ (в 3 раза больше).

На рис. 3 (для случая 23.02.1993 г.) показано изменение площади осадков на высоте 800м и высоты радиоэха в течение всего периода наблюдений за очагом: на ординате – площадь осадков (%) и высота верхней границы радиоэха, на оси абсцисс – время наблюдений. Для одначейковых очагов характерен один максимум площади, после чего идет разрушение очага. Для мультячейковых очагов наблюдалось несколько всплесков максимумов площади осадков, пока не наступало окончательное его разрушение. Площадь осадков достигала максимума на стадии начала диссипации очага.

На рис. 3 также приведено изменение верхней границы радиоэха в те же моменты времени, что и площадь осадков. Сопоставляя кривые площади осадков и верхней границы радиоэха, отмечаем, что их максимальные значения наблюдались почти одновременно.

Наблюдается хорошая зависимость площади радиоэха ($\lg S$) от максимальной интенсивности осадков (I) (рис. 4).

Размеры площади (S) радиоэха каждого очага на высоте 1,2 км, интенсивность (I) и вклад осадков различной интенсивности в общую сумму осадков за период наблюдения за очагом приведены в табл. 3

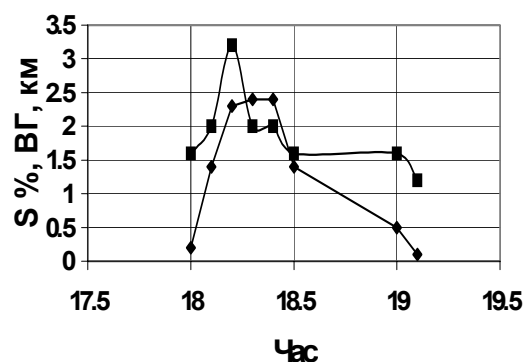


Рис. 3. Площадь осадков и макс. высота радиоэха:
■ – BG, ● – S

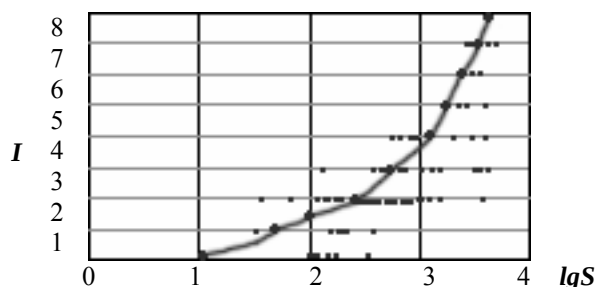


Рис. 4. Зависимость площади радиоэха ($\lg S$) от $I_{\max}$ осадков

$S_{\text{сред.}}$ колебалась от 96,8 до 2970 км², S_{max} радиоэха была на фронте окклюзии – 4648 км². Максимальная интенсивность осадков (7,2 мм/ч) отмечалась на фронте окклюзии, минимальная (1,2 мм/ч) – на холодном фронте. На холодном фронте также отмечались Cb (очаги №№ 6-10), как и на окклюдированном фронте, но интенсивность осадков была значительно ниже, что можно объяснить малой мощностью облаков (см. табл.1).

На теплом фронте наблюдались Ns, интенсивность осадков была различной и в тех случаях, когда она составляла 3,0 и 4,2 мм/ч, можно предположить о наличии скрытой конвективной облачности в толще слоисто-дождевых облаков.

Таблица 3

Площадь радиоэха и характеристики осадков, выпадающих на площади обзора радиолокатора

№№ Очага	S р/э, км ²		I _{max} осадков, мм/ч	Вклад (%) осадков при	
	$\bar{S}$	S _{max}		I ≥ 2 мм/ч	I _{max}
1	418,1	771,9	6,0	47	3
2	643,2	996,0	4,2	32	5
3	688,9	1079,0	4,2	32	5
4	1944,4	4648,0	7,2	53	1
5	2970,0	3975,7	7,2	41	0,8
ОКЛ.	1693,8	4648,0	5,4	41	3
6	570,3	1045,8	1,8	6	6
7	260,1	531,2	1,8	7	7
8	337,3	605,9	1,8	6	6
9	569,9	713,8	1,8	6	6
10	192,6	249,0	1,2	–	–
ХОЛ.	382,0	1045,8	1,8	6	6
11	298,8	763,6	1,8	16	16
12	412,2	581,0	4,2	12	9
13	1106,0	1767,9	3,0	16	3
14	96,8	132,8	1,8	16	16
ТЁП.	433,9	1767,9	2,4	15	11

В табл. 3 приведен вклад осадков различной интенсивности в общую сумму осадков за период наблюдений. На фронте окклюзии осадки с интенсивностью 2 мм/ч и более давали 32-53% всей суммы. На холодном фронте интенсивность осадков не превышала 2 мм/ч, и вклад её в сумму осадков был 6-7% (очаг №10 давал осадки с интенсивностью меньше 2мм/ч). На теплом фронте осадки интенсивностью 2 мм/ч и выше давали 16% всей суммы осадков.

Анализируя табл. 3, делаем вывод, что наибольший вклад в сумму осадков давали малоинтенсивные (до 2 мм/ч), осадки, а небольшой вклад осадков с $I_{\max}$ можно объяснить малой площадью их распространения.

Выводы

Материалы АКСОПРИ позволили изучить структуру очагов радиоэха, которые наблюдались при прохождении фронтов. Из 14 рассмотренных очагов 10 были одноячейковыми и 4 мультячейковыми, объединяющими 3-4 ячейки. Отклонение направления движения очагов от направления смещения фронта могло достигать 95° вправо и 50° влево. Продолжительность существования очагов различна: в среднем одноячейковые существуют в пределах одного часа, многоячейковые – трёх часов.

Размеры площади очагов колебались: максимальная составляла 4648 км^2 . Самые интенсивные осадки выпадали на окклюдированном фронте (7,2 мм/ч) и слабые (1,8 мм/ч) – на холодном фронте. Наибольший вклад в сумму осадков за период наблюдений давали осадки интенсивностью до 2 мм/ч.

Объем экспериментальных данных недостаточен, но выводы, полученные по ним, можно использовать для приближенных оценок.

По утверждению некоторых авторов [1, 2], наличие очагов внутри фронтальных облаков явление типичное для всех сезонов года, даже для зимы, когда термическая конвекция отсутствует. Очаги являются следствием "затопленной" конвекции, развивающейся на отдельных участках фронтальной облачности. Проведенное нами исследование по радиолокационным материалам УкрНИГМИ подтвердило это утверждение.

* *

За експериментальним радіолокаційним матеріалом УкрНДГМІ досліджено структуру та динаміку розвитку хмар, отримано просторово-часовий розподіл значень параметрів хмар та опадів.

* *

1. Абшаев М.Т., Атабиев М.Д., Мальбахова Н.М., Правосудов А.В. Радиолокационные исследования процесса градообразования в кучево-дождевых облаках // Тр. ВГИ. – Вып. 39. – 1978. – С. 3-31.
2. Шметер С.М. Характеристики затопленной конвекции во фронтальных облаках и условия их образования // Метеорология и гидрология. – № 11. – 1990. – С. 36-44.

*Украинский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, Киев*