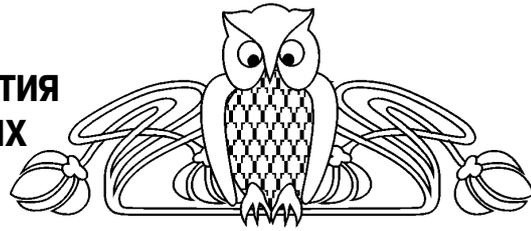




УДК 551.577.1

## НЕКОТОРЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ОСАДКООБРАЗУЮЩИХ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ОБЛАЧНЫХ ЗОН И ГРЯД ПОВОЛЖЬЯ



О.Б. Цой

Саратовский государственный университет,  
кафедра метеорологии и климатологии  
E-mail: TsoyOB@yahoo.com

В статье приводятся некоторые результаты комплексных исследований осадкообразующей мезомасштабной облачности на Пензенском экспериментальном метеорологическом полигоне. По данным специальных радиолокационных и метеорологических наблюдений проанализированы условия образования и развития 12 мезомасштабных облачных зон и 14 облачных гряд при внутримассовых синоптических ситуациях. Показано, что данные облачные образования могут развиваться при неблагоприятных для реализации глубокой конвекции термических условиях. В этом случае их развитие может быть обусловлено наличием некоторых динамических факторов. Для мезомасштабных облачных зон это комбинация следующих условий: нижнеуровневой мезообласти конвергенции потоков – области дивергенции в верхней тропосфере. Для гряд такой комбинации условий не наблюдается.

### A Description of Mesosynoptic Conditions of the Precipitating Mesoscale Cloudy Zones and Bands Development in Volga Region

О.В. Tsoi

In the article some results of complex researches of precipitating mesoscale cloudiness on Penza experimental meteorological range are resulted. On the data of special radar and meteorological observations the conditions of formation and development of 12 mesoscale cloudy zones and 14 of cloud-bands are analysed in air mass synoptic situations. It is shown, that these cloudy formations can develop with adverse for realization deep convection thermal conditions. In this case their development can be caused by presence of some dynamic factors. For meso-zones it is a combination of follow follow conditions: low-level mesoscale convergence area of flows – divergence area in the upper troposphere. For cloud-bands such combination of conditions is not observed.

Несмотря на значительное количество проведенных к настоящему времени исследований осадкообразующей облачности средних широт, сохраняется значительная неопределенность в вопросах генезиса мезомасштабных облачных образований, под которыми обычно понимаются образования, меньшие фронтальных облачных систем, но большие отдельного одноячейкового кучево-дождевого облака.

В результате многолетних (1987–1992 гг.) радиолокационных (МРЛ-5 и МРЛ-2) исследований облачности на Пензенском экспериментальном метеорологическом полигоне Центральной

аэрологической обсерватории (ПЭМП ЦАО) мезомасштабные осадкообразующие облачные образования были классифицированы на некоторые морфологические группы. Среди них наиболее значимыми по роли в осадкообразовании и вместе с тем наименее исследованными по условиям образования и развития являются мезомасштабные облачные зоны (МОЗ) и гряды (Г). По виду на индикаторе кругового обзора радара МОЗ и Г определяются следующим образом [ 1 ]:

– гряды (Г) – осадкообразующие облачные образования с четко выраженной полосовой структурой (длина / ширина  $\geq 3$ ), длина которых в пределах эффективного радиуса обзора радиолокатора может меняться в диапазоне от 30 до 150 км;

– мезомасштабные облачные зоны (МОЗ) – сплошные осадкообразующие облачные образования площадью от 400 до 10000 км<sup>2</sup>, не имеющие полосовой структуры.

Как показано ранее в [1], роль МОЗ и Г в производстве осадков на данной территории достаточно велика. Общий их вклад в сезонную сумму осадков может достигать 24%. Сезонный вклад МОЗ может составлять 18%, при этом они дают в среднем наиболее обильные (средняя за дождь сумма осадков – 4,2 мм) и интенсивные (средняя максимальная интенсивность за дождь  $I_m = 0,24$  мм/мин) дожди в летнем сезоне. Особенно велики эти характеристики осадков МОЗ относительно осадков всех других облачных образований для дождей средней продолжительности (от 1–3 ч). Высокой интенсивностью ( $I_m = 0,19$  мм/мин) отличаются и осадки, выпадающие из гряд. Среди коротких (менее 1 ч) дождей из всех групп облачности дожди из гряд наиболее интенсивны. Отмеченные характеристики МОЗ и Г намного превосходят аналогичные у других мезомасштабных облачных образований (кластеров площадью до 400 км<sup>2</sup> и отдельных конвективных облаков). При внутримассовых процессах вклад МОЗ и Г в общую сумму осадков на данной территории может быть определяющим.

Обнаружены также принципиальные различия в структуре осадков этих мезомасштабных образований. Например, основные характеристики осадков (суммы, интенсивности, продолжительности) аппроксимируются разными аналитическими функциями в зависимости от полосовой (Г) или неполовой (МОЗ) структуры



облачного образования [1]. Морфологическая же структура облачности в значительной степени обусловлена особенностями генезиса данного образования.

Таким образом, определяющая среди мезомасштабных облачных образований роль МОЗ и Г в осадкообразовании на данной территории обуславливает повышенный интерес к их исследованию. В настоящей работе были выявлены некоторые особенности метеорологических и аэросиноптических условий образования и развития внутримассовых мезомасштабных облачных зон и гряд на территории ПЭМП ЦАО. Для анализа были отобраны МОЗ и Г с наиболее полно прослеженными радиолокатором циклами развития, давшие осадки на пловииографических пунктах и обеспеченные параллельными результатами метеорологических и радиозондовых наблюдений. Выборки МОЗ и Г проанализированы отдельно.

### Характеристики и условия развития мезомасштабных облачных зон

Синоптические условия образования и развития МОЗ могут быть весьма разнообразными. Из 30 МОЗ, прослеженных радиолокатором за весь период исследований, 18 (60%) наблюдались при фронтальных ситуациях: теплый фронт, холодный фронт, фронт окклюзии (ТФ, ХФ, ФО соответственно), волна, особенно часто на волнах – 9

случаев (30%) и фронтах окклюзии – 6 случаев (20%). При внутримассовых ситуациях из 12 зон случаев зарегистрированных МОЗ (40%) наиболее часто (по 4 случая) эти облачные образования наблюдались в малоградиентных и переходных барических полях (МБП и ПБП), иногда на участках слабых стационарных фронтов (обозначенных на синоптических картах, но не выраженных в поле метеовеличин и потому отнесенных нами к внутримассовым ситуациям).

Во фронтальных ситуациях появление и развитие МОЗ происходило в рамках эволюции всего облачного поля фронта. Относительно небольшие (мезомасштабные) размеры некоторых фронтальных облачных образований, позволяющие идентифицировать их по радиолокационным данным как МОЗ, могут быть обусловлены начальной стадией облакообразования, например, на вновь возникшей волне либо конечной стадией, когда поле осадков и облачности ослабевает и распадается на отдельные зоны, или же горизонтальной неоднородностью самой фронтальной зоны, имеющей изгибы и разрывы по линии своего распространения [ 2, 3 ].

Наибольший интерес представляют условия развития МОЗ при различных внутримассовых ситуациях. Всего в работе было исследовано 12 внутримассовых МОЗ, давших осадки на пловииокустах ПЭМП. Характеристики этих МОЗ и некоторые условия их развития представлены в табл. 1 и табл. 2 и на рис. 1, а, б.

Таблица 1

Характеристики внутримассовых мезомасштабных облачных зон

№ п/п	Дата	Время жизни		$S_m, \text{км}^2$	$H_m^{\text{вг}}, \text{км}$	Осадки		
		$t_n - t_k, \text{ч мин}$	$\Delta t, \text{ч}$			$\tau_n - \tau_k, \text{ч мин}$	$Q, \text{мм}$	$I_m, \text{мм/мин}$
1	7.07.87	15–17 <sup>30</sup>	2,5	900	6	16 <sup>20</sup> –17 <sup>00</sup>	0,1–1,0	0,200
2	26.07.87	14–18	4	5000	12	14 <sup>50</sup> –16 <sup>40</sup>	1,8–3,9	0,057
3	6.05.89	19–23	4	3200	6	20 <sup>00</sup> –22 <sup>40</sup>	0,1–1,6	0,125
4	12.05.89	13 <sup>30</sup> –15 <sup>30</sup>	2	900	8	13 <sup>40</sup> –14 <sup>40</sup>	0,1–1,1	0,122
5	13.07.89	13–17	4	10000	12	13 <sup>30</sup> –16 <sup>50</sup>	1,9–31	1,980
6	14.07.89	16–21	5	9900	12	18 <sup>00</sup> –21 <sup>00</sup>	12,5–39,5	1,650
7	6.06.90	13–16	3	2400	9	14 <sup>40</sup> –15 <sup>50</sup>	1,2–3,4	0,350
8	15.08.90	11–14	3	1800	6	11 <sup>00</sup> –12 <sup>50</sup>	0,1–0,9	0,200
9	19.06.91	13–15 <sup>30</sup>	2,5	4200	10	13 <sup>30</sup> –14 <sup>20</sup>	0,1–0,8	0,120
10	14.07.91	16–18	2	3200	8	16 <sup>00</sup> –16 <sup>50</sup>	2,1–16,9	1,500
11	31.08.91	9 <sup>30</sup> –14	4,5	1800	6	10 <sup>40</sup> –11 <sup>50</sup>	0,5–1,8	0,100
12	15.05.92	~ (7–16)	~ 9	7200	8	8 <sup>00</sup> –15 <sup>40</sup>	12,3–26,2	0,133

Примечание.  $t_n, t_k$  – время начала и конца развития;  $\Delta t$  – время жизни;  $S_m$  – максимальная площадь;  $H_m^{\text{вг}}$  – максимальная высота верхней границы;  $\tau_n, \tau_k$  – время начала и конца выпадения осадков на постах;  $Q, I_m$  – сумма и максимальная интенсивность дождей.

Анализируемые случаи с МОЗ фиксировались в разные месяцы во всех сезонах рассматриваемого периода, кроме 1988 года. МОЗ имели различную конфигурацию (отличную от полосовой) и размеры во всем диапазоне, опре-

деленном для этой облачной группы. В периоды выпадения из МОЗ осадков на пловииокустах их верхние границы ( $H_m^{\text{вг}}$ ) достигали 6–12 км. Время их жизни варьировалось от 2–5 ч, при этом в 11 случаях цикл развития зон был про-



Таблица 2

Метеорологические и синоптические условия развития внутримассовых МОЗ

№ п/п	Дата	Синоптическая ситуация		Поле барической тенденции	Δd, °
		Приземная карта	Карта АТ-300		
1	7.07.87	Стационарный фронт, ПБП	Передняя часть ложбины	Нет данных	40
2	26.07.87	Стационарный фронт, МБП	Передняя часть ложбины	Мезо-П <sub>03</sub>	40
3	6.05.89	Стационарный фронт, ПБП	Передняя часть ложбины	П <sub>05</sub> -Р (с 21 ч)	100
4	12.05.89	Теплый сек.тор циклона	Передняя часть ложбины, МБП	Мезо-П <sub>05-08</sub>	105
5	13.07.89	Гребень-МБП	МБП-гребень	П <sub>10</sub>	115
6	14.07.89	МБП	МБП-перед. ложб.	Мезо-П <sub>07-09</sub>	155
7	6.06.90	Тыл циклона	Нет данных	П <sub>00</sub>	Нет данных
8	15.08.90	ПБП	Передняя часть ложбины	Мезо-П <sub>13</sub>	85
9	19.06.91	Стационарный фронт, МБП	Гребень	П <sub>08</sub>	80
10	14.07.91	Тыл циклона-ПБП	Гребень	П <sub>00</sub>	80
11	31.08.91	Тыл циклона	Передняя часть ложбины	Мезо-П <sub>05</sub>	85
12	15.05.92	Вторичный холодный фронт, тыл циклона-ПБП	Передняя часть ложбины	П <sub>00</sub> -Р <sub>01</sub>	135

Примечание. ПБП – переходное барическое поле; МБП – малоградиентное барическое поле; П<sub>08</sub> – область падения давления 0.8 гПа/3 ч; мезо-П – мезообласть падения давления; Р – область роста давления; Δd – поворот ветра в слое Земля – верхняя тропосфера.

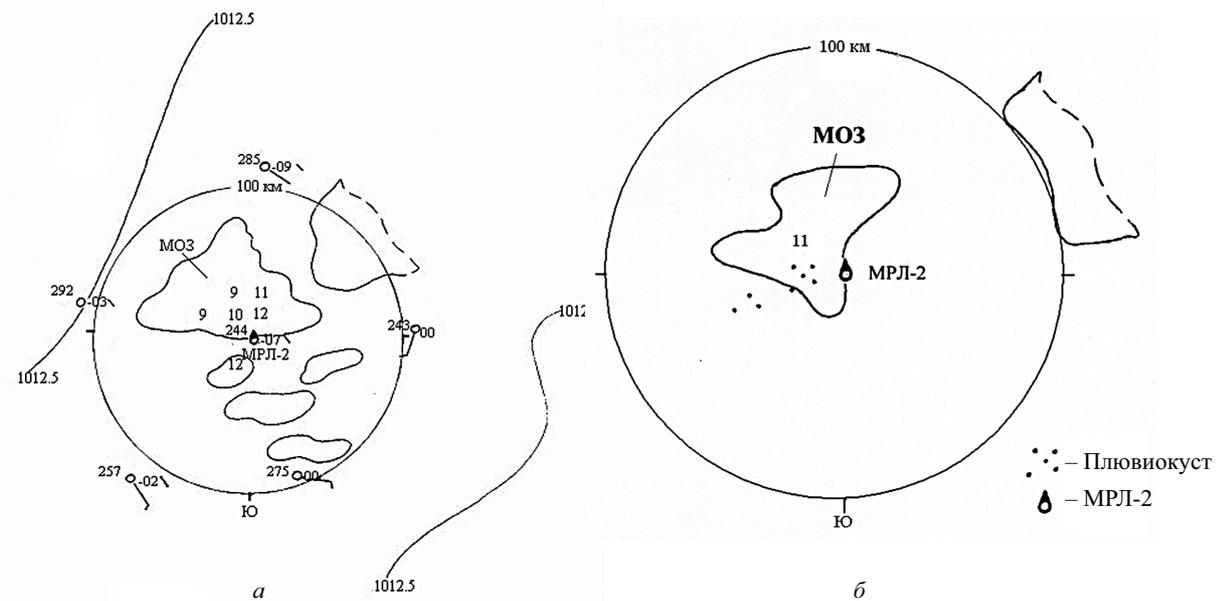


Рис. 1. Мезомасштабная облачная зона (МОЗ) 14.07.89 г. на ПЭМП: а – изображение на карте МРЛ-2 в 17 ч 30 мин и синоптическая ситуация на приземной карте погоды в 18 ч мдв; б – вид МОЗ на экране МРЛ-2 в 20 ч 30 мин

слежен полностью. В одном случае (15.05.92 г.) МОЗ существовала по данным МРЛ-2 не менее 9 ч. Более точно определить время ее появления и распада не удалось. Осадки из исследуемых МОЗ регистрировались в широком временном диапазоне в течение суток – от 8–23 ч местного времени, хотя преимущественно (в 7 случаях из 12) – в период от 13–18 ч. Развитие МОЗ происходило не только днем, но и утром

(31.08.91 г., 15.05.92 г.) и вечером (6.05.89 г., 14.07.89 г.). Зарегистрированные на pluviometers осадки из этих облачных образований отличались разнообразием характеристик: от мелких морозяще-обложных, до обильных ливневых. Разнообразными были, несмотря на общий внутримассовый характер ситуации, и синоптические условия развития этих облачных образований. В табл. 2 представлены МОЗ, на-



блюдавшиеся в ПБП и МБП (иногда на участках слабовыраженных стационарных фронтов), в тылу циклонов, в теплом секторе циклона, на периферии антициклона.

Однако, несмотря на разнообразие самих МОЗ и фоновых условий их развития, были отмечены и некоторые общие черты синоптической обстановки, сопутствующей их образованию. Как показывает табл. 2, в 10 из 11 рассматриваемых случаев (для случая 7.07.87 г. нет данных «кольцовки») МОЗ развивались на фоне отрицательной барической тенденции в приземном атмосферном слое. При этом в пяти случаях на кольцевых картах погоды можно было выделить мезомасштабную область с максимальным падением давления (мезо-П) в центре ПЭМП (ст. Пенза) относительно окружающих станций (рис. 1, а). В 5 других случаях использованная на «кольцовках» сеть станций не дает возможность локализовать области с максимальными значениями падения давления, хотя по всей территории ПЭМП также наблюдается отрицательный фон барической тенденции. Значения падения давления во всех случаях невелики – менее 1.0–1.3 гПа за 3 ч, поэтому при стандартной обработке приземных карт погоды такие мезообласти барической тенденции не выделяются. Как показывалось в исследованиях [4–8], для возникновения локальных зон восходящих движений и последующего развития комплексов конвективных облаков имеет существенное значение предварительное появление мезомасштабных областей нижеуровневой конвергенции потоков, в свою очередь обусловленных наличием на данной территории в нижнем атмосферном слое областей отрицательной барической тенденции. При этом даже малые по горизонтальным размерам и величине барической тенденции неоднородности поля давления могут являться причиной появления подобных областей конвергенции. Наличие такого динамического фактора объясняет случаи появления конвективных облачных образований в периоды, существенно несовпадающие со временем максимального развития термической конвекции (например, 6.05.89 г., 15.08.90 г., 31.08.91 г.). Во всех случаях поле (или мезообласть) отрицательной барической тенденции уже обнаруживалось к началу развития МОЗ, а в конце их существования уже могло смениться на поле слабоположительной барической тенденции (6.05.89 г., 15.05.92 г.). В 3 случаях (6.06.90 г., 14.07.91 г., 15.05.92 г.) развитие МОЗ происходило на фоне близкой к нулю, но отрицательной барической тенденции ( $P_{00}$ ).

На верхних тропосферных уровнях (карты АТ-300) над территорией ПЭМП в периоды развития МОЗ регистрировались в основном два вида барического поля: передняя часть высотной ложбины (в 8 случаях) и высотный гребень (3 случая) (см. табл. 2). Как известно, этим участкам барического поля соответствуют области дивергенции воздушных потоков. В 3 случаях совместно с

указанными барическими образованиями (сразу до или после них) наблюдались малоградиентные поля. В одном случае данные карт барической топографии отсутствовали.

Таким образом, в начальной стадии развития МОЗ при внутримассовых ситуациях нижеуровневой конвергенции потоков, часто обусловленной наличием мезообласти отрицательной барической тенденции, как правило, соответствует область дивергенции воздушных потоков в верхней тропосфере. Это подтверждается и представленными в табл. 2 данными о сдвиге ветра по направлению в слое земля – верхняя тропосфера: в 9 случаях – не менее  $80^\circ$  и лишь в 2 случаях (при стационарных фронтах) –  $40^\circ$ . Данные радиозондирования отсутствовали 6.06.90 г.

Анализ данных радиозондирования аэрологической станции г. Пензы показывает, что развитие внутримассовых мезомасштабных облачных зон может происходить при наличии задерживающих слоев, при небольших ( $\Delta T < 1-2^\circ\text{C}$ ) или даже отрицательных значениях энергии неустойчивости, отсутствии конвективно-неустойчивого слоя (КНС) в нижней тропосфере (рис. 1, б). Инверсии или изотермии в период развития МОЗ на полигоне наблюдались 7.07.87 г., 26.07.87 г., 14.07.89 г., 19.06.91 г., 15.05.92 г., а КНС отсутствовал 26.07.87 г., 14.07.89 г., 19.06.91 г., 15.05.92 г. По стандартным прогностическим критериям отмеченные условия являются неблагоприятными для реализации глубокой конвекции и образования ливней и гроз. Однако при наличии упомянутого выше динамического фактора на полигоне наблюдалось развитие мощных конвективных, обильно дождящих, мезомасштабных облачных зон.

Наиболее типичным вариантом образования МОЗ при внутримассовых ситуациях является расширение и объединение нескольких более мелких облачных образований (например, МОЗ N1,2,4,5,6,8,9,10,11 в табл. 1 и табл. 2), хотя возможен и противоположный путь – распад на несколько МОЗ крупномасштабной облачной полосы при размывании стационарного фронта (6.05.89 г.). Завершается жизненный цикл МОЗ обычно распадом их на мелкие образования или полным исчезновением радиоэхо на экране МРЛ. В одном случае на стационарном фронте в ПБП (7.07.87 г.) исследуемая МОЗ слилась с соседней в облачную полосу, а 12.05.89 г. – соединилась с более крупной МОЗ. Можно предположить, что при фронтальных ситуациях слияние МОЗ с крупномасштабным полем фронтальной облачности является типичным продолжением их цикла развития.

Отметим также, что перемещение МОЗ часто не зависит от направления ведущего потока в средней тропосфере, например в случаях 12.05.89 г., 14.07.89 г., 15.08.90 г. и 31.08.91 г., когда МОЗ развивались на одном ограниченном участке территории.



### Характеристики и условия развития мезомасштабных облачных гряд

Осадкообразующие облачные гряды заданного диапазона размеров являются преимущественно внутримассовыми облачными образованиями. Из 22 облачных гряд, зарегистрированных МРЛ, только 8 наблюдались при фронтальных ситуациях: на волнах и фронтах окклюзии. В анализируемую здесь выборку включены только облачные гряды, наблюдавшиеся при внутримассовых условиях (14 случаев).

Они регистрировались в основном при двух типах ситуаций: в малоградиентных и переходных барических полях (6 случаев) и в тылу циклонов (5 случаев) при прохождении вторичных холодных фронтов. По одному случаю гряд отмечено в теплом секторе циклона, на периферии антициклона и в МБП при отмеченном на карте стационарном фронте. Характеристики всех внутримассовых облачных гряд и аэросиноптические условия их развития представлены в табл. 3 и 4. Пример изображения гряды на экране МРЛ-5 дан на рис. 2, а, б.

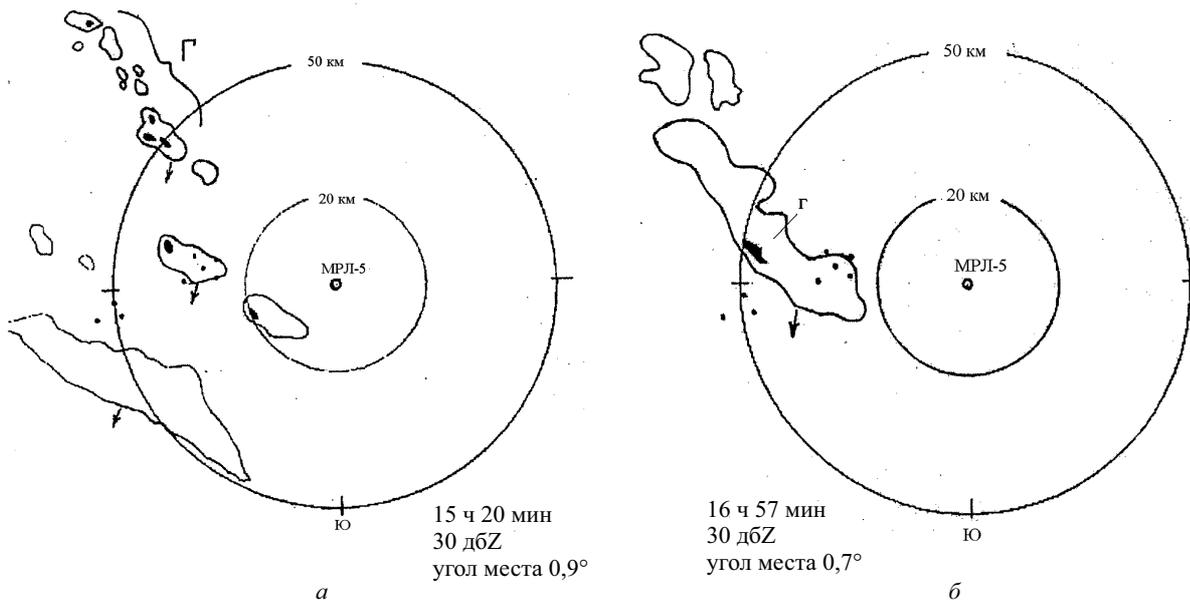


Рис. 2. Мезомасштабная облачная гряда (Г) 21.08.87 г. на ПЭМП: а – изображение гряды на экране МРЛ-5 в 15 ч 20 мин; б – изображение гряды на экране МРЛ-5 в 16 ч 57 мин

Облачные гряды, представленные в этих таблицах, отмечались в разные месяцы почти всех исследуемых сезонов (кроме 1991 г.). Время жизни гряд варьировалось в диапазоне от 1,5–5 ч (по 12 случаям с прослеженными начальными и конечными фазами развития). В двух случаях (при уходе гряд из области эффективного обзора МРЛ) точное время жизни их определить не удалось, но оно составило не менее 5 ч.

Как видно в табл. 3, циклы развития внутримассовых гряд чаще всего соответствуют периоду максимума дневной термической конвекции (12–18 ч), хотя в двух случаях (на вторичном холодном фронте 14.06.90 г. и 20.06.90 г.) их развитие происходило с 10–13 ч.

Рассматриваемые облачные гряды характеризовались широким спектром морфологических характеристик во всем определенном для них диапазоне размеров: максимальные площади ( $S_M$ ) в период выпадения осадков на пьювиопостах составляли от 750 км<sup>2</sup> (50x15 км) до 7500 км<sup>2</sup> (150x50 км), максимальные верхние

границы ( $H_M^{BT}$ ) в тот же период варьировали от 5 до 11 км, как правило, совпадая с уровнем конвекции.

Анализ синоптической обстановки на ПЭМП в периоды наблюдения внутримассовых облачных гряд показывает, что в основном их развитие, как и в случае МОЗ, происходило на фоне слабо отрицательной барической тенденции в приземном слое, хотя по данным режимной сети выделить в этих случаях (в отличие от ситуаций МОЗ) мезомасштабные области с максимальными значениями падения давления на ПЭМП практически не удается, кроме 3 случаев из 14. В 3 случаях развитие гряд происходило при нулевой или даже слабо положительной барической тенденции. В отличие от ситуаций с МОЗ, в большинстве случаев образования гряд не наблюдалось комбинации условий: нижеуровневая конвергенция – дивергенция в верхней тропосфере. Ситуации, характеризующиеся дивергенцией воздушных потоков на верхнем уровне (передняя часть высотной ложбины или



Таблица 3

Характеристики внутримассовых облачных гряд

№ п/п	Дата	Время жизни		$S_M$ км <sup>2</sup> ( $L \cdot d$ , км)	$H_M^{вг}$ , км	Осадки		
		$t_n - t_k$ , ч <sup>мин</sup>	$\Delta t$ , ч			$\tau_n - \tau_k$ , ч <sup>мин</sup>	$Q$ , мм	$I_M$ , мм/мин
1	21.08.87	14 <sup>30</sup> -18	3.5	900 (60-15)	6	16-16 <sup>40</sup>	0.6-3.1	0.325
2	6.06.88	15-17	2	3000 (150-20)	11	15 <sup>10</sup> -17	0.8-2.1	0.140
3	16.06.88	14-18	4	1500 (100-15)	10	16-18	1.4-12.3	1.366
4	22.06.88	12-14 <sup>30</sup>	2.5	3600 (120-30)	10	12 <sup>30</sup> -13 <sup>20</sup>	2.0-4.8	0.360
5	4.06.89	11 <sup>30</sup> -15	3.5	2600 (130-20)	10	13-14 <sup>20</sup>	0.1-1.7	0.150
6	4.06.89	16 <sup>30</sup> -19	2.5	2000 (130-15)	8	18-18 <sup>26</sup>	0.2-0.5	0.050
7	5.07.89	13-18	5	4800 (120-40)	8	14-15	0.2-7.3	0.270
8	6.07.89	16-17 <sup>30</sup>	1.5	4800 (120-40)	8	16-17 <sup>20</sup>	0.1-0.5	0.083
9	14.06.90	10-12	2	1500 (100-15)	8	10 <sup>10</sup> -11 <sup>30</sup>	0.6-3.9	0.500
10	20.06.90	11-13	2	2300 (115-20)	8	12-12 <sup>30</sup>	3.6	0.180
11	24.08.90	~12~17	≥5	2400 (120-20)	7	13-13 <sup>40</sup>	0.1-5.8	0.433
12	24.08.90	13 <sup>30</sup> -18	≥5	750 (50-15)	8	14 <sup>20</sup> -15 <sup>10</sup>	1.1-6.6	0.733
13	14.05.92	14-17	3	1050 (70-15)	5	14 <sup>40</sup> -16	0.4-3.5	0.250
14	1.06.92	14-17	3	7500 (150-50)	10	14-14 <sup>40</sup>	0.4-4.0	0.20

Примечание.  $t_n, t_k$  – время начала и конца развития;  $\Delta t$  – время жизни;  $S_M$  – максимальная площадь ( $L$  и  $d$  – длина и ширина соответственно);  $H_M^{вг}$  – максимальная высота верхней границы;  $\tau_n, \tau_k$  – время начала и конца выпадения осадков на постах;  $Q, I_M$  – сумма и максимальная интенсивность дождей.

Таблица 4

Метеорологические и синоптические условия развития внутримассовых облачных гряд

№ п/п	Дата	Синоптическая ситуация		Поле барической тенденции	$\Delta d, ^\circ$
		Приземная карта	Карта АТ-300		
1	21.08.87	ПБП	Тыл циклона	$P_{02-06} - P_{01}$	30
2	6.06.88	Гребень – ПБП	Гребень – ПБП	Мезо – $P_{08}$	Нет данных
3	16.06.88	Теплый сектор циклона	Передняя часть ложбины	$P_{06} - P_{02}$	80
4	22.06.88	МБП	ПБП	$P_{06}$	80
5	4.06.89	Периферия антициклона	МБП	$P_{05-15}$	55
6	4.06.89	МБП	МБП	$P_{08}$	55
7	5.07.89	МБП	Центр циклона	Мезо – $P_{08-06}$	55
8	6.07.89	Стационарный фронт, МБП	Центр циклона	$P_{10}$	45
9	14.06.90	Вторичный холодный фронт, тыл циклона	Передняя часть ложбины	$P_{00-03}$	35
10	20.06.90	Вторичный холодный фронт, тыл циклона	Передняя часть ложбины	$P_{00} - P_{00}$	45
11	24.08.90	Вторичный холодный фронт, тыл циклона	Передняя часть ложбины	$P_{04-10}$	5
12	24.08.90	Вторичный холодный фронт, тыл циклона	Передняя часть ложбины	$P_{00-10}$	5
13	14.05.92	Вторичный холодный фронт, тыл циклона	Ось ложбины	Мезо – $P_{07}$	30
14	1.06.92	МБП	МБП	$P_{10}$	Нет данных

Примечание. Условные обозначения см. табл. 2.



высотный гребень), существовали только в 6 случаях из 14. В 4 случаях развития гряд в верхней тропосфере на ПЭМП наблюдались центр или тыл циклона, или ось высотной ложбины, еще в 4 случаях – МБП или ПБП. Все случаи с развитием облачных гряд характеризовались слабым поворотом ветра ( $\leq 80^\circ$ ) в атмосфере по вертикали.

По данным радиозондирования, в 6 случаях развития гряд из 14 отсутствовал КНС в нижнем тропосферном слое, в 5 случаях развитию мощной конвекции препятствовали слои инверсии или изотермии. Пример такой ситуации приведен на рис. 2, а.

Таким образом, условия образования облачных гряд по стандартным критериям часто не являлись благоприятными для возникновения мощных конвективных движений. При этом разрешению конвективной неустойчивости вдоль ограниченной мезомасштабной линии может способствовать некоторый динамический фактор, не обнаруживаемый в полях метеовеличин стандартной сетью. В тылу циклонов таким динамическим фактором образования мезомасштабных облачных гряд естественно предположить вторичные волны холодного воздуха, иногда принимающие вид очень узких и коротких вторичных холодных фронтов. Возможно, подобные мезомасштабные атмосферные волны (длиной до 150 км) имеют место в нижней тропосфере и в других внутримассовых синоптических ситуациях. Зарегистрировать такие волны стандартной метеосетью не представляется возможным, поэтому существование этих волн проявляется только в возникновении облачных гряд на их мезомасштабном фронте.

Наиболее типичным вариантом образования гряд является первоначальное формирование цепочки отдельных конвективных ячеек или кластеров (К). При этом образующиеся ячейки, как правило, уже сформированы в полосовую структуру (рис. 2, б). Однако в одном случае (на вторичном ХФ – 14.06.90) новая гряда развилась из «хвоста» старой в ее тылу. В случае же 1.06.92 г. полосовую структуру гряды на 3 ч приняла МОЗ, в дальнейшем развалившаяся на более мелкие облачные кластеры. Видимо, это тот переходный случай, который подтверждает некоторую условность строгих структурных границ между разными группами облачных образований. Типичной конечной фазой эволюции внутримассовых гряд является их распад на мелкие облака и полная диссипация. В двух случаях (6.06.88 г. и 1.06.92 г.) гряда постепенно утратила полосовую структуру и идентифицировалась далее как одна или несколько мезомасштабных облачных зон и кластеров. На стационарном (6.07.89 г.) и вторичном (20.06.90 г.) фронтах возможно преобразование гряды в более крупномасштабное образование. Две последовательные гряды 24.08.90 г. вышли за пределы эффективного радиуса МРЛ, поэтому их конечные фазы развития точно не определялись.

Можно отметить также, что все исследуемые облачные гряды перемещались в соответствии с ведущим атмосферным потоком, отклоняясь от направления переноса на уровне 500 гПа не более чем на  $20^\circ$ . Скорость перемещения гряд, как правило, более высокая, чем у МОЗ, и составляет в среднем 25–35 км/ч.

## Выводы

1. Образование мощных конвективных мезомасштабных облачных зон и гряд, дающих обильные интенсивные дожди, часто может происходить при недостаточно благоприятных для развития термической конвекции условиях: отсутствии приземного конвективно-неустойчивого слоя, наличии задерживающих слоев. Развитие МОЗ и Г в этих случаях может зависеть от наличия некоторых динамических условий, способствующих развитию вертикальных движений на ограниченной мезомасштабной территории.

2. Отличие условий развития внутримассовых МОЗ и Г состоит в принципиальной разнице отмеченных динамических механизмов развития конвекции.

Для мезомасштабных облачных зон (МОЗ) комплекс условий, как правило, включает:

- наличие в приземном слое мезомасштабной области отрицательной барической тенденции, стимулирующей нижеуровневую конвергенцию потоков,

- существование в верхней тропосфере барического поля с преимущественной дивергенцией потоков,

- являющийся устойчивым показателем такой комбинации условий поворот ветра в вертикальном слое более чем на  $80^\circ$  по направлению.

Для гряд подобная комбинация условий не характерна. В качестве динамического спускового механизма в случаях развития облачных гряд можно предположить наличие узких и коротких мезомасштабных волн холодного воздуха в нижнетропосферном слое, стимулирующих восходящие движения вдоль линии мезофронта.

3. Обусловленные различными динамическими спусковыми механизмами развития мезомасштабные облачные зоны и гряды отличаются как по форме (структуре), так и по характеру движения. Гряды обычно быстро перемещаются по направлению ведущего потока. МОЗ могут развиваться в относительно ограниченной мезобласти, слабо смещаясь независимо от ведущего потока.

## Библиографический список

1. Цой О.Б. Некоторые результаты исследования структуры летних осадков над Средним Поволжьем // Метеорология и гидрология. 1998. Вып. 3. С. 13–28.



2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л., 1991. 616 с.
3. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5, РД 52.04.320-91. С.-Петербург., 1993. 357 с.
4. Мазин И. П., Шметер С. М. Облака, строение и физика образования. Л., 1983, 279 с.
5. Cunning J.B., Hall R.L., Cannon P.T., Watson A.I. Convective evolution and merger in the FACE experimental area: mesoscale convection and boundary layer interactions // J.Appl. Meteorol. 1982. V. 21, № 7. P. 953–977.
6. McAnelly R.L., Cotton W.R. Early growth of meso-scale convective complexes. A meso-scale cycle of convective precipitation // Mon. Weather Review. 1992. V.120, № 9. P. 1851–1877.
7. Sax R., Simpson J., Woodley W.L. The EML 1973 Florida Area Cumulus Experiment // Proc. WMO/IAMAP Sc. Conf. on Weather Modification. Tashkent, 1973. WMO, Geneva, 1974. P. 309–316.
8. Wilson J.W., Moore J.A., Foote C.B. et al. Convective Initiation and Downburst Experiment (CINDE) // BAMS. 1988. V. 69, № 11. P. 1328–1348.