

26  
778  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Труды, выпуск 14

# ОБЛАКА, ОСАДКИ И ВОПРОСЫ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

175263

**БИБЛИОТЕКА**  
ЛЕНИНГРАДСКОГО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА

ЛЕНИНГРАД  
1963

А. М. БАРАНОВ

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ОБЛАКОВ ХОЛОДНЫХ ФРОНТОВ

Макрофизические характеристики облаков холодных фронтов, среди которых одними из наиболее важных являются характеристики пространственной структуры, все еще изучены мало. Наименее полно при этом изучена та часть фронтальной облачной системы, которая простирается в верхнюю половину тропосферы, поскольку сетевым самолетным зондированием, дающим основной исходный материал для исследования, до сих пор охватываются высоты преимущественно до 6 км. Сведения об облаках верхней половины тропосферы в настоящее время получаются в основном от экипажей реактивных самолетов, а до появления реактивной авиации надежных средств получения массового материала об облаках на больших высотах по существу не было.

Обработка и анализ данных разведок погоды, производившихся во всей тропосфере и нижней стратосфере, позволили автору в 1954 г. выявить, что макрофизические характеристики облаков холодных фронтов существенно отличаются от соответствующих характеристик, полученных только по материалам сетевого самолетного зондирования [1,2]. Было показано, например, что над ЕТС облака холодных фронтов с высотой верхней границы более 5 км имеют повторяемость летом 42%, зимой 18%, весной и осенью по 28%. Наибольшая вертикальная протяженность облаков при этом имеет место вблизи линии фронта; повторяемость толщины более 5 км составляет в теплое полугодие 26%, а в холодное - 15%. За линией фронта вертикальная протяженность облаков уменьшается и на расстоянии 200 км указанная градация имеет повторяемость в названные периоды года соответственно 14 и 4%.

В 1955 г. К.Г.Абрамович по донесениям экипажей высотно-скоростных самолетов получила данные, близкие к вышеуказанным данным автора.

Накопленные к настоящему времени сведения об облаках на больших высотах позволяют получить такого рода данные для конкретных районов.

### 1. Материал и методика его обработки

В основу работы положены донесения экипажей реактивных самолетов и отчасти сетевого самолетного зондирования, осуществлявшихся в 1953-1959 гг. полеты в районе Ленинграда и имевших возможность прозондировать всю облачную систему холодного фронта. Было проанализировано 273 самолетных подъема, из которых 161 относится к теплему периоду года (апрель-сентябрь) и 112 к холодному (октябрь-март). Материал анализировался по основным синоптическим и кольцевым картам, а также по картам барической топографии, регулярность которых позволяла точно определить место зондирования в зоне фронта.

Обработка и анализ материала производились по такой же методике, какая была применена автором в 1954 г. для анализа облаков основных атмосферных фронтов (в том числе холодных) и в 1958 г. для анализа облаков вторичных холодных фронтов. Данные анализировались для различных расстояний от линии фронта.

Позже такую же методику применили В.Я.Лобанова и М.В.Соколова [3] для характеристики облачности в зоне атмосферных фронтов. Разница лишь в том, что при определении повторяемости различных градаций высоты облаков на разном расстоянии от линии фронта за 100% они приняли общее число наблюдений во всей зоне фронта. Такой подход к обработке материала, как в работе [3], нам представляется менее удачным, поскольку число зондирований на различном удалении от линии фронта является неодинаковым, и, следовательно, трудно сопоставлять данные о повторяемости высоты облаков в различных частях фронтальной зоны.

Чтобы сравнивать повторяемость высот облаков на различном удалении от линии фронта, более целесообразно при обработке материала принимать за 100% число подъемов на соответствующем удалении от линии фронта, а не во всей фронтальной зоне в целом. Именно так мы и поступали в данном случае.

Статистический анализ данных об облаках холодного фронта был произведен для той части фронтальной зоны, которая охватывает его ширину от линии фронта до 200 км за фронтом. На расстоянии более 200 км число подъемов было небольшим и произвести достаточно надежный статистический анализ материала не представлялось возможным. Таким образом, анализировались главным образом облака тех холодных фронтов, которые имели зафронтальную облачную систему.

Следует подчеркнуть, что хотя число зондирований вблизи линии фронта было наибольшим по сравнению с другими участками фронта, "головная" часть фронтальной облачной системы исследована неполностью. Переднюю часть облачной системы холодного фронта нередко составляют мощнокучевые и кучево-дождевые облака, особенно в теплую половину года. Судя по работе [4], в облаках указанных форм экипажи могут встретить весьма трудные условия для пилотирования самолетов, поэтому полеты в таких облаках категорически запрещаются.

ются.

Анализ материала показал, что распределение зондирований по времени суток в теплое и холодное полугодия было примерно одинаковым и суточные изменения температуры не могли существенно сказаться на данных о макрофизических характеристиках облаков холодного фронта.

## II. Макрофизические характеристики облаков

### 1. Высоты облаков

а) Высота нижней границы облаков холодного фронта как в теплое, так и в холодное полугодие изменяется в широких пределах (от нескольких сот метров до нескольких километров) (табл.1). В теплое полугодие при этом имеет место не менее низкая облачность, чем в холодное, хотя повторяемость ее и несколько меньше. Так, например, повторяемость высоты облаков до 600 м для всей зоны фронта в теплую половину года составляет 52,7%, а в холодную половину - 70,4%. Это же наблюдается и на отдельных участках фронта. В частности, вблизи линии фронта повторяемость высоты нижней границы облаков до 600 м в теплое полугодие 53,3%, а в холодное - 73,5%.

Обращает на себя внимание тот факт, что максимум повторяемости высоты более определенно выражен только для высот, характеризующих нижнюю границу облаков вблизи от линии фронта. За линией же фронта наблюдается несколько максимумов, приходящихся на различные градации высот. Такое явление обнаружено нами не только для основных, но также и для вторичных холодных фронтов. Оно связано с тем, что изменение высоты нижней границы облаков за линией фронта происходит не плавно, а волнообразно. Повышение нижней границы облаков после прохождения линии фронта в ряде случаев сменяется вследствие усиления приземной конвергенции трения и турбулентного перемешивания вторичным их понижением за фронтом, т.е. за основной погодной зоной холодного фронта может следовать дополнительная зона с низкой облачностью. Такие зоны характеризуются усилением осадков, а в тех случаях, когда осадки уже прекратились, их возобновлением.

Анализ материала показывает, что высота нижней границы облаков существенным образом зависит от синоптической обстановки. В углубляющихся циклонах и ложбинах она значительно ниже, чем в заполняющихся циклонах и ложбинах. Особенно низкими облака бывают на тех фронтах, которые замедляют свое движение и на них образуются волны. Зона волны характеризуется наиболее низкой облачностью.

б) Высота верхней границы облаков холодного фронта изменяется также в больших пределах, обуславливаемых главным образом макросиноптической обстановкой, особенностями стратификации воздуха и профиля фронта. При этом, как видно из данных рис.1 и табл.2, имеет место хорошо выраженный годовой ход: в теплое полугодие вы-

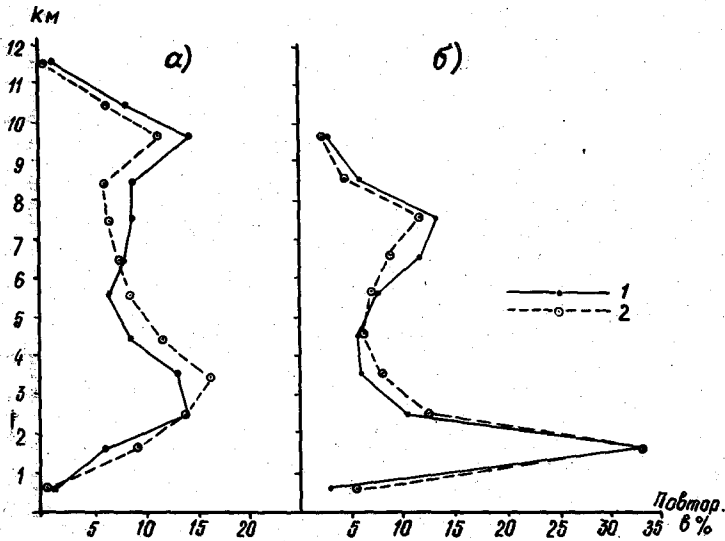


Рис. 1. ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВЫСОТЫ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ ХОЛОДНОГО ФРОНТА В ТЕПЛОЕ (а) И ХОЛОДНОЕ (б) ПОЛУГОДИЯ.

1 - вблизи линии фронта, 2 - во всей зоне фронта.

сота больше, чем в холодное. Повторяемость высоты более 5 км в указанные полугодия соответственно равна 47,2 и 34,8%, а в среднем за год 42,3%. Предельные высоты, на которых была зафиксирована верхняя граница облаков в зоне холодного фронта, в теплое полугодие оказались более значительными, чем в холодное.

В распределении высот верхней границы облаков в каждом из полугодий наблюдаются два максимума. Первый максимум (3,1-4,0 км в теплый период, 1,1-2 км в холодный период), очевидно, связан с теми высотами, которые для верхней границы облаков являются преобладающими при образовании фронтального облачного массива. Вторичный максимум (соответственно 9,1-10,0 и 7,1-8,0 км) объясняется наличием в верхней тропосфере задерживающих слоев (с уменьшенным вертикальным температурным градиентом) и в особенности такого мощного задерживающего слоя, как тропопауза.

Два указанных максимума хорошо выражены не только для фронтальной зоны в целом (рис.1), но и для отдельных ее участков (табл.2). Из этих данных видно также, что по мере удаления за линию фронта высота верхней границы в общем уменьшается. Наибольшая высота имеет место вблизи линии фронта.

Такое распределение повторяемости высоты верхней границы облаков объясняется тем обстоятельством, что, поскольку в передней части фронтальной зоны профиль фронта является более крутым, здесь при прочих равных условиях создаются более благоприятные условия для подъема относительно теплого воздуха в более высокие слои тропосферы и образования облачности с более

Таблица 1

Повторяемость (в %) высоты нижней границы облаков в зоне холодного фронта (Ленинград)

Период года	Расстояние от линии фронта	Высота, м											Число зондирований	
		до 100	110-200	210-300	310-600	610-1000	1010-1500	1510-2000	2010-2500	2510-3000	3010-4000	4010-5000		5010-6000
Теплое полугодие (апрель-сентябрь)	Вблизи линии фронта	4,4	5,6	16,7	26,6	14,5	7,8	10,0	6,7	1,1	4,4	-	2,2	90
	100 км	6,5	6,5	16,1	32,2	16,1	6,5	6,5	3,2	-	3,2	3,2	-	31
	200 км	2,5	7,5	12,5	22,5	15,0	22,5	5,0	2,5	2,5	5,0	-	2,5	40
Холодное полугодие (октябрь-март)	Вблизи линии фронта	4,4	10,3	25,0	33,8	17,7	5,9	-	-	2,9	-	-	-	68
	100 км	-	23,1	11,5	34,6	19,2	7,7	3,9	-	-	-	-	-	26
	200 км	-	11,1	-	50,0	22,2	-	-	11,1	-	-	-	5,6	18
Год	Вся зона фронта	3,7	9,2	16,4	30,7	16,4	8,8	5,1	3,7	1,5	2,6	0,4	1,5	273

значительной высотой верхней границы облаков. При этом следует иметь в виду сделанное выше замечание о том, что "головная" часть фронта требует еще более детального исследования. Грозовая облачность, развивающаяся в летнее время в передней части фронта, может охватывать всю тропосферу и даже пробивать тропопаузу, а ее верхняя граница - проникать в нижнюю стратосферу [5].

В углубляющихся циклонах и ложбинах высота верхней границы облаков холодного фронта расположена на более высоких уровнях тропосферы, чем в заполняющихся циклонах и ложбинах, что объясняется более крутым профилем фронта и более значительной ролью упорядоченного подъема воздуха за фронтом в первом из названных синонтических положений. Наиболее низко высота верхней границы облаков располагается на фронтах, связанных с периферией области повышенного давления, где интенсивность фронтальной зоны значительно слабее и подъем воздуха осуществляется в основном до высот нижней половины тропосферы.

## 2. Вертикальная протяженность облачной системы холодного фронта

Вертикальной протяженностью облачной системы холодного фронта будем считать расстояние по вертикали от нижней до верхней границы облаков (в случае однослойных облаков), а в том случае, когда фронтальная облачная система расслоена, - расстояние по вертикали от нижней границы первого слоя облаков до верхней границы последнего облачного слоя.

Толщина облачных слоев и безоблачных прослоек, составляющих вертикальную протяженность фронтальной облачной системы, будет рассмотрена отдельно с тем, чтобы более детально проанализировать макрофизические характеристики облаков холодного фронта.

Данные о вертикальной протяженности облачной системы рассматриваемого фронта представлены в табл.3 и на рис.2. Они позволяют сделать два главных заключения: во-первых, в теплое полугодие вертикальная протяженность облачной системы холодного фронта больше, чем в холодное полугодие; во-вторых, как в теплое, так и в холодное полугодие наиболее значительная по вертикали система облаков имеет место вблизи линии фронта, по мере же удаления за линию фронта вертикальная протяженность облачной системы уменьшается.

Действительно, повторяемость вертикальной протяженности облаков более 5,0 км составляет в теплое полугодие 25,8%, а в холодное - 17,5%, в том числе более 9,0 км соответственно 4,0 и 0,9%. Это различие имеет место не только для фронтальной зоны в целом, но и для отдельных ее участков. Так, вблизи линии фронта повторяемость вертикальной протяженности облачной системы более 5,0 км составляет в теплое полугодие 35,6%, а в холодное - 20,6%.

То, что по мере удаления за линию фронта вертикальная протяженность облаков уменьшается, видно из следующего. Если в теплом полугодии вертикальная протяженность более 5,0 км составляет на

расстоянии 100 км 29,1%, то на расстоянии 200 км за фронтом она равна 25,0%. В холодное полугодие повторяемость в указанных грациях равна соответственно 14,3 и 11,1%. Еще более значительные

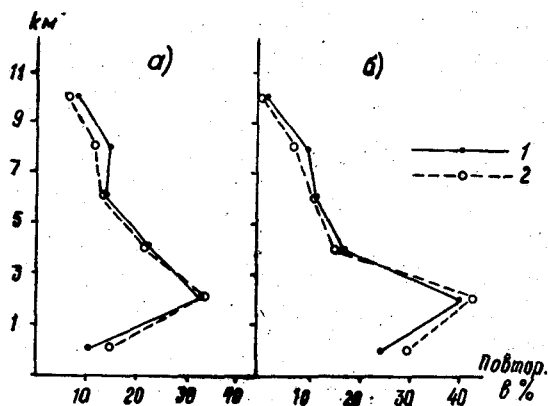


Рис.2. ПОВТОРЯЕМОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ ХОЛОДНОГО ФРОНТА В ТЕПЛОЕ (а) И ХОЛОДНОЕ (б) ПОЛУГОДИЯ.

1 - вблизи линии фронта, 2 - во всей зоне.

различия имеют место при сопоставлении этих данных с теми, что указаны для участка фронта, характеризующего его переднюю часть. Повторяемость вертикальной протяженности облаков, например, более 7,0 км равна в этом случае для теплого полугодия соответственно 22,3; 16,2; 10,0%, а для холодного соответственно 10,3; 3,6; 0%.

Обращает на себя внимание также тот факт, что в ряде случаев на расстоянии до 200 км (а иногда и больше) за линией фронта наблюдаются облака большой вертикальной протяженности. Аэросиноптический анализ этих случаев показывает, что подобное явление имеет место тогда, когда холодный фронт замедляет свое движение и за счет увеличения циклонической кривизны изобар происходит усиление конвергенции трения.

Результаты аэросиноптического анализа позволяют заключить, что в углубляющихся циклонах и ложбинах вертикальная протяженность облаков холодного фронта более значительная, чем в заполняющихся циклонах и ложбинах, и особенно по сравнению с облаками холодного фронта, проходящего по периферии области высокого давления (табл.4).

### 3. Расслоенность облаков

Облака холодного фронта, особенно в вафронтальной части, нередко бывают расслоенными. В передней части фронта расслоенность менее значительная; здесь однослойные облака большой вертикальной протяженности более вероятны, чем в остальной части фронтальной зоны. Однако и здесь, особенно в холодное полугодие, иногда наблюдается несколько слоев облаков.



Таблица 2

Повторяемость (в %) высоты верхней границы облаков в зоне  
холодного фронта (Ленинград)

Период года	Расстояние от линии фронта	Высота, км												Число зондирований
		до 1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	8,1-9,0	9,1-10,0	10,1-11,0	11,1-12,0	
Теплое полугодие (апрель-сентябрь)	Вблизи линии фронта	1,1	6,7	14,4	13,3	8,9	6,7	7,8	8,9	8,9	14,4	7,8	1,1	90
	100 км	-	19,3	9,7	12,9	16,1	12,9	6,5	3,2	3,2	9,7	6,5	-	31
	200 км	-	7,5	17,5	27,5	15,0	10,0	7,5	5,0	2,5	5,0	2,5	-	40
Холодное полугодие (октябрь-март)	Вблизи линии фронта	2,9	33,8	10,3	5,9	5,9	7,4	11,8	13,2	5,9	2,9	-	-	68
	100 км	11,5	34,5	15,4	7,7	7,7	7,7	3,9	7,7	3,9	-	-	-	26
	200 км	5,6	27,7	16,6	16,6	5,6	5,6	5,6	11,1	-	5,6	-	-	18
Год	Вся зона фронта	2,6	19,0	13,4	13,2	9,5	8,1	8,1	8,8	5,5	7,7	3,7	0,4	273

Таблица 3

Повторяемость (в %) вертикальной протяженности облачной системы холодного фронта (Ленинград)

Период года	Расстояние от линии фронта	Вертикальная протяженность, км						Число зондирований
		до 1,0	1,1-3,0	3,1-5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	9,1-11,0	
Теплое полугодие (апрель-сентябрь)	Вблизи линии фронта	10,0	32,2	22,2	13,3	14,5	7,8	90
	100 км	16,1	32,2	22,6	12,9	9,7	6,5	31
	200 км	15,0	40,0	20,0	15,0	7,5	2,5	40
Холодное полугодие (октябрь-март)	Вблизи линии фронта	23,6	39,6	16,2	10,3	8,8	1,5	68
	100 км	35,7	35,7	14,3	10,7	3,6	-	26
	200 км	44,5	33,3	11,1	11,1	-	-	18
Год	Вся зона фронта	19,7	35,6	18,9	12,3	9,5	4,0	273

Таблица 4  
Повторяемость (в %) вертикальной протяженности  
облачной системы холодного фронта при различной  
синоптической обстановке в холодное полугодие  
(Ленинград)

Синоптическая обстановка	Вертикальная протяженность, км					
	до 1,0	1,1-3,0	3,1-5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	9,1-11,0
Углубляющиеся циклон и ложбина	25,0	25,0	9,0	16,0	9,0	16,0
Заполняющиеся циклон и ложбина	29,0	38,0	12,0	13,0	8,0	-
Периферия области высокого давления	62,0	25,0	6,5	6,5	-	-

Если рассматривать всю зону фронта в целом, то расслоенность облаков характеризуется следующими данными. В теплое полугодие однослойная облачность имеет повторяемость 51,5%, двухслойная - 33,3%, трехслойная - 13,4%, четырехслойная - 1,2%, пятислойная - 0,6%. В холодное полугодие указанные слои характеризуются повторяемостью соответственно 53,9; 34,4; 10,9; 0,7; 0,1%, а в среднем за год повторяемость облаков с названным выше числом слоев равна соответственно 52,5; 33,2; 12,4; 1,0; 0,3%.

Как видим, расслоенность облаков холодного фронта довольно значительная. При этом, если даже учесть, что определенная часть однослойных облаков большой вертикальной протяженности, располагающихся в "голове" фронта, не была прозондирована, все же наличие двухслойных и более многослойных облаков не является исключением.

В то же время при сравнении расслоенности облаков холодного и теплого фронтов видна существенная разница: облака холодного фронта являются более компактными, менее расслоенными, чем облака теплого фронта.

#### 4. Толщина облачных слоев и безоблачных прослоек

Данные о толщине облачных слоев приведены в табл.5. Они показывают, что в зоне холодного фронта наблюдаются облака, имеющие в общем довольно значительную толщину. Повторяемость облаков сравнительно небольшой толщины (до 1 км) составляет 50-60%. Повторяемость облаков толщиной более 3,0 км равна в теплое полугодие 14,0%, а в холодное около 11,0%. Наибольшей толщиной облачных слоев характеризуются углубляющиеся ложбины и циклоны.

О толщине безоблачных прослоек можно судить уже на основании сопоставления данных таблиц 2 и 5. Наибольшую повторяемость (от 30 до 50%) имеют безоблачные прослойки толщиной до 1 км, особенно

Таблица 5

Повторяемость (в %) толщины облачных слоев в зоне холодного фронта  
(Ленинград)

Период года	Расстояние от линии фронта	Толщина облачного слоя, км						Число облачных слоев
		до 1,0	1,1-3,0	3,1-5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	9,1-11,0	
Теплое полугодие (апрель-сентябрь)	Вблизи линии фронта	52,4	30,8	10,5	4,9	1,4	-	143
	100 км	60,0	33,3	1,7	3,3	1,7	-	60
	200 км	47,2	41,9	9,5	1,4	-	-	74
Холодное полугодие (октябрь-март)	Вблизи линии фронта	60,7	26,5	10,2	2,6	-	-	117
	100 км	57,0	34,4	5,7	2,9	-	-	35
	200 км	48,2	40,7	7,4	3,7	-	-	27
Год	Вся зона фронта	54,8	32,6	8,6	3,3	0,7	-	456

вблизи линии фронта. Повторяемость безоблачных прослоек более 3,0 км сравнительно небольшая.

### В ы в о д ы

1. Высота нижней границы облаков холодного фронта изменяется в больших пределах, однако наибольшая повторяемость приходится на высоты в несколько сот метров. Например, для всей зоны фронта повторяемость высоты облаков до 600 м в теплую половину года равна 52,7%, в холодную половину - 70,4%, а в среднем за год - 60,0%.

2. Высота верхней границы облаков обуславливается макросиноптической обстановкой, особенностями профиля фронта и стратификации воздуха. Она имеет хорошо выраженный годовой ход: в теплую половину года - выше, в холодную половину года - ниже. В распределении повторяемости высоты верхней границы облаков наблюдаются два максимума, первый из которых приходится на нижнюю половину тропосферы, второй - на верхнюю тропосферу. Наиболее значительная высота верхней границы облаков наблюдается вблизи линии фронта. За фронтом высота постепенно понижается.

3. Вертикальная протяженность облачной системы холодного фронта более значительная в теплую половину года. В оба полугодия по мере удаления за линию фронта она постепенно уменьшается. В частности, в теплое полугодие вблизи линии фронта повторяемость ее более 5,0 км составляет 35,6%, на расстоянии 100 км - 29,1%, на расстоянии 200 км - 25,0%.

4. Облака холодного фронта нередко бывают расслоенными, особенно в зафронтальной части. В холодное и теплое полугодия повторяемость однослойной и двухслойной облачности составляет в сумме 85%. Наибольшую повторяемость имеют слои облаков и безоблачные прослойки толщиной до 1 км. Повторяемость облачных слоев толщиной от 3,1 до 5,0 км также значительная и составляет 30-42%.

### Л и т е р а т у р а

1. З а к Е.Г. Характеристика фронтальной облачности по данным самолетных подъемов. Метеорология и гидрология, № 8, 1937.
2. З а к Е.Г. Фронтальные облачные системы. Труды НИУ ГУГМС, сер.П, вып.14, 1946.
3. Л о б а н о в а В.Я., С о к о л о в а М.В. Характеристика низкой облачности в зоне атмосферных фронтов. Труды НИИАК, вып.5, 1958.
4. Каррл L.C. Operational feasibility of aircraft through thunderstorms. Aeron. Engin. Rev. 10.vol.9,1950.
5. Мелларр Р. Observation of cumulonimbus top extending into the stratosphere. Meteorol. Mag. 89, N 1051,1960.