

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ПРОВЕРЕНО
1960 г.

ПРОВЕРЕНО
1961 г.

ПРОВЕРЕНО
1951 г.

551.5
Т -

Т Р У Д Ы ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

ВЫПУСК 7 (69)

ФИЗИКА ОБЛАКОВ

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук
Е. С. СЕЛЕЗНЕВОЙ

БИБЛИОТЕКА
ФИЗИКА
10877
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1948

АННОТАЦИЯ

Настоящий выпуск „Трудов ГГО“ посвящен вопросам физики облаков. Выпуск разделен на две части.

Первую часть составляют статьи и материалы по результатам исследования кучевых облаков летом 1946 г.; во вторую часть включены статьи, относящиеся к разным вопросам физики и микрофизики облаков.

ЧАСТЬ I. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КУЧЕВЫХ ОБЛАКОВ ЛЕТОМ 1946 Г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Летом 1946 г. отделом физики атмосферы Главной геофизической обсерватории были начаты исследования местных (внутримассовых) кучевых облаков. Программой исследований предусматривалось проведение серий специальных зондирований атмосферы на самолетах, а также наземных метеорологических и аэрологических наблюдений в типичных условиях погоды с кучевыми облаками. Наблюдения были организованы в Колтушах, примерно в 18 км к востоку от Ленинграда.

Вполне подходящих по характеру облаков дней этим летом под Ленинградом оказалось мало. Все же было осуществлено 12 серий зондирований, с числом зондирований от 5 до 10 в серийные дни. Комплекс наблюдений состоял из следующих видов:

1. Обычные аэрологические зондирования с помощью метеорографов Бош или Винтер; при этом в полетах производились визуальные наблюдения и определялись высоты облаков.

2. Специальные зондирования для определения содержания ядер конденсации на разных высотах и микрофотографирования облачных капель.

3. Базисные шаропилотные наблюдения, приуроченные ко времени зондирований.

4. Метеорологические наблюдения по программе станций приземного слоя; основная особенность этих наблюдений — измерения метеорологических элементов (температуры, влажности и ветра) на нескольких высотах в приземном слое (до 5 м).

Зондирования производились на самолете ПО-2. Для наблюдений за ядрами конденсации и микроструктурой облаков был приспособлен санитарный самолет С-2. Оборудование самолета для указанных целей и методика измерений в полете описаны в статьях по соответствующим вопросам (см. статьи В. А. Зайцева и И. И. Честной).

Большие ограничения для наших исследований были поставлены низким потолком самолета С-2 и опасностью полета на нем в мощные Си. Поэтому все наши данные относятся к мало развитым Си.

Следующим недостатком предоставленного нам самолета была невозможность подъема на нем хотя бы двух научных сотрудников. Только при большом навыке и напряженной работе один сотрудник мог обеспечить во время полетов измерения по ядрам и микрофотографирование; сверх этого ни на что времени не оставалось, кроме самых необходимых визуальных наблюдений.

Вполне понятно, что нам было важно по возможности детальнее описывать вид кучевых облаков и степень их развития. Поэтому в записях, кроме двух основных, видов cum и cong, отмечался промежуточный simplex (см. о нем, например, у Бергжерна), а иногда и дополнительные разновидности и детали, описание которых дано в статье А. Д. Заморского.

Во многих случаях облака фотографировались (И. И. Честной); однако воспроизвести эти фотографии в настоящем издании трудно и не представляет смысла.

Высоты оснований Си и разных измерений даны преимущественно с точностью до 50 м, так как чаще всего эти высоты приходилось отмечать по альтиметру,

а не по засечкам на метеорограммах (контактное приспособление для засечек имелось только на одном метеорографе).

Собранные нами данные по микрофизике кучевых облаков, конечно, еще невелики, но уже и сейчас они представляются нам интересными и заслуживающими опубликования. Мы считали целесообразным поместить в настоящем выпуске не только статьи по результатам исследования Сц, но также и весь фактический материал наблюдений. Мы рассчитываем, что в дальнейшем начатое изучение кучевых облаков удастся продолжить, и наши предварительные выводы будут уточнены и развиты.

Как в летних экспериментальных работах, так и в последующей разработке материала и подготовке его к печати принимал участие целый ряд сотрудников Отдела физики атмосферы. Оборудование самолета С-2 и контрольно-методическая работа с приборами были проведены П. А. Воронцовым и В. А. Зайцевым; температурное зондирование обеспечивалось М. П. Чуриновой, ею же результаты зондирований подготовлены к печати; все измерения в полете и последующая обработка их выполнены В. А. Зайцевым и И. И. Честной; в шаропилотную бригаду входили сотрудники Н. М. Баранова (бригадир), М. А. Антонович и К. А. Босова; ими же проводилась вся первичная обработка метеорограмм и шаропилотных наблюдений; в полетах и общих наблюдениях в дни серий участвовали также А. Д. Загорский и Н. С. Шишкин; наземные метеорологические наблюдения осуществлялись сотрудниками отделения физики приземного слоя, руководимого С. А. Сапожниковой. К нашим серийным зондированиям присоединены утренние (около 6 час.) и вечерние (около 18 час.) подъемы группы текущих ежедневных зондирований ГГО (руководитель группы А. М. Шепелевская).

На мне, как начальнике отделения физики свободной атмосферы, лежало общее руководство экспериментальными работами и последующей подготовкой материалов к печати.

Все полеты проведены летчиками авиазвена ГГО: тт. В. Н. Павловым (командир звена), Н. Н. Яковлевым, В. Ф. Медведевым и В. И. Барабановым.

Е. Селезнева

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КУЧЕВЫХ ОБЛАКОВ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЛЕТОМ 1946 г.

На редкость хорошее для Ленинграда лето 1946 г. оказалось не вполне благоприятным для наших исследований кучевых облаков. С конца июня до 12 июля стояли безоблачные дни, Си не образовывались вследствие постоянных инверсий на высотах ниже 1—1,2 км.

13/VII Си появились, но их основания лежали выше 2,4 км, что было недоступно для наших подъемов. Только 15/VII можно было приступить к выполнению намеченной программы зондирования. В период с 15/VII до 25/VIII проведено 12 серий, с числом ежедневных зондирований от 5 до 10. Однако и в этот период, в сущности говоря, не было дней с типичным развитием Си — до мощных днем и распада вечером в Си vesp. Некоторые серии прерывались в середине дня прохождением фронтальных разделов.

Незначительное развитие Си (до стадии simplex) в наши "серийные" дни, естественно, было связано с наличием инверсий или очень небольших градиентов в слое 1—2 км. Распределение температуры

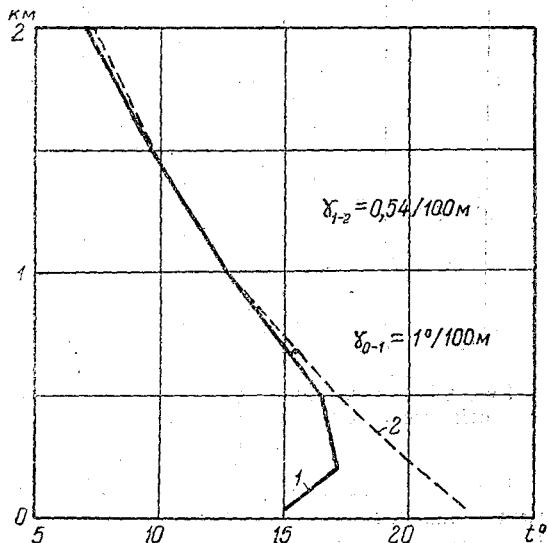


Рис. 1. Распределение температуры по вертикали.
1 — утро (5—7 час.), 2 — день (10—15 час.).

в среднем для всех 12 серийных дней представлено на рис. 1. По средним данным инверсии в слое 1—2 км не получено, так как в отдельные дни инверсионные слои располагались на разных высотах (см. публикуемые ниже таблицы результатов зондирования) и при осреднении сгладились. Однако присутствие инверсий и изотермий проявилось и в среднем, определив резкое уменьшение градиентов температуры. Действительно, по дневным подъемам $\gamma_{0-1} = 1^\circ/100$ м и $\gamma_{1-2} = 0,54^\circ/100$ м (γ_{0-1} — градиент температуры от земли до 1 км, γ_{1-2} — от 1 км до 2 км).

На основании средних данных из наших зондирований можно также отметить типичное распределение влажности в дни с кучевой облачностью (рис. 2 и 3). Относительная влажность F днем от земли к 1 км возрастает (в среднем на 15%), выше 1 км — убывает; точнее высота начала убывания влажности является нижней границей задерживающих слоев.

Удельная влажность q днем убывает значительно медленнее, нежели утром. Изменение q от земли до 1 км утром составляет в среднем 3 г/кг, днем 1,8 г/кг. Характерно также, что и относительная и удельная влажность внизу до высоты 0,5 км днем меньше, чем утром, а выше 0,5 км, наоборот, больше. В соответствии с этим на графиках (рис. 2 и 3) утренние и дневные кривые распределения F и q пересекаются, намечая среднюю высоту „обращения“ в ходе влажности.

Само собой разумеется, такое распределение влажности связано с условиями вертикального обмена. При интенсивном переносе вверх водяного пара в дневное время содержание его у земли уменьшается и тем более уменьшается относительная влажность, на ход которой в этом же смысле влияет рост температуры. На высотах около 1 км приток водяного пара приводит к росту абсолютной и относительной влажности. Это известные обстоятельства и к их обсуждению в дальнейшем мы еще вернемся.

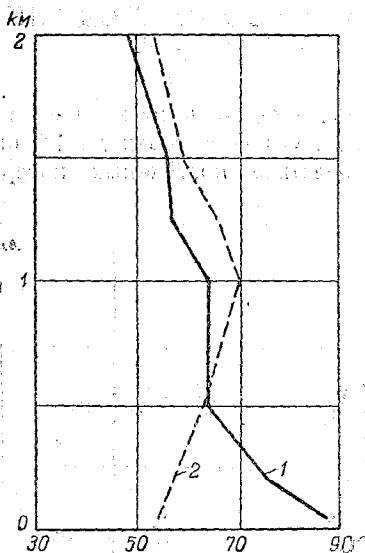


Рис. 2. Распределение относительной влажности по вертикали.
1 — утро, 2 — день

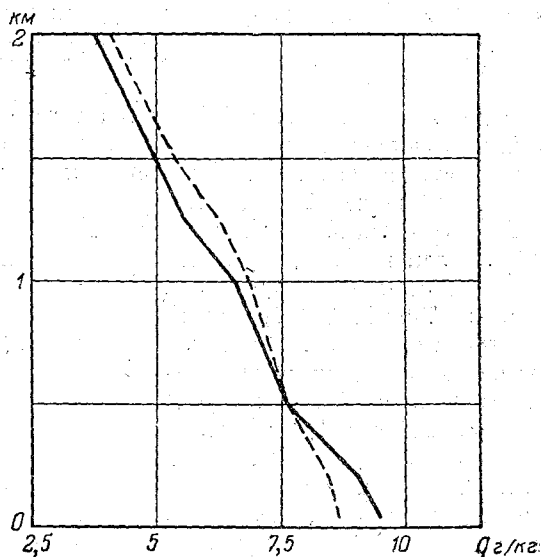


Рис. 3. Распределение удельной влажности по вертикали.
—— утро, — — — день

В общих чертах о распределении метеорологических элементов в дни с кучевыми облаками известно из единичных аэрологических подъемов и средних данных Пепплера [1]. Приведенная краткая характеристика представляет некоторое дополнение к известным данным применительно к условиям Ленинградской области.

Обращаясь к более подробному анализу результатов зондирований, мы неизбежно должны остановиться на основном вопросе: какова форма конвекции, определяющей развитие кучевых облаков?

Вопрос о термической конвекции постоянно обсуждается в метеорологии, но до настоящего времени он остается до конца неразрешенным. В связи с образованием Cu были высказаны две теории: известна старинная теория „термиков“, или „термических пузырей или капель“ („Blasen“) и более поздняя теория Молчанова [3, 4] о возникновении конвекции в чистом виде с уровня образования кучевого облака.

Идея „термиков“ сохранилась и в современных исследованиях. Так, она наиболее последовательно проводится в работах Коханского [2] и Альбрехта [5]. Первым описаны наблюдаемые им „конвективные трубы“ от земли до кучевых облаков, возникающих над ними. Альбрехт на основании планерных полетов и наблюдений за ветром для двух случаев наметил контуры „термиков“, проявляющихся у границы лесного массива.

П. А. Молчанов всегда подчеркивал большое значение для образования облаков турбулентного обмена. Он предполагал, что и зарождение кучевых облаков определяется турбулентным переносом, а конвекция в чистом виде возникает только с уровня конденсации в результате освобождения тепла конденсации и реализации энергии влажностной неустойчивости. Проявление конденсации в отдельных точках и возникновение разрозненных Cu , а не облачного слоя, Молчанов объясняет следующим образом. „Если в развитии турбулентного процесса доминирующее значение получают солнечные лучи, то этот процесс развивается уже в гораздо более мощном слое и теряет характер однородного равномерного перемешивания, так как действие солнечных лучей, как мы видели ранее, связано именно с неоднородностью нагревания ими земли и воздушных масс. В таком виде турбулентный процесс получает название уже процесса конвективного перемешивания. В этом случае приближение воздушных масс к насыщению будет совершаться неравномерно по всему слою, а в начальный момент лишь в отдельных точках верхней части слоя перемешивания“. („Аэрология“, стр. 249, 1938).

В наших исследованиях непосредственных наблюдений за элементами конвекции не было поставлено, но в результате детального рассмотрения собранного материала и на основе современных представлений о турбулентных процессах можно наметить основные черты летней конвекции.

В общем характер такой конвекции представляется нам в следующем виде, рис. 4.

Нижний слой атмосферы, как известно, характеризуется интенсивной турбулентностью, усиливаемой летом термическими причинами. Мелкие неоднородности земной поверхности и самой воздушной среды порождают многочисленные „вихорьки“, „пузырьки“, „струйки“, что создает „равномерно турбулентный“ слой с характерными свойствами, — определенным распределением и ходом метеорологических элементов, содержанием примесей и т. п.

В этом же слое могут возникать и крупные „вихри“, которые затем движутся на фоне мелкомасштабной турбулентности, причем, в отличие от мелких элементов, крупные не могут зарождаться непосредственно у земной поверхности (у „стенок“), уровень их формирования лежит выше.

Элементы турбулентности небольших размеров быстро рассеиваются, крупные образования распространяются выше и наиболее мощные из них достигают высоты, где их температура понижается до точки росы, т. е. достигается уровень конденсации. Эти немногие крупные вихри и дают начало Cu .

С уровня конденсации „вихрь“ становится видимым, и здесь за его жизнью мы можем следить уже более определенно. До зарождения Cu контуры этого вихря неясны и трудно сейчас утверждать, какова его форма — имеет ли он вид „капли“, „дирижабля“ или мощной трубы? Возможно, что формы бывают разные, и наименее частой, хотя и возможной, кажется вид трубы („термика“ в обычном понимании). Во всяком случае все эти образования берут начало не непосредственно у земли и не „привязаны“ прочно к месту своего зарождения, за исключением специфиче-

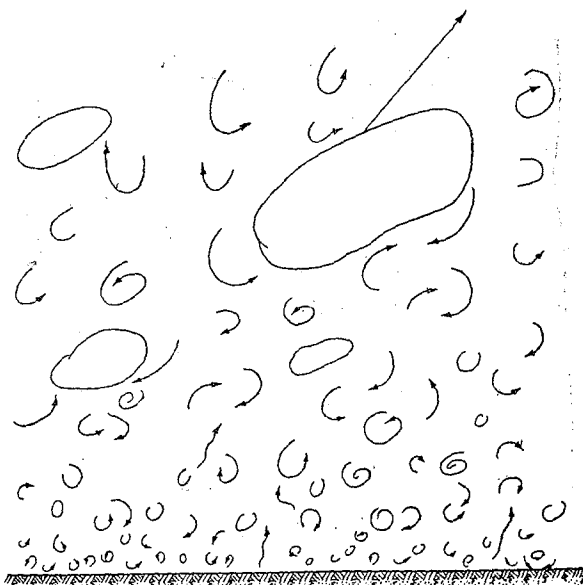


Рис. 4. Схема атмосферной турбулентности и начала конвекции.

ских условий развития орографических Си. Оформившиеся „капли“ перемещаются вместе с общим воздушным потоком и по вертикали, перенося свои первоначальные свойства. Такого рода „оторвавшиеся капли“ представлены на схемах Альбрехта в упомянутой работе [5].

Самолетные зондирования атмосферы слишком грубы, чтобы полностью обнаружить эти движущиеся „капли“, но при внимательном анализе протоколов полета и метеорограмм можно найти подтверждение их существования.

Первое, на что нам можно указать, — это разный характер „болтанки“ самолета внизу и под слоем кучевых облаков. В турбулентном слое обычно замечаются мелкие колебания самолета, именно „болтанка“ его; в то время как присутствие крупных вихрей проявляется в резких бросках и толчках. Последнее постоянно отмечается в облаках и в слое под ними.

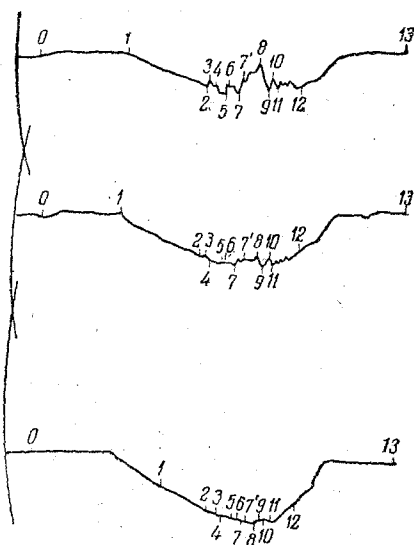


Рис. 5. Метеорограмма за 13/VIII.

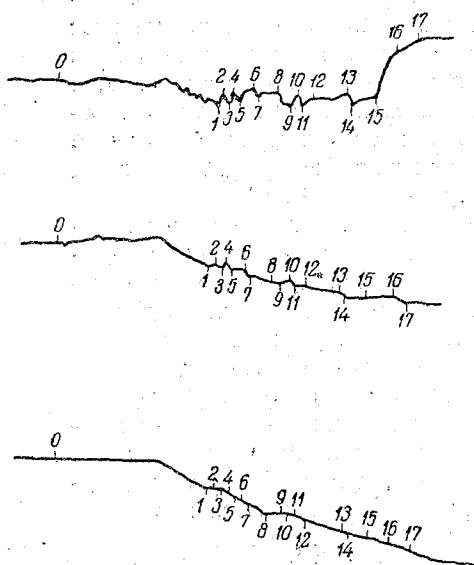


Рис. 6. Метеорограмма за 20/VIII.

Вторым подтверждающим обстоятельством являются мелкие колебания в ходе метеорологических элементов. В наших зондированиях можно найти ряд случаев, когда при горизонтальном полете на метеорограмме зарегистрированы такие колебания температуры и влажности, что и указывает на горизонтальную неоднородность атмосферы. Причем такие неоднородности не обнаруживаются в самом нижнем слое (до 0,5 км) и проявляются почти постоянно в подоблачном слое. Пример таких записей метеорограмм дан на рис. 5 и 6: точки 8-11 — на рис. 5; 1-4 и 8-11 — на рис. 6.

Горизонтальная неоднородность воздушного слоя может быть обнаружена не только при горизонтальном полете в этом слое, но и при наклонном зондировании. Схематическое распределение температуры при зондировании через адиабатически движущуюся воздушную „каплю“ показано на рис. 7. Нетрудно видеть, что при пересечении такой капли на метеорограмме появляются резкие изломы и мелкие слои инверсий и сверхадиабатических градиентов. Эти микродетали метеорограмм нередко обрабатываются и по ним даются слои инверсий. Но в действительности вертикального расслоения атмосферы нет, а имеет место горизонтальная неоднородность.

Итак, крупные „вихри“ (или „капли“) движутся в турбулентной атмосфере. Наши зондирования могут дать основные характеристики этой турбулентной среды, а о свойствах поднимающейся массы можно заключить лишь по отдельным точкам

и с определенностью можно говорить лишь о характеристиках восходящей массы в конечной стадии — с уровня образования облака. При составлении характеристик среды, в которой происходит подъем воздушных масс и развиваются кучевые облака, из обработки были исключены точки, относящиеся к облакам. Таким образом получено рассмотренное среднее распределение t , q , F и ядер конденсации (о ядрах см. статью В. А. Зайцева) и построены эмаграммы единичных подъемов.

Основные особенности этого распределения отмечены выше, останавливаться на них подробнее не имеет смысла, так как достаточно хорошо известен суточный ход температуры и других характеристик этого слоя.

Хорошо известно, что турбулентность имеет суточный ход — по интенсивности и высоте распространения. В рассматриваемые дни средняя высота приземного турбулентного слоя днем составляла около 1 км (рис. 1), сверхадiabатические градиенты температуры наблюдались до 400—500 м. В отдельные дни распространение турбулентности ограничивалось задерживающими слоями и в некоторых случаях можно ясно проследить размывание этих слоев снизу при развитии турбулентности днем. В качестве примера можно привести результаты зондирования 20/VII (рис. 8).

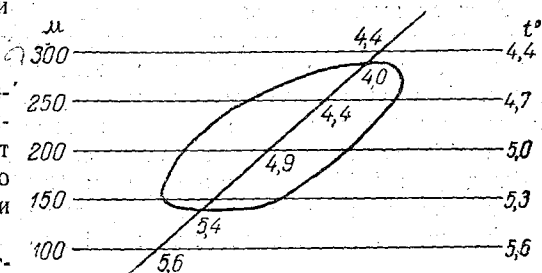


Рис. 7. Схема разреза „капли“.

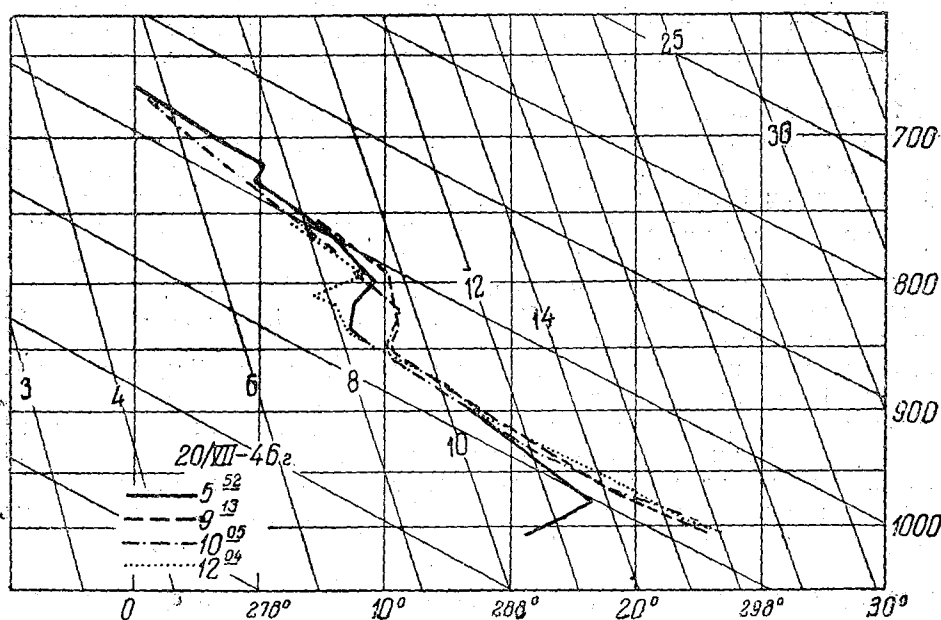


Рис. 8. Эмаграмма за 20/VII.

Высота подъема крупных „капель“, вообще говоря, не совпадает с высотой распространения турбулентного слоя. Повидимому утром „капли“ поднимаются выше слоя интенсивной турбулентности, а днем турбулентная конвекция может распространяться до основания Си и несколько выше.

Проследить изменение состояния поднимающейся воздушной массы вне облака не удастся. Принимая, как обычно, что подъем протекает адиабатически и, следовательно, до уровня конденсации сохраняется $q = \text{const}$ и $\theta = \text{const}$, можно подойти

к вопросу о пути пройденном воздушной массой и начальном уровне подъема. Обычно ставится обратная, более трудная и ответственная задача — определить уровень образования облаков, исходя из наземных характеристик воздуха. В отношении кучевых облаков эта постановка кажется естественной и поэтому на ней остановимся сейчас.

Расчеты высот основания кучевых облаков проводились неоднократно и при этом всегда принималось, что подъем воздушной массы происходит адиабатически и начинается от земли, где имеют место многочисленные температурные неоднородности. Сравнение расчетных данных с фактическими показывает, что обычно основания C_u лежат выше вычисленных значений. Так, Пепплер [1] нашел, что в среднем из 114 случаев разница высот составляет 293 м; средняя высота C_u — по наблюдениям 1675 м, по вычислениям 1382 м. Он указывает, что особенно велики отклонения вычисленных высот от фактических при высоких C_u .

Средние значения этих отклонений при разных высотах C_u следующие:

Высота (H) C_u , м	<1000	1000—1500	1500—2000	>2000
ΔH (наблюденная — вычисленная), м	36	105	182	774
n	9	45	34	26

Несовпадение вычисленных высот C_u с действительными объясняется рядом обстоятельств.

1. Вычисления дают уровень конденсации, но не уровень образования облака; требуется сконденсировать некоторое количество воды, чтобы появилось видимое облако. Повидимому, необходимое количество капельножидкой воды для оформления облака невелико ($0,1—0,2 \text{ г/м}^3$), но это значит, что уровень облака должен определяться не при 100% влажности, а при 110—120%. (Таких пересыщений, конечно не будет в действительности, избыточный водяной пар перейдет в капельножидкое состояние).

2. На уровень конденсации должны оказывать влияние ядра конденсации в зависимости от их физико-химических свойств, размеров и числа; для конденсации требуется пересыщение водяного пара или же она начнется до стадии насыщения. Судя по расчетам Крастанова [6], высота уровня конденсации, определенная с учетом ядер, изменяется лишь незначительно. По Крастанову высота начала конденсации, рассчитанная при наиболее обычных атмосферных ядрах конденсации, поднимается на 30—50 м, т. е. приближается к фактической высоте облака. Правда, в своих расчетах Крастанов считал ядра нерастворимыми, при растворимости ядер соотношение может оказаться обратным.

3. Указывается нередко, что искажение в расчеты высоты C_u вносится предположением об адиабатичности подъема. В природе, конечно, имеет место тепло- и влагообмен воздушных частиц с окружающей средой, и отклонение от адиабатических условий может быть весьма существенным.

А. А. Дороднициным была сделана попытка учесть неадиабатичность процесса. Однако, для кучевых облаков расчеты А. А. Дородницина не применимы, так как не вполне удачны исходные предположения о поднимающейся частичке (он рассматривал мелкие „пузырьки“). Но все же им показано, что учет теплообмена поднимает уровень конденсации, а влагообмен влияет обратно, и суммарный эффект этих процессов не может быть значительным.

Представляет большой теоретический интерес выяснение влияния перечисленных факторов на высоту образования C_u , но практически на расчетах высот они скажутся, повидимому мало. Массовая конденсация в атмосфере, очевидно, протекает при незначительных отклонениях влажности от 100%, что даст изменение высот на несколько метров. Предположение адиабатичности подъема законно для больших вихрей, размеры которых составляют десятки и сотни метров, так как в таких случаях обмен со средой будет сказываться только на периферии вихревых образований и потому „неадиабатичность“ процесса не может существенно повлиять на расчеты.

Нетрудно оценить и возможный эффект первого из указанных факторов. Действительно, для выделения сконденсированной воды (в виде капелек) в количестве $0,1-0,2 \text{ г/м}^3$ воздух должен охладиться на $0,2-0,4^\circ$ (при температуре около 10°), т. е. подняться на $20-40 \text{ м}$. Эта величина, конечно, нуждается в уточнении, так как неизвестно вполне достоверно — какова „водность“ начальной стадии Cu . Во всяком случае известно (см. например, [7]), что встречаются облака с содержанием капельно-жидкой воды меньше $0,1 \text{ г/м}^3$, так что указанные значения нужно рассматривать как предельные.

Представляется, что для уточнения расчетов высоты начала конденсации большое значение имеет уровень, принятый за начальный уровень конвекции. В литературе встречаются указания (Молчанова, Рефсдаля, Ретьена и др.) на возможность подъема воздуха не от земли. Но при рассмотрении кучевых облаков, как уже напоминалось, считается естественным, что конвекция начинается от земной поверхности вследствие обычной здесь термической неоднородности. Практически же за начальный уровень конвекции принимается высота 2 м , так как за исходные характеристики поднимающегося воздуха берутся данные обычных метеорологических наблюдений. Пожалуй, только Дорониничин последовательно рассматривал зарождение и конвекцию перегретых воздушных „капелек“ непосредственно от земной поверхности, но его „капельки“ не соответствуют масштабам конвекции кучевых облаков.

Считая, что крупные вихри не могут возникать непосредственно у поверхности земли, тем самым мы, естественно, должны поднять начальный уровень конвекции. Вероятно, этот уровень h_0 должен быть связан с масштабом первоначальных размеров вихрей, что в дальнейшем следует уточнить. На основании имеющихся зондирований мы могли произвести лишь некоторые ориентировочные расчеты h_0 . Задачу пришлось решать в обратном порядке: зная удельную влажность и потенциальную температуру у основания облака (q_0 и θ_0), мы искали h_0 . Это может быть сделано по эмаграмме, если опустимся от облака вниз по изолиниям $q_0 = \text{const}$ или $\theta_0 = \text{const}$ до таких же значений этих характеристик в окружающем воздухе, т. е. до пересечения с кривыми фактического хода q и θ (рис. 9).

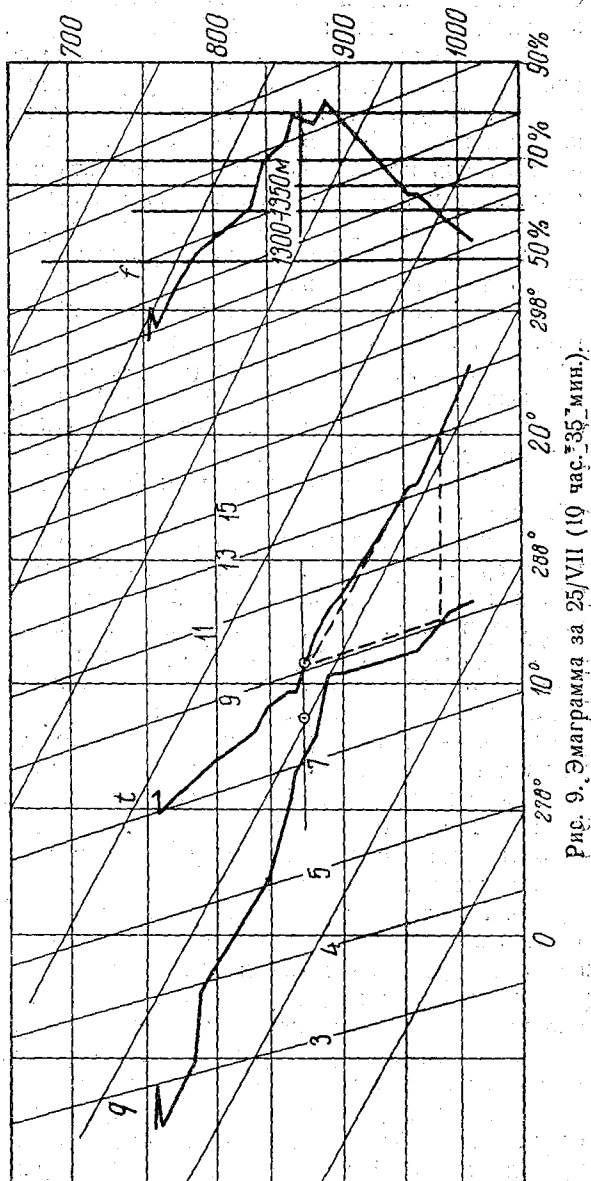


Рис. 9. Эмаграмма за 25/VII (10 час. 35 мин.).

Практически находить h_0 по ϑ не удастся, так как в условиях летней стратификации во всем нижнем километре ϑ почти постоянно. Удельная влажность по высоте изменяется довольно значительно и на кривой влажности точка $q=q_0$ и следовательно h_0 может быть отмечена вполне определенно.

Для таких построений и выяснения возможных высот начала конвекции в разных условиях нужны надежные данные температуры и влажности у основания облака. Такими данными мы пока не располагаем. Ниже мы остановимся на оценке зарегистрированных значений t и F в облаках.

Если все же на кривой q найдена точка $q=q_0$, то, идя от нее по изобаре до кривой состояния, найдем температуру возникновения конвекции (см. рис. 9). Однако эта температура не является начальной температурой поднимающегося воздуха, который может быть в начальный момент несколько теплее. Поэтому, даже зная h_0 , мы лишь приближенно можем наметить адиабату подъема, а отсюда возникнет неточность и в определении высоты облака H . Тем не менее введение в рассмотрение начального уровня конвекции имеет принципиальное значение.

По нашим наблюдениям высоты основания Cu изменялись в течение дня весьма значительно, как это видно на рис. 10. Вычисленные обычным способом по наземным метеорологических данным высоты облаков в нашем случае оказались довольно близкими к фактическим. Но при сравнении этих данных выяснились следующие особенности. Для ранних Cu (в 8—8 час. 30 мин.) вычисленные высоты меньше наблюдаемых, несколько позже (в 9—10 час.) по вычислениям высоты получаются завышенные, затем в дневные часы (10—16 час.) совпадение хорошее и, наконец, в конце дня (в 17—18 час.) вычисленные значения особенно сильно занижены. Такое соотношение вычисленных и фактических высот Cu теперь мы легко можем объяснить.

В самом деле в часы наиболее раннего появления Cu еще сохраняется утренний характер распределения влажности с наиболее высокими значениями у земли (рис. 2). Так как в это время на высоте h_0 влажность меньше, то уровень конденсации должен лежать выше рассчитанного по наземным данным (см. например данные за 26 и 27/VII). Затем идет быстрый прогрев воздуха у земли и уменьшение его относительной влажности, а на высоте дневной ход метеорологических элементов отстает и дневное уменьшение влажности задерживается, что и сказывается на уровне конденсации — для приземного воздуха уровень конденсации должен лежать выше, чем для поднимающегося с h_0 . В дневные часы свойства в нижнем слое атмосферы настолько выравнены, что не имеет существенного значения, начинается ли подъем от земли или с высоты 200—300 м. Весьма интересно, что к вечеру, когда в соответствии с ходом метеорологических элементов у земли высота основания Cu должна уже снижаться, в действительности она еще нередко продолжает увеличиваться. Это также происходит в результате запаздывания дневных экстрем температуры и влажности на высоте h_0 , и этим объясняются большие значения ΔH при наиболее высоких Cu (см. данные Пепплера на стр. 10).

Таким образом для уточнения расчетов высоты образования конвективных облаков должен быть принят во внимание уровень начала конвекции h_0 и учтен суточный ход температуры и влажности у земли и на уровне h_0 . В связи с этим еще раз вернемся к роли турбулентных процессов для развития Cu .

Существует точка зрения (А. Ф. Чудновский и др.), что расчет уровня конденсации в атмосфере следует вести не по адиабатической конвекции, а исходя из турбулентного обмена и определяемого им распределения и суточного хода температуры и влажности. Как следует из всего изложенного выше, применительно к кучевым облакам это неверно. Общий турбулентный перенос может привести к образованию слоистых форм (обстоятельство известное в метеорологии), но не кучевых облаков. Однако турбулентностью определяются физические характеристики слоя возникновения конвекции, что должно быть учтено в теоретических построениях.

Следует заметить, что по нашим наблюдениям и также по данным Пепплера вычисленные простым способом высоты Cu расходятся с фактическими меньше,

чем это получается по сетевым шаропилотным наблюдениям. Можно указать две причины, которые могут повлиять на это. Во-первых, по шаропилотным наблюдениям не всегда правильно указывается высота C_u , так как иногда шар-пилот попадает не в основание облака, а сбоку. Во-вторых, большое значение для расчетов имеет репрезентативность данных влажности. Показательным примером в этом отношении является Павловск (Слуцк). При несомненно надежных аэрологических наблюдениях мы всегда получали там большие расхождения между теоретическими и действительными высотами C_u ; повидимому это вызывается относительно высокими значениями влажности вблизи большого парка.

Остановимся, в заключение, на метеорологических условиях в облаках. Получить надежные данные по температуре и влажности в облаках необходимо для всех вопросов термодинамики и микрофизики облаков. Довольно грубые приборы и быстрое прохождение самолетом кучевого облака (10—20 сек.) не обеспечивают

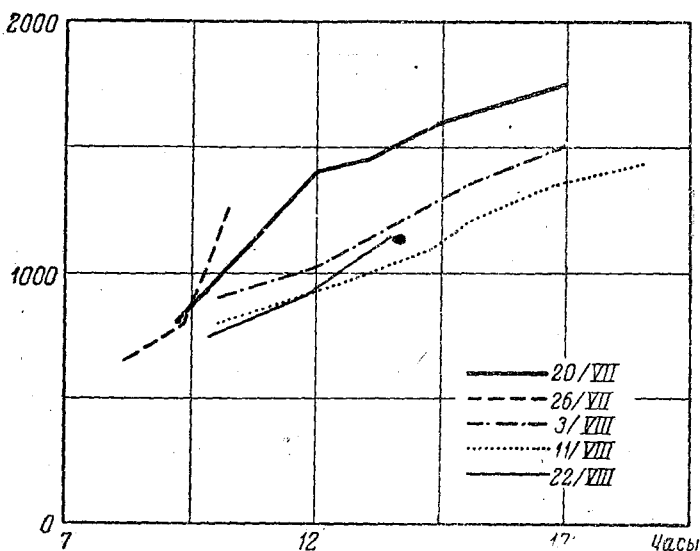


Рис. 10. Высота C_u в разное время дня.

получение таких данных. Можно говорить пока не о точных значениях метеорологических элементов в облаке, а только о примерном соотношении с окружающим воздухом.

В наших зондированиях почти без исключения в кучевых облаках отмечалось понижение температуры. На такой факт указывается и в других исследованиях. Так, интересные опыты были проведены Коппом [8]. Учитывая значительную инерцию термоприемников и небольшие горизонтальные размеры C_u , он задавался специальным режимом полета, обеспечивающим достаточное пребывание самолета в облаке и получение надежной записи метеорографа. На основании этих зондирований Копп и пришел к заключению о реальности указанного понижения температуры в C_u . Венцель были высказаны возражения по этому вопросу. Он считает, что более низкие температуры в C_u встречаются лишь в последней стадии их жизни, а при развитии облаков и выраженной конвекции в них имеет место обратное соотношение температур. Это замечание Венцеля кажется логичным, но подтверждающих данных по нашим зондированиям привести нет возможности. Вполне возможно, что показания термоприемников в облаках искажены „психрометрическим эффектом“.

В дальнейших исследованиях мы постараемся уточнить эти вопросы и рассмотреть их обстоятельнее, поставив более надежные измерения температуры и влажности в облаках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peppler W. Beiträge zur Physik des Cumulus. Beitr. z. Ph. fr. Atm., Bd. X, H 2—3. 1922.
2. Kochański A. Studja nad structura atmosfery podczas termiki Cumulusow. Instyt. geof. i Meteor. Uniwersytetu. Lwowie t. 8, Nr 93—109, 1936.
3. Молчанов П. А. „Аэрология“, Гидрометеиздат, 1938.
4. Молчанов П. А. Turbulenz der unteren Luftschichten und Entwicklung der Haufenwolken. Met. Zschr., Bd. XL, H. 7.
5. Albrecht F. Die thermische Konvektion in der freien Atmosphäre und ihre Bedeutung für den Wärmeumsatz zwischen Erdoberfläche und Luft. Wissensch. Abh., Bd. IX. № 5. 1942.
6. Krasňanov L. Met. Zschr. Bd 53, 1936; Bd 57. 1940.
7. Diem M. Messungen der Grösse von Wolkenelementen. Ann. d. Hydr., Bd. 70. H V. 1942.
8. Kopp W. Über die Möglichkeit mit den gewöhnlichen aerologischen Hilfsmitteln die Übersättigung der Wolkenluft zu bestimmen. Beitr. z. Ph. fr. Atm., Bd. XVI. 1930.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯДЕР КОНДЕНСАЦИИ ПО ВЫСОТЕ В ДНИ С КУЧЕВОЙ ОБЛАЧНОСТЬЮ

Распределение ядер конденсации по высоте в свободной атмосфере представляет большой интерес с точки зрения более полного понимания процессов конденсации водяного пара в атмосфере и механизма образования облаков, а также для изучения оптических свойств нижних слоев атмосферы.

Измерение числа заряженных и незаряженных ядер в свободной атмосфере с самолета нами проводилось впервые в СССР, поэтому прежде всего необходимо было выбрать методику исследования и, в частности, взятия проб воздуха в полете. Работы, проведенные летом 1946 г., являются подготовкой к более полным и детальным исследованиям в этой области.

Для измерения содержания ядер конденсации на разных уровнях до высоты 2,5 км был оборудован самолет С-2, как будет описано ниже.

Методика измерений

Во избежание влияния выхлопных газов от мотора на измерение числа ядер конденсации, было сконструировано и изготовлено приспособление, представлявшее собою трубу, высотой 2,5 м, эллиптического сечения. В этой трубе посредством роликов, троса и специального держателя поднимался отвинчивающийся насос (P) объемом в 5 см^3 (см. рис. 1а и б).

На поршне насоса (P) были две кожаные манжетки, развернутые в разные стороны, вследствие чего насос имел возможность как засасывать, так и нагнетать воздух. Держатель насоса был сконструирован так, чтобы, перемещаясь по трубе вверх и вниз, он не давал возможности насосу преждевременно открываться. Забор воздуха происходил тогда, когда приемная часть насоса находилась в свободном потоке воздуха за пределами верхнего среза трубы.

Труба была смонтирована на самолете (рис. 2) с некоторым наклоном (10°) вперед; кроме того, самая верхняя часть трубы имела косой срез в направлении полета. Все это давало возможность воздуху во время полета поступать сверху вниз, т. е. в кабину самолета со скоростью 2—3 м/сек.

Таким образом была ликвидирована возможность действия пульверизационного эффекта — вытягивания из кабины воздуха наверх.

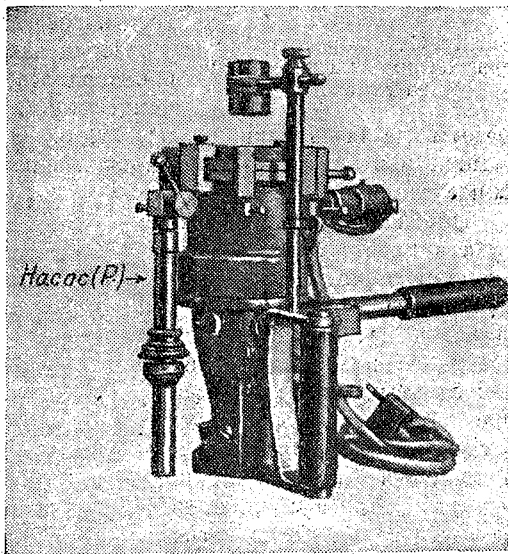


Рис. 1а. Прибор Шольца (малая модель).

Для счета ядер конденсации в нашем распоряжении имелось два прибора Шольца (I. Scholz) малой модели. Один из этих счетчиков был несколько пере-
конструирован с таким расчетом, чтобы им было можно измерять как заряженные, так и незаряженные ядра конденсации.

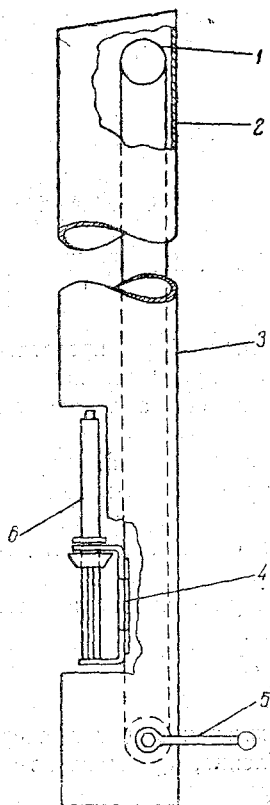


Рис. 16. Схема приспособления для подъема насоса (P) на самолете.

высоты делалась „площадка“, т. е. горизонтальный полет самолета в течение 5 мин., и в это время производились измерения. На спуске наблюдений за ядрами конденсации не было.

Проба испытуемого воздуха в полете бралась следующим образом: насос отвинчивался от счетчика, поршень насоса приводился в верхнее положение и из насоса выталкивался весь прежний воздух. Затем насос вставлялся в держатель и поднимался при помощи рукоятки, троса и роликов на трубе вверх. Когда насос доходил до верхнего упора и приемная часть насоса была на 6 см выше верхнего среза трубы, тогда поршень начинал опускаться вниз, так как держатель с корпусом насоса продолжали подниматься вверх. После того, как поршень насоса доходил до нижнего положения

В верхнем подвижном цилиндре этого счетчика через кран с фильтром был введен внутрь электрод диаметром 1 мм и длиной 40 мм, к которому подключался положительный полюс батареи. Этот электрод отстоял от верхнего и нижнего стекла на 2 мм. Отрицательный полюс подключался к серебряной фольге с овальными отверстиями, наложенной на цилиндрическую поверхность камеры поверх фильтровальной бумаги. На образованный таким образом конденсатор подавалось напряжение 300 в. Мешалка была сделана из плексигласа размером $0,2 \times 1,5 \times 2,5$ см и при перемешивании поворачивалась вокруг вертикальной оси на 120° .

На выпускном кране камеры был сделан фильтр из марли, который смачивался водой. Фильтр необходим потому, что после нескольких адиабатических расширений воздуха в камере образуется некоторое разрежение, благодаря которому внутрь камеры при открывании выпускного крана может попасть наружный воздух с ядрами. На обоих приборах была достигнута хорошая герметичность дополнительными зажимными винтами и хорошими кожаными кольцами.

Параметры прибора: объем приемника (цилиндра) $v = 98 \text{ см}^3$; объем приемника после разрежения $v + dv = 123 \text{ см}^3$; высота цилиндра $h = 4,4$ см; наружный радиус цилиндрического конденсатора $r_1 = 2,75$ см; внутренний радиус $r_2 = 0,05$ см; объем отвинчивающегося насоса $P = 5 \text{ см}^3$.

Перед взлетом, пока не работал мотор, на земле производился отсчет заряженных и незаряженных ядер конденсации. Во время полета через каждые 400 м

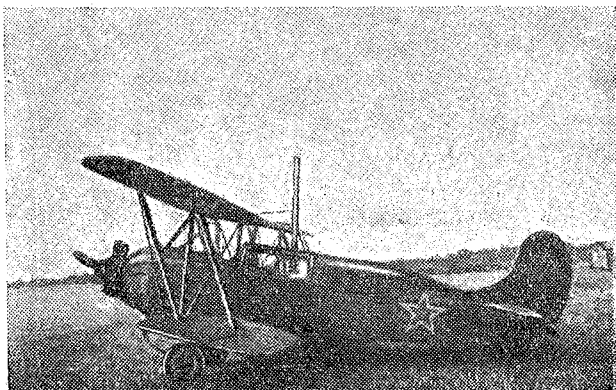


Рис. 2. Установка трубы на самолете.

и в насос было набрано 5 см³ воздуха, держатель опускался вниз, при этом поршень находился все время в нижнем положении. Затем насос привинчивался к крану прибора, причем кран был поставлен на соединение с наружным воздухом. После привинчивания насоса к крану из него выталкивалась часть воздуха 1—1,5 см³ наружу и кран перекрывался, а взятая проба воздуха вводилась в камеру счетчика. Вся процедура взятия пробы воздуха длилась 15—20 сек.

После введения пробы воздуха в камеру счетчика все краны перекрывались и приводилась в действие мешалка покачиванием прибора. Перемешивание продолжалось от 30 до 35 сек., а затем делалось 5—6 разрежений и считались капельки, выпавшие на нижнее стекло с сеткой.

Капельки, как правило, выпадали с первых трех разрежений, а последующие 2—3 разрежения были в виде контрольных. Из пробы воздуха, взятой насосом, делались два измерения: сначала считалось общее количество ядер конденсации N , а потом вводилась новая порция воздуха, накладывался электрический заряд в 300 в, приводилась в действие мешалка и делался отсчет. Иногда сначала считались ядра конденсации при наложенном заряде, т. е. незаряженные (N_0), а затем их общее число. Число заряженных ядер конденсации ($N_{\pm}$) определялось по разности двух отсчетов:

$$N - N_0 = N_{\pm}.$$

Во избежание запотевания стекол, в приборе применялась специально сконструированная маленькая электрическая грелка, по размерам и форме напоминавшая лапку котенка. Вся грелка была обернута бархатом и нагревалась она до +50, +60°С от аккумулятора. На самолете электрической грелкой обычно пользовались в промежутках между отсчетами, т. е. во время набора высоты от одной „площадки“ до другой. Грелка прикладывалась на 10—15 сек. к верхнему или нижнему стеклу прибора.

Число ядер конденсации N подсчитывалось по следующей формуле:

$$N = 100 \cdot n \cdot \frac{V}{v} \cdot \frac{1}{h},$$

где N — общее число ядер конденсации на 1 см³ воздуха,

n — число ядер (капелек), выпавшее на 1 мм²,

V — объем цилиндра (камеры) счетчика в см³,

v — объем испытуемого воздуха, вводимого в камеру, в см³,

h — высота камеры в см.

Источники ошибок счетчика Шольца

1. Ошибка за счет определения объема камеры

Эта ошибка для нашего самолетного счетчика составляла $\pm 0,5$ см³. Если эту величину перевести на процентное отношение к измеряемым ядрам конденсации, то она составит $\pm 1\%$.

2. Ошибка за счет осаждения ядер конденсации на внутренних стенках камеры и насоса

Для выяснения этой ошибки были проведены параллельные измерения числа ядер конденсации в комнате и на открытом воздухе двумя счетчиками Шольца одновременно. Счетчик № 1 отличался от счетчика № 2 лишь тем, что в центре его камеры имелся электрод диаметром 1 мм и длиной 40 мм. Во время сравнительных измерений напряжение на конденсатор не подавалось; пробы воздуха

10877

брались обоими счетчиками в непосредственной близости один от другого. Из проведенных нами 60 измерений установлено, что счетчик № 1 дает меньшее число ядер конденсации в среднем на 2% по сравнению со счетчиком № 2. В счетчике № 1 ядра конденсации, очевидно, осаждались дополнительно на электроде и на стенках насоса, а также на мешалке, которая была по размеру несколько большей, чем мешалка счетчика № 2.

В течение всех измерений фильтровальная бумага, которой были выложены вертикальные стенки камер счетчиков, была хорошо увлажнена; перемешивание производилось в продолжение 30 сек. Установив сравнимость счетчиков, мы приступили к дальнейшим исследованиям данной ошибки. Обоими счетчиками брались одновременно пробы воздуха. В счетчике № 2 испытуемая проба воздуха перемешивалась с очищенным от ядер воздухом камеры в течение 30 сек., а проба

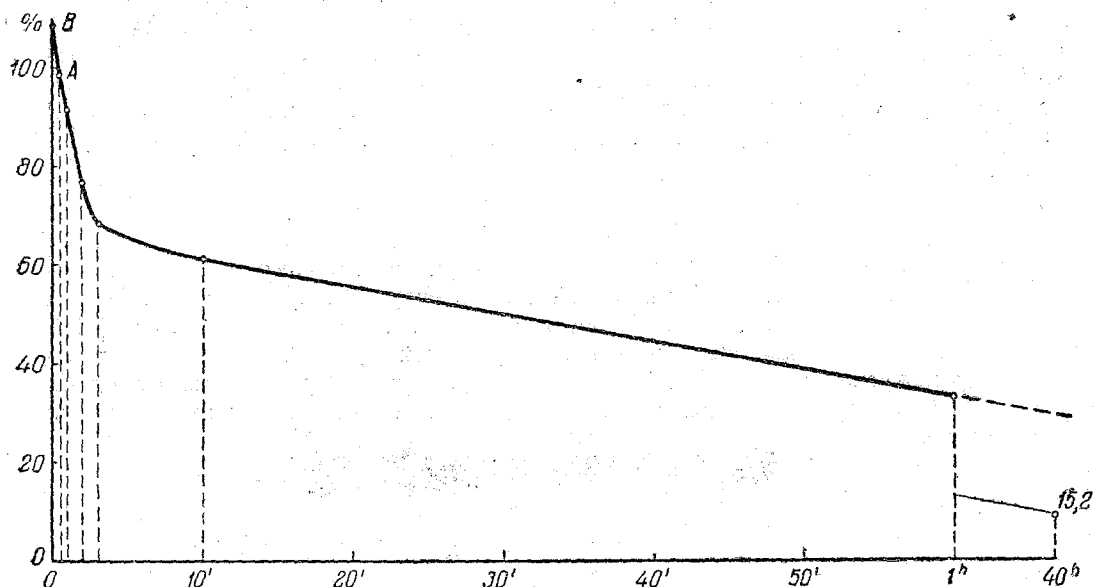


Рис. 3. График результатов сравнения двух счетчиков ядер конденсации по времени перемешивания.

19/X 1946 г.; 21/X 1946 г.

воздуха в счетчике № 1 перемешивалась вначале 30 сек., потом 1—2 мин., а для интервалов времени 3', 10', 1^h, 40^h перемешивание производилось только в первые 2 мин. после взятия пробы, потом прибор ставился на стол и осаждение ядер продолжалось в спокойном воздухе.

После соответствующей выдержки производилось разрежение и считались капельки, выпавшие на нижнее стекло. Всего сделано по 3 измерения для каждого промежутка времени и по средним из трех измерений составлен график (см. рис. 3).

Как видно из графика (рис. 3) за первые 2 мин. перемешивания осаждение ядер на стенках прибора идет довольно интенсивно. В течение 3-й мин. осаждение ядер замедляется, а в последние интервалы это замедление проявляется еще больше. Отсюда можно сделать вывод, что ядра конденсации при перемешивании оседают на внутренних стенках прибора интенсивнее, чем в спокойном воздухе. Ошибку, получающуюся за счет осаждения на внутренних стенках камеры за начальные 30 сек. перемешивания, находим следующим образом. Продолжим кривую распределения на графике (рис. 3) до нулевой ординаты, тогда получим отрезок АВ. Этот отрезок представляет собою искомую ошибку для прибора № 1. Таким образом при измерении числа ядер конденсации и перемешивании в течение 30 сек. мы недосчитываем 10% ядер, которые оседают на стенках прибора.

Таблица 1

Результаты сравнительных измерений ядер двумя счетчиками

Дата	Время взятия пробы воздуха	Время перемешивания	№ счетчика	Среднее значение из трех измерений	Отношение, %	Примечание
19/X 1946 г. . . .	10 00	30"	2	10 125	100	Измерения производились в комнате
	10 06	30"	1	10 023	98,9	
	10 25	30"	2	10 125	100	
	10 33	1'	1	9 280	91,5	
	10 36	30"	2	6 937	100	
	10 44	2'	1	5 383	74,4	
	10 48	30"	2	6 750	100	
	11 00	3'	1	4 640	68,3	
	11 10	30"	2	6 341	100	
	11 46	10'	1	3 898	61,4	
	12 00	30"	2	5 247	100	
	14 20	1 ^h	1	2 227	42,8	
19—21/X 1946 г. .	16 00	30"	2	7 312	100	Произведено одно измерение
	9 00	41 ^h	1	1 114	15,2	

3. Ошибка от условий взятия пробы

Ввиду того, что проба воздуха бралась с помощью насоса, который поднимался по трубе вверх и выходил в чистый поток воздуха, ошибка от воздействия выхлопных газов была предотвращена. Здесь только уместно указать на следующее: во время измерения ядер конденсации с самолета проба воздуха бралась в течение 1 сек., за это время самолет пролетал 30—35 м. Мы получаем, следовательно, не содержание ядер в некоторой точке пространства, а усредненное число по указанному пути.

Необходимо заметить, что наш самолетный счетчик не имел ошибки вследствие порывов ветра, так как испытуемая проба воздуха вводилась в камеру из насоса, а избыточный воздух выходил из камеры через кран с фильтром. В счетчиках Айткена и в обычном счетчике Шольца при порывистом ветре свыше 5—6 м/сек. разница в отсчетах за счет порывистости может достигать 50—70%.

Во время измерения числа заряженных ядер конденсации, когда на конденсатор подавалось напряжение в 300 в, в камере счетчика за 30 сек. в спокойном воздухе могли осаждаться на электродах все легкие и средние ионы, а также часть тяжелых с подвижностью до $8 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \text{ сек.}^{-1} \text{ в}^{-1}$. Но так как в нашем счетчике в течение 30 сек. действовала мешалка, которая делала за это время в среднем 40 колебаний и перемещала около 200 см^3 воздуха, причем перемешивание происходило в замкнутом сосуде, то можно полагать, что за время перемешивания все тяжелые ионы с подвижностью $2,5—10 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \text{ сек.}^{-1} \text{ в}^{-1}$ осаждались на электродах. Осаждались ли в счетчике № 1 ионы с меньшей подвижностью, т. е. ультра-тяжелые, неизвестно, так как необходимы экспериментальные исследования и сравнения счетчика ядер конденсации с каким-либо счетчиком ионов, подобные тем, какие были выполнены Шольцем [5].

Результаты измерений в Колтушах

Исследования в Колтушах показали, что число ядер конденсации у земли меняется в значительных пределах в зависимости от направления ветра. В тех случаях, когда ветер был западного направления, т. е. со стороны Ленинграда, число ядер возрастало (см., например 29/VII 1946 г.) и наоборот, при ветрах с восточной составляющей число ядер уменьшалось (например 20/VIII 1946 г.).

При западных ветрах у земли наблюдалось до 15 000—30 000 ядер на 1 см^3 , а при восточных и северо-восточных ветрах лишь 1000—4000 ядер на 1 см^3 .

Увеличение числа ядер конденсации у земли наблюдалось также под влиянием чисто местных факторов, например при возникновении пожаров на окрестных тор-

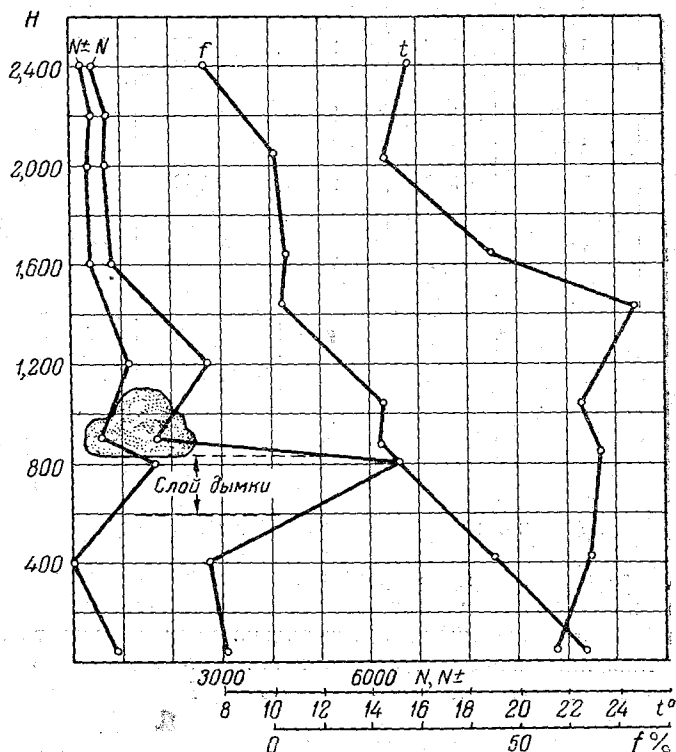


Рис. 4. Распределение по высоте числа ядер конденсации, температуры и относительной влажности по данным самолетного подъема 20/VII 1946 г., 9.13—10.15.

фяных болотах и т. п. Так, 20/VII 1946 г. с 12.45 до 13.31 число ядер конденсации в Колтушах колебалось от 1670 до 2810, а когда 4 км южнее загоралось торфяное болото и ветер стал приносить дым, то в 14.40 количество ядер возросло до 27 000 на 1 см^3 . Возможны также и кратковременные колебания в содержании ядер под влиянием узко местных причин. На такого рода колебания указывают Виганд и ряд других исследователей. Е. С. Селезнева пишет, что в Эльбрусской экспедиции 1939 г. в Терсколе на высоте 2200 м над уровнем моря в течение 5—10 мин. число ядер изменялось во время одного наблюдения от 430 до 1800, а в другом случае от 6060 до 11 680 ядер на 1 см^3 .

В Колтушах нами также отмечались значительные кратковременные колебания числа ядер конденсации. Так, 2/VII 1946 г. за время с 8.20 до 8.30 за 4 отсчета получено число ядер от 2500 до 3370 на 1 см^3 , а за время от 14.00 до 14.10 в течение 5 отсчетов обнаружено колебание числа ядер от 15 750 до 24 000.

При развитии кучевой облачности на некоторой высоте наблюдалось (в 22 случаях из 30 подъемов) значительное скопление ядер конденсации. Это увеличение содержания ядер наблюдалось, как правило, под слоем инверсии (7 случаев), под слоем изотермии (5 случаев) и в слое дымки под кучевыми облаками (18 случаев) (см. примеры на рис. 4 и 5). Присутствие слоя дымки под кучевыми облаками хорошей погоды (*Си hup*, *Си simpl*) нами наблюдалось во всех случаях, когда были подъемы в дни с кучевой облачностью.

Необходимо заметить, что верхняя и нижняя границы слоя дымки под облаками не резкие. Уплотнение слоя дымки и увеличение числа ядер конденсации под ку-

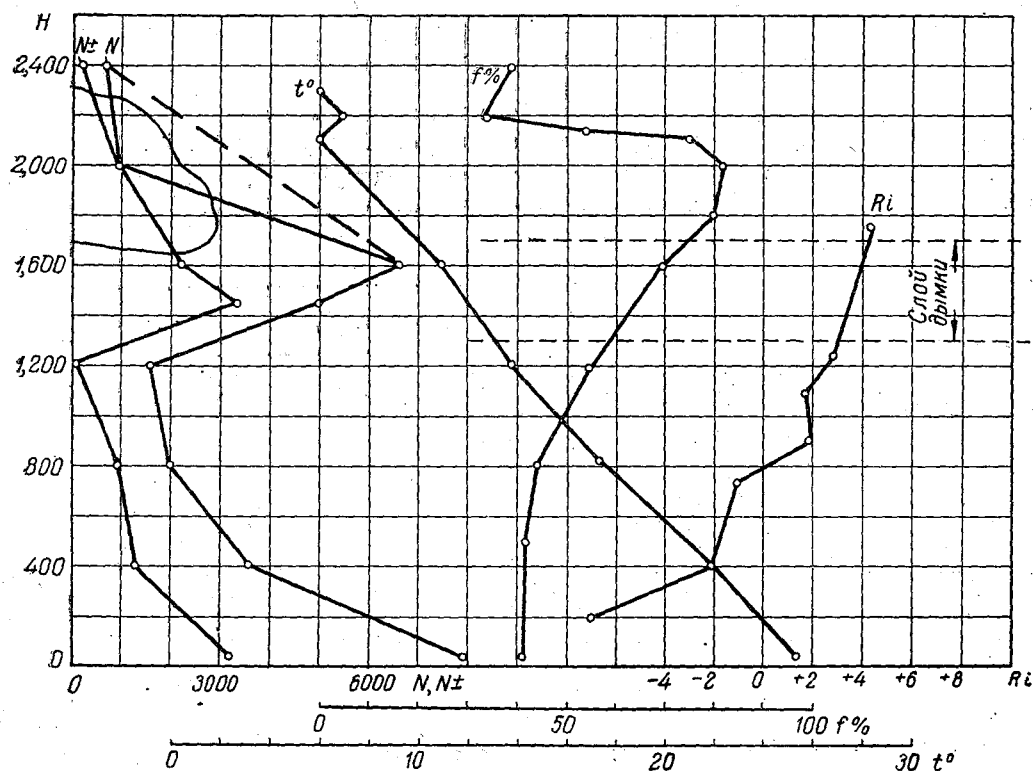


Рис. 5. Распределение по высоте числа ядер конденсации ($N \pm$, N), температуры (t°), относительной влажности ($f\%$) и числа Ричардсона (Ri) по данным самолетного подъема 20/VII 1946 г., 12.26—16.—46.

чевыми облаками можно объяснить наличием конвективных движений на уровне кучевых облаков. Известно, что образование кучевых облаков происходит вследствие притока влаги от земной поверхности. Если мы возьмем слой воздуха, который занимают кучевые облака, и рассмотрим его отдельно, то увидим, что в облаке преобладают восходящие движения, а вне облака — нисходящие, компенсационные. Вследствие такой циркуляции на определенном уровне под облаком можно ожидать некоторого скопления ядер конденсации, пыли, а следовательно и уплотненного слоя дымки.

Полученное в ряде случаев увеличение количества ядер конденсации под облаками при равномерном падении температуры с высотой согласуется с ходом числа Ричардсона (Ri), характеризующего развитие турбулентности. По расчетам М. П. Чуриновой число Ri в слое кучевой облачности равно или значительно больше единицы, а в слое от земли до 800—1000 м число Ri , как правило, очень мало или отрицательное.

Иногда увеличение числа ядер конденсации наблюдалось и на высотах более 2000 м. Так, в трех случаях на этой высоте наблюдалась дымка, а в двух подъемах (14/VIII) скопление ядер конденсации на высоте, повидимому, было связано с наличием другой воздушной массы, более богатой ядрами. В этот день район Ленинграда находился на северо-западной периферии антициклона с центром в районе г. Саратова; юго-западнее Ленинграда, почти в меридиональном направлении, располагалась окклюзия, которая прошла район Колтушей в 13—14 час. Ветер в первую половину дня 14/VIII был южного направления у земли 6—10 м/сек., а в свободной атмосфере до 18 м/сек. Следовательно, мог иметь место вынос континентального воздуха, богатого ядрами конденсации из южных и юго-восточных районов ЕТС.

Распределение ядер конденсации в кучевом облаке и вблизи него

Для характеристики распределения ядер конденсации в кучевом облаке и вне его приводим максимальные и средние значения N , N_0 и $N_{\pm}$ (табл. 2). Принимая за 100 % число ядер конденсации, измеренное под облаком, можно определить относительное изменение содержания ядер в разных частях облака.

Таблица 2

Место взя тия пробы	Число случаев	Значение N				Значение N_0				Значение $N_{\pm}$			
		Максимум	Минимум	Среднее	%	Максимум	Минимум	Среднее	%	Максимум	Минимум	Среднее	%
Под облаком . . .	11	6 680	1 340	4 450	100	5 010	1 110	2 910	100	3 080	90	1 540	100
В основании облака	5	1 670	1 110	1 360	30,5	1 110	560	870	30,0	560	240	490	31,1
В середине облака	2	980	490	730	16,4	250	0	—	0-8,2	980	240	610	39,5
В вершине облака	7	490	90	220	5,0	130	0	—	0-4,8	490	90	200	13,0
Над облаком . . .	4	730	240	500	11,2	490	0	250	8,5	470	0	250	15,5

При составлении этой таблицы два измерения в верхней части малоразвитых (мощность облака менее 100 м) кучевых облаков были объединены с измерениями в основании облаков. Результаты измерений оказались одинаковыми.

Из приведенных в табл. 2 данных, несмотря на небольшое число измерений, можно установить, что содержание ядер конденсации резко убывает при переходе из подоблачного слоя воздуха в облако. Если принять среднее значение числа ядер под облаками $N = 4450$ (из 11 измерений) за 100%, то в основании кучевого облака оказывается 30,5% ядер. Следовательно, в основании кучевого облака происходит убыль числа ядер на 70% по отношению к слою непосредственно под облаком. Это уменьшение происходит как за счет расхода ядер на конденсацию, так и за счет адсорбции ядер капельками облака.

Отметим здесь, что найденное среднее значение числа ядер $N = 1360$ для основания облака, немногим отличается от среднего содержания ядер конденсации в облаках по данным Эльбрусской экспедиции 1939 и 1940 гг. Так на „Приюте 9“ [6] в облаках наблюдалось в среднем 1630 ядер конденсации на 1 см³ воздуха. Несколько большее число ядер на Эльбрусе может быть объяснено тем, что счетчик Айткена, которым пользовались в Эльбрусской экспедиции, работает с большим пересыщением, чем счетчик Шольца малой модели, применявшийся в наших работах.

Уменьшение количества ядер конденсации с высотой в самом облаке идет довольно медленно. Если в основании кучевого облака в среднем число ядер кон-

денсации $N = 1360$, то в середине $N = 730$, а в вершине $N = 220$ на 1 см^3 . При средней мощности кучевых облаков, в которых производились наблюдения, около 400 м можно установить, что уменьшение числа ядер в облаке на 100 м высоты в среднем равно 280, или 6% . Между облаками это уменьшение составляет в среднем 12% на 100 м высоты.

В небольших малоразвитых кучевых облаках, не превышающих по мощности 80 — 100 м, содержание ядер конденсации, повидимому, одинаковое во всей толще облака. Измерение в верхних частях таких облаков показало, что общее число ядер конденсации N в среднем равно 1390, т. е. почти такое число, какое наблюдалось в основании облака.

Распределение заряженных и незаряженных ядер конденсации в кучевом облаке

Изменение с высотой заряженных и незаряженных ядер происходит неодинаково. Если принять измеренное под облаком число незаряженных ядер конденсации N_0 за 100% , то в основании облака будем иметь 30% , в середине — 8% , а в вершине 5% этих ядер.

Число заряженных ядер конденсации ($N_{\pm}$) при переходе из-под облака в облако уменьшается на 69% от числа их под облаком. Дальнейшее убывание с высотой $N_{\pm}$ идет очень медленно. При измерении в вершине кучевого облака в большинстве случаев (6 из 8) наблюдались только заряженные ядра конденсации.

Еще более отчетливо возрастание удельного веса заряженных ядер конденсации в облаке с высотой можно проследить по табл. 3.

Таблица 3

Место взятия пробы	Средние значения			
	N		$N_0 \%$	$N_{\pm} \%$
	число	$\%$		
Под облаком	4 450	100	65,4	34,6
В основании облака	1 360	100	64,0	36,0
В середине облака	730	100	16,3	83,7
В вершине облака	220	100	9,1	90,9
Над облаком	500	100	50,0	50,0

Из табл. 3 видно, что если в основании кучевого облака заряженных ядер конденсации ($N_{\pm}$) было 36% , а незаряженных $N_0 = 64\%$, то в вершине облака имеем уже $N_{\pm} = 90,9\%$, а $N_0 = 9,1\%$.

На основании полученных данных можно сделать предположение, что заряженные ядра конденсации менее активны при образовании капель облака, чем незаряженные.

Возможно, однако, что в облаках имеются дополнительные источники ядер конденсации.

Для характеристики распределения заряженных и незаряженных ядер конденсации по высоте вне облаков составлена табл. 4.

Как видно из табл. 4, отношение числа незаряженных ядер конденсации к числу заряженных $\frac{N_0}{N_{\pm}}$ от земли до высоты 800 м колеблется в среднем от 1,5 до 2,0.

В слое атмосферы от 1200 до 1600 м N_0 больше $N_{\pm}$ на $10 - 20\%$, а в слое от 2000

Таблица 4

Средние значения заряженных и незаряженных ядер конденсации по высотам вне облаков

Высота, м	Средние значения			Отношение средних значений			Число измерений
	N	N_0	$N_{\pm}$	$\frac{N}{N_0}$	$\frac{N}{N_{\pm}}$	$\frac{N_0}{N_{\pm}}$	
На земле	4 680	3 170	1 570	1,47	2,98	2,02	22
400	3 250	2 140	1 110	1,52	2,92	1,93	22
800	2 770	1 690	1 080	1,64	2,56	1,56	22
1 200	1 750	920	830	1,90	2,10	1,10	19
1 600	1 260	690	570	1,82	2,21	1,21	16
2 000	680	300	380	2,26	1,68	0,80	16
2 400	640	280	360	2,29	1,77	0,77	13

до 2400 м, наоборот, $N_{\pm}$ больше N_0 на 20—31%. Следовательно, с высотой заряженные ядра приобретают больший удельный вес.

По всей вероятности на изменение количественного соотношения заряженных и незаряженных ядер конденсации по высоте влияет кучевая облачность.

На основании данных табл. 4 построены 3 кривых (рис. 6), характеризующих среднее распределение заряженных ядер, а также общее содержание ядер конденсации по высоте в летний день вне облаков. На графике видно более или менее равномерное уменьшение N , N_0 и $N_{\pm}$ с вы-

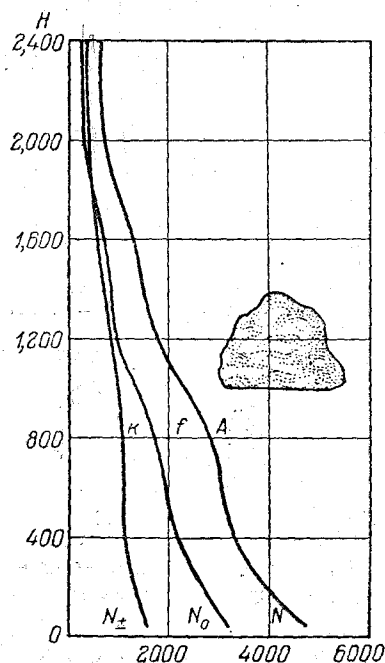


Рис. 6. Среднее распределение по высоте N , N_0 и $N_{\pm}$ вне облаков.

Таблица 5

Высота, м	N среднее из 5 подъемов	N среднее из 18 подъемов
На земле	6 300	5 530
400	3 340	3 600
800	2 170	3 000
1 200	1 450	1 880
1 600	900	1 200
2 000	380	690
2 400	230	560

сотой, за исключением точек A , f и k , где кривые имеют изгиб, отражающий скопление ядер в подоблачном слое.

Распределение ядер конденсации между облаками можно проследить по отрезку кривой N на рис. 6 между высотами 1000 и 1400 м. Высота 1000 м соответствует среднему уровню нижнего основания кучевых облаков над Колтушами в дни опытов, а высота 1400 м — среднему уровню верхней границы Си. Соответствующий отрезок на кривой N показывает, что убывание числа ядер между облаками идет неравномерно: вблизи нижней половины кучевого облака уменьшение числа ядер

составляет 300 на 100 м, а у верхней половины Си — 150 ядер на 100 м высоты. Отдельные же измерения показали более резкое уменьшение числа ядер конденсации с высотой между облаками, достигающее до 1100 ядер на 100 м высоты вблизи основания кучевого облака.

Для характеристики распределения ядер конденсации по высоте в утренние и вечерние часы, когда турбулентность ослаблена, и в дневные часы, при наличии кучевой облачности, приводим табл. 5.

Во втором столбце табл. 5 по 5 самолетным подъемам дано распределение ядер конденсации в утренние (от 8 до 9) и вечерние (от 17 до 19) часы, когда турбулентность ослаблена. Кроме того, во время этих подъемов на высоте не наблюдалось задерживающих слоев в виде инверсий и изотермий и отсутствовали облака. В третьем столбце приведено среднее (из 18 самолетных подъемов) распределение ядер с высотой при наличии кучевой облачности и хорошо развитой турбулентности в нижнем слое воздуха.

Эти же данные представлены на рис. 7, где ясно видно, что уменьшение числа ядер конденсации с высотой в нижнем слое воздуха происходит в утренние и вечерние часы интенсивнее, чем в дневные. Так, до высоты 1200 м это убывание для кривой 1 в среднем составляет 400 ядер на 100 м высоты, а для кривой 2 — 300 ядер на 100 м. При нанесении данных, соответствующих кривой 1, в полулогарифмических координатах ($H, \lg N$), мы получаем прямую линию 3. Отсюда легко выразить зависимость числа ядер от высоты

$$N = N_1 \cdot e^{-\frac{H}{0.75}},$$

где N — число ядер конденсации в 1 см³ на любой высоте, N_1 — число ядер конденсации в 1 см³, измеренное на земле, H — высота в километрах, e — основание натуральных логарифмов.

Сравнивая между собою кривые 1 и 2 на рис. 7, можно обнаружить, что в слое от 1300 до 2400 м обе кривые идут параллельно друг другу, при этом числа ядер в 1 см³, соответствующие разным кривым для каждого уровня отличаются на 200—250. Это говорит о том, что в условиях летней конвекции турбулентный перенос ядер конденсации идет по всему слою до высоты 2400 м. Наибольший приток ядер конденсации в течение дня, очевидно, имеет место в слое 600—1000 м, что видно из сравнения кривых 1 и 2. Изгиб на кривой 2 — соответствует верхней границе слоя интенсивного перемещения. Это подтверждается также ходом чисел Ri , расчеты которых были проведены М. П. Чуриновой.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что в дневные часы тетом большое число ядер конденсации и значительная запыленность воздуха распространяются до 800—1000 м, а в утренние и вечерние часы основное количество ядер конденсации сосредоточено у земли до высоты 200—300 м.

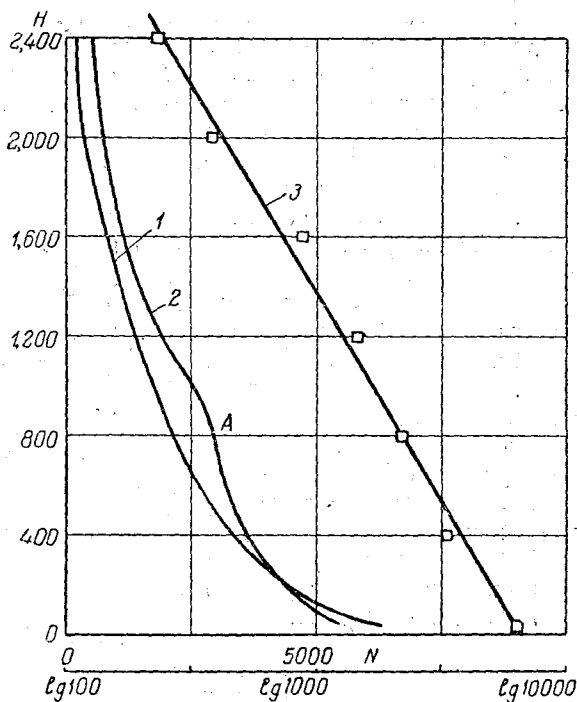


Рис. 7. Среднее распределение числа ядер конденсации в разное время дня.

1 — по утренним и вечерним подъемам, 3 — тоже в полулогарифмических координатах, 2 — по дневным подъемам.

Выводы

1. На основании проведенных испытаний можно считать, что прибор Шольца малой модели с небольшими техническими усовершенствованиями может быть с успехом использован для измерения заряженных и незаряженных ядер конденсации с самолета.

2. Разработанная методика взятия пробы воздуха на самолете при помощи отвинчивающегося насоса, поднимаемого до уровня воздушного потока, не возмущенного работой мотора, вполне пригодна для измерения числа ядер конденсации с самолета типа С-2 и ПО-2 (лимузин).

3. На содержание ядер конденсации в приземном слое воздуха оказывает влияние близость промышленных объектов, лесные пожары и другие ядрообразующие факторы. Так, в районе Колтушей при западных ветрах число ядер конденсации возрастало до 20—30 тысяч на 1 см^3 воздуха, при восточных и северо-восточных ветрах число ядер не превышало 4000 на 1 см^3 .

4. Число ядер конденсации убывает с высотой обычно по экспоненциальному закону $N_z = N_1 \cdot e^{-az}$, но под слоями инверсий и изотермий и при наличии дымки количество ядер увеличивается.

5. В кучевых облаках типа Cu hum и Cu simpl убыль числа ядер достигает в среднем 70% в основании облака и до 95% в вершине по отношению к числу, измеренному под облаком.

6. Незаряженные ядра конденсации быстрее убывают в облаке (90% поглощается в нижней половине облака), чем заряженные; в вершинах кучевых облаков преобладают заряженные ядра.

7. В дни наших зондирований запыление в районе Колтушей распространялось в дневные часы до высоты 800—1000 м; наибольшее скопление пыли и ядер, а следовательно и ухудшение горизонтальной видимости, отмечено непосредственно под уровнем кучевых облаков.

Приведенные результаты требуют дальнейшей проверки и подтверждения более многочисленными измерениями на разных уровнях.

Работа была выполнена автором как один из разделов комплексного изучения кучевых облаков, при участии младших научных сотрудников Главной геофизической обсерватории И. И. Честной, М. П. Чуриновой, под общим руководством кандидата физико-математических наук Е. С. Селезневой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оболенский В. Н. Роль ионов, нейтральных и заряженных пылинок и химически активных ядер при образовании облаков и туманов. Журн. геофизики, т. IV, вып. 1. 1934.
2. Оболенский В. Н. Дополнения и уточнения к теории атмосферной конденсации. Метеорология и гидрология № 3. 1941.
3. Оболенский В. Н. Курс метеорологии. Гидрометеиздат. Москва — Свердловск, 1944.
4. Шмаус Л. и Виганд А. Атмосфера как коллоид (перев.). Изд ЦУЕГМС. Москва, 1933.
5. Scholz I. Vereinfachter Bau eines Kernzählers. Met. Zschr., H. 10. 1932.
6. Селезнева Е. С. О ядрах конденсации в атмосфере. Труды НИУ ГУГМС СССР, сер. I, вып. 7, 1946.

МИКРОСТРУКТУРА КУЧЕВЫХ ОБЛАКОВ

Для изучения микроструктуры Сц был соответствующим образом оборудован двухместный самолет С-2.

Полеты проводились в течение июля и августа при наличии подходящей облачности, т. е. при доступных для нашего самолета кучевых облаках в разной стадии развития. Всего было совершено 44 полета в облаках, из них 21 полет в серийные дни, т. е. в такие дни, когда велись наблюдения за облаками в течение полного дня с момента их возникновения утром и до рассеяния или перехода в другие формы, например в Sc vesp., к вечеру. В такие серийные дни можно было производить измерение размеров облачных капель в разной стадии развития облаков, а также в облаках различной мощности.

Измерение размеров капель в облаках производилось микрофотографическим методом, наиболее употребительным в настоящее время и наиболее точным.

Сущность этого метода в общих чертах сводится к следующему: облачные элементы — капли улавливаются на покрытую маслом стеклянную пластинку, которая затем помещается под микроскоп и фотографируется. Далее измеряется диаметр полученного увеличенного изображения капли и по известной цене делений переводится в микроны.

Метод микрофотографии имеет много различных вариантов, различающихся между собой, например, способами улавливания капель. В одних случаях капли постепенно оседают из облачного воздуха на поверхность горизонтально лежащей пластинки, в других — капли улавливаются на пластинку, помещенную в струю облачного воздуха, просасываемого через сопло.

Для того, чтобы избежать испарения капель, а также чтобы сохранить их сферическую форму, пластинка, на которую эти капли улавливались, покрывалась различными жидкостями, не смешивающимися с водой капель. Для этого применялись керосин, касторовое масло, различные минеральные масла и их смеси.

Как уже сказано выше, для измерений размеров облачных элементов летом 1946 г. был оборудован двухместный самолет С-2, в кабине которого была смонтирована вся микрофотографическая установка. Она состояла из школьного микроскопа, зеркальной фотокамеры „Спорт“ и осветителя. Установка была подвешена в кабине самолета на резиновых амортизаторах.

Весьма важным моментом этого метода, при его применении на самолете, является осаждение облачных капель на предметное стекло. По опыту предыдущих лет прежде всего была налажена подготовка предметных стекол, предназначенных для взятия проб капель. Для этого требовалось подобрать масло для покрытия стекол. После ряда испытаний, мы остановились на смеси трансформаторного масла и белого вазелина в различных пропорциях, в зависимости от температуры облаков. Эта смесь, предварительно разогретая, наносилась тонким слоем на тщательно очищенное предметное стекло. Запас таких стекол мы брали с собой полет.

Следующая задача состояла в том, чтобы поймать на предметное стекло капли из потока, возмущенного работой винта и мотора самолета. Для этой цели была

приспособлена та же труба, которая служила для подъема насоса от счетчика Шольца при взятии пробы воздуха на наличие ядер конденсации (см. статью Зайцева). Вместо насоса поднималась специально сконструированная кассета (рис. 1). Труба и кассета сконструированы В. А. Зайцевым. Для взятия пробы каплей шторка кассеты открывалась и облачный воздух попадал прямо на стекло, помещенное в кассете перпендикулярно воздушному потоку.

Для открывания шторки достаточно было слегка потянуть за свешивающийся в кабину конец тросика, прикрепленного к нижнему краю шторки. Открываясь, шторка сжимала пружину, и затем, при опускании тросика, благодаря действию этой пружины, кассета закрывалась. Эта же пружина предохраняла кассету от самопроизвольного открывания шторки при вибрации самолета.

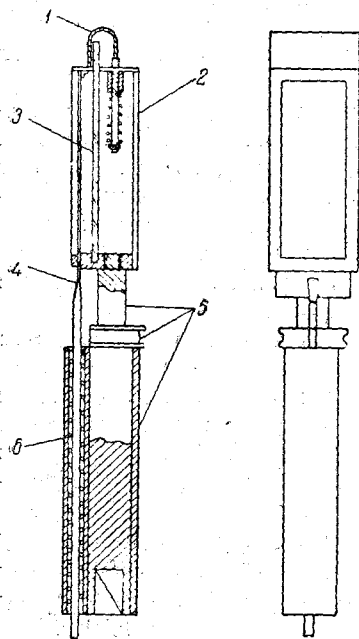


Рис. 1. Схема кассеты куда вставлялось предметное стекло.

1 — колпачок, 2 — стенки кассеты, 3 — предметное стекло, 4 — шторка, 5 — держатель, 6 — пружина.

Экспозиция стеклянной пластинки в облаках длилась от долей секунды до нескольких секунд, в зависимости от плотности пролетаемых облаков, определяемой визуально и по ощущению.

Кассета с полученной пробой каплей опускалась, заряжалась другим стеклом и снова поднималась по трубе. Проэкспонированные пластинки клались под микроскоп, включалось освещение (осветитель питался от самолетного аккумулятора), производилась фокусировка и съемка. Для облегчения фокусировки к столику микроскопа был привинчен упор, который ограничивал приближение объектива микроскопа к предметному стеклу и предохранял его от попадания в масло с пробой каплей. Фокусировка затруднялась вследствие непрерывной вибрации самолета, и поэтому для съемки приходилось ловить момент (весьма непродолжительный) нахождения пробы в фокальной плоскости микроскопа и именно в тот момент нажимать спуск затвора аппарата. С каждой пробы облака делалось по 3 снимка, относящихся к разным частям пробы (центр, край и т. д.). При дальнейшей обработке снимки, относящиеся к одной и той же пробе, суммировались.

В микроскопе, как известно, объектив дает увеличенное изображение предмета, а окуляр, как лупа, увеличивает еще больше, но новых деталей изображения, не уловленных объективом, он дать не может. Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличения объектива и окуляра.

Чем меньше фокусное расстояние объектива, тем большее увеличение он может дать.

Разрешающая сила микроскопа, т. е. мельчайшая различимая под микроскопом деталь предмета, определяется свойствами только объектива, а именно его численной апертурой. Математическое выражение ее $Ar = n \sin u$, где n — показатель преломления среды между предметом и объективом, u — половина угла отверстия.

Для сухих безиммерсионных систем, где средой является воздух $n = 1$ и апертура в этом случае определяется только углом, под которым рассматривается предмет, т. е. $Ar = \sin u$. Так как u не может быть больше 90° , то $\sin u$ изменяется от 0 до $+1$.

Кроме численной апертуры, разрешающая сила зависит от длины волны света, в котором находится рассматриваемый объект. Чем меньше длина волны света, тем более мелкие предметы можно еще различить. При длине волны наименее ярких для человеческого глаза лучей спектра ($0,000\,589$ мм или $589 \text{ м}\mu$)

при максимальной для безиммерсионных систем апертуре, равной 1, человеческий глаз может воспринять объект размеров

$$\frac{\lambda}{A_{p_{\max}}} = \frac{0,000589}{1} = 0,00059 \text{ мм или } \sim 0,6 \mu.$$

Это в лучшем случае. Минимальный же диаметр капель, который мы могли измерить на нашей установке, был $d = 1,3 \mu$, так как из-за необходимости небольших экспозиций мы были ограничены в выборе объектива и были вынуждены применять более длиннофокусные объективы с меньшей апертурой.

Фотографическая обработка пленки, т. е. проявление и фиксирование, происходила обычным способом. Проявлялась она в универсальном метолгидрохиноновом проявителе и фиксировалась в 25-0/0 растворе гипосульфита. Затем промывалась и сушилась, как обычно, и шла уже в основную обработку.

Установка для основной обработки, т. е. для измерения диаметра капель, состояла из проекционного фонаря и экрана. Экраном служило большое зеркальное стекло с прижатой к нему прозрачной миллиметровой. Для градуировки делений экрана на него было спроектировано изображение объектмикрометра с известными делениями, причем оказалось, что центр изображения и его края увеличиваются неодинаково. Поэтому при обработке периферийные капли, которые к тому же не всегда имели достаточно резкие контуры, отбрасывались.

Общее увеличение объекта, складывающееся из увеличения микроскопа и увеличения проекционной установки, составляло у нас 770. Следовательно, 1 мм на экране соответствовал $1,3 \mu$ на предметном стекле.

Таким образом на экран проектировался каждый кадр пленки. Измерение размеров капель производилось на экране по миллиметровой сетке со стороны, противоположной той, на которой помещался проекционный аппарат; диаметр каждой капли записывался вначале в миллиметрах этой сетки. Следующей стадией обработки был перевод измеренных диаметров капель из условных миллиметров в действительные микроны. В результате такой обработки получались размеры всех капель данной пробы и затем подсчитывалась повторяемость каждого размера. Весь этот материал приведен в приложениях в виде таблиц и графиков. Таблицы повторяемости и являлись основным материалом для наших выводов относительно структуры облаков. Прежде всего отдельные измерения были объединены в группы по формам облаков, а затем и некоторым другим признакам.

Ряд измерений размеров капель в Си был произведен уже в 1939 и 1940 гг. на Эльбрусе [1], но по условиям горных наблюдений данные относились лишь к одному уровню в облаке. В других работах встречаются только отрывочные измерения в Си.

Как указано выше, мы имели возможность проводить наблюдения на разной высоте в одном и том же облаке, а также в этих облаках в разной стадии их жизни.

У нас обработано 235 проб, которые распределяются по типам облаков следующим образом: 29 проб в Frcu, 55 проб в Си hup, 98 проб в Си, 16 проб в Си simpl, 24 пробы в Sc cigen и 13 проб без точного указания формы облаков, в которых была взята проба.

Полученные нами кривые распределения обычно не плавные и часто имеют несколько максимумов. Вторичные максимумы довольно устойчиво повторяются на ряде кривых, что особенно ярко выступает для диаметров $10,4$ и $13,0 \mu$ и несколько реже при $d = 15,6 \mu$. В некоторых кривых число максимумов доходит до 5—6, а иногда и больше. Например, проба, взятая 27/VII в 8.56 на высоте 800 м в вершине Си, дает заметные максимумы при диаметрах капель $13,0$, $15,6$, $19,5 \mu$ и менее отчетливые максимумы при $d = 7,8$, $23,4$, $26,0$, $28,6 \mu$. Или проба, взятая в этом же полете в 9.19 на высоте 950 м в средней части Си simpl, имеет максимумы при $d = 7,8$, $10,4$, $13,0$, $19,5$, $23,4$, $26,0$, $31,2$ и $36,4 \mu$ или, наконец, проба, взятая 11/VIII в 19.08 на высоте 1560 м в верх-

ней части Sc, в которые переходили бывшие днем кучевые облака. В последнем случае максимумы были при 7,8, 10,4, 13,0, 15,6, 19,5, 23,4, 26,0, 28,6—29,9, 33,8 μ , т. е. 9 максимумов.

Интересно сопоставить эти максимумы кривых распределения с законом кратности Келера.

Указанным размерам капель соответствуют массы: 0,25, 0,58, 1,14, 2,00, 3,86, 6,66, 9,14, $12,16 \cdot 10^{-9}$ г и т. д., т. е. на большом отрезке кривой закон Келера оправдывается довольно близко, но обо всей кривой распределения этого сказать нельзя.

На рис. 2 представлены средние кривые распределения капель (по интервалам $d = 2,5 \mu$) в кучевых облаках, находящихся в разной стадии развития от небольших Ci и Ci hum до Ci simpl. Внизу даны кривые для Sc, связанных своим происхождением с кучевыми облаками. Вертикальные пунктирные линии указывают средний диаметр капель. Как видно из рисунка, по мере развития кучевого облака диаметр капель возрастает. Также заметно укрупнение капель при переходе от нижней границы облаков к их верхней части. Причем даже в таком ступеньчатом виде, несколько маскирующем многовершинность кривой, намечаются добавочные максимумы в вершинах облаков Ci simpl и Sc cigen, а в вершинах Ci hum максимум очень широкий с 5 до 12,5 μ .

Это явление имеет место и в единственном, приведенном у Дима, случае вертикального разреза кучевого облака: средний диаметр капель переместился с 7 μ на 13 μ при переходе от основания облака к его вершине.

Наличие крупных капель в вершинах более мощных кучевых облаков легко отмечалось и без микроскопа, так как проэкспонированное стекло с маслом в этом случае бывало покрыто видимыми простым глазом каплями.

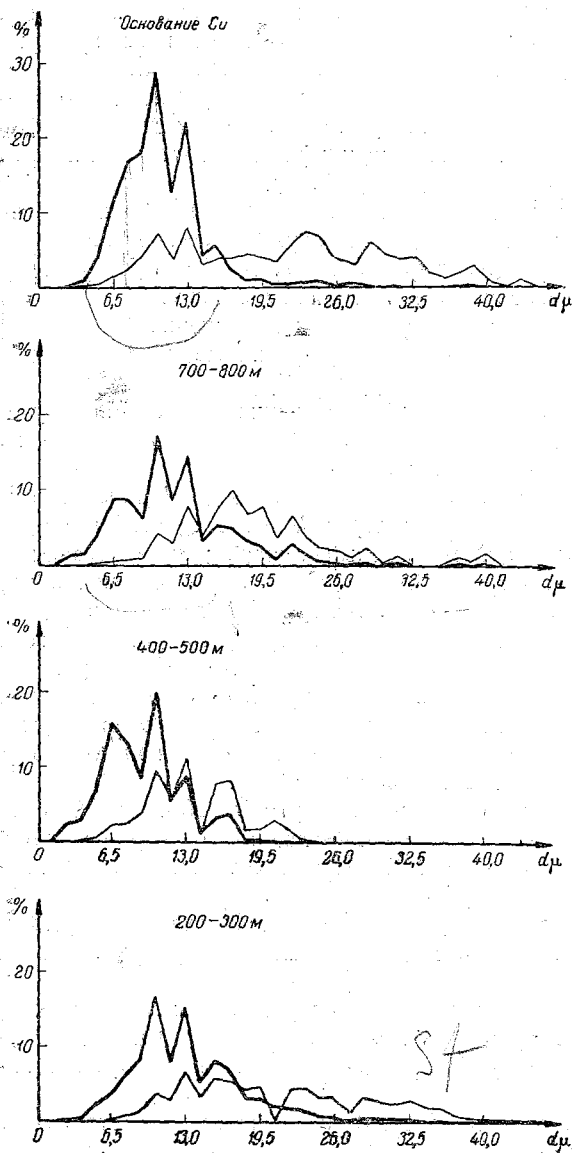


Рис. 3.

ками воды, имеющих иногда размер мороси, в то время как в других облаках проэкспонированное стекло становилось мутным от неразличимых невооруженным глазом мелких капель. Самолет при пролете через такие крупнокапельные облачные слои становился совершенно мокрым и даже отмечены случаи, когда в кабину самолета стекала вода через трубу, служившую для взятия проб. При обработке микрофотографий были получены в некоторых случаях капли с диаметром 300—

400 и даже 500 μ . И это, повидимому, еще не верхний предел — были капли такого размера, что не фотографировались, так как не могли поместиться в поле зрения микроскопа. Поэтому можно предположить, что там могут быть капли, достигающие до размеров дождевых капель. Правда, тут может возникнуть вопрос, каким образом эти крупные капли, обладающие значительным весом, могут удерживаться в облаке, не выпадая вниз.

Очевидно, капли поддерживаются в верхней части облака и выносятся туда благодаря восходящим воздушным потокам, господствующим в области кучевых облаков. Наличие такой интенсивной конвекции наблюдалось довольно часто при полете, когда самолет почти от самой земли испытывал болтанку, продолжавшуюся до уровня облаков, а начиная с уровня облаков болтанка резко меняла свой характер: нарушения ровности полета происходят реже, но продолжительней и мощней.

На рис. 3 даны средние кривые распределения капель на различных уровнях облака, а именно в основании облака, на высоте 200—300 м над основанием, затем на 400—500 м и, наконец, на 700—800 м. Для каждого уровня вычерчено по 2 кривых. Жирная кривая вычерчена обычным способом, как показано на графиках в приложении, тонкая же кривая несколько иначе. По горизонтальной оси здесь нанесен, как и у первой кривой, диаметр капель в микронах, а по вертикальной оси отношение суммы объемов капель данного диаметра к общему объему всех капель данной пробы, выраженное в процентах, т. е.

$$\frac{\sum_{i=1,3}^{100} n_i v_i}{\sum_{i=1,3}^{100} n_i v_i} \cdot 100\%$$

где v_i — объем капли диаметром d_i ; ($v_i = \frac{\pi}{6} d_i^3$); n_i — число капель данного объема.

Суммирование производилось по всем диаметрам от $d = 1,3 \mu$ до 100 μ . Капли большего размера нами не брались в расчет, так как благодаря тому, что диаметр входит в третьей степени, удельный вес крупных капель велик, а относительное число их нами точно не могло быть определено.

Таким образом второй тип кривых показывает, каким размером капель определяется в основном „водность“ облака при данном распределении капель. На рисунке видно, что общий характер кривых сохранился, т. е. они имеют много максимумов. Места этих максимумов на обоих кривых совпадают, но жирные кривые дают ярко выраженные максимумы в более мелких каплях и совсем незначительные в более крупных. Кривые же, вычисленные вторым способом, имеют более слабые максимумы в мелких каплях и значительно большие, чем в кривых первого типа, максимумы в области крупных каплях.

Как уже указано раньше, у нас было произведено несколько серийных измерений, т. е. таких, когда полеты производились до возникновения облаков, в момент их появления, затем при постепенно развивающейся облачности и, наконец, в вечерние часы, когда кучевые облака начинали переходить в Sc vespr. Пример таких серий представлен на графиках в приложении. Это серии проведенны 3/VIII (рис 12—17 приложения) и 11/VIII (рис 21—27) 1946 г. В указанных графиках также, как и на рис. 2, совершенно очевиден рост капель с высотой и по мере развития облака.

Для некоторых случаев нами была подсчитана водность в облаках. При расчете предполагалось, что в 1 см^3 облачного воздуха содержится 100 капель. По акому числу капель и их распределению получалось количество капельножидкой воды, содержащейся в 1 см^3 воздуха (оно легко приводилось к содержанию 1 м^3).

Результаты этих расчетов показывают, что водность колебалась от десятых, а иногда и сотых долей грамма на 1 м^3 до нескольких граммов. Обычно меньшие водности получались в основаниях облаков и большие в вершинах.

Например, для кривых, приведенных на рис. 2, было получено в основании $w = 0,15 \text{ г/м}^3$, на высоте 200—300 м над основанием $w = 0,26 \text{ г/м}^3$ и т. д. Причем и здесь учитывались только капли диаметром до 100 μ . Более крупные капли не включались, так как для них, как уже сказано, мы не можем считать надежной относительную частоту. Какого порядка может быть число этих крупных капель в единице объема, сказать трудно. Потребуется специальные измерения для изучения этого важного вопроса, так как от числа этих капель непосредственно зависит водность облаков. Например, в приведенном выше случае для уровня 200—300 м над основанием $w = 0,26 \text{ г/м}^3$, если учитывать капли до 100 μ , а если учитывать все измеренные капли, то $w = 2,84 \text{ г/м}^3$, т. е. даже изменяется порядок величины.

Хотя принятое нами число капель в единичном объеме облака и является условным, все же приведенные расчеты могут дать представление о величине водности. Действительно, по данным Дима, число капель в 1 см^3 составляет 100—200, иногда меньше 100; последнее можно предположить для крупнокапельных облаков. Такой же порядок величин числа капель указывается в американской литературе (по Хоутону от 50 до 500).

Таким образом, на основании водности, определенной по 100 каплям, можно дать оценку возможных колебаний ее в зависимости от числа капель. Приведенные значения показывают, что в основании кучевых облаков, даже при числе капель в 2—3 раза большем принятого, водность не превзойдет 1 г/м^3 , в то время как в вершинах развитых *Cu simpl* она может составлять несколько граммов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнева Е. С. Структура облаков по наблюдениям Эльбрусской экспедиции 1939 года. Труды НИУ ГУГМС, сер. 1, вып. 7, 1945.
2. Diem M. Messungen der Grösse von Wolkenelementen. Ann. d. Hydrog. und Marit. Meteorologie, N. V. 1942.

ФОРМЫ КУЧЕВЫХ ОБЛАКОВ

Внешний облик кучевого облака является весьма чутким указателем состояния нижнего слоя тропосферы. Этим объясняется, например, введение описания побочных деталей кучевого облака и связи их с летными условиями в некоторые руководства для пилотов. Между тем, международный атлас облаков, который у нас широко используется, дает лишь весьма скудные сведения о кучевых облаках [1]. Этот разрыв между многообразием форм кучевых облаков и однообразием записи их наблюдателями ведет к невозможности уточнения по ним состояния атмосферы, в чем теперь все чаще и чаще ощущается потребность в связи с углубленным изучением явлений погоды.

Изучение форм кучевых облаков в связи с состоянием атмосферы и выработка их классификации для удобства идентификации являются важными вопросами общего изучения кучевых облаков.

В данной заметке излагаются сведения о формах и некоторых деталях собственно кучевых облаков на основе личных наблюдений, преимущественно летом 1946 г. под Ленинградом, с земли и с самолета.

Задача была ограничена рассмотрением лишь малоразвитых по вертикали собственно кучевых облаков (т. е. *Cu cong* исключались), находящихся при положительной температуре.

Кучевые облака, наблюдающиеся на видимом небосводе, могут быть охарактеризованы, как со стороны формы отдельных облачных образований, так и со стороны свойств их совокупности, их поля. Поле кучевых облаков редко бывает равномерным. Обычно в каком-либо определенном направлении их количество уменьшается, иногда до совершенно ясного неба, или уменьшается их мощность. Особый случай представляет собой орографически связанное поле кучевых облаков: например, над горной цепью, на перешейке между водоемами. Близкий к этому случай представляет поле кучевых облаков, связанное с теплом пожара или с влагой и ядрами конденсации пелены дыма.

Кроме различий полей кучевых облаков в определенный момент времени, они могут различаться характером их развития: возникающее на месте поле кучевых облаков, надвигающееся с наветренной стороны, разрушающееся поле и т. п. Важнейшей характеристикой поля кучевых облаков является его густота, т. е. сплоченность кучевых облаков. Термин „количество облаков“ в данном случае не подходит, так как здесь важно знать относительную площадь оснований кучевых облаков (точнее, их вертикальных проекций на горизонтальную поверхность земли) без учета степени закрытия небосвода от наблюдателя их вертикальными сторонами. С самолета сплоченность кучевых облаков кажется большей в несколько раз сравнительно с наземными наблюдениями, если лететь близко к облачному слою.

Кроме количественной характеристики изменения поля кучевых облаков в пространстве, столь же важна и качественная характеристика его: является ли оно однородным, т. е. состоящим только из кучевых облаков одной формы, или имеется ряд форм низких облаков, беспорядочно или закономерно расположенных среди кучевых облаков одной преобладающей формы. Технически удобно регист-

рировать характер поля кучевых облаков на специальной кольцевой карте-диаграмме [3].

Отдельные кучевые облака различаются между собой мощностью, высотой и площадью основания, скоростью и направлением развития (рост, испарение), величиной наклона „вертикальной“ оси облака, общей его формой и некоторыми ее подробностями, а также степенью развития дочерних или сопутствующих форм (слоисто-кучевые из кучевых, шапка кучевого облака и т. п.). Применительно ко всему однородному полю кучевых облаков удобно различать средний и крайне большой размеры мощности облаков и площади их оснований, среднюю для всех и крайнюю для отдельных экземпляров быстроту развития. Для неоднородного поля с разными формами кучевых облаков эти характеристики приходится применять к каждой из форм в отдельности.

По вертикальной мощности формы кучевых облаков разделяются на 4 разновидности:

1) зарождающуюся (или испаряющуюся), малую, 2) низкую 3) простую, 4) мощную.

Соответственные величины их вертикальной мощности будут в первом приближении: единицы, десятки, сотни метров и километры. По соотношению вертикального и горизонтального размеров кучевые облака могут быть плоскими, округлыми, башнеобразными и трубовидными. Величина отношения вертикального размера к горизонтальному для первых составляет менее 0,3, для вторых 0,3—0,7, для третьих 0,8—2,0, для четвертых больше 2,0. Эти цифры, конечно, условны.

Степень четкости края облака дает две разновидности кучевых:

1. С рваными, как бы волокнистыми контурами, когда видны отдельные струи, космы облачной массы, отделяющейся от облака.

2. С резко очерченным краем, когда облако кажется как бы твердым телом.

В случае очень малых кучевых облаков (зарождающиеся, или испаряющиеся) бывает видна около облака дымка, причем край облака нерезок, как бы постепенно переходит в дымку, а дымка имеет нечеткую границу с чистым небом.

Степень сглаженности очертаний профиля кучевого облака дает 3 разновидности:

1) чечевицеобразное (и волнистое) облако с „обтекаемыми“ контурами;

2) спокойно клубящееся облако;

3) башенковое кучевое облако.

В некоторых случаях кучевые облака не имеют плоского основания, обычно это бывает на ранней или конечной стадии их развития, поэтому можно различать кучевые с плоским основанием и кучевые без плоского основания.

Все эти разновидности сведены в табл. 1.

Таблица 1

Разновидности кучевых облаков

Признак разграничения	Разновидности облака			
Вертикальная мощность . . .	Малое	Низкое	Простое	Мощное
Вертикальная вытянутость	Плоское	Округлое	Башнеобразное	Трубовидное
Четкость профиля	Разорванное	Четкое		
Наличие дымки	С дымкой	Без дымки		
Сглаженность профиля . . .	Чечевицеобразное	Спокойное	Башенковое	
Форма основания	С плоским основанием	Без плоского основания		

Формами облаков, производными от кучевых, являются вечерние слоисто-кучевые, образованные растеканием кучевых облаков, пелена над вершинами кучевых

(шапка), чечевицеобразные слоисто-кучевые облака, развивающиеся между крупными кучевыми облаками. Эти облачные формы не являются деталями кучевого облака, а только связаны с ним генетически. Они должны отмечаться как совершенно самостоятельные разновидности облаков.

Прежде, чем перейти к подробному описанию дополнительных видов кучевых облаков, которые желательно выделить из числа разновидностей, рассмотрим некоторые черты состояния атмосферы вблизи кучевого облака. Разрушение ночной инверсии температуры происходит утром снизу, отчего на некоторой высоте еще остается инверсия, а под ней развиваются сильные конвективные токи. Кучевое облако может появиться лишь тогда, когда дневная конвекция достигнет уровня конденсации. До тех пор, пока ночная или динамическая инверсия находится ниже уровня конденсации, кучевое облако не возникает, так как восходящие потоки быстро гасятся внутри инверсионного слоя. Однако в атмосфере гораздо чаще инверсий наблюдаются устойчивые слои, задерживающие конвекцию, с величиной вертикального градиента от 0° до величин порядка $0,6-0,9^{\circ}/100$ м. Конвекция гасится в них значительно медленнее, и кучевое облако может возникнуть уже внутри этого устойчивого слоя. Развившиеся под малоустойчивым слоем кучевые облака могут продолжать расти внутри него. Скорость роста и приобретаемая облаком форма будут зависеть от степени устойчивости этого слоя и особенности изменения величины градиента температуры в нем.

Вихри конвективной турбулентности от земли до вершин кучевых облаков имеют характерное распределение. В области вершин кучевых облаков и над ними полет ровен, без болтанки, исключая влет в вершину облака. На уровне нижнего края облаков самолет испытывает резкие удары болтанки при влете в облако, а иногда и в безоблачное пространство, где облако еще не сформировалось. Существенно важно, что под облаками болтанка не является равномерной, а имеет отдельные резкие удары, напоминая пересечение редких конвективных „пузырей“ большого размера (подробнее см. статью Е. С. Селезневой в настоящем сборнике).

Распределение температуры и влажности на одном уровне в дни с кучевой облачностью показывает большие колебания значений метеозадающих элементов, вызываемые видимому наличием восходящих и нисходящих токов. В табл. 2 приведены 2 прямолинейных горизонтальных разреза атмосферы за 11/VIII 1946 г. на уровнях 520 и 1040 м без влета в кучевые облака, имевшие основание на 850 м и вершину на 1400 м. Даже при маломощной кучевой облачности колебания влажности превосходили 20% , а для температуры достигали 1° . Случаи существования вблизи боковых граней кучевого облака малой влажности объясняют часто наблюдающееся быстрое испарение капель облачной массы, отделившейся от основной массы облака.

Таблица 2

Колебания метеорологических элементов при горизонтальном полете

Элемент	Значения элемента						
Высота, м	517	517	525	533	1 041	1 032	1 032
Температура, $^{\circ}\text{C}$	16,6	15,9	16,2	16,2	13,0	13,3	12,3
Влажность, $\%$	55	69	65	69	83	76	100

Международный атлас облаков рассматривает лишь 2 вида кучевых и ни одной их разновидности: низкие и мощные кучевые облака. Между тем, исходя из практики наблюдений, ряд авторов выделяет большее число видов кучевых облаков, применяет более подробную классификацию [4, 2].

Исходя из этого, нам кажется целесообразным ввести в широкое употребление 8 видов кучевых облаков:

- 1) малое,
- 2) низкое,

- 3) чечевицеобразное,
- 4) простое,
- 5) разорванное,
- 6) башенковое,
- 7) трубовидное,
- 8) мощное.

Перейдем к описанию некоторых черт этих видов — табл. 3.

Таблица 3

Основные виды кучевых облаков

№ п/п.	Русское название	Латинское название	Сокращенное обозначение
1	Малое	parvus	Cu par
2	Низкое	humilis	Cu hum
3	Чечевицеобразное	lenticularis	Cu lent
4	Простое	simplex	Cu simpl
5	Разорванное	fractus	Cu fr
6	Башенковое	castellatus	Cu cast
7	Трубовидное	tubatus	Cu tub
8	Мощное	congestus	Cu cong

Малые кучевые облака по внешнему виду напоминают разорванно-дождевое облако, так как плоскость основания и купол вершины у них выражены очень слабо. Бросается в глаза струйчатость строения, полупрозрачность облака, отсут-

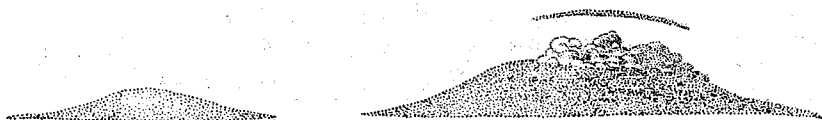


Рис. 1. Чечевицеобразные кучевые облака в профиль.

ствие четких клубов, быстрое возникновение и исчезновение значительных частей облака. Малые кучевые облака могут быть начальной стадией кучевого или его конечной. Дело в том, что угасание кучевого облака с переходом через стадию вечернего слоисто-кучевого далеко не обязательно. Не менее часто встречается испарение Cu с сохранением формы и переходом через стадию малого кучевого облака. Восходящая и нисходящая ветви развития формы Cu в этом случае весьма близки между собой.

Чечевицеобразные кучевые облака являются редкой формой кучевых облаков над равниной. Они подробно наблюдались нами 11/VIII 1946 г. под Ленинградом. На ясном небе утром в северной части горизонта стали появляться типичные чечевицеобразные облака, сперва принятые за высококучевые. Постепенно они возникали на все большем пространстве небосвода, в том числе и в зените. Вскоре они стали переходить в простые и даже башенковые кучевые облака, которые развивались и независимо от них. Облет поля чечевицеобразных облаков показал следующее. Это были типичные кучевые облака с плоским основанием и куполообразной вершиной, постепенно меняя знак кривизны, сходящей на-нет (рис. 1). Облака были малой мощности (низкое кучевое) и имели основание в форме весьма вытянутого эллипса. Все линии очертания облака были весьма гладкие, как бы вычерченные по лекалу. Часть Cu lent представляла собой, при ближайшем рас-

смотрении, лишь гряды волн, т. е. были *Cu undulatus* (рис. 2). Некоторые *Cu lent* имели вид гребенки; одна сторона чечевицеобразная, сплошная, а другая распадалась на волны.

С усилением дневной конвекции гладь верхней поверхности *Cu lent* разрушалась и вырастали клубящиеся башенки *Cu cast*. В поле *Cu lent* наблюдались одновременно и простые *Cu* и эта комбинация *Cu lent* с *Cu cast*, казалось бы совершенно невозможная. Сочетание чечевицеобразного гладкого основания и боков с клубящейся вершиной удерживалось в течение десятка минут. Некоторые *lent* имели вид причудливо изогнутой струи горизонтально стеящегося дыма, расположенной между начинающими клубиться *Cu lent*. Летя на высоте 500 м над ними,

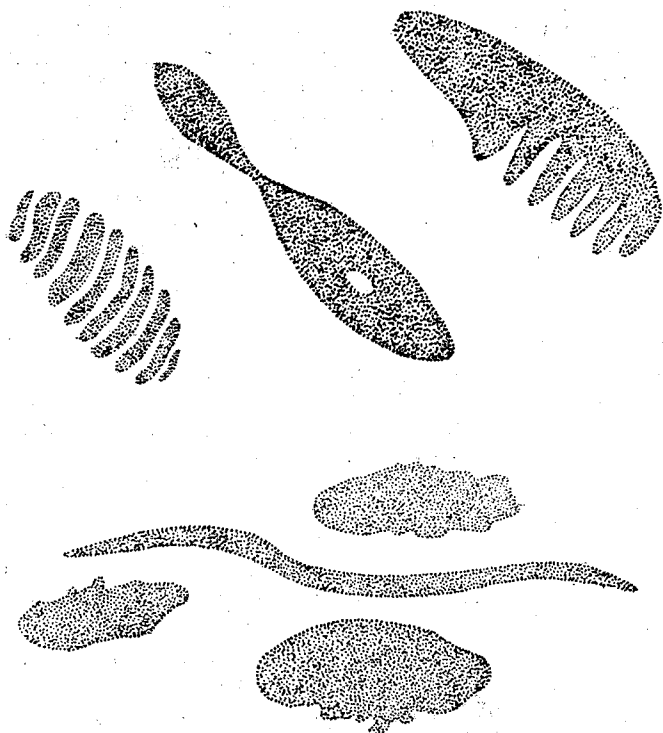


Рис. 2. Чечевицеобразные кучевые облака (вид сверху).

можно было принять эти ленты *lent* за земной объект — реку. Поле *Cu lent* при полете среди него, и несколько выше, напоминало холмистую местность. Через 2 часа *Cu lent* целиком перешли в *Cu simpl* и *Cu cast*. Существенно важно наличие метеорологической и генетической связи между *Cu lent*, *Cu und* и *Cu cast*. Развитие этих облаков происходило в устойчивом слое с градиентом $0,0—0,4^{\circ}/100$ м и при влажности почти 100%. Полет среди *lent* характеризовался отдельными ударами болтанки лишь непосредственно у облаков. Над ними было совершенно спокойно.

Простое кучевое облако с куполообразной вершиной является типичным, классическим видом кучевых облаков. В нем особенно сильно проявляются наиболее характерные черты рода *Cu*, в частности значительная пустотелость облака. Плоское, как бы обрезанное, основание является лишь статистическим осреднением весьма неровного, клубящегося основания.

Это заметно как при рассмотрении *Cu* снизу, так и при пролете его самолетом. Само облако, издали в профиль, кажущееся таким массивным, на самом деле состоит из ряда разрозненных кусков, каждый из которых имеет пустоты и скорее

напоминает губку, чем знакомый нам туман. Эти пустоты и эта разрывность облака заметны и при наблюдении снизу и при пролете облака. Особенно интересны часто наблюдающиеся круглые дыры с вращением их краев против часовой стрелки (если смотреть снизу); причем очень хорошо видно, как быстро испаряются облачные струи, увлекаемые этим вихревым движением сверху вниз. Нисходящее движение воздуха в них отчетливо видно по этим окраинным облачным массам. Подобные вихри нисходящего движения наблюдаются и внутри облака, не пронизывая его насквозь и ощущаясь лишь чередованием облачных масс и безоблачных промежутков (пустот) при полете внутри кучевого облака, или посредством пятен посветлений среди более темного облачного фона, если смотреть на облако, проходящее зенит.

Далеко не равномерное заполнение пространства облачной массой *Cu*, чередование туманных масс с чистым воздухом объясняет малые величины относительной влажности воздуха — ниже 80%, наблюдавшейся иногда при самолетных зондажах в *Cu* (6, 5). Наличие куполовидной вершины простого кучевого облака и рост вверх отдельных клубов объясняются сравнительно малой устойчивостью задерживающего слоя, в который далеко проникают конвективные восходящие токи. Вертикальный градиент составлял 0,2—0,4°/100 м по единичным (как и дальше) наблюдениям. Этот вид кучевых наиболее част на окраине антициклонов.

Низкие кучевые облака имеют плоскую вершину вследствие весьма устойчивого слоя над ними, быстро гасящего термические восходящие течения, т. е. инверсию [4]. Развиваются эти облака обычно в арктических массах, оформленных в антициклон.

Характерной чертой разорванных кучевых облаков является косматость их контура, турбулентное развеивание краев облака в длинные струи облачной массы. Разорванно-кучевые облака обычно имеют форму и размер простых кучевых облаков. Рваность их границы объясняется не увеличенной турбулентностью воздуха в них, которая не менее сильна в *Cu simpl*, но медленностью испарения развеиваемой турбулентностью облачной массы вследствие большой относительной влажности воздуха в межоблачном пространстве. Поэтому *Cu fr* наблюдаются чаще всего во влажных морских массах воздуха. Кучевые облака, развивающиеся в сухих массах воздуха (например континентальных полярных) летом имеют четкую границу, будто они вырезаны из бумаги. В этом случае туманная масса, отделяемая турбулентностью от облака, столь быстро испаряется, что создается впечатление отсутствия переходного пространства между облаком и чистым небом. Особый случай *Cu fr* представляет их генетическая связь с наземным радиационным туманом. Например, в период наших наблюдений 27/VII 1946 г. радиационный туман в 7 час. стал разрываться на отдельные клубы, которые повисали над землей в форме *Cu fr*. Туман постепенно исчезал над землей, но его капельно-жидкая масса в значительной степени шла на питание возникающих *Cu fr*, быстро увеличивающих свою высоту. В 9 час. 30 мин. они уже были на высоте 700 м, сохраняя свой разорванный вид; относительная влажность на уровне оснований была 91%.

Под башенковыми кучевыми облаками понимается форма, аналогичная *Ac cast*, но развивающаяся вследствие дневной конвекции в нижнем ярусе атмосферы. *Cu cast* отличаются от других форм *Cu* наличием на слабо или среднеразвитом основании нескольких мелких вертикальных клубящихся наростов, высота которых превосходит ширину более чем в 2 раза. Башнеобразное *Cu*, в отличие от *Cu cast*, само имеет форму башни, приближаясь к *Cu cong*.

Примером развития башенковых кучевых облаков может служить случай 3/VIII 1946 г. над Ленинградом. Первое появление *Cu* отмечено в 8 час. 30 мин. Уже в 9 час. 10 мин. *Cu* растут с башенками наверху, т. е. являются *Cu cast*. В 9 час. 20 мин. наблюдались *Cu simpl*, но с башенками, т. е. *Cu cast*. Весьма характерно, что весь этот день наблюдались только башенковые облака разных форм и ярусов: в 11 час. появились трубовидные *Cu*, а в 11 час. 25 мин. *Ac cast*. Вечернее испарение *Cu cast* шло с одновременным, но редким, переходом их в *Sc vesp*.

Последние *Cu cast* отмечены были в 19 час. вдали от места наблюдения. Причина развития башенковых кучевых облаков, растущих отдельными клубами, заключается в наличии очень тонкого, но весьма устойчивого (инверсия) задерживающего слоя на уровне облаков и мало устойчивого — над ними. Конвекция пробивает инверсию лишь в некоторых местах верха облака и дальше почти беспрепятственно устремляется вверх, медленно погасая. Величина относительной влажности, особенно на уровне башенок, очень мала. Эта форма облаков обычно связана с областью вблизи фронта.

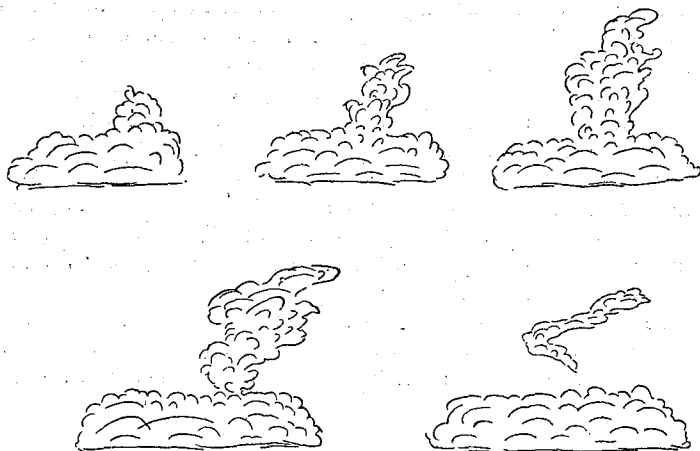


Рис. 3. Трубовидные кучевые облака с базисным облаком (последовательность развития).

Трубовидные кучевые, или как их иногда называют „стреляющие“, близки к башенковым. Различие заключается в отсутствии облачного базиса у трубовидного кучевого. Однако, как переходный случай, наблюдается развитие одной из башенок *Cu cast* в трубовидное кучевое облако (рис. 3). Трубовидные облака стремительно растут вверх, наподобие паровозного „пара“ в штилевой морозный

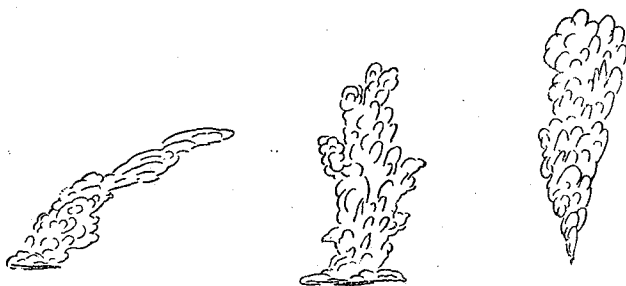


Рис. 4. Трубовидные кучевые облака без базисного облака (разные формы).

день (рис. 4). Основание часто оказывается меньше центральной части облака, похожего на палицу, а затем и вовсе исчезает и вытянутая по вертикали облачная масса бесформенно удлинённого вида повисает в воздухе, быстро испаряясь. Поразительной бывает быстрота развития этого облака, достигающего в несколько минут километровой мощности, а затем в течение 10—20 мин. испаряющегося без остатка. Эти трубовидные облака наблюдались нами в Пятигорске, в Ростове н/Д. и в Ленинграде. Иногда они развиваются не от дневной термической конвекции, а непосредственно у фронта, имея более неправильную форму. Эти *Cu* появляются при наличии тонкой инверсии, разделяющей на уровне конденсации 2 неустойчи-

вых слоев: внизу — с сухоадиабатическим градиентом и сверху — с влажноадиабатическим, или около него. Лишь отдельные мощные конвективные токи пробивают инверсию и дальше устремляются с ускорением вверх, при прекратившемся питании снизу. Похоже, что конвективный ток, пробивающий инверсию, не является трубой, идущей от земли, а представляет собой лишь изолированный вихрь, свободно в виде пузыря поднимающийся в воздухе. В противном случае на месте каждого трубчатого облака развивался бы *Cu cong.* Это является лишним подтверждением соображений, высказанных Е. С. Селезневой в настоящем сборнике. Во влажно-неустойчивом слое над инверсией имеется очень малая влажность: облако имеет резко очерченные контуры, после прекращения конвекции оно быстро испаряется со всех сторон, сжинаясь как снизу, так и сверху и с боков.

В заключение рассмотрим пример эволюции и взаимоперехода форм кучевых облаков. 26/VII 1946 г. в 9 час. начали быстро появляться *Cu lent*. К 10 час. *Cu lent* перешли в *Cu fr*, имеющие шапки *Pileus*, иногда в 2—3 слоя. Облака неспокойны — быстро возникают и быстро разрушаются. В 10 час. 35 мин. на кучевых появились башенки, т. е. развились *Cu cast.* К 15 час. приблизилась фронтальная система *Ac* и *Cu cast* перешли в трубчатые *Cu*. До полудня выше *Cu* влажность была 53%. В слое *Cu lent* влажность была около 100%, затем она уменьшилась, когда стали развиваться *Cu cast.*

Все описанные формы *Cu* показывают их многообразие, связанное с разнообразием атмосферных условий. Уточнение этих связей и климатология различных форм *Cu* представляют собой дальнейшие задачи изучения макроформ кучевых облаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международный атлас облаков и состояний неба. ГИМИЗ. 1940.
2. Koshanski A. Studja nad structura atmosfery podczas termiki Cumulusow. Jnst. Geofizyki i meteorologii Uniwersytetu Lwowie t. 8. № 93—109, 1935.
3. Загорский А. Д. Вопросы построения карт-кольцовок облачности. Труды НИУ ГУГМС, сер. II, вып. 11. 1944.
4. Бергерон Т. Лекции об облаках. Редиздат ЦУЕГМС, 1934.
5. Загорский А. Д. Метеорологические условия обледенения. Труды НИУ ГУГМС, сер. I, вып. 24. 1946.
6. Зак Е. Г. Характеристика фронтальной облачности... „Метеорология и гидрология“ № 8. 1937.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТАБЛИЦЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗОНДИРОВАНИЙ И ГРАФИКИ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ

ОБОЗНАЧЕНИЯ В ТАБЛИЦАХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗОНДИРОВАНИЙ АТМОСФЕРЫ

- H — высота в динамических метрах,
 P — давление в мб,
 t° — температура в градусах C ,
 F — относительная влажность в процентах,
 q — удельная влажность в г/кг,
 N — общее число ядер конденсации на 1 см^3 ,
 $N_{\pm}$ — число заряженных ядер конденсации на 1 см^3 ,
 d — направление ветра в градусах,
 v — скорость ветра в м/сек.

ПОЯСНЕНИЕ К ТАБЛИЦАМ И ГРАФИКАМ

На графиках (рис. 1–37) капли крупнее 40μ не нанесены; их наличие можно проследить по таблицам (стр. 76–87).

В таблицах, содержащих размеры капель, в верхней графе указана дата наблюдений, затем время взятия пробы (часы и минуты), тип облака, зондируемая часть (основание, середина, вершина) и высота (абсолютная) ее.

Капли крупнее 50μ , по условиям издания, перечислены внизу таблиц; для них даны размеры (d в μ), процентная повторяемость и число (в скобках). Все эти крупные капли вошли в общее число измеренных капель, определялась приблизительно перед вхождением в него. В одном и том же полете пробы брались в разных облаках, так что нередко отмеченная абсолютная высота в одном облаке соответствовала его средней части, в другом — верхней.

Высоты облаков и другие данные в примечаниях указаны по альтиметру с точностью 30–50 м.

В свободных графах отмечены данные, относящиеся к облакам („об.“); указание „ур. осн. Си“ обозначает, что полет совершался на уровне нижней границы Си, но в самое облако не входили.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

10.7 10 51—11 43
10/9 Cu cong, Frcu, Ci

40	1002	18.9	76	10.4				
200	983	17.0	76	9.4				
230	979	16.5	76	9.1				
300	971	15.9	78	9.1	6 682	1 670		
480	951	14.3	85	9.2				
500	949	14.8	83	9.2				
570	941	16.5	59	7.4				
800	915	15.1	59	7.0	2 929	222		
1 000	893	13.8	60	6.6				
1 240	867	12.2	60	6.2	1 114	134		
1 500	840	10.4	65	6.0				
1 600	830	9.7	67	6.1	891	157		
1 690	821	9.1	69	6.1	891	157		
2 020	788	6.2	76	5.7	133			
2 200	770	5.3	68	4.9	268	45		
2 390	752	4.2	59	4.0	1 225	0		

В стороне Ленинграда слабая дымка. Видимость у земли больше 10 км. Болтанка в слое 250—500 м. Высота нижних облаков Frcu — 450 м. Границы облаков неровные; сверху они имеют вид разбросанной ваты.

13.7 05 53—06 37
7/7 Sc, Cu, Ci

40	1008	15.0	85	9.0			—	—
130	997	13.5	95	9.2			—	—
200	988	15.6	83	9.4			49	7
360	970	17.5	59	7.7			58	8
500	954	17.5	55	7.2			92	9
1 000	897	13.6	72	7.9			56	5
1 500	844	9.7	90	8.0			47	8
1 800	813	7.4	100	7.9				
1 910	802	8.1	79	6.6				
2 000	794	7.5	73	6.0				
2 310	763	5.4	75	5.5				
2 390	756	5.8	61	4.6				
2 500	746	5.2	52	3.8				
2 600	737	4.6	46	3.3				
2 850	715	3.5	51	3.5				
2 980	705	3.5	52	3.6				
3 270	680	1.2	52	3.2				

13.7 11 22—12 03
0/0 Cu, Ci

40	1009	19.7	66	9.5	2 227	—	—	—
150	996	18.4	62	8.2				
200	989	17.5	65	8.2			24	6
260	983	16.1	68	8.0			29	6
360	971	16.1	64	7.5				
440	961	17.6	55	7.2	3 897	2 227		
500	954	17.1	56	7.2			60	10
820	918	14.7	59	6.7	1 670	1 123	56	7
1 000	899	13.1	63	6.7			73	5
1 160	881	11.6	66	6.5				
1 430	852	10.9	74	7.1				
1 500	845	10.4	65	6.1			49	7

1 580	837	10.4	54	5.1	445	222		
2 000	795	8.6	42	3.7	445	356	56	5
2 380	758	6.7	60	4.7	357	357		

При взлете 2/1 Ci, Cu cong у горизонта. Полет спокойный, без болтанки.

До максимальной высоты подъема наблюдалась дымка.

13.7 18 03—18 56
0/0 Ci, As

40	1008	20.5	55	8.4				
200	989	19.2	56	8.0				
500	954	16.6	58	7.3				
830	917	13.9	60	6.5				
1 000	898	12.6	65	6.6				
1 500	845	8.8	79	6.6				
1 580	837	8.2	81	6.6				
1 820	812	8.9	48	4.2				
2 000	795	8.2	45	3.8				
2 400	756	6.4	36	2.8				
2 480	749	6.6	36	2.9				
3 050	697	2.4	47	3.0				
3 140	689	2.4	44	2.9				
3 620	648	-1.0	60	3.2				

15.7 05 50—06 30
1/1 Sc

40	1006	16.2	78	8.9				
100	999	15.6	79	8.8				
200	987	16.8	64	7.7				
280	977	17.6	49	7.2				
500	952	15.8	51	6.1				
1 000	895	12.6	55	5.6				
1 060	889	11.1	55	5.1				
1 320	861	9.7	50	4.4				
1 400	853	9.7	46	4.0				
1 500	842	8.9	46	4.0				
2 000	791	4.9	48	3.3				
2 500	744	0.9	51	2.7				
2 570	737	0.4	51	2.6				
2 620	732	-1.0	48	2.3				
3 000	697	-1.9	43	2.0				
3 130	686	-2.8	41	1.8				
3 160	683	-2.5	34	1.5				
3 240	676	-3.2	31	1.3				
3 300	671	-3.1	29	1.3				

15.7 09 03—10 05
2/0 Ac, Ci, Cu

40	1006	20.9	59	9.2	2 784	557	NNE	4
200	987	17.9	62	8.1			24	6
330	971	16.0	64	7.5	6 682	1 670	25	6
500	952	14.7	64	7.0			30	6
580	943	13.8	68	7.0	4 455	0		
800	917	13.5	63	6.8	1 114	0	48	4
930	903	13.0	63	6.5	1 670	1 180		
1 000	895	12.1	63	6.2			43	2

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

1 200	873	10.3	64	5.8	1 114	624											
1 500	842	7.6	64	5.0	980	0	7	4									
1 820	809	6.1	58	4.2	734	244											

Отдельные Fcu на высоте 550 м. У земли слабая дымка, видимость > 10 км. На 300 м слабая болтанка. Выше облачного слоя, т. е. выше 550 м, полет спокойный.

15.7 12 07—13 52
7/1 Ci, Cu

40	1 006	21.0	53	8.3				NNE	2								
200	987	18.5	56	7.7				45	3								
420	962	15.2	59	6.6	6 682	3 898											
500	952	14.0	63	6.6				18	4								
530	949	13.8	64	6.6													
610	938	14.3	52	5.7													
790	918	13.2	50	5.2	1 670	0	11		2								
1 000	894	11.3	54	5.1			3		2								
1 190	874	9.7	58	5.0	1 114	557											
1 500	841	7.1	62	4.6				307	2								
1 580	833	6.3	63	4.5	1 114	1 114											

Болтанка от 200—600 м. У западного берега Ладожского озера легкие кучевые облака, над озером большая гряда Cu cong. Входили в облако (верхняя часть Cu simpl) в районе озера на высоте около 1450 м.

15.7 14 51—16 52
2/2 Cu, Ci, Cb calv

40	1 006	20.6	60	9.2	3 341	557		N	4								
200	987	18.9	62	8.7				32	3								
420	961	16.2	64	7.7	868	134											
500	951	15.6	63	7.4				40	3								
780	920	13.3	58	6.0	1 336	89		25	2								
1 070	888	9.6	94	7.9	об.			353	2								
1 200	875	9.1	90	7.1	223	223		об.									
1 200	875	9.6	63	5.4				вне об.									
1 240	870	8.9	83	6.8				об.									
1 290	865	9.1	58	4.9													
1 500	843	7.4	51	3.9				273	2								
1 590	834	6.8	48	3.5	297	60											
1 960	796	5.4	48	3.5													
2 000	792	5.2	48	3.3	1 714	489		278	5								
2 250	768	3.3	47	2.9	4 009	580											
2 370	756	2.5	46	2.8	2 449	980											

Основание Cu около 950—1000 м, толщина его 150—200 м. Заходили в Cu на высоте 1150 м (нижняя широкая часть); и на 1200 м (верхняя часть в виде столба).

В облаке сильная болтанка.

Под облаком хорошо выделялся слой дымки; с 2000 м дымка слабая.

15.7 17 54—18 46
1/1 Cu, Ci

40	1 005	22.8	52	9.0						N	3						
200	986	19.2	56	8.0						37	2						
450	957	16.8	63	7.9													
500	952	16.6	61	7.3						35	2						
640	936	16.0	56	6.8													
1 000	896	12.8	62	6.4						340	2						
1 350	858	9.5	68	6.1													
1 500	843	8.4	64	5.2						281	2						
1 620	830	7.6	61	4.7													
1 750	817	7.2	51	3.9													
2 000	792	5.2	53	3.6						258	3						
2 170	775	3.9	55	3.5													

17.7 05 59—06 33
9/0 Ci, Ac

40	1 001	13.2	87	8.2													
200	982	12.7	78	7.2						22	6						
310	969	13.2	75	7.4						10	5						
500	948	12.2	74	7.0						3	5						
1 020	888	9.4	71	5.3						36	5						
1 110	878	9.5	65	5.0													
1 500	836	6.0	76	4.7						328	3						
1 770	809	3.5	80	4.2													
1 860	800	4.6	58	3.4													
2 000	786	4.0	53	3.6						308	4						
2 500	737	1.8	35	2.0													
2 760	714	0.6	25	1.3													
2 800	710	0.9	23	1.3													
3 000	692	-1.6	22	1.0						285	3						
3 150	679	-1.3	21	0.8													
3 180	677	-1.3	21	0.8													
3 230	672	-1.7	20	0.6													

17.7 09 49—11 10
7/2 Ci (fil и dens), Cu hum, Frcu

40	1 002	19.2	57	7.9						NNW	4						
200	983	17.3	60	7.6						28	5						
420	957	14.8	63	6.9													
500	948	14.3	64	6.9						22	7						
830	911	11.8	67	6.4						38	7						
1 000	892	11.4	64	6.0						57	4						
1 020	890	11.3	64	6.0													
1 040	888	10.2	74	6.5													
1 180	872	9.1	87	7.2													
1 310	860	8.1	85	6.7													
1 500	838	7.2	82	6.3						42	4						
1 570	830	6.9	81	6.1													
2 000	787	4.9	72	4.9						15	2						
2 240	765	2.8	64	3.9													
2 310	758	3.9	58	3.8													
2 500	740	3.5	47	3.1						345	2						
2 590	732	3.2	42	2.7													

В слое от 200 до 800 м — болтанка. На высоте 1080 и 1200 м входили в Cu; на облаках наблюдалась иризация. При спуске нижняя граница Cu — 1050 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

17.7 12 28—13 44
3/3 Cu cong, Cu hum, Ci

40	1 002	21.0	49	7.8			NNE	4
200	983	18.1	51	6.7			13	4
240	978	17.4	52	6.6				4
400	960	15.8	57	6.7	891	402	1	4
500	949	14.9	61	6.8			35	6
800	914	11.7	74	6.7	2 005	536		6
820	912	11.7	68	6.3				4
1 000	893	10.3	75	6.6			46	4
1 190	872	8.7	82	6.5	1 225	245	осн. Cu	3 590
1 300	861	7.9	82	6.3	423	290	верх. ч. Cu	3 590
1 500	839	6.4	81	5.8			29	5
1 550	834	6.9	75	5.6				
1 600	829	6.0	82	5.7	980	757		
1 950	793	3.6	63	4.5				
2 000	789	3.4	68	4.2	267	267	37	4
2 330	756	2.0	68	4.0	734	378		

Видимость перед взлетом хорошая. С 400 м началась болтанка, на 800 м болтанка усилилась; с 1600 м болтанка прекратилась. Плотный слой дымки от 600 до 1200 м, т. е. до основания облаков.

На подъеме производились измерения по ядрам конденсации, на спуске взяты две пробы капель в облаке типа Cu hum — в верхней и нижней его части. Капли в основании Cu мелкие; в вершине — очень крупные, они оседали на трубе и стойках и стекали струйками. В облаке сильно бо- тало, над облаком полет спокойный.

17.7 17 51—18 37
8/1 Ci, Cu cong

40	1 004	21.0	50	7.8			NNE	4
200	985	19.4	53	7.6			33	7
500	950	16.2	58	7.0			27	7
1 000	894	10.9	66	6.9			23	8
1 140	879	9.4	69	5.7				8
1 300	862	9.6	63	5.5				8
1 500	840	8.0	63	5.0			23	8
1 930	797	4.6	62	4.1				6
2 010	789	4.6	66	4.5			18	6
2 400	751	0.6	72	3.7				5
2 480	743	0.6	68	3.5				5
2 740	719	-0.8	56	2.7				5
2 790	715	-0.8	52	2.5				5
3 000	696	-2.3	52	2.3			10	5
3 240	675	-4.0	53	2.1				5
3 280	671	-3.6	41	1.7				5

18.7 05 53—06 33
0/0

40	1 007	15.6	72	8.0			WSW	2
200	988	20.0	45	6.7			344	6
230	984	20.8	40	6.3				6
500	954	21.0	42	7.0			356	8
1 000	898	15.6	32	4.0			357	6
1 040	894	15.2	31	3.7				6
1 500	845	10.7	41	3.9			350	4
2 000	794	5.4	52	3.6			7	5

18.7 10 03—10 52
4/0 Ci, Cu

40	1 008	23.7	33	6.1	3 897	1 113	W	4
200	989	22.0	33	5.6			329	6
450	960	19.5	33	4.9	6 125	1 113		
500	955	18.9	34	4.9			351	4
730	929	16.6	35	4.5				
800	921	16.0	37	4.6	3 341	1 114	352	4
1 000	899	14.0	38	4.3			354	4
1 080	891	13.2	39	4.2				
1 160	882	12.3	40	4.1	2 784	0		
1 500	846	9.6	47	4.1			6	4
1 650	830	8.5	50	4.2				

Болтанка 200—400 м и с 900—1200 м.

На всех высотах дымка различной плотности; со стороны видно, что она лежит слоями. Облака типа Cu развиваются на высоте больше 2000 м.

18.7 11 51—12 39
7/7 Cu

40	1 009	24.3	28	5.5			WSW	3
200	991	22.5	28	4.9			330	2
500	957	18.7	29	4.1			289	3
610	943	17.2	29	3.8				
1 000	900	13.5	32	3.5			305	2
1 040	896	13.6	33	3.6				
1 510	846	8.3	38	3.2			307	3
2 000	796	4.1	46	2.9			333	4
2 050	791	3.6	47	2.9				
2 400	756	0.8	53	2.8				
2 500	747	0.3	49	2.5			359	3
2 630	735	-0.5	44	2.2				
2 710	727	-1.9	53	2.3				
3 000	702	-3.5	52	2.1			332	5
3 160	686	-4.9	50	1.8				
3 220	681	-3.6	44	1.8				
3 230	680	-4.8	40	1.5				
3 240	679	-4.0	43	1.6				

18.7 13 28—14 22
6/6 Cu

40	1 009	24.9	29	5.7			W	4
200	991	23.3	28	5.0			298	4
390	969	21.3	27	4.4				
500	957	20.2	27	4.2			297	4
690	934	18.3	29	4.1				
800	922	16.1	31	3.8			308	3

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

930	908	15.8	33	4.0				
1000	901	15.1	34	4.0			313	2
1500	847	9.5	44	3.8			344	3
1540	843	8.9	45	3.8				
2000	797	4.7	61	4.0			357	3
2010	796	4.5	61	3.9				

Со 100 м слабая болтанка. От земли сильная дымка, горизонт слабо различим, 930 м граница сильной дымки.

Болтанка увеличивается с высотой почти до максимальной высоты подъема.

Уровня облаков не достигли.

18.7 14 18--15 09
3/3 Cu, Ci

40	1009	25.3	27	5.5				
200	991	23.5	28	5.1				
500	958	20.1	31	4.8				
850	917	16.2	33	4.1				
1000	901	14.8	35	4.0				
1320	866	11.9	39	3.4				
1500	847	10.1	45	4.0				
1910	805	6.2	59	4.3				
2000	796	5.5	60	4.2				
2290	768	3.0	63	3.8				
2500	748	1.7	60	3.4				
2840	716	-0.2	54	2.7				
3000	703	-1.3	49	2.3				
3160	688	-2.4	43	1.9				

18.7 16 03--17 02
1/1 Cu, Ci

40	1009	25.1	24	4.8				W	4
200	991	22.7	25	4.4				292	4
410	966	19.6	27	4.0	8 062	1 937			
500	957	18.8	27	3.8			281	4	
820	920	15.9	30	3.7	3 050	266	276	3	
1000	900	13.9	33	3.6			273	2	
1210	878	11.5	36	3.5	2 494	824			
1500	847	8.5	43	3.5			298	2	
1570	839	7.8	45	3.6	2 005	1 448			
1930	803	4.5	51	3.3					
2030	793	3.5	59	3.6	980	246	320	2	
2100	785	2.8	62	3.7					
2140	782	3.5	56	3.5					
2200	776	2.8	60	3.5	3 897	1 113			
2310	765	1.4	65	3.6					
2340	762	1.3	64	3.4					
2390	758	1.4	58	3.2	3 607	266			

Во время всего полета болтанка, наибольшая интенсивность ее — на высоте 2200 м.

Облаков очень мало; кое-где растекающиеся Cu на 2350—2400 м.

Дымка начинается с 300 м и с высотой сгущается.

18.7 17 51--18 28
1/0 Ci, Ac, Cu

40	1009	23.2	40	7.2				W	4
200	990	22.0	39	6.6				293	8
500	956	19.1	38	5.5				288	7
1000	899	14.6	36	4.2				263	3
1080	891	13.8	35	3.8					
1500	846	9.9	40	3.6				271	4
2000	795	5.2	44	3.1				326	2
2150	781	3.7	45	3.0					
2500	747	0.5	61	3.2				328	4
2860	713	-3.0	76	3.2					
2950	705	-2.6	71	3.0					
3000	700	-3.0	68	2.9				328	4
3030	697	-3.4	67	2.7					
3140	688	-3.1	55	2.3					
3270	677	-3.6	43	1.8					

19.7 05 46--06 28
6/0 Ac, Ci

40	1010	15.4	80	8.1				SW	3
200	990	16.4	79	9.4				276	8
380	969	17.6	67	8.7				279	8
500	954	16.7	68	8.6				269	9
1000	899	12.9	74	7.5				279	8
1500	846	9.2	80	7.0				305	4
1680	828	7.8	82	6.5					
2000	795	4.8	80	5.4				302	5
2500	746	0.1	76	3.7					
2750	723	-2.1	75	3.3					
2800	719	-1.7	67	3.0					
3000	702	-1.7	46	2.1					
3090	692	-3.2	37	1.5					
3150	687	-3.5	37	1.5					
3180	684	-2.9	36	1.6					

19.7 08 05--09 12
9/0 Ci, Ac cu (cast и floc)

40	1010	19.0	72	9.9	2 784	1 114			
200	990	18.1	70	9.1					
480	958	16.6	66	8.3	2 227	0			
500	956	17.0	60	7.7					
520	954	17.6	57	7.5					
660	937	17.2	44	5.9					
880	913	15.5	51	6.2	2 784	1 670			
1000	899	14.7	55	6.4					
1290	869	12.6	65	6.9	1 670	1 113			
1680	828	9.1	76	6.7	1 670	1 113			
2000	795	6.8	77	6.0	1 670	1 670			
2110	785	6.0	77	5.7					
2450	752	2.7	74	4.6	1 670	1 113			

Над Ленинградом и к северу от него очень сильная дымка, на юге дымка слабее.

От 200 до 650 м болтанка.

По границе дымки как бы плавают Sc lent. Выше потолка подъема хлопьевидные облака с полосами падения в виде косм—Ac floc (virga).

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

19.7 09.08—09 48
7/0 Ac (floe и cast), Ci dens

40	1010	21.0	63	9.9				SSW	7								
200	991	19.4	53	7.5				275	8								
210	990	19.2	53	8.4													
500	957	16.5	57	7.0				285	8								
540	952	16.3	57	7.0													
610	944	16.4	53	6.4													
1000	900	13.5	56	6.0				277	7								
1500	847	9.9	59	5.3				288	4								
1600	837	9.2	60	5.2													
2000	795	5.9	65	4.7													
2330	764	3.3	68	4.2													
2430	754	3.2	68	4.2													
2500	748	2.6	67	4.2													
2950	706	-0.7	63	3.1													
3000	701	-0.4	55	2.9													
3030	699	-0.2	50	2.7													
3500	658	-2.9	36	1.6													
3510	657	-3.0	35	1.6													

19.7 17 52—18 37
0/0 Cu

40	1008	23.0	49	8.7													
200	989	21.3	52	8.4													
500	955	18.2	57	7.9													
870	913	14.4	63	7.0													
960	903	14.4	63	7.1													
1500	846	9.8	68	6.1													
2000	796	5.5	73	4.8													
2080	787	4.8	74	5.0													
2110	784	4.9	74	5.0													
2210	774	3.9	76	4.9													
2260	769	4.2	72	4.8													
2500	746	2.3	70	4.2													
2960	703	-1.4	64	3.0													
3020	698	-0.6	42	2.1													
3260	677	-1.5	30	1.5													
3340	670	-2.2	28	1.3													

20.7 05 52—06 40
0/0 Cu

40	1009	15.5	90	9.8													
200	991	17.2	80	9.8													
310	977	18.4	72	9.8													
500	956	16.9	74	9.2													
1000	898	13.2	79	8.4													
1400	856	10.2	84	7.6													
1500	845	9.4	75	6.5													
1610	834	8.6	67	5.3													
1790	816	8.8	43	3.7													
1950	800	9.6	29	2.7													
2000	794	9.4	28	2.6													
2290	767	7.9	21	1.8													
2500	746	6.4	32	2.5													
2700	729	4.8	30	2.2													
2810	719	5.1	30	2.3													
3000	701	3.4	31	2.1													
3390	668	0.0	34	1.9													

20.7 09 13—10 11
1/1 Cu hum

40	1009	22.8	58	10.1	3050	823	SSE	2
200	990	21.0	61	9.7		203		1
420	965	18.8	65	9.2	2784	0	204	2
500	956	18.9	66	9.5		210		2
850	916	14.6	74	8.1	6682	1670	осн. Cu	
900	910	14.5	72	8.2	1670	556	верх. ч. Cu	
1040	896	14.5	63	7.3		194		2
1200	878	12.8	67	7.1	2784	1114		
1430	854	10.4	74	6.8				
1500	847	10.4	65	6.0		162		1
1630	833	10.5	45	4.3	891	402		
2000	796	10.2	25	2.4	734	378	37	1
2030	793	10.1	23	2.2				
2200	777	8.9	25	2.3	734	489		
2430	753	7.1	28	2.3	489	244	34	1

Си начали появляться перед подъемом;
их основание достигнуто на высоте 850 м,
вершины — около 900 м.

Си образуются только северо-восточнее
Ленинграда, туда же сносится дым и облака
возникают над слоем дымки. В других на-
правлениях облаков почти нет.

20.7 10 05—10 47
2/2 Cu

40	1009	23.7	53	9.7			SSE	2
200	990	21.8	56	9.4		206		1
500	955	18.1	60	8.3		190		2
700	933	15.7	63	7.6		169		2
1000	899	13.3	65	7.0		232		2
1390	858	10.1	67	6.0				
1500	846	10.2	63	5.8		165		1
1750	821	10.6	35	3.4				
2000	795	9.0	35	3.2		265		2
2500	748	5.8	35	2.7		298		1
2710	728	4.4	35	2.5				
3000	703	2.5	37	2.4				
3320	675	0.4	40	2.1				

Высота Си около 1500 м.

20.7 12 04—13 14
6/6 Cu

40	1009	23.7	46	8.5	2227	1113	SSE	2
200	991	21.9	49	8.3		263		3
390	968	19.6	53	7.9	2227	557		
500	955	18.9	57	8.2		221		2
740	928	16.1	65	8.1	557	557	206	1
950	904	13.9	66	7.3				
1000	899	13.5	67	7.2		163		1
1190	878	12.3	72	7.4	1114	557		
1500	846	9.5	77	6.8		280		1
1520	844	8.7	87	7.3	0	0	осн. Cu	
1600	835	8.5	83	6.9	557	0	вблизи Cu	
1610	834	8.3	95	7.9			об.	
1770	818	8.0	57	4.7				

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

1850	810	7.0	63	4.8					у верхн.								
2000	795	9.0	30	2.7	557	0	169	1	гр. Cu								
2390	757	6.3	34	2.7	0	0											

1000 м полет под облаками.

Нижнее основание облаков 1450—1500 м совпадает с границей дымки, верхняя граница облаков 1900 м. На высоте 1620 м заходили в облако, там болтанка. 1850 м — полет на уровне верхней границы облаков (рис. 1).

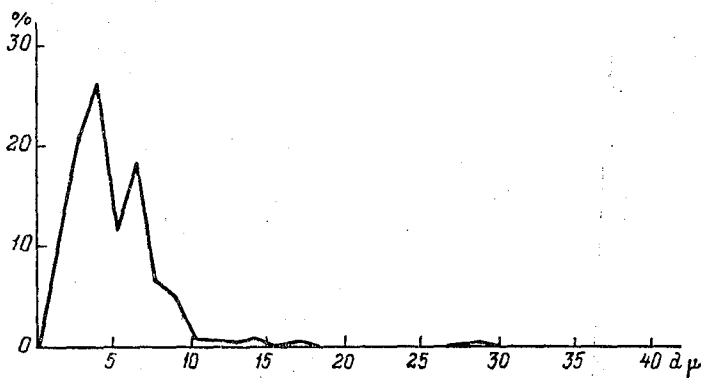


Рис. 1.
27.7.12.04. Cu hum 1600 м.

20.7 13 01—13 48
5/5 Cu (hum и simpl)

40	1 008	26.0	40	8.4		WNW	2	1 210	877	14.7	55	6.4					
200	989	23.9	42	7.9		222	1	1 250	873	14.1	56	6.5					
280	980	22.7	43	7.6				1 500	846	11.8	66	6.7	5 012	3 342	195	1	
500	955	20.6	45	7.2		193	2	1 600	836	10.2	70	6.5	6 682	2 227	ур. об.		
690	934	18.6	46	6.6				1 770	819	9.2	80	7.0			об.		
1 030	896	14.9	55	6.4		206	1	1 900	806	8.2	71	5.9			вне об.		
1 350	862	11.6	64	6.3				2 000	796	7.1	83	6.6	980	980	78		
1 500	847	11.0	44	4.3		230	1								об.		
1 800	816	10.8	40	4.0				2 010	795	7.0	75	5.8			вне об.		
1 850	811	9.0	45	4.0				2 080	788	6.2	82	6.1			об.		
1 920	804	10.0	34	3.2				2 120	784	6.2	73	5.4					
2 000	796	9.9	34	3.2		267	1	2 120	784	5.9	68	5.0					
2 500	749	7.1	34	2.8		211	1	2 130	783	6.9	53	4.1					
2 540	745	6.8	34	2.8				2 220	775	6.0	56	4.2					
3 000	704	3.6	34	2.3		222	4	2 230	774	7.0	32	2.6					
3 250	681	1.6	34	2.1				2 290	768	5.8	37	2.8					
								2 430	755	6.9	33	2.8	735	246			
								2 440	754	6.1	32	2.5					

Высота Cu около 1500 м.

20.7 14 29—15 32
3/3 Cu (hum и simpl)

40	1 008	25.3	41	8.3	3 341	1 114	SSW	2									
200	990	23.9	41	7.7			26	1									
480	958	21.4	40	6.7	3 563	1 336											
500	955	21.2	41	6.8			339	1									
830	918	17.3	44	5.9	2 005	891	275	1									
000	899	16.1	49	6.2			249	2									
200	878	14.8	54	6.4	1 670	0											

Болтанка с 250 м и выше в течение всего полета (до 2400 м).

Дымка началась с 300 м, с высотой уплотнялась; сравнительно с утром дымка уменьшалась. В некоторых местах видны вертикальные столбы дыма от лесных пожаров. Ветер во всем слое до облаков слабый, так как дым поднимается почти вертикально до облаков.

Высота нижнего основания Cu simpl около 1650 м, мощность их 600—1000 м. Нижняя

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

граница облаков неровная, отдельные клочья облаков спускались на 60—100 м от их основания. Вершины Си — клубятся. В середине облаков видимость понижается настолько, что не видно стоек самолета.

В облаках сильная болтанка. На высоте 2400 м следана площадка, при этом пролетали вершины Си. Входили в Си simpl на 2000, 2100 м и при спуске на 1800 м (рис. 2).

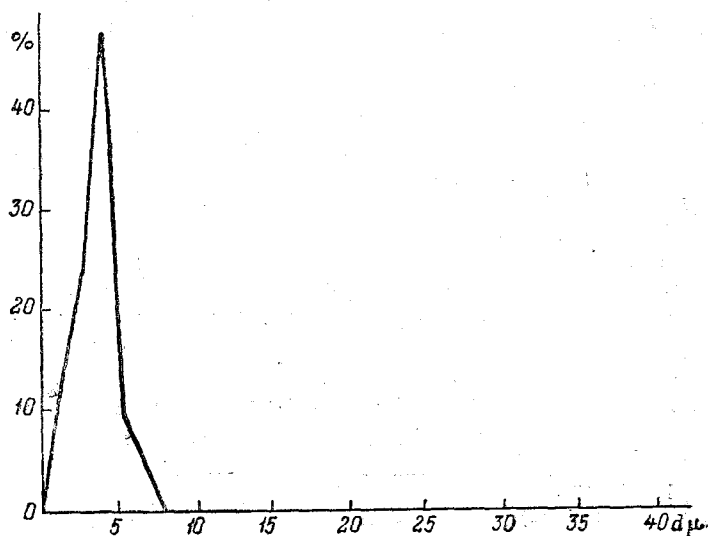


Рис. 2.
20.7 14.29. Си simpl — середина 2000 м.

20.7 15 08—15 45
3/3 Си

40	1 008	25.3	41	8.4	SSW	2
200	989	24.1	40	7.7	30	1
410	965	22.1	39	6.9	144	1
500	955	21.4	40	6.8	150	1
880	913	17.3	45	6.2		
1 000	899	16.3	47	6.1	295	1
1 250	873	13.8	51	5.8		
1 500	846	11.3	54	5.4		
1 810	815	8.3	58	4.9		
1 930	803	9.6	43	4.0		
2 000	796	8.3	42	3.6		
2 460	752	6.3	37	2.9		
2 500	749	6.3	36	2.8		
2 680	732	6.3	36	2.9		
3 000	704	3.5	36	2.4		
3 220	684	1.6	36	2.2		

Основание Си около 1600 м (в облако не входили).

20.7 16 58—18 04
1/1 Си, Frcu

40	1 008	26.7	29	6.5					—	0
120	999	25.3	(25)	5.2						
200	989	24.4	26	5.1					190	2
420	965	21.5	30	5.1	4 455			558		
500	956	20.7	32	5.1					220	1
700	931	18.4	39	5.5						
800	920	17.5	42	5.8	3 341		1 671		114	1
1 000	898	15.5	47	5.8					98	1
1 200	876	13.6	53	5.9	1 670		1 670			
1 500	845	10.7	61	5.9					311	1
1 530	842	10.4	62	5.8						
1 630	832	10.2	50	4.6	1 114		557			
1 700	824	9.3	63	5.5						
1 760	818	9.1	53	4.7						
1 840	810	9.4	49	4.4						

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

1900	804	8.5	32	2.7				
2000	794	7.9	33	2.7	557	557	157	2
2400	756	5.8	39	3.0				

С 1400 м началась болтанка.

На высоте 1600 м полет в полосе дыма. Около 1800 м нижняя граница Fr_{cu}, входили в них. По границе дымки отдельные Cu hit, которые тают и частично переходят в Sc (рис. 3).

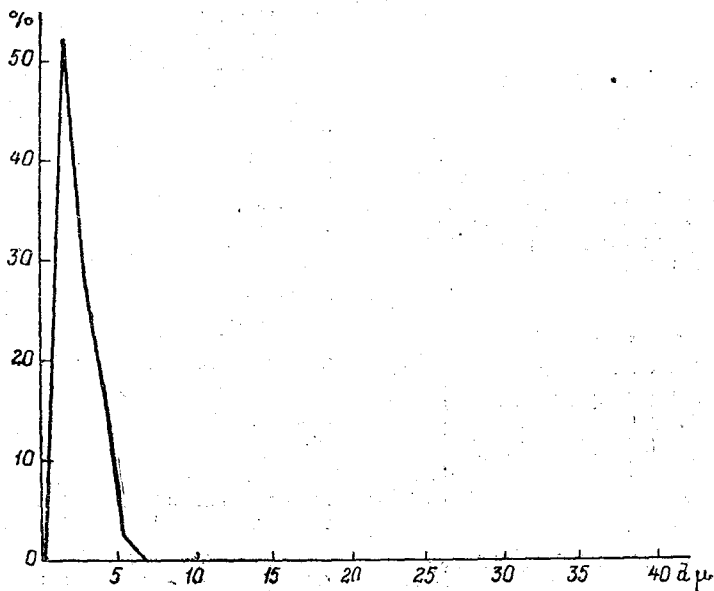


Рис. 3.
20.7 16.58. Fr_{cu} 1800 м.

20.7 17 50—18 20
1/1 Cu

40	1 007	26.7	32	7.1
200	989	25.0	30	6.0
500	954	21.6	42	7.2
1 000	900	16.0	50	6.3
1 360	861	12.0	51	5.1
1 500	846	11.1	40	3.9
1 790	816	8.9	34	3.0
1 870	808	9.1	32	2.8
2 000	795	8.0	34	2.8
2 500	746	3.6	39	2.6
2 630	735	2.4	40	2.4
2 730	726	3.0	37	2.3
3 000	702	1.0	35	2.0
3 140	689	0.1	34	1.9
3 210	683	1.1	31	1.8
3 280	677	0.8	28	1.6

—	—	330	975	17.6	80	10.2
78	1	470	959	19.5	45	6.7
106	1	1 000	900	14.8	47	5.4
65	2	1 500	846	10.2	50	4.4
		1 780	818	7.8	56	4.5
193	2	1 910	805	7.5	46	3.7
		2 000	796	7.0	45	3.5
		2 290	768	5.2	44	3.2
201	1	2 410	757	5.4	37	2.6
		2 500	748	4.8	34	2.4
		2 810	720	2.6	26	1.7
		2 880	713	2.4	25	1.6
		3 000	704	1.8	25	1.5
		3 340	673	0.0	25	1.4

25.7 08 05—09 01
5/0 Ci

40	1 010	20.9	62	9.5	3 341	1 114	W	4
200	991	19.5	61	8.8			298	4
420	965	17.8	60	7.9	2 227	557	310	4
460	961	18.0	56	7.6				

25.7 05 59
0/0 Ci

40	1 010	17.6	95	11.7
200	990	17.6	87	11.1

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
500	957	17.7	55	7.3			312	6	1420	857	9.6	74	6.4			313	8
820	920	15.7	50	6.1	1380	266	313	7	1600	839	9.0	69	5.2	734	489		
1000	901	14.0	55	6.1			311	8	1710	827	8.0	60	4.9				
1200	879	12.0	60	6.0	557	468			2000	798	6.8	53	4.1	980	0		
1500	847	9.5	59	5.2			314	10	2090	789	6.4	51	3.8				
1610	836	8.6	58	4.9	557	513			2270	771	5.7	44	3.2				
2000	796	7.3	37	3.0	445	445	320	10	2410	758	4.8	36	2.5	245	245		
2010	795	7.3	36	2.9					2420	757	5.7	40	3.0				
2260	771	6.2	30	2.2					2440	755	5.6	34	2.5			324	10
2380	759	5.4	46	3.4	267	267											

Сильная дымка. В 8 час. 18 мин. вдали появились следы Cu , в 8 час. 44 мин. Cu возникают в разных направлениях. Остается впечатление, что над Ленинградом облака лежат своими основаниями на верхней границе дымки; в других направлениях облака плавают в слое дымки.

25.7 10 35—11 38
9/1 Ci , Cu ($simpl$ и hum)

40	1011	22.9	54	9.4	4455	—	W	6
200	992	21.1	57	9.0			285	6
470	961	18.1	63	8.4	4722	1938		
500	957	18.0	63	8.4			304	9
1000	901	13.9	78	8.4			321	7
1130	888	12.8	82	8.8				
1220	878	11.9	77	7.6				
1310	869	10.8	86	8.0	6125	3075	осн. Cu	
1390	860	9.6	79	6.8			$simpl$	

Кучевые облака движутся грядой с северо-северо-запада; гряды составляли разные Cu : в середине — хорошо развитые $Cu simpl$, к краям $Cu hum$, на краях Fcu . Нижняя граница облаков неровная, высота ее 1300—1350 м, вершины отдельных Cu достигали 2300 м. При подъеме входили в основание Cu ; на спуске пересекали $Cu simpl$ толщиной 800—1000 м и взяли пробу капель в верхней части его. Видимость в облаке 2—3 м (не видно стоек); на трубе и на растяжках осели крупные капли (рис. 4).

В слое 1600—2000 м полет между облаками, на высоте 2400 м — над облаками.

Болтанка началась со 150 м и увеличивалась с высотой; особенно сильно проявилась болтанка в $Cu simpl$ (оборвало растяжки трубы).

Дымка отмечена с 300 м, при подъеме она уплотнялась до оснований облаков (1350 м).

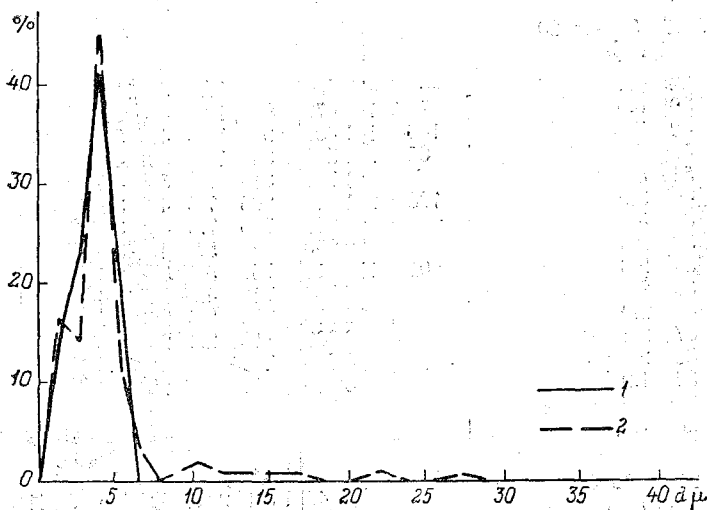


Рис. 4.
25.7 10.35, $Cu simpl$ — вершина. 1 — 2000 м, 2 — 1900 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

25.7 13 01—13 56
10/2 Ci, Cu (hum и simpl)

40	1 012	24.3	43	8.1													
200	993	22.7	45	7.9													
500	959	19.9	49	7.5													
1 000	903	15.0	55	6.4													
1 490	850	10.2	60	5.4													
1 530	846	9.2	66	5.6													
1 630	836	8.3	87	7.1													
1 840	814	7.2	78	6.1													
1 990	799	5.3	85	5.9													
2 120	787	7.0	59	4.7													
2 230	776	7.3	36	2.9													
2 330	766	7.0	32	2.6													
2 340	765	7.4	30	2.5													
2 500	751	5.8	31	2.3													
3 000	705	1.1	36	2.0													
3 110	695	0.1	37	2.0													
3 230	684	2.0	28	1.8													
3 420	668	0.8	26	1.5													

осн. Cu

об.

Нижняя граница Cu около 1500 м, верхняя — 2200 м.

25.7 17 50
8/0 As

40	1 013	23.2	52	9.2													
200	994	21.8	53	8.8													
500	960	19.2	56	8.3													
1 000	904	14.8	60	7.0													
1 190	883	13.2	61	6.6													
1 500	850	11.2	58	5.7													
2 000	799	8.0	52	4.3													
2 200	780	6.8	50	3.9													
2 280	772	7.2	50	4.1													
2 500	752	6.0	43	3.3													
2 790	725	4.5	33	2.4													
2 870	718	4.5	39	2.8													
3 000	706	3.4	40	2.7													
3 390	672	0.0	44	2.6													

26.7 05 47—06 33
1/0 Ci, Frcu

40	1 014	15.9	90	10.0													
210	994	18.9	73	10.1													
500	960	16.8	80	10.1													
980	906	13.3	93	9.7													
1 000	904	13.2	90	9.4													
1 130	889	12.8	72	7.5													
1 270	874	13.2	48	5.2													
1 500	850	11.6	45	4.5													
1 840	815	9.4	41	3.7													
1 940	805	9.7	36	3.3													
2 130	787	8.2	31	2.7													
2 190	781	8.7	27	2.4													
2 500	752	6.5	46	3.7													
2 780	726	4.5	63	4.5													
2 810	723	4.5	61	4.4													
3 000	706	3.2	50	3.4													
3 160	692	2.1	41	2.6													
3 340	676	0.9	53	3.1													

26.7 08 14—09 31
0/0

40	1 014	20.8	65	10.1	6 682	1 670	SSW	4
200	995	19.8	67	9.9			238	4
440	967	17.0	71	8.9	2 227	1 113		
500	961	16.5	74	9.1			241	4
820	924	13.9	86	9.2	1 114	557		
1 000	903	12.8	86	8.9			259	6
1 190	883	11.5	86	8.3	1 114	557		
1 230	878	10.7	86	7.9				
1 500	850	9.5	76	6.6			264	4
1 570	843	9.1	73	6.2	1 114	1 114		
2 000	799	8.2	60	5.0			281	3
2 060	793	8.0	59	4.9	133	133		
2 110	788	7.9	50	4.2				
2 170	782	8.5	47	4.1				
2 390	761	6.8	60	4.9	22	22		

Перед взлетом облачность 0/0. Дымка. Штиль.

В 8 час. 17 мин. появились едва заметные следы Cu. В 8 час. 23 мин. на уровне самолета начали образовываться тонкие облака, количество их быстро увеличивалось, они уплотнялись. В 8 час. 32 мин. появились типичные Cu hum. 700—1230 м—слой образования облаков, причем нижняя граница их не резкая. В 8 час. 50 мин. среди Cu появляются облака типа Sc lent, особенно на NW; там же видны Cu cast, а затем к 9 час. — Cu pileus и Ac lent.

Над Ладожским озером облаков нет, все Cu над сушей.

В 9 час. 23 мин. при спуске вершины облаков доходили уже до 1500 м; нижняя граница их была на 850 м.

26.7 09 10—09 56 ✓
2/2 Cu hum

40	1 014	23.1	67	11.8				
200	995	21.2	71	11.4				
500	959	17.9	79	10.6				
670	941	16.1	83	10.1				
770	930	16.1	83	10.2				
1 000	903	14.7	83	9.8				
1 110	892	14.0	83	9.3				
1 500	850	10.7	91	8.6				
1 580	843	10.0	93	8.4				
1 750	825	9.8	73	6.6				
1 940	806	9.8	67	6.3				
2 000	800	9.9	61	5.8				
2 100	790	10.0	53	5.1				
2 160	785	9.3	55	5.1				
2 230	778	9.9	51	5.0				
2 500	753	7.7	60	5.3				
2 920	714	4.5	75	5.5				
3 000	707	4.0	71	5.1				
3 030	704	3.9	70	5.0				
3 390	673	0.8	73	4.3				

Нижняя граница Cu около 1000 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

26.7 11 04—11 22
6/5 Cu (hum, simpl), Ci, Ac

40	1 013	25.1	54	10.8
200	994	23.3	57	10.4
500	958	20.2	64	10.1
600	948	19.1	66	9.8
820	923	17.0	76	10.0
830	922	16.9	73	9.4
1 000	903	15.7	56	6.9
1 100	893	14.7	48	5.7

1 680	832	10.1	62	5.7
1 740	826	8.8	73	6.3
1 870	813	9.8	48	4.5
1 960	804	9.1	51	4.5
2 000	800	9.2	44	4.0
2 100	790	9.5	27	2.5
2 120	788	10.7	24	2.4
2 130	787	9.3	27	2.5

верш. Cu

26.7 13 08—14 12
8/6 Cu, Ci

40	1 013	26.4	47	10.1	2 784	557	WSW	4
200	995	24.3	50	9.5			233	5
500	960	20.7	56	9.0	3 050	1 380	221	6
690	938	18.7	59	8.6				
1 100	893	14.5	68	7.9	3 897	1 670	309	13
1 260	876	12.9	85	9.1	3 897	2 227	ур. Cu	
1 380	863	12.6	74	7.8			об.	
1 420	859	11.9	82	8.3				
1 540	846	11.5	69	6.9				
1 550	845	10.8	82	7.8				
1 570	843	11.5	65	6.4				
1 630	837	10.6	67	6.4				

Основания облаков лежат на разных уровнях или на 1250 м, или на 1450—1500 м, преимущественно на первом. Местами облака рваные и чувствуются сильные вертикальные токи, так как над нами появляются большие столбы (100—150 м высоты) типа cast.

Заходили в основание Cu simpl на 1450 м и в вершину на 2000 м; наверху капли очень крупные, бьют в лицо подобно мороси (рис. 5).

Сильная болтанка началась со 100—200 м. Дымка отмечена с 300 м, она уплотнялась к основаниям Cu (т. е. до 1250—1300 м); выше облаков дымка уменьшилась.

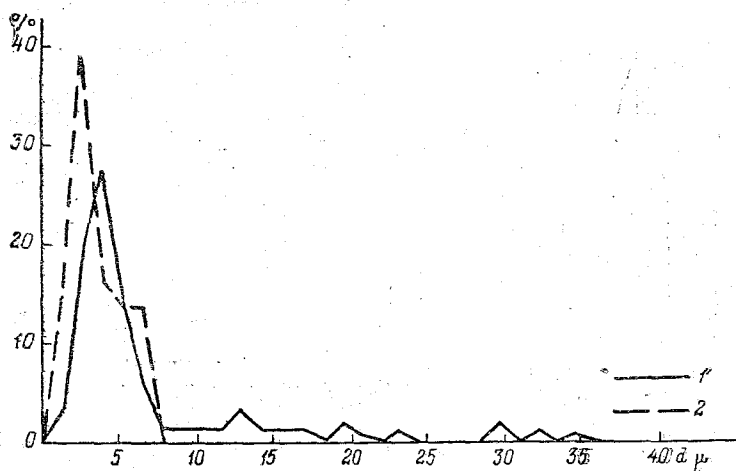


Рис. 5.

26.7 13.08. Cu simpl. 1 — вершина 2000 м, 2 — основание 1450 м.

26.7 13 49—14 22
8/6 Cu, Ci

40	1 013	25.9	50	10.4
200	995	24.3	53	10.1
500	959	21.4	57	9.5
1 000	903	16.6	65	8.4
1 120	891	15.5	68	8.3
1 380	864	13.4	83	9.0
1 400	862	13.5	77	8.6
1 500	850	12.6	80	8.5

1 820	818	9.5	88	8.4
1 910	809	10.1	77	7.4
2 000	800	9.7	70	6.5
2 090	792	9.2	64	5.9
2 140	787	10.2	41	4.0
2 500	753	7.9	36	3.2
3 000	707	4.7	30	2.3
3 120	697	4.0	28	2.0

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

27.7 06 27—07 12
5/5 Frst, Cu

40	1 013	19.4	90	12.6				
200	994	18.1	88	11.4				
500	960	17.8	85	11.1				
890	914	12.8	81	8.1				
1 000	902	14.2	59	6.6				
1 500	850	11.0	48	4.6				
1 800	818	9.1	42	3.8				
1 890	809	10.1	30	2.9				
1 990	799	10.1	26	2.5				
2 000	797	10.0	26	2.5				
2 500	750	6.8	19	1.6				
2 720	730	5.4	17	1.3				
3 000	705	2.6	18	1.2				
3 240	684	0.4	19	1.1				

710	936	14.8	78	8.6				
750	931	14.8	69	7.7	вне об.			
780	928	13.9	86	9.2	об. (Cu)			
790	927	15.0	70	8.1				
790	927	13.8	77	8.2				
790	927	13.4	82	8.4	об.			
810	924	13.8	66	7.0				
1 000	903	13.3	65	6.9			309	12
1 170	885	13.1	65	6.9				

720—750 м редкие Frcu и основание Cu; вершины Cu — на 800—850 м, некоторые выше. В 9 час. 26 мин. вершины достигли 1100 м. На горизонте видны Cu cong.

Пробы капель взяты во Frcu и в основании Cu на высоте около 700 м, затем в вершинах разных Cu на высотах 800, 850, 950 и 1100 м. В вершинах капли крупные, на высоте 1100 м очень крупные (некоторые не помещаются в поле зрения микроскопа). При взятии пробы в Cu simpl (на высоте 950 м) заметно, что в середине облака капли крупнее, нежели на краю облака (рис. 6, 7 и 8).

27.7 08 35—09 35
3/3 Cu, Frcu

40	1 014	21.0	71	11.0		WSW	6
160	1 000	19.3	74	10.4			
200	995	18.9	75	10.3		280	5
580	950	15.8	87	10.4		274	6
700	937	15.1	78	9.1	вне об.		
710	936	14.0	81	8.7	Frcu	271	9

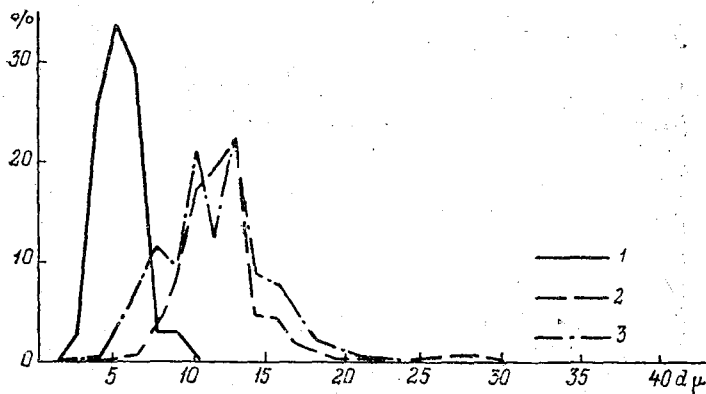


Рис. 6.

27.7 08.35. 1 — Frcu 720 м, 2 — Cu — верш на 850 м, 3 — Cu 680 м.

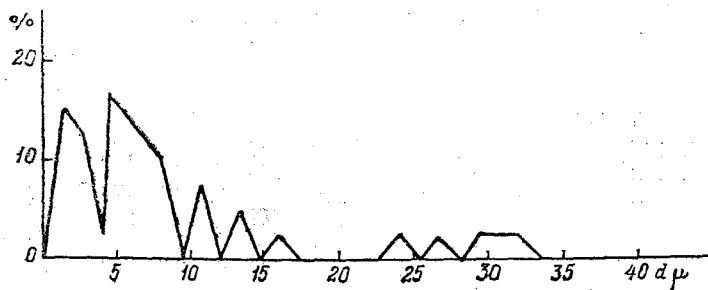


Рис. 7.

27.7 08.35. Cu — вершина 1100 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

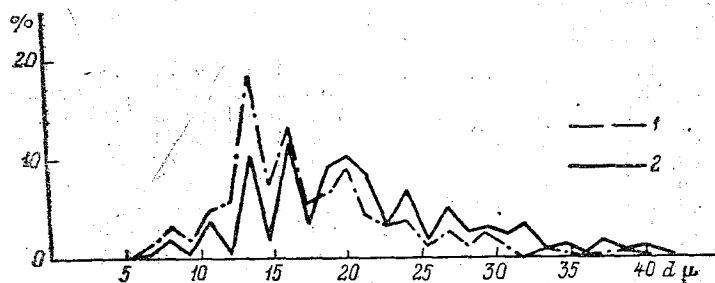


Рис. 8.

27.7 08.35. 1 — Cu — верши а 800 м, 2 — Cu simpl — середина 950 м.

27.7 10 41—11 44
5/4 Cu (hum, simpl), Frcu, Ci

40	1015	22.7	64	10.9	10 023	2 227	WSW	4	1 140	889	12.1	81	8.1				об.
200	996	20.5	70	10.6			280	6	1 180	885	12.6	71	7.4				
480	963	16.5	81	9.9	35 637	17 819	304	4	1 470	854	11.3	50	4.9		623	378	
560	954	15.5	86	9.9					1 470	854	11.7	45	4.5				
630	945	15.8	74	8.7	5 569	2 228			1 470	854	11.0	52	5.0				307 10
680	940	15.3	76	8.7			311	8									
730	934	15.5	66	7.9													
730	934	15.4	69	8.0													
840	922	15.4	58	6.8	5 569	1 114											
970	907	14.4	56	6.2			309	8									
1 100	893	12.4	80	7.8			об.										
1 100	893	11.7	90	8.6			об.										
1 120	891	12.6	68	6.9			вне об.										

Си образовались восточнее Ленинграда, куда сносится и дым от города.

Основания Си лежат на высоте 810—820 м, верхняя граница около 1300 м. Пробы капель взяты в разных облаках на высотах 1000—1100 м (ниже в облака не входили) (рис. 9).

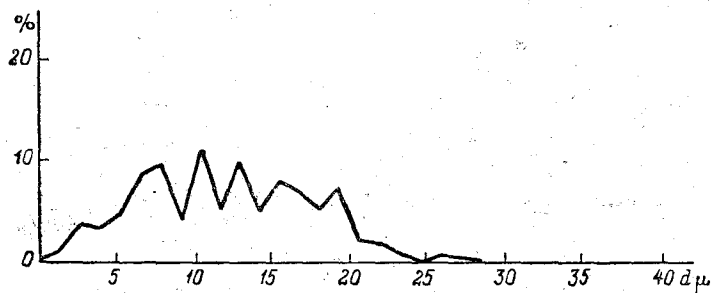


Рис. 9.

27.7 10.41. Cu simpl — середина 1000 м.

27.7 13 09—13 57
1/1 Cu, Frcu

40	1015	23.3	57	10.2					2 080	793	9.4	36	3.3				
200	995	21.6	61	10.1					2 130	788	9.4	32	2.9				
500	960	18.3	68	9.2					2 240	777	8.0	30	2.6				
550	955	17.9	69	9.0					2 330	769	8.4	30	2.6				
1 000	903	13.9	77	8.5					2 500	753	7.3	29	2.5				
1 480	853	9.7	85	7.6					2 800	725	5.2	28	2.1				
1 570	844	10.5	66	6.2					2 860	720	5.2	26	2.0				
1 830	818	11.3	42	4.3					3 000	708	3.8	26	1.8				
2 000	800	9.9	48	4.6					3 270	684	1.5	25	1.5				

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

27.7 17 51—18 44
0/0 Ci

40	1015	23.0	57	10.0				
200	994	21.1	57	9.1				
250	990	20.5	57	8.8				
360	978	20.5	56	8.7				
500	962	19.4	56	8.3				
1 000	905	15.0	59	7.0				
1 550	847	10.4	62	5.7				
1 660	836	12.3	39	4.1				
2 000	800	10.4	29	2.8				
2 310	771	8.6	19	1.7				
2 500	753	7.6	19	1.6				
2 870	720	5.5	19	1.5				
2 910	716	5.8	19	1.5				
3 000	708	5.4	19	1.5				
3 390	674	3.8	19	1.4				

29.7 05 50—06 33
1/0 Ac

40	1 009	16.9	82	9.8				
200	989	16.0	83	9.6				
400	966	15.2	84	9.4				
500	954	16.1	63	7.6				
620	941	17.2	39	5.1				
840	916	16.6	31	4.0				
1 000	899	15.8	34	4.3				
1 540	842	12.8	45	5.0				
1 590	837	13.8	39	4.6				
2 000	795	10.6	50	5.1				
2 500	748	6.8	63	5.2				
2 620	737	5.9	66	5.1				
3 000	704	4.0	62	4.4				
3 430	666	1.8	57	3.6				

29.7 08 54—09 54
1/1 Cu, Ac

40	1 009	20.6	64	9.7			WSW	4
200	990	19.1	69	9.8			274	2
490	956	16.4	79	9.6	3 897	1 670		
500	955	16.4	79	9.6			257	2
720	930	14.5	74	8.2				
760	926	15.6	61	7.3				
840	916	14.5	63	7.1	2 784	2 227	240	6
840	916	16.3	43	5.5				
920	908	16.3	37	4.8				
1 000	899	15.7	39	4.9			240	9
1 010	898	15.6	39	4.9				
1 220	875	14.5	35	4.1				
1 500	847	15.1	28	3.6			235	10
1 540	843	15.3	25	3.2				
1 660	832	14.8	31	4.0	557	513		
2 000	797	12.3	47	5.2			244	8
2 110	786	11.5	52	5.6	557	557		
2 460	753	8.8	75	7.0	1 114	1 114		
2 460	753	8.5	76	7.0				

На высоте 820—790 м редкие Frcu. Облака
расположены по верхней границе дымки,

они почти не развиваются по вертикали.
К концу подъема все небо постепенно
заволакивается высокими облаками. При
спуске облачность 9/0 Ac.

29.7 18 04—19 03
0/0

40	1 004	23.7	59	10.9				
200	986	22.4	63	10.9				
500	952	20.3	70	11.1				
950	901	17.1	81	11.1				
1 000	896	17.5	77	10.8				
1 120	883	18.2	68	10.2				
1 500	844	14.8	77	9.7				
1 900	804	11.2	85	8.8				
2 000	794	10.6	80	8.4				
2 500	746	7.6	53	4.7				
2 790	720	6.0	39	3.2				
3 000	702	4.2	64	4.7				
3 060	696	3.6	71	5.0				
3 350	671	1.6	44	2.8				

2.8 05 50—06 20
8/1 Ac, Ci, Cu

40	997	12.0	98	7.6				
240	973	13.2	76	7.4				
500	943	11.4	80	7.1				
740	915	9.6	86	6.7				
910	896	8.4	73	5.5				
1 000	886	7.6	76	5.5				
1 180	866	6.1	81	5.5				
1 230	861	6.1	72	4.8				
1 470	836	4.2	85	5.2				
1 550	828	3.9	75	4.4				
2 000	782	0.6	87	4.3				
2 070	775	0.1	89	4.2				
2 500	734	-2.4	84	3.4				
2 610	723	-3.0	83	3.3				
2 680	717	-2.5	78	2.8				
3 000	688	-4.6	76	2.8				
3 230	667	-6.2	74	2.5				

2.8 09 37—10 18
6/4 Cu, Frcu, Ac

40	996	15.2	86	9.4				
200	977	13.3	92	9.2			Frcu	
310	964	12.1	96	8.8				
480	944	12.0	84	7.9				
480	944	11.9	91	7.0			Frcu	
530	938	11.2	86	7.6				

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

580	932	11.1	86	7.6				
710	919	10.5	81	7.0				
740	916	9.9	81	6.7				

Облака типа Fgci или Sc на небольшой высоте, в них заходили несколько раз (рис. 10 и 11).

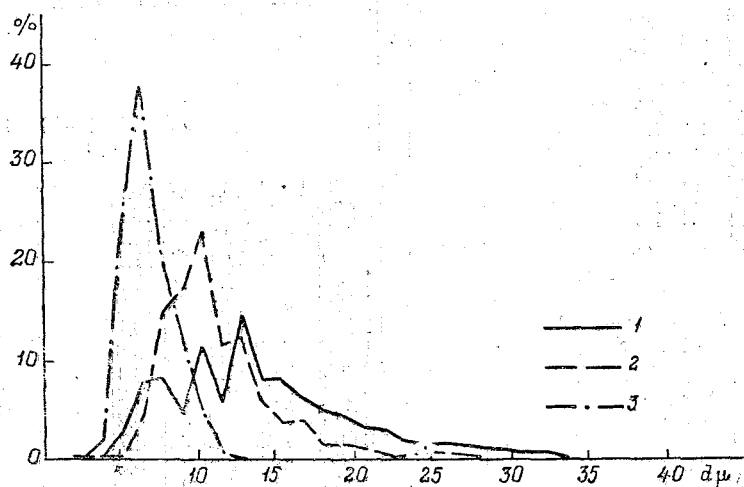


Рис. 10.

2.8 9.37. Sc. 1 — верхняя часть 480 м, 2 — верхняя часть 560 м, 3 — нижняя часть 340 м.

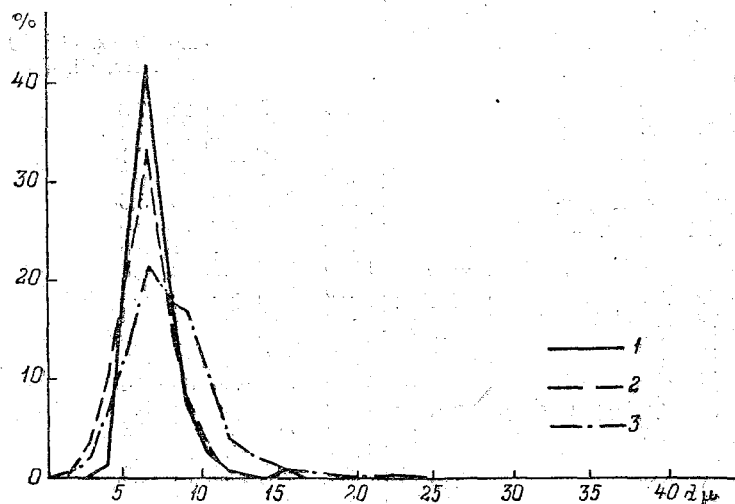


Рис. 11.

2.8 9.37. Sc. 1 — средняя часть 500 м, 2 — средняя часть 510 м, 3 — верхняя часть 600 м.

2.8 17 49 4/4 Cu, Ci																	
40	996	18.7	62	8.4					1 500	834	6.2	73	5.2				
200	977	17.4	64	8.2					2 000	782	1.7	74	5.4				
500	943	14.8	66	7.4					2 080	775	1.0	74	5.3				
1 000	886	10.6	71	6.5					2 500	734	-2.4	84	4.3				
1 140	872	9.5	72	6.1					2 600	725	-3.1	87	4.1				

H	P	t°	F	q	N	$N_{\pm}$	d	v	H	P	t°	F	q	N	$N_{\pm}$	d	v
---	---	-----------	---	---	---	-----------	---	---	---	---	-----------	---	---	---	-----------	---	---

2740 712 -2.7 65 4.3
3000 689 -4.7 64 2.5
3370 656 -7.6 62 3.0
3400 653 -7.4 60 3.2

3.8 05 55
0/0 Cl, Ac

40 998 12.8 89 8.3
200 978 14.8 75 8.2
320 965 16.2 65 7.8
500 944 14.5 65 7.4
1000 888 9.6 64 5.5
1410 845 7.5 63 4.8
1500 835 5.2 64 4.2
2000 784 2.6 68 4.1
2310 755 0.9 70 3.7
2400 746 1.7 52 3.1
2500 736 1.2 49 2.7
2830 706 -0.2 40 2.1
3000 690 -1.4 40 2.0
3370 659 -3.8 39 1.6

3.8 10 05—11 03
8/8 Cu cong, Cu Hum, Sc

40 998 18.7 64 8.6
200 979 17.1 64 7.9
500 944 14.4 64 6.8

850 904 11.0 77 6.9
990 889 10.0 69 5.9
1120 875 8.2 88 6.9
1190 867 8.1 93 7.2
1460 838 6.6 73 5.4
1570 827 4.4 89 5.6
1590 825 4.8 81 5.3
1690 814 4.0 84 5.2
1700 813 4.0 88 5.4
1830 800 3.5 76 4.6
1970 786 2.0 77 4.2
2030 780 1.4 87 4.6
2030 780 2.1 77 4.3

об.
об.
вне об.
об.
об.
об.
об.
об.

250 м — болтанка.
950 м — уровень основания облаков.
1000—1100 м полет по нижней части облаков.

На 1400, 1500, 1700 и 1900 м заходили в облака для взятия проб; капли очень крупные, все лобовые части самолета и стекло покрылись каплями воды.

На 2000 и 2030 м входили в Sc.

На уровне 2030 м сильная болтанка.

При спуске на 1400 м прошли слой облаков, основание их 1000 м. Облака уплотнялись. При полете под облаками на высоте 900 м сильная болтанка (рис. 12, 13 и 14).

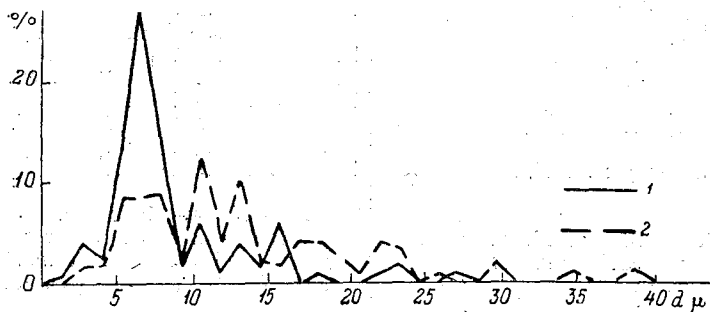


Рис. 12.

3.8 10.05. 1 — Sc (Freu) 2030 м, 2 — Cu Hum — вершина 1900 м.

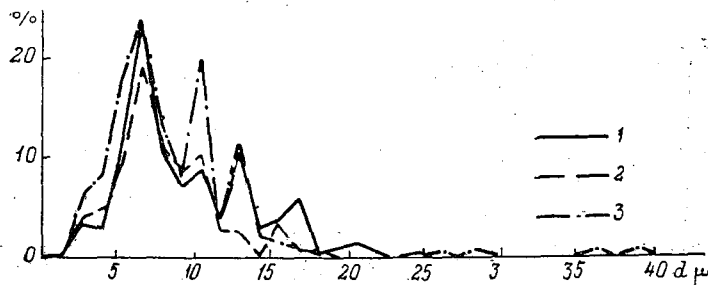


Рис. 13.

3.8 10.05. Cu Hum — середина. 1 — 1400 м, 2 — 1500 м, 3 — 1700 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

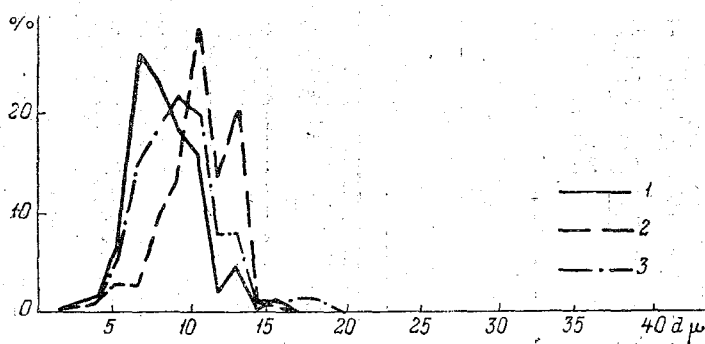


Рис. 14.

3.8 10.05. Cu hum — основание. 1 — 1050 м, 2 — 1100 м, 3 — 1000 м.

3.8 12 09—13 02
6/6 Cu cong, Sc, Frcu

40	997	19.8	57	8.3
200	978	18.1	63	8.3
500	945	14.8	74	8.1
1050	883	9.2	89	7.4
1110	876	8.2	97	7.6
1220	864	8.1	84	6.5
1590	825	6.0	75	5.3
1860	798	3.1	97	5.8
1950	789	2.9	88	5.1
2140	770	1.9	73	4.1
2170	767	1.8	57	3.4

осн. Cu
об.
вне об.
об.

С 200 м — болтанка; на 1550 м — слабая болтанка.

Основание Cu на 1070 м. Между Cu на высоте 1700 м слой Sc. Вершины Cu достигают 1800—2200 м.

3.8 15 01—15 52
3/3 Cu cong, Cu hum, Frcu

40	998	21.6	43	6.9
200	978	19.7	45	6.7
500	945	16.2	50	6.0
850	905	12.6	57	5.6
960	893	11.4	55	5.2
1000	889	11.2	57	5.3
1060	882	10.8	61	5.6
1400	846	7.2	74	5.5
1440	842	7.2	68	5.1
1530	833	6.4	75	5.3
1610	825	5.7	83	5.7
1700	815	4.6	77	5.1
1830	802	3.7	73	4.4

осн. Cu
вне об.
об.

200—750 м — болтанка.

1380 м — нижний уровень облаков. Выходили в облака у основания и на высотах 1500 и 1600 м; капли крупные (рис. 15 и 16).

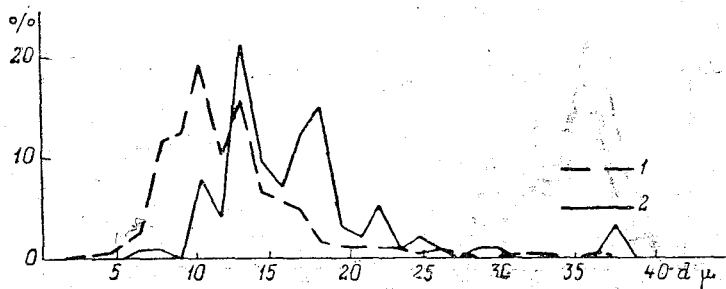


Рис. 15.

3.8 15.01. Cu hum. 1 — середина 1500 м, 2 — основание 1380 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

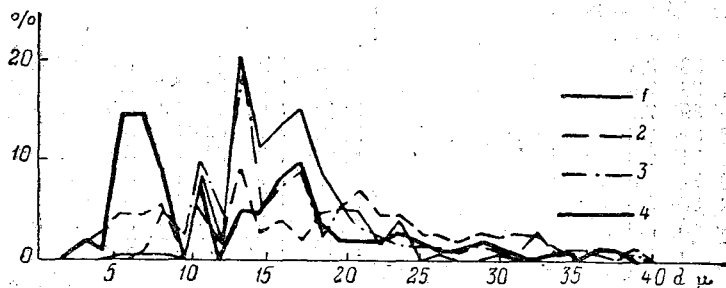


Рис. 16.

3.8 15.01. 1 — Си h_{ит} — вершина 1600 м, 2 — Си — вершина 1000 м,
3 — середина 1600 м, 4 — вершина 1650 м.

3.8 16 49—17 38
7/2 Си dens, Си, Sc, Ficu

40	998	21.2	45	7.2													
200	978	19.7	48	7.2													
500	943	16.6	53	6.6													
960	894	11.8	62	6.0													
1 000	889	11.5	65	6.1													
1 540	833	5.8	96	6.4	осн. Си												
1 620	824	5.8	78	5.3	вне об.												
1 650	821	5.4	91	6.2	об.												
1 700	816	4.7	84	5.5													
1 720	814	4.3	96	6.1	об.												
1 730	813	4.4	100	6.5	об.												
1 750	811	4.6	83	5.4	вне об.												
1 770	803	4.3	100	6.4	об.												
1 780	808	3.9	100	6.2	об.												

На востоке Си в процессе распада, некоторые переходят в Sc vesp; на западе надвигается фронт и видны облака всех ярусов, на их фоне типичные Sc vesp. На высоте 1420 м полет под облаками сопровождался болтанкой; нижняя граница Си ровная.

Входили в облака на высотах 1500, 1600—1650 и 1700—1800 м.

При посадке над Ленинградом видны Сб и полосы осадков, над Ладожским озером безоблачно (рис. 17).

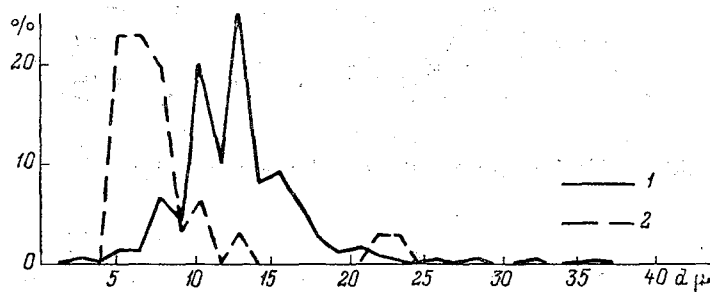


Рис. 17.

3.8 16.49. Sc сигн. 1 — середина 1600 м, 2 — вершина 1700 м.

3.8 17 57—18 15
9/3 Си, Ас, Си

40	998	17.8	69	8.9													
180	981	19.0	67	9.4													
200	978	18.8	68	9.5													
500	944	16.0	74	9.0													
1 000	888	11.3	79	7.4													
1 500	834	6.5	81	5.9													
1 580	826	5.7	84	5.8													
1 970	788	3.3	70	4.3													

2 000	785	3.1	72	4.4
2 260	760	1.6	84	4.7
2 480	739	-0.2	65	3.2
2 500	737	-0.3	67	3.2
2 750	714	-1.5	90	4.1
2 790	710	-1.3	92	4.3
3 000	691	-2.4	75	3.4

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

6.8 05 50—06 30

8/8 Cu

40	1 007	13.3	88	8.3				
200	987	12.1	88	7.9				
500	952	10.0	89	7.2				
660	933	8.8	89	6.8				
850	912	10.3	71	6.0				
1 000	895	9.2	74	6.0				
1 490	843	5.4	83	5.5				
1 570	834	5.4	75	5.0				
1 880	803	3.8	74	4.6				
2 020	788	3.2	71	4.3				
2 500	742	-0.3	75	3.7				
2 780	716	-2.5	77	3.3				
3 000	696	-3.5	64	2.6				
3 220	675	-4.4	50	2.0				
3 300	669	-4.0	42	1.7				

6.8 09 43—10 47

8/5 Sc, Cu, Ac, Frcu

40	1 007	15.8	70	7.9	2 227	1 113		
200	988	14.2	73	7.5				
430	960	11.9	78	7.1	2 227	557		
500	951	11.6	78	7.0				
780	920	10.3	80	6.8				

840	913	8.8	92	7.7	5 835	1 380	у осн. Cu
920	904	8.5	83	6.4			об.
1 210	873	6.3	82	5.6	734	255	вне об.
1 250	869	6.0	85	5.8	489	244	об.
1 350	858	5.2	88	5.7	734	489	об.
1 580	833	3.5	97	5.6			об.
1 610	830	6.1	83	5.8			об.
1 700	821	6.5	70	5.2	1 225	491	над об.
1 710	820	6.5	63	4.6			

Основание Cu около 900 м. Слой Sc с 1580 до 1670 м, его пробивают Cu; отдельные вершины Cu несколько выше 1700 м.

На высоте 1630—1650 м взята проба капель в Sc, капли мелкие. В Cu simpl входили на разных высотах, в них крупные капли, видимость 3—4 м, местами меньше (совсем темно). При спуске через облако осело много воды на козырьке и плоскостях, так что она стекала струйками.

Болтанка ощущалась со 150 м до вершин облаков, над облаками полет спокойный.

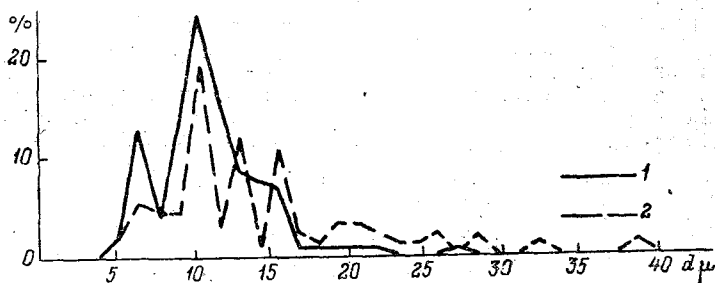


Рис. 18.

6.8 09.43. Sc. 1 — верхняя часть 1650 м, 2 — Cu — вершина 1350 м.

6.8 17 48

2/0 Cl, Ac, Cu

40	1 007	17.5	51	6.4				
200	987	16.0	53	6.1				
500	953	13.5	58	5.8				
1 000	896	9.0	59	4.7				
1 070	889	8.5	65	5.1				
1 500	842	4.4	64	4.0				
1 660	826	3.1	63	3.6				
1 860	805	3.6	43	2.7				
2 000	791	2.2	38	2.1				
2 100	781	2.7	32	1.9				
2 500	742	0.7	28	1.5				
2 940	702	-1.5	22	1.0				
3 000	697	-1.8	24	1.1				
3 320	668	-4.1	27	1.1				

10.8 05 47

4/1 Sc, Ac

40	1 010	13.7	91	8.9				
200	992	16.8	75	9.1				
260	985	18.1	68	9.0				
500	957	16.8	61	7.6				
810	922	15.0	53	6.2				
1 000	900	13.3	62	6.6				
1 420	855	9.5	83	7.2				
1 500	846	9.1	81	6.9				
2 000	796	6.0	72	5.3				
2 240	772	4.6	68	4.7				
2 500	747	3.4	60	3.8				
2 990	702	0.9	46	2.4				
3 150	688	0.9	41	2.0				
3 530	656	-2.0	67	3.2				

H	P	t°	F	q	N	N±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N±	d	v
10.8 11 26—12 32 7/7 Cu (cong, hum)																	
40	1 010	23.3	52	9.3	5 569	1 672	—	—	1 780	818	7.9	61	4.9				
200	991	21.1	56	9.0			239	3	1 860	810	7.0	75	5.9				вне об.
370	971	18.9	60	8.5	3 341	1 671			1 880	808	6.4	83	6.1				об.
610	944	14.6	88	9.9	(дождь подобл.)		225	2	2 090	787	5.2	86	6.0	178	89	288	8
820	920	15.2	68	8.0	2 227	1 670	273	3									об.
880	913	14.6	63	7.2					2 140	782	5.1	72	5.1				
1 210	877	11.8	81	7.9	2 227	1 113	265	5	2 190	777	4.7	83	5.7				об.
					у осн. Cu				2 320	765	4.1	62	2.9				
1 230	875	11.4	79	7.5					2 410	756	3.5	63	3.9	2 227	1 670		
1 270	871	10.8	75	7.0					2 410	756	3.2	58	3.7				
1 330	865	10.7	79	7.3													
1 340	864	10.8	75	7.0													
1 350	862	10.1	83	7.4			об.										
1 380	859	10.6	75	6.6			об.										
1 410	856	9.8	83	7.4													
1 480	849	9.5	78	6.9													
1 490	848	9.2	84	7.3			275	6									
							об.										
1 560	841	9.5	73	6.4													
1 570	840	8.8	82	6.9			об.										
1 600	837	8.2	85	6.9	133	133	269	6									
							об.										

Кучевые облака развились до мощных (Cu cong), а затем и до Сб; ветер слабый. На высоте 570—600 м пролетали полосы падения (крупно-капельный дождь) под основанием мощного облака; вышли из зоны дождя на высоте 700 м.

Нижняя граница Cu — около 1250 м; заходили в разные Cu на высотах 1350, 1400, 1550, 1800, 1850 и 1940 м. (рис. 19 и 20).

Болтанка небольшая в течение всего полета, „покачивает“

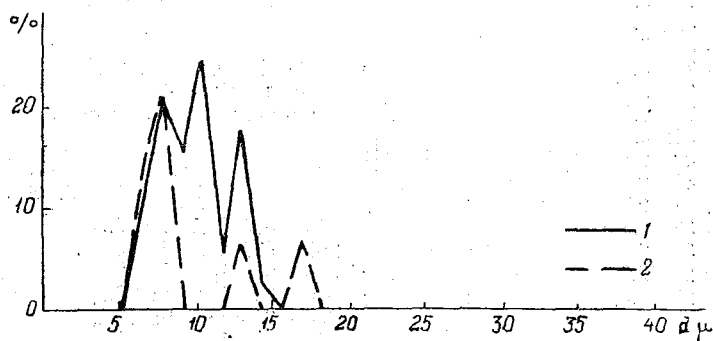


Рис. 19.

10.8 11.26. 1 — Fcu 1500 м, 2 — Cu simpl — вершина 1800 м.

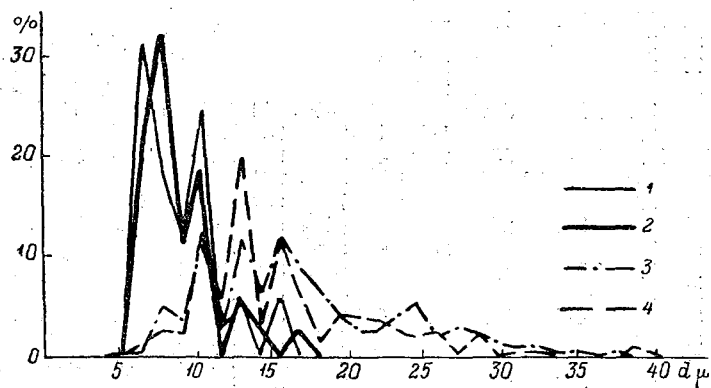


Рис. 20.

10.8 11.26. 1 — основание 1300 м, 2 — середина 1400 м, 3 — Cu hum 1500 м, 4 — Cu середина 13.0 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

10.8 17 41

3/0 Ci

40	1011	21.0	70	10.9				
200	992	20.0	70	10.5				
270	984	19.6	69	10.2				
420	966	19.6	62	9.3				
500	956	18.8	62	8.9				
930	909	14.8	72	8.4				
1000	901	14.2	63	7.1				
1500	848	10.2	64	5.9				
1580	840	9.6	65	5.8				
2000	796	6.2	74	5.5				
2230	775	4.4	78	5.2				
2300	768	3.8	79	5.1				
2500	748	2.6	78	4.8				
3000	702	-0.6	76	5.4				
3480	661	-3.8	74	3.1				
3540	656	-3.2	67	2.9				
3580	652	-3.8	70	3.0				

11.8 05 55—07 00

0/0

40	1014	15.8	97	10.7				
200	996	17.3	76	9.3				
380	975	18.9	51	7.2				
500	960	18.0	56	7.4				
1000	902	13.8	78	8.6				
1190	883	12.1	87	8.7				
1500	849	10.1	76	7.0				
2000	798	7.1	61	4.8				
2530	747	3.8	43	2.8				
2600	741	4.3	40	2.6				
2730	729	3.6	41	2.7				
2860	718	4.1	33	2.3				
2920	712	3.1	30	2.0				
2990	706	3.5	29	2.0				
3550	658	0.0	23	1.3				

11.8 08 12—09 12

7/0 Ci

40	1015	17.0	94	11.3	3 341	1 114	—	—
160	1000	16.8	80	9.6				
200	995	16.8	72	8.7			262	1
300	983	16.9	53	6.5			273	1
420	969	16.3	62	7.4	1 960	845		
500	960	15.7	69	8.1			197	1
860	919	12.8	100	10.1	1 114	557	228	4
1000	903	11.6	100	9.3	1 670	1 670		
1070	896	11.1	100	9.3				
1210	881	10.9	97	8.9	823	266		
1500	849	9.1	92	7.8			234	6
1640	835	8.3	90	7.4	1 380	823		
1940	805	6.8	82	6.2				
2000	799	6.3	83	6.1	412	145	253	6
2060	793	5.8	85	6.2				
2070	792	5.9	69	5.0				
2430	757	5.1	37	2.7	634	278		

Внизу буроватая дымка над Ленинградом.
Штиль.

100 м — граница дымки.
1200 м — горизонтальная видимость плохая; вертикальная — хорошая
1600 м — граница второго слоя дымки.
Облака нижнего яруса еще не появились.

11.8 09 59—11 05

10/0 Ci, Cc, Cu

40	1015	22.2	—	—			S	3
200	995	19.9	—	—			207	2
280	987	19.4	—	—			220	2
500	961	16.7	—	—			205	2
520	959	16.6	—	—				
520	959	15.9	—	—				
530	958	16.2	—	—				
1000	904	13.3	—	—			204	4
1040	900	13.0	—	—				
1060	898	12.3	—	—				
1110	893	11.9	—	—				
1150	888	11.6	—	—				
1150	884	11.2	—	—				
1520	848	10.4	—	—			237	6

На NE отдельные Cu lent.
Болтанка с 400 м; с 1300 м полет очень спокойный. Cu на 800 м.

11.8 10 32—11 33

10/0 Ci, Ci fil, Ac, Cu

40	1015	23.1	58	10.3				
200	995	21.7	64	10.6				
500	959	18.1	74	10.1				
680	941	15.9	81	9.8				
1000	905	13.9	95	10.4				
1030	902	13.6	97	10.5				
1500	852	11.1	85	8.3				
1600	841	10.6	83	7.9				

11.8 12 19—13 16

7/6 Cu, Frcu, Ci

40	1014	24.1	55	10.2	3 341	1 671	S	4
200	995	22.1	60	10.1			215	4
450	967	19.2	68	9.7	1 114	557	189	2
500	961	18.6	72	9.9			192	2
710	937	16.5	88	10.9			197	4
840	922	15.2	83	9.5	1 670	0		
1000	905	13.7	92	9.0	ур. об.		201	6
1050	899	13.4	92	9.7	об.			
1070	897	13.7	68	7.3	вне об.			
1080	896	13.5	83	8.8	об.			
1140	890	13.8	68	7.3	вне об.			
1200	883	13.3	69	7.4	1 114	1 025		
1260	877	13.6	66	7.3				
1490	853	12.1	56	5.8			214	8
1600	841	11.5	55	5.6	557	468		
1840	817	10.0	53	5.0				

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

2 000	801	9.3	52	4.7	485	356	239	4
2 290	773	7.8	50	4.2				
2 430	759	7.7	30	2.6	489	311	241	5

150—650 м — болтанка.

950—1000 м уровень облаков (в основания облаков не входили).
1050 м — прошли среднюю часть небольшого Си.
Вершины облаков около 1600 м (рис. 21 и 22).

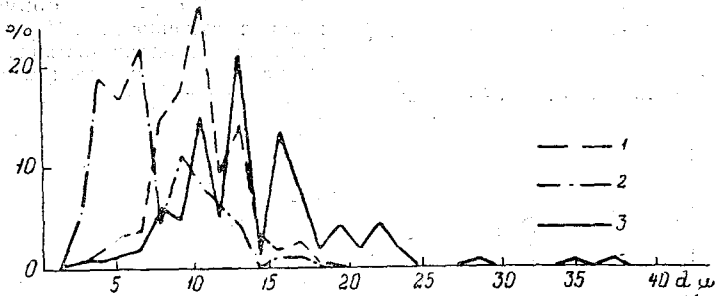


Рис. 21.

11.8 12.19. 1 — середина 1050 м, 2 — основание 1100 м, 3 — середина 1250 м.

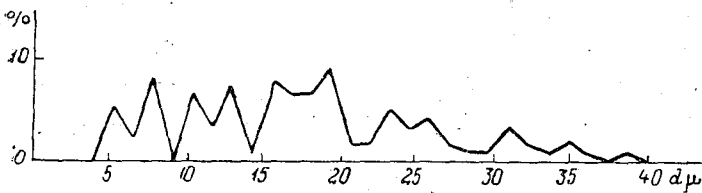


Рис. 22.

11.8 12.19. Си — вершина 1600 м.

11.8 13 25—14 47
6/6 Си (hum и simpl), Frcu

40	1 014	24.5	55	10.4
200	995	22.5	58	10.0
500	960	18.8	65	9.1
840	922	14.7	72	8.1
000	905	13.3	76	8.0
160	887	11.9	79	7.6
260	877	12.8	62	6.4
480	854	11.9	56	5.7
500	851	11.6	56	5.5
660	835	10.0	56	5.0
790	822	8.8	56	4.8
940	807	10.1	50	4.7
000	801	9.6	49	4.5
200	781	7.8	45	3.8
250	776	8.8	37	3.3
300	771	7.3	34	2.8
500	752	8.5	26	2.4
540	749	8.6	(25)	2.3
820	723	6.6	(21)	1.8
970	710	6.4	(21)	1.8
000	707	5.5	(21)	1.7
010	706	5.4	(21)	1.7
440	669	3.4	(21)	1.5

3 500	664	2.9	(21)	1.5
4 000	623	-0.8	(19)	1.1
4 050	619	-1.1	(19)	1.0
4 480	586	-3.6	(21)	1.0

11.8 14 17—15 38
5/5 Си (hum и simpl), Frcu

40	1 014	25.1	51	10.1	2 227	557	S	4
200	995	23.1	53	9.4				179 5
440	967	20.2	57	8.9	1 670	0		187 6
500	959	19.7	58	8.6				186 5
820	924	16.6	68	8.6	1 114	1 114		201 3
1 000	904	15.2	73	8.6				
1 220	881	13.6	85	9.4	423	0	ур. осн.	
							Си	
1 390	863	12.3	70	7.2				
1 390	863	11.9	86	8.7			об.	
1 400	862	12.0	83	8.3			об.	
1 400	862	12.0	76	7.6			вне об.	
1 400	862	11.8	88	8.8			об.	
1 420	860	11.6	86	8.6			об.	
1 450	857	12.2	60	6.2			вне об.	

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

1450	857	11.6	84	8.5													
1630	838	10.7	83	8.0	356	91		об.									
1700	831	10.0	85	7.8				об.									
1800	820	10.1	69	6.6				вне об.									
1870	813	9.5	60	5.3													
1960	804	10.7	48	4.7													
2000	800	10.5	47	4.6	178	178											
2240	777	9.2	40	3.7	178	178											

опалесцирует. 1150—1200 м — нижний уровень облаков (не входили). 1250 м — полет на уровне Си.

1300 м — пролетели неплотные Fcu. Влетали в разные Си на уровнях 1370 м и 1400 м. 1800 м — это примерно верхняя граница облачности. 2050 м — все облака ниже, они клубятся; болтанка прекратилась. При спуске верхняя граница облаков около 1900 м, нижняя граница — 1200 м (рис. 23 и 24).

Внизу дымка.

200—800 м — болтанка. 500 м — дымка

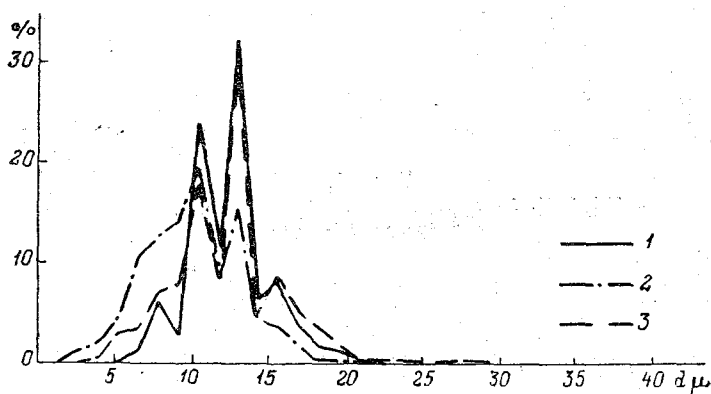


Рис. 23.

11.8 14.17. Си. 1 — основание 1350 м, 2 — середина 1470 м, 3 — середина 1370 м.

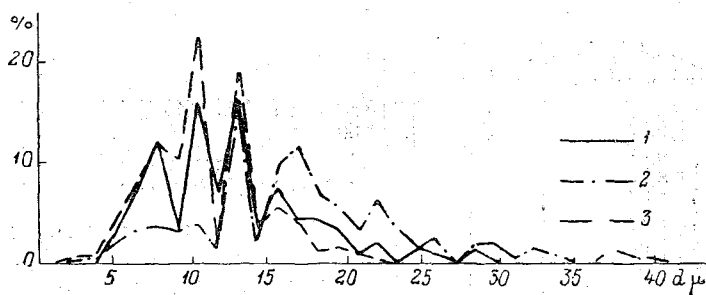


Рис. 24.

11.8 14.17. Си. 1 — вершина 1900 м, 2 — вершина 1420 м, 3 — 1400 м.

11.8 16 39—17 31																	
6/3 Си (hum и simpl), Ci																	
40	1012	24.3	57	10.6	2227	557	S	4	1130	889	12.5	81	8.2				
200	993	22.3	58	9.7			185	6	1270	874	11.5	80	7.7	734	245	ур. Fcu	
380	972	20.1	58	8.9			184	5	1300	870	10.6	94	8.6			об.	
500	959	18.8	61	8.7			186	7	1340	866	10.9	82	7.7				
750	930	16.3	67	8.3	1670	1537	187	6	1340	866	10.5	94	8.6			об.	
1000	903	13.8	77	8.3			187	7	1410	859	10.7	79	7.4				

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

1 410	859	10.1	88	7.9				об.
1 430	857	11.6	72	7.1				
1 450	855	10.7	76	7.1				
1 530	846	10.1	69	6.1			213	8

Входили в Сг на 1350, 1400, 1450 и 1500 м. Основания их повидимому около

1300 м, вершины на 1450—1520 м. Края облаков рваные, по виду это Fгсг или распадающиеся Сг.

На высоте около 1600 м полет над вершинами облаков; ядер совсем нет.

Болтанка значительно слабее, чем в предыдущие полеты

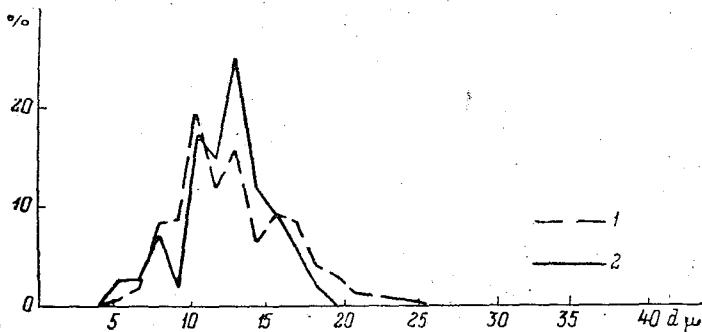


Рис. 25.

11.8 16.39. Сг. 1 — вершина 1520 м, 2 — середина 1450 м.

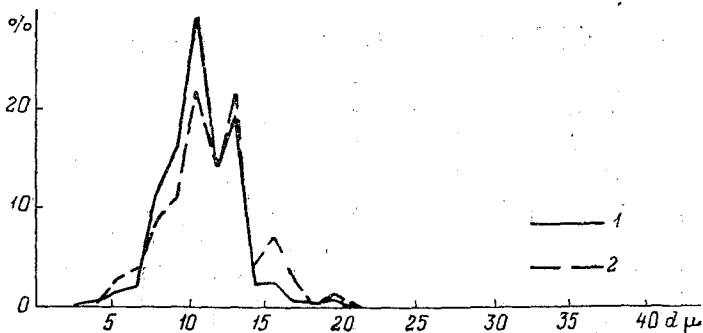


Рис. 26.

11.8 16.39. Сг. 1 — основание 1400 м, 2 — 1400 м.

11.8 17 59—18 41
1/1 Fгсг, Сг

40	1 012	24.2	57	10.8
200	992	22.7	60	10.6
500	959	19.8	66	10.0
1 000	902	15.2	76	9.1
1 450	855	11.0	85	8.2
1 500	849	11.1	77	7.5
1 690	830	11.5	51	5.1
2 000	798	9.8	46	4.4
2 500	750	7.2	38	3.3
3 000	705	4.4	29	2.1
3 520	661	1.5	21	1.3
3 560	657	1.9	18	1.2
4 000	621	-1.3	17	0.9
4 300	598	-3.0	17	0.8

S	2	4 690	569	-5.7	21	0.9
185	6	4 890	554	-7.6	23	0.8
187	8	4 920	552	-7.4	24	0.9
198	6	4 980	548	-8.4	25	0.8
		5 000	546	-8.0	26	0.9

11.8 18 33—19 27
1/0 Сг, Сг

40	1 012	23.9	59	10.9	10 023	2 227	S	2
90	1 006	23.8	55	10.1			186	6
200	993	23.1	55	9.9			185	6
420	968	21.1	56	9.2	1 670	1 113	191	7
500	959	20.5	58	9.2			187	8

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
840	921	16.9	65	8.5	1 670	0											
1 000	903	15.6	73	9.1			198	6									
1 250	876	13.7	85	9.6	1 114	557	ур. об.										
1 470	853	10.9	100	9.5			об.										
1 490	851	10.6	86	8.1			вне об.										
1 550	845	10.4	100	9.3			об.										
1 600	840	10.9	64	5.9	1 114	936	вне об.										
1 610	839	11.7	60	6.1													
1 630	837	10.4	76	7.1			верш. Sc cugen.										

Внизу дымка. 1400 м — верхняя граница дымки и здесь же нижний уровень облаков. На 1470 м заходили в облако. На 1550 м на облаках наблюдается gloria (тень самолета и радужное кольцо вокруг нее). На 1570 м и 1630 м пролетали верхнюю часть Sc (cugen) (рис. 27).

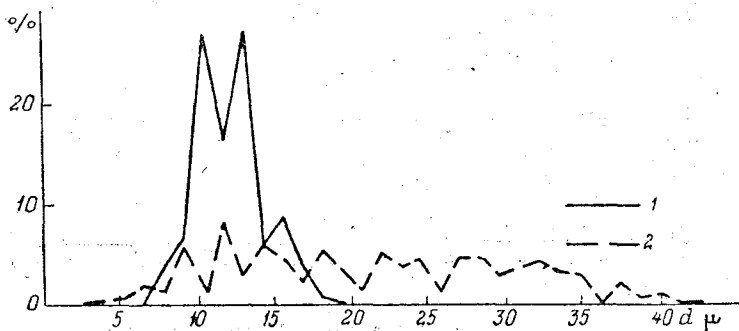


Рис. 27.
11.8 18.39. 1 — Си 1470 м, 2 — Sc — вершина 1570 м.

13.8 05 58—06 33
10/10 Си, Sc

40	1 007	15.4	85	9.3				
200	988	16.5	73	8.5				
270	980	16.9	67	8.2				
500	954	15.4	64	7.2				
960	901	12.2	59	5.8				
1 000	897	12.2	54	5.3				
1 090	887	12.2	43	4.3				
1 500	844	9.2	65	5.6				
1 780	815	7.2	79	6.2				
1 990	794	7.8	50	4.1				
2 260	768	4.8	92	6.4				
2 420	753	4.6	87	6.2				
2 500	745	4.1	86	5.8				
3 000	700	0.8	83	4.7				
3 510	655	-2.5	79	3.6				

720	928	14.4	68	7.3	ур. Си и Frcu	332	3
850	914	13.3	62	6.5	1 670 1 113		
850	914	12.8	73	7.3		об.	
850	914	13.3	65	6.7			
900	909	12.4	74	7.3		об.	
980	900	12.2	65	6.4		334	4
1 130	884	11.3	64	6.0			
1 150	882	10.2	74	6.5		об.	
1 280	868	10.2	65	5.7			
1 350	860	10.8	38	2.5	1 670 1 113		
1 500	844	10.1	34	3.1		345	2
1 650	829	9.2	31	2.7	89 89		
2 000	793	7.7	31	2.5	22 0		
2 410	754	5.0	69	5.0	22 0		

В стороне Ленинграда сильная дымка с резкой верхней границей. На уровне 700 м полет вблизи нижних оснований Си и Frcu. На 900 м входили в слабо развитое Си (ближе к верхней части); взята проба капель, капли мелкие и их много. Еще раз пролетели вершиной Си на высоте 1100 м. Сверху видно, что над Ладожским озером и Финским заливом облаков совсем нет, в северном направлении гряда слабо развитых Си по слою дымки; в южной части море кучевых облаков, некоторые из которых имеют вид castellatus (рис. 28).

13.8 09 03—10 07
2/1 Ac, Cu

40	1 007	19.8	58	8.3	13 364	4 455	W	2
200	988	18.2	66	8.6			299	2
440	960	15.9	78	9.0	7 796	2 227	314	2
440	960	16.8	65	7.5				
440	960	15.8	73	8.5				
440	960	16.8	65	8.1				
520	951	15.6	73	8.3			330	2
620	940	15.5	61	7.1				

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

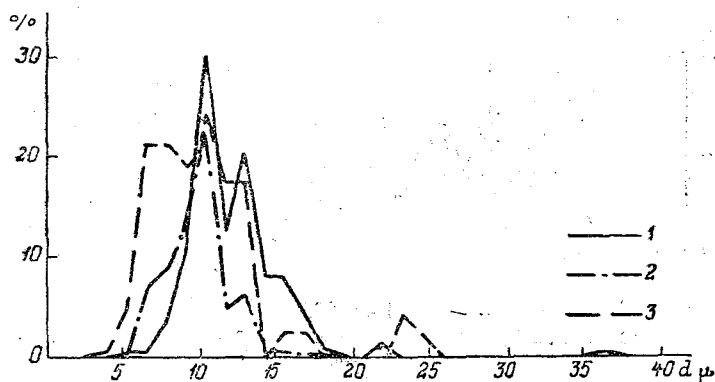


Рис. 28.

13.8 09.03. Си — вершина. 1 — 1100 м, 2 — 1600 м, 3 — 800 м.

13.8 10 38—11 35
9/1 Ac, As, Cu hum

40	1 008	21.7	48	7.9
200	988	19.0	53	7.5
480	957	15.1	60	6.7
500	954	14.9	61	6.7
970	901	10.8	66	5.9
980	900	10.9	69	6.3
1 000	898	10.9	69	6.3
1 100	887	9.8	69	5.9
1 400	854	7.8	48	3.7
1 400	854	8.1	40	3.2
1 500	843	7.7	35	2.7
1 690	824	7.1	30	2.3
1 850	808	5.0	41	2.7
1 860	807	5.4	43	3.0
1 880	805	5.6	49	3.4
2 000	793	4.9	45	3.0
2 120	781	4.2	42	2.5
2 470	748	1.8	53	3.0

13.8 12 35—13 19
10/1 Ac, As, Cu hum

40	1 008	20.8	55	8.5
200	989	18.9	57	8.0
490	956	15.4	60	6.5
490	956	15.4	65	7.0
950	904	11.2	75	6.9
960	903	11.3	66	6.1
980	901	10.9	69	6.2
1 000	899	10.7	67	6.0
1 400	855	9.1	50	4.2
1 450	850	8.2	48	3.9
1 460	849	8.2	42	3.4
1 470	848	8.4	39	3.2
1 470	848	7.9	41	3.2

W 4
290 5
304 4
337 5

1 500	845	8.5	40	3.3		290	2
1 540	841	8.9	39	3.3			
1 940	800	7.2	(25)	2.0			
2 000	794	6.1	(26)	1.9		303	5

13.8 15 59—16 57
3/2 Cu, Ci

40	1 009	22.7	47	8.2	10 023	4 451	W	5
200	989	20.9	48	7.5			286	4
410	965	18.7	50	7.0	3 897	556	280	5
500	954	17.8	52	7.0			285	6
800	921	14.6	59	6.7	7 796	5 569		
850	916	15.1	51	6.0				
1 000	899	13.1	58	6.0			299	7
1 130	885	11.3	64	6.0				
1 230	875	10.6	84	7.6	5 569	2 228	у осн. Си	
1 320	864	9.4	100	8.5			об.	
1 510	844	8.8	100	8.4			об.	
1 550	840	8.5	80	6.6			вне об.	
1 570	838	7.8	100	7.8			об.	
1 600	835	7.9	76	5.9	89	89	313	5
							вне об.	
1 740	821	6.6	83	6.1			верш. об.	
1 800	815	6.9	63	4.9			вне об.	
1 850	810	6.3	76	5.5			об.	
2 010	794	7.8	33	2.7	2 227	1 113	318	7

1350 м — уровень основания облаков.
На высоте 1400, 1500 и 1600 м заходили в облака. 1700 м проходили через вершину облака, капли очень крупные, не помещаются в поле зрения микроскопа. На облаках явление иризации.
В облаках сильная болтанка (рис. 29).

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

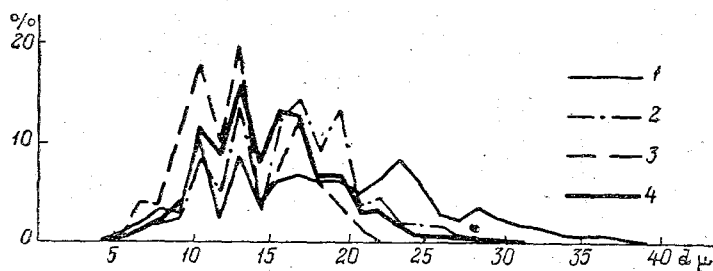


Рис. 29.

13.8 15.59. Си hum. 1 — основание 1400 м, 2 — середи а 1500 м, 3 — вершина 16 0 м, 4 — Си 2000 м.

13.8 18 00—18 55
0/0 Ci

40	1 009	20.4	59	8.8
200	990	19.2	55	7.7
500	956	16.9	49	6.1
1 000	900	13.2	39	4.7
1 080	891	12.6	37	3.8
1 520	844	8.0	67	5.3
1 810	814	8.6	31	2.6
2 030	792	6.2	34	2.5
2 100	785	6.7	33	2.6
2 500	746	4.4	35	2.4
2 880	712	2.2	37	2.4
2 980	703	2.6	36	2.3
3 000	701	2.4	35	2.2
3 060	696	2.0	32	2.0
3 120	691	2.4	28	1.8
3 450	663	-0.1	21	1.2
3 650	646	-2.3	24	1.2

14.8 06 08
6/0 Ci, Ac

40	1 011	13.8	84	8.2
180	994	18.0	68	8.8
200	991	17.8	68	8.7
500	957	15.7	71	8.2
940	907	12.6	76	7.5
1 000	900	12.7	70	7.2
1 070	893	12.8	60	6.2
1 540	843	11.2	35	3.4
1 710	825	10.6	32	3.1
2 000	797	9.0	31	2.8
2 500	749	6.2	29	2.3
2 760	725	4.8	51	3.8
3 000	703	3.6	54	3.7
3 350	673	1.6	58	3.7
3 440	665	2.6	49	3.4
3 500	660	2.6	41	2.8
3 780	637	2.4	23	1.6

14.8 08 14—09 03
3/0 Ci, Cc, Ac

W	4	40	1 009	18.6	60	7.9			SSE	5
283	6	200	989	17.8	60	7.6			168	7
281	6	410	965	16.7	60	7.3	1 670	1 113	172	11
292	3	500	954	15.9	62	7.2			173	13
		800	921	13.4	68	7.1	1 114	557		
282	4	970	900	12.3	59	5.9				
		1 000	897	12.4	56	5.9			180	10
305	5	1 090	887	12.6	46	4.6				
		1 170	878	12.0	47	4.7				
304	4	1 270	867	11.9	43	4.2	265	87		
		1 500	844	11.2	38	3.7			191	7
		1 570	836	11.1	37	3.6	534	356		
306	6	1 680	825	11.0	31	3.1				
		2 000	793	9.3	38	3.4	1 247	802	206	8
		2 010	792	9.1	38	3.5				
		2 360	759	8.2	28	2.6	4 455	3 893		

Дымка над Ленинградом.

В слое 100—400 м слабая болтанка. В 8 час. 34 мин. вдалеке над заливом (севернее Ленинграда) появились Си, до них не долетали.

Над Ленинградом бурая дымка, с более темной верхней границей; в стороне от города дымка синеватая, верхний слой белесоватый. В конце полета севернее Ленинграда наблюдалась гряда невысоких Си, в других направлениях Си нет.

14.8 10 17—11 25
9/1 Ci, Cu hum, Frcu, Ac

40	1 008	21.4	51	8.1	2 494	824	SSE	4
200	989	19.1	55	7.8			181	10
420	963	16.0	60	7.1	1 937	1 380	185	8
500	955	15.2	62	7.0			183	9
810	919	12.7	70	7.0	1 380	1 135		
900	909	11.9	71	6.7	1 225	736		

H	P	t°	F	q	N	N _±	d.	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d.	v
1 050	899	10.7	69	6.2			177	15	2 070	787	9.8 (24)	2.7					
1 160	880	10.5	59	5.4			вне об.		2 120	783	9.0 (24)	2.2					
1 160	880	9.5	76	6.4			об.		2 170	778	9.3 (23)	2.1					
1 160	880	10.3	61	5.6			вне об.		2 380	758	7.6 (23)	1.9	8 909	6 682			
1 170	879	9.8	76	6.7	1 603	378											
1 290	866	11.4	34	3.3													
1 310	864	11.1	38	3.7													
1 380	857	11.8	34	3.3													
1 500	845	11.2	30	2.9			178	14									
1 590	835	10.8	28	2.7	1 225	736											
1 800	814	10.2	26	2.5	489	489											
2 000	794	9.5	24	2.3	734	489	184	18									
2 060	788	9.4 (23)	2.1														

С 200 м началась слабая болтанка, она усилилась с 400 м; в слое 800—1200 м болтанка сильная, самолет бросало вверх и вниз на 50—80 м. Выше облаков полет спокойный.

Основание Си и Frcu на 1200 м. 1300 м — верхушки Frcu. 2000 м — полет над облаками (рис. 30).

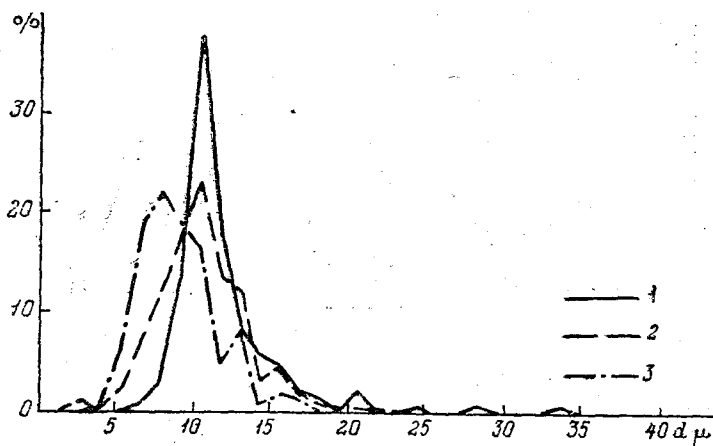


Рис. 30.

14.8 10.17. Frcu. 1 — основание 1400 м. 2 — вершина 1400 м.
3 — основание 1230 м.

14.8 10 44—11 38
10/1 Ci, Ac, Cu hum

40	1 007	20.8	53	8.1
200	988	19.2	58	8.1
500	954	16.2	67	8.0
300	897	11.4	81	7.6
160	880	9.9	85	7.4
300	876	11.3	61	5.9
320	863	12.6	47	4.9
500	844	11.4	39	3.8
310	833	10.6	34	3.3
30	821	12.3	32	3.4
100	794	10.5	30	3.0
90	748	7.6	26	2.3
80	730	7.2	39	3.4
20	717	5.8	44	3.4
00	710	5.2	42	3.2
30	708	5.8	41	3.3
00	701	5.4	44	3.5
00	658	1.5	64	4.1
00	634	-1.0	76	4.1

Основания Си около 1200 м, вершины 1500 м.

14.8 12 25—13 23
9/1 Ci, Cu, Frcu, Sc

40	1 006	21.0	53	8.3													
200	987	19.2	55	7.8													
410	962	16.8	57	7.2	2 227	1 113											
500	951	15.9	60	7.1													
810	916	12.9	68	6.9	1 114	1 114											
1 000	895	11.1	73	6.8													
1 100	885	10.2	75	6.5													
1 130	881	10.3	73	6.5													
1 150	879	9.8	72	6.2													
1 180	876	11.8	57	5.6	1 114	557											
1 260	867	8.3	79	6.2													
1 310	862	9.4	64	5.4													
1 310	862	8.8	74	6.1													
1 310	862	10.8	53	5.0													
1 350	857	9.5	55	4.8													
1 370	855	12.4	32	3.2													
1 500	841	11.7	31	3.1													
1 640	827	11.0	30	2.9	3 897	1 670											

В стороне Невы гряда Си cast. В полёте видны гряды плоских Си над Ладожским

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

озером. Прошли дважды незначительные Frcu на высоте около 1300 м.

Болтанка началась от земли и продолжалась в течение всего полета; особенно сильная болтанка в облаках.

На спуске снова прошли Frcu на высоте около 1400 м и на этой же высоте довольно долго летели в Sc, в них сильно болтало. К концу полета увеличилось количество Sc. Облачность при посадке — 10/9 Sc, Frcu, Ac (рис. 31 и 32).

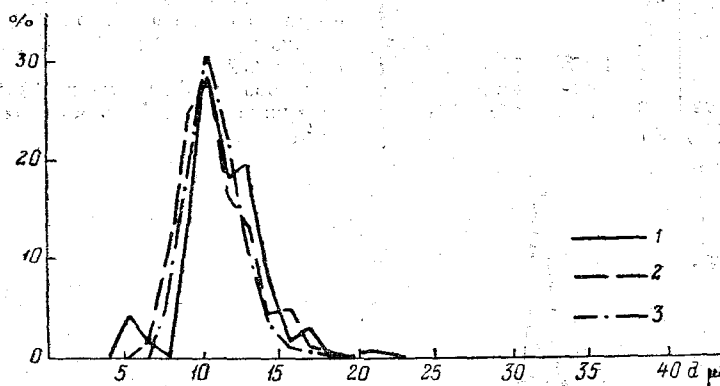


Рис. 31.

14.8 12.25.1 — Frcu 1200 м, 2 — Си — середина — 1400 м,
3 — Sc — середина — 1420 м.

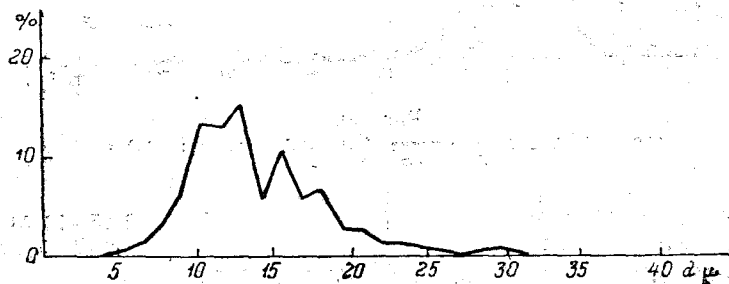


Рис. 32.

14.8 12.25. Си — вершина 1450 м.

14.8 13 13—14 02
10/5 As, Ac, Sc, Frcu

40	1 005	21.4	56	9.0
200	985	19.9	60	8.9
500	950	16.9	68	8.6
1 000	895	12.1	81	8.1
1 340	859	8.8	90	7.5
1 480	844	8.6	95	8.0
1 500	842	8.6	92	7.6
1 570	835	8.6	82	6.9
1 690	823	10.4	60	5.8
1 960	796	8.6	48	4.2
2 000	792	9.2	44	4.0
2 030	789	9.8	42	4.0

2 090	783	8.5	42	3.7
2 300	763	8.7	36	3.3
2 500	742	7.1	55	4.7
2 890	709	4.2	92	6.6
3 000	699	3.3	88	5.9
3 210	681	2.1	80	5.2
3 260	677	2.1	79	5.0
3 470	659	0.4	92	5.3
3 750	636	-1.6	71	3.7

Основание облаков около 1000 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

20.8 10 51—11 28
4/2 Ac, Cu (hum и simpl), Frcu

40	1014	20.2	71	10.6				E	6	500	958	14.7	84	9.0			106	8
200	995	18.5	75	10.0				87	6	600	946	13.9	86	8.8	1 670	556		
360	976	16.8	80	9.8				94	6	820	922	12.3	90	8.2	3 341	1 381	под об.	
450	965	15.8	75	8.8				102	7	850	919	11.8	91	8.6				
500	959	15.3	82	9.4				106	8	930	910	11.9	87	8.2				
590	950	14.8	83	9.2						960	907	10.4	98	8.4			об.	
770	929	13.7	73	7.8						1 020	900	11.3	87	8.1	1 670	556	105	8
1 000	902	11.7	74	7.1				105	8	1 090	892	10.3	97	8.3			об.	
1 220	879	9.7	75	6.5						1 190	881	10.2	90	7.8	489	489		
1 500	849	8.5	74	6.1				122	6	1 290	870	9.5	85	7.2			вне об.	
1 880	810	6.5	74	5.5						1 330	866	8.8	85	6.8	489	0		
1 950	803	6.5	62	4.6						1 400	858	8.4	83	6.7				
2 000	797	6.5	63	4.7				136	2	1 440	854	9.4	73	6.3				
2 080	790	6.5	64	4.8						1 500	847	9.1	73	6.2			122	6
2 500	749	3.3	72	4.6				213	2	1 600	837	8.7	74	6.1	734	0		
2 670	734	2.0	75	4.4						1 710	826	8.0	75	6.0				
2 820	720	1.9	75	4.4						1 920	804	6.8	67	5.1				
2 930	710	1.3	75	4.3						1 930	803	6.7	60	4.6				
3 000	704	0.6	75	4.2				251	4	1 950	801	7.2	51	4.0				
3 360	672	-2.3	78	3.6						2 000	796	6.9	54	4.2	178	89	136	2
3 500	660	-2.7	71	3.3						2 110	785	6.2	58	4.3				
3 560	655	-2.9	67	3.1						2 260	771	5.2	66	4.7				
										2 400	758	4.3	71	4.8	178	178		
										2 550	744	3.3	75	4.8			217	2

Нижняя граница Cu 900—1000 м.

20.8 11 20—12 17
10/3 Ac, Cu (hum и simpl)

40	1014	20.2	66	9.6	2 784	1 114	E	6
200	995	18.1	73	9.4			87	6
420	969	15.3	82	9.0	2 227	557	100	6

С 300 м небольшая болтанка; полет спокойный с 2000 м. На 800 м полет непосредственно под облаком; на 1000 м прошли сбоку небольшое Frcu, на 1200 м пролетели вершину Frcu (рис. 34).

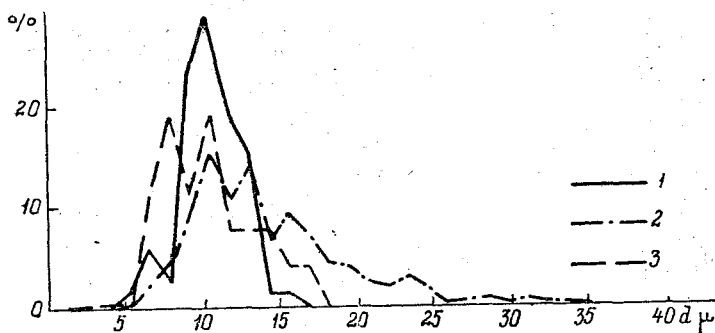


Рис. 34.

20.8 11.20. 1 — Frcu 1200 м, 2 — Cu hum 1000 м, 3 — Cu hum — основание 1400 м.

20.8 13 11—13 35
10/2 Ac, As, Cu hum, Sc cugen

40	1014	20.7	58	8.9			NE	5	910	913	12.2	75	7.3				вне об.
200	995	19.1	61	8.4			79	6	960	907	11.0	79	7.0				об.
500	959	16.1	67	7.9			95	6	1000	903	10.8	83	7.3			104	6
600	948	14.8	69	7.4					1050	897	10.6	91	7.9				об.
870	917	11.9	80	7.6			об.		1070	895	11.0	84	7.7				вне об.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

1 070	895	10.4	90	7.9				об.
1 110	891	11.5	73	6.8				вне об.
1 190	882	11.6	65	6.0				

Слабая дымка у земли. В слое 100—800 м болтанка. С 850 м болтанка прекратилась.

В 13 час. 15 мин. некоторые Си начинают растекаться в Sc.

На высоте 950 м прошли нижней частью небольшого Си, на 1000 м серединой и 1100 м вершиной Си. Эти облака типа растекающихся Си (переходящие в Sc) — они не клубятся, основания рваные (рис. 35).

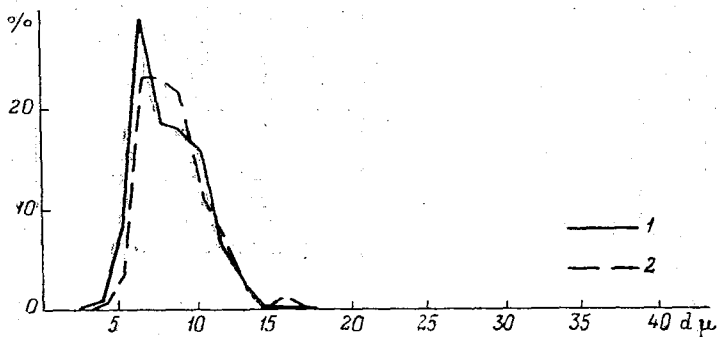


Рис. 35.

20.8 13.11. Си. 1 — вершина 1100 м, 2 — середина 1000 м.

20.8 14 04—14 47
10/2 As, Ac, Sc, Frcu

40	1 013	20.6	57	8.6
200	993	19.1	58	8.1
500	958	16.2	60	7.2
680	938	14.5	62	7.2
1 000	902	12.1	72	6.6
1 090	893	11.4	74	6.9
1 400	859	10.4	63	5.8
1 500	849	9.8	65	5.7
1 700	828	8.5	69	5.9
2 000	797	7.4	61	4.9
2 020	795	7.3	60	4.8
2 500	750	3.2	69	4.4
3 000	703	0.1	80	4.3
3 310	676	-1.8	86	4.2
3 380	670	-2.5	91	4.2
3 400	668	-1.8	74	3.6
3 500	660	-2.1	69	3.3
3 760	638	-2.9	54	2.5

—	6	1 500	848	9.1	82	6.9			149	5
64	6	1 530	846	8.9	82	6.9				
90	8	1 740	824	7.2	83	6.3				
		2 000	797	6.7	70	5.4			164	4
127	6	2 090	789	6.6	66	5.0				
		2 310	767	4.9	84	5.8			об.	
		2 470	752	3.7	75	4.9				

Слой облаков около 2300—2400 м.

20.8 18 57—19 32
10/8 As, Ac

40	1 011	18.2	71	9.1
200	992	17.4	66	8.3
250	986	17.0	65	8.0
340	976	17.6	65	8.5
500	957	16.4	64	7.7
1 000	900	12.6	61	6.1
1 060	894	12.2	62	6.1
1 170	882	12.2	57	5.6
1 500	847	9.9	69	7.6
1 620	834	9.9	70	6.3
2 000	796	7.5	82	6.6
2 210	775	6.0	90	6.7
2 500	749	4.5	65	4.5
3 000	702	2.0	57	3.5
3 310	675	0.4	81	4.5

Слой облаков 3100—3300 м.

20.8 15 08—15 34
10/7 As, Sc mat

40	1 013	19.6	66	9.3
200	994	18.5	68	9.0
500	959	16.5	73	9.0
600	947	15.8	75	8.7
900	902	12.2	95	9.1

—	—	2 000	796	7.5	82	6.6		
65	6	2 210	775	6.0	90	6.7		
95	10	2 500	749	4.5	65	4.5		
		3 000	702	2.0	57	3.5		
135	8	3 310	675	0.4	81	4.5		

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

22.8 05 50—06 54
0/0

40	1011	12.9	98	9.0				
200	992	15.2	96	10.4				
500	956	13.1	81	8.0				
690	934	11.8	79	7.4				
810	920	12.3	71	6.9				
1010	898	11.0	90	8.2				
1080	890	12.2	63	6.3				
1550	840	11.0	52	5.1				
1670	828	11.2	41	4.1				
1950	800	10.0	41	3.9				
2000	794	9.6	58	5.4				
2500	747	6.1	77	6.1				
2660	733	5.0	83	6.1				
2750	725	4.7	65	4.6				
2880	713	5.3	45	3.5				
3500	659	0.8	46	2.8				
3870	629	-1.9	36	1.8				
3940	623	-1.6	37	1.9				
4180	604	-3.0	35	1.7				

22.8 09 49—10 28
7/2 Cl, Cu, Frcu

40	1011	17.7	67	8.5				SW	4
200	993	16.2	72	8.2				234	6
500	957	13.2	81	8.0				220	8
590	947	12.4	83	7.8					
760	927	10.8	86	7.5				об.	
830	919	9.8	97	8.1				об.	
920	909	10.2	82	7.0				вне об.	
920	909	9.5	92	7.5				об.	
920	909	10.5	75	6.6				вне об.	
920	909	9.6	92	7.6				об.	
920	909	9.7	72	6.0				вне об.	
1010	899	8.6	98	7.6				об.	
1010	899	9.4	76	6.3				вне об.	
1360	861	10.3	57	5.2					

С 350 м слабая болтанка, в облаках и под ними болтанка сильная.

750—800 м — нижняя граница облаков; на высотах 880, 900 и 960 м входили в вершины небольших Си. На высоте 1350 м быстро прошли через вершину Си (рис. 36 и 37).

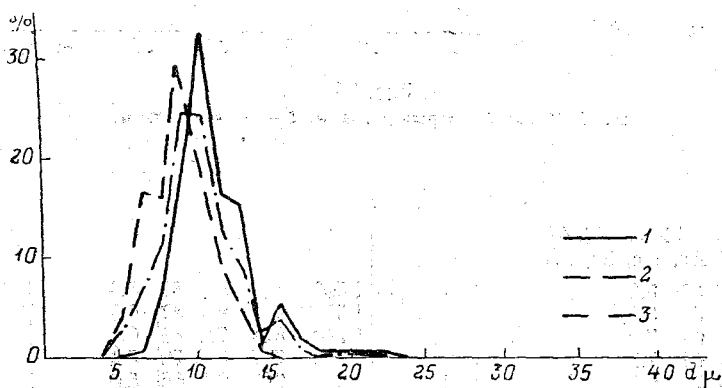


Рис. 36.

2.8 09.49. 1 — Си — вершина 1350 м, 2 — Си — середина 900 м, 3 — Frcu 700 м.

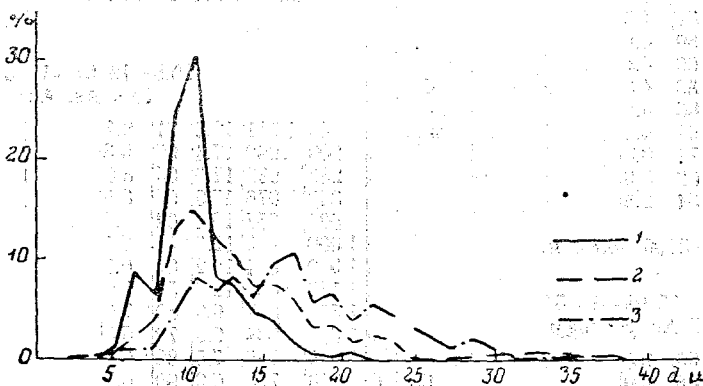


Рис. 37.

22.8 09.49. 1 — Си лит — вершина 880 м, 2 — Си — вершина 960 м, 3 — Си лит — вершина 900 м.

H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v	H	P	t°	F	q	N	N _±	d	v
---	---	----	---	---	---	----------------	---	---	---	---	----	---	---	---	----------------	---	---

22.8 10 53—12 17
9/2 Ci, Ac, Cu hum, Frcu

40	1 012	19.0	59	8.1				
200	993	16.9	64	7.8				
500	956	13.5	73	7.3				
560	950	12.8	77	7.5				
970	904	8.7	96	7.6			об.	
1 030	896	8.7	89	7.1				
1 060	893	9.1	79	6.4				
1 220	876	10.1	65	5.7				
1 500	847	10.0	57	5.2				
1 580	838	10.3	47	4.4				
2 000	796	7.4	51	4.0				
2 280	768	5.1	83	5.9				
2 470	750	4.0	83	5.6				
2 500	748	3.8	82	5.4				
2 700	729	2.6	72	4.5				
3 000	703	1.4	54	3.2				
3 040	698	1.3	(50)	2.9				

Облака на высоте около 1000 м и выше
2000 м.

22.8 11 36—12 06
10/7 Cu (simpl и hum), Ci, Ac

40	1 012	19.0	57	7.8			—	—
200	993	17.4	61	7.6			232	5
500	957	14.3	67	7.2			222	6
540	953	13.9	68	7.1				
1 000	900	8.5	95	7.4			об.	
1 040	896	8.1	97	7.3			об.	
1 090	891	9.0	88	7.1				
1 150	884	7.9	92	7.0			об.	
1 170	882	10.0	67	5.8			вне об.	
1 170	882	7.9	86	6.5			об.	
1 180	881	8.7	73	5.8			вне об.	
1 260	872	10.3	63	5.6				
1 300	868	10.5	55	5.1				

Основание Cu на высоте около 900 м,
вершины 1100—1150 м. Входили в облака
на высоте 1000 и 1150 м.

Болтанка со 100 м, особенно сильная
в облаках.

22.8 13 33—14 06
5/4 Cu (hum и simpl), Sc, Ci

40	1 012	21.2	49	7.7				
200	993	19.3	51	7.2				
500	957	15.9	55	6.5				
990	903	11.4	70	6.5				
1 150	885	10.0	70	6.2				
1 220	878	9.0	86	7.0			об.	

1 220	878	10.6	59	5.4				
1 220	878	10.0	69	6.1				об.
1 220	878	11.5	48	4.6				вне об.
1 290	870	10.5	53	4.9				
1 320	867	12.0	46	4.7				
1 510	847	10.7	44	4.1				

Начиная от земли умеренная болтанка до
облаков; выше облаков полет спокойный.

На 1150—1180 м прошли по основа-
ниям облаков; на 1200 м входили в сред-
нюю часть и в вершину Cu. Кучевые обла-
ка переходят в Sc.

При спуске на высоте 1250 м прошли
слой Sc. Облака плавают по слою дымки.

22.8 14 46—15 35
4/1 Ci dens, Cu hum, Frcu

40	1 012	21.4	47	7.5				
200	993	19.1	51	7.1				
500	957	15.0	57	6.4				
590	947	13.8	59	6.2				
1 000	901	10.1	65	5.6				
1 030	898	9.9	65	5.5				
1 030	898	10.0	64	5.5				
1 040	897	9.5	77	6.4				
1 070	894	9.0	82	6.6				
1 170	883	9.1	64	5.2				
1 440	854	7.5	58	4.3				
1 500	847	8.0	54	4.3				
1 540	843	8.4	51	4.2				
1 540	843	8.3	51	4.2				
1 990	797	6.2	60	4.4				
2 000	796	6.2	56	4.1				
2 010	795	6.2	55	4.1				

22.8 17 40—18 22
8/2 Cu, Ac

40	1 012	19.4	57	7.9				
200	993	17.8	60	7.7				
500	957	15.1	66	7.4				
1 000	902	10.4	76	6.6				
1 270	871	7.9	81	6.2				
1 490	848	7.1	65	4.8				
1 680	828	8.2	52	4.3				
1 860	810	7.9	57	4.7				
2 000	796	6.8	63	4.9				
2 500	747	2.6	83	5.1				
2 730	726	0.6	92	5.0				
3 000	702	1.2	90	5.3				
3 420	665	-3.0	88	3.9				

Размеры капель
(повторяемость разных)

Диаметр капель в μ	20.7			25.7		26.7	
	1303	—	1759	1104	1106	1349	1406
	Cu hum 1 600 м	Cu simpl (середина) 2 000 м	Frcu 1 800 м	Cu simpl (вершина) 2 000 м	Cu (вершина) 1 900 м	Cu simpl (основание) 1 450 м	Cu simpl (вершина) 2 000 м
1.3	9.6	13.6	52.5	14.7	16.3	16.7	3.5
2.6	20.2	24.3	28.6	22.6	14.1	39.0	19.7
3.9	26.2	47.6	16.7	41.4	45.0	16.7	27.4
5.2	11.6	9.7	2.4	21.4	13.3	13.9	14.8
6.5	18.4	4.9	—	—	3.0	13.9	6.3
7.8	6.4	—	—	—	—	—	1.4
9.1	4.9	—	—	—	0.9	—	1.4
10.4	0.7	—	—	—	1.7	—	1.4
11.7	0.4	—	—	—	0.9	—	1.4
13.0	0.4	—	—	—	0.9	—	3.5
14.3	0.7	—	—	—	0.9	—	1.4
15.6	—	—	—	—	0.9	—	1.4
16.9	—	—	—	—	0.9	—	1.4
18.2	0.4	—	—	—	—	—	—
19.5	—	—	—	—	—	—	2.1
20.8	—	—	—	—	—	—	0.7
22.1	—	—	—	—	0.9	—	—
23.4	—	—	—	—	—	—	1.4
24.7	—	—	—	—	—	—	—
26.0	—	—	—	—	—	—	—
27.3	—	—	—	—	0.4	—	—
28.6	0.4	—	—	—	—	—	—
29.9	—	—	—	—	—	—	2.1
31.2	—	—	—	—	—	—	—
32.5	—	—	—	—	—	—	1.4
33.8	—	—	—	—	—	—	—
35.1	—	—	—	—	—	—	0.7
36.4	—	—	—	—	—	—	—
37.7	—	—	—	—	—	—	—
39.0	—	—	—	—	—	—	—
40.3	—	—	—	—	—	—	—
41.6	—	—	—	—	—	—	—
42.9	—	—	—	—	—	—	—
44.2	—	—	—	—	—	—	0.7
45.5	—	—	—	—	—	—	—
46.8	—	—	—	—	—	—	—
48.1	—	—	—	—	—	—	—
49.4	—	—	—	—	—	—	—
50.7	—	—	—	—	—	—	—

<i>n</i>	283	103	42	75	233	36	142
------------------	-----	-----	----	----	-----	----	-----

26/VII . .	1406	266—0.7 (1);		286—0.7 (1);		292—0.7 (1);	
------------	------	--------------	--	--------------	--	--------------	--

27/VII . .	0919	51—0.2 (1);		52—0.4 (2);		55—0.4 (2);	
------------	------	-------------	--	-------------	--	-------------	--

27/VII . .	0926	270—2.5 (1);		331—2.5 (1)			
------------	------	--------------	--	-------------	--	--	--

в кучевых облаках
размеров в процентах)

27.7

0846 FrCu	0856 Cu (вершина)	0903 Cu (вершина)	0908 Cu	0919 Cu simpl (середина)	0926 Cu (вершина)	1119 Cu simpl (середина)
720 м	800 м	850 м	680 м	950 м	1 100 м	1 000 м
—	—	—	—	—	15.0	1.0
2.9	—	—	0.1	—	12.5	3.7
25.0	—	—	0.1	—	2.5	3.1
33.8	—	0.2	3.0	—	15.0	4.9
29.4	1.3	0.9	7.1	0.2	12.5	8.7
2.9	3.2	3.6	11.6	1.7	10.0	9.9
2.9	2.0	8.8	9.6	0.2	—	4.3
2.9	5.2	17.1	20.9	3.9	7.5	11.1
—	5.9	19.1	11.6	0.7	—	5.2
—	18.3	22.3	23.1	10.3	5.0	10.1
—	7.7	8.6	4.6	1.9	—	5.1
—	13.3	7.9	4.4	12.1	2.5	8.1
—	5.6	5.1	1.9	3.5	—	7.0
—	6.1	2.1	0.9	9.3	—	5.1
—	9.3	1.5	0.4	10.1	—	7.1
—	4.1	0.9	0.3	8.4	—	2.1
—	3.1	0.4	0.1	3.2	—	1.9
—	3.6	—	0.1	6.9	2.5	0.8
—	1.1	—	0.1	1.9	—	—
—	2.5	0.4	0.1	5.0	2.5	0.6
—	1.3	0.4	0.1	2.6	—	0.4
—	2.5	0.4	—	3.0	2.5	—
—	1.1	—	—	2.1	2.5	—
—	—	—	—	3.2	2.5	—
—	0.9	0.2	—	0.9	—	—
—	0.4	—	—	1.1	—	—
—	—	—	—	0.2	—	—
—	0.4	—	—	1.7	—	—
—	0.4	—	—	0.7	—	—
—	—	—	—	0.9	—	—
—	0.2	—	—	0.2	—	—
—	—	—	—	0.6	—	—
—	0.2	—	—	0.2	—	—
—	—	—	—	0.2	—	—
—	0.4	—	—	0.2	—	—
—	—	—	—	0.6	—	—
—	—	—	—	0.4	—	—
—	0.2	—	—	0.2	—	—
—	—	—	—	0.2	—	—

68 557 467 1388 536 40 515

325—0.7 (1); 364—1.4 (2); 455—0.7 (1); 520—0.7 (1)

56—0.2 (1); 58—0.4 (2); 68—0.2 (1); 69—0.2 (1);

Диаметр капель в μ	2.8					
	0952	0956	0957	1005	1008	1010
	Frcu (Sc)	Frcu (Sc)	Frcu (Sc)	Frcu (Sc)	Frcu (Sc)	Frcu (Sc)
	510 м	480 м	500 м	600 м	360 м	340 м
1.3	0.05	0.05	—	0.05	—	—
2.6	3.2	0.05	—	1.8	0.1	—
3.9	9.9	0.3	1.2	6.5	0.1	1.7
5.2	21.4	2.7	24.2	12.5	1.1	24.0
6.5	33.0	7.7	42.2	21.7	4.0	37.8
7.8	19.7	8.3	21.4	18.5	14.4	20.3
9.1	8.2	4.5	7.5	17.0	17.1	11.5
10.4	3.5	11.7	2.5	11.2	22.9	4.1
11.7	0.7	5.6	0.6	4.4	11.3	0.5
13.0	0.3	14.8	—	2.6	12.1	—
14.3	—	7.7	—	1.7	5.5	—
15.6	—	7.8	0.3	0.8	3.5	—
16.9	—	5.6	—	0.3	3.7	—
18.2	—	4.5	—	0.4	1.1	—
19.5	—	4.1	—	0.2	1.4	—
20.8	—	3.0	—	—	0.9	—
22.1	—	2.9	—	0.05	0.3	—
23.4	—	1.7	—	—	—	—
24.7	—	1.1	—	—	0.1	—
26.0	—	1.4	—	—	—	—
27.3	—	1.2	—	—	0.1	—
28.6	—	0.9	—	—	—	—
29.9	—	0.6	—	—	—	—
31.2	—	0.5	—	—	—	—
32.5	—	0.5	—	—	—	—
33.8	—	—	—	—	—	—
35.1	—	—	—	—	—	—
36.4	—	—	—	—	—	—
37.7	—	—	—	—	—	—
39.0	—	—	—	—	—	—
40.3	—	0.1	—	—	—	—
41.6	—	0.15	—	—	—	—
42.9	—	0.05	—	—	—	—
44.2	—	0.1	—	—	—	—
45.5	—	0.15	—	—	—	—
46.8	—	0.1	—	—	—	—
48.1	—	0.05	—	—	—	—
49.4	—	—	—	—	—	—
50.7	—	0.05	—	—	—	—

n	1933	2088	322	2226	1071	418
2/VIII . .	0956	51—0.05 (1);		53—0.1 (2);		
3/VIII . .	1027	101—0.4 (1);		110—0.4 (1);		
3/VIII . .	1028	58—0.6 (1);		162—0.6 (1);		
3/VIII . .	1034	78—0.2 (1);		138—0.2 (1);		
3/VIII . .	1041	82—0.85 (1);	101—0.85 (1);		103—0.85 (1);	
3/VIII . .	1049	65—0.9 (1);	68—0.9 (1);		77—0.9 (1);	

1020 Cu hum основание)	1021 Cu hum (основание)	1022 Cu hum (основание)	1027 Cu hum (середина)	1028 Cu hum (середина)	1034 Cu hum (вершина)	1041 Cu hum (вершина)	1049 Sc (Frcu)
1 000 м	1 050 м	1 100 м	1 400 м	1 500 м	1 700 м	1 900 м	2 050 м
—	—	—	—	—	0.2	—	0.9
0.2	0.7	—	3.3	6.3	3.6	1.7	4.3
0.8	1.5	0.9	2.9	8.2	4.8	1.7	2.6
5.1	6.9	2.9	11.1	17.0	9.2	8.5	13.0
14.7	26.2	2.9	23.5	23.9	19.0	8.5	27.0
18.1	23.3	9.7	10.7	13.8	11.4	9.4	13.9
21.9	18.2	13.6	7.0	8.2	9.0	2.6	1.7
20.2	15.6	28.2	8.6	10.1	20.4	12.8	6.1
7.8	1.8	13.6	3.7	2.5	4.0	4.3	0.9
8.0	4.7	20.4	10.7	2.5	11.4	10.3	4.3
1.1	—	2.9	2.9	—	2.0	2.6	1.7
1.5	1.1	0.9	3.7	3.1	1.4	1.7	6.1
0.4	—	1.9	5.8	0.6	1.2	4.3	—
—	—	1.9	0.4	0.6	0.2	4.3	0.9
—	—	—	0.8	—	—	2.6	—
—	—	—	1.2	—	—	0.85	—
—	—	—	0.4	—	—	4.3	0.9
—	—	—	—	—	—	3.4	1.7
—	—	—	0.4	—	—	—	—
—	—	—	—	—	0.4	—	—
—	—	—	—	—	—	0.85	0.9
—	—	—	—	—	0.2	—	—
—	—	—	—	—	—	1.7	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	0.2	0.85	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	0.2	0.85	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	0.2	—	0.9
—	—	—	0.4	—	—	0.85	—
—	—	—	—	—	—	—	0.9
—	—	—	0.4	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0.6	—	0.85	—

525	275	103	243	159	500	107	115
5—0.05 (1);		81—0.05 (1);		117—0.05 (1);			
18—0.4 (1);							
06—0.6 (1);		315—0.6 (1);					
49—0.2 (1);		287—0.2 (1);		370—0.2 (1);			
21—0.85 (1);		233—0.85 (1);	238—0.85 (1);	244—0.85 (1);		247—0.85 (1);	
		266—0.85 (1);	289—0.85 (1);	352—0.85 (1);		381—0.85 (1);	
31—0.9 (1);		84—1.7 (2);	88—0.9 (1);	105—0.9 (1);		113—0.9 (1);	
		114—0.9 (1);	160—0.9 (1);	173—0.9 (1);		183—0.9 (1)	

Диаметр капель в μ	3.8							
	1521	1523	1524	1536	1538	1541	1721	1730
	Си hum (осно- вание) 1 380 м	Си hum (сере- дина) 1 500 м	Си hum (вер- шина) 1 600 м	Си (сере- дина) 1 600 м	Си (вер- шина) 1 600 м	Си (вер- шина) 1 650 м	Sc cugen (сере- дина) 1 600 м	Sc cugen (вер- шина) 1 700 м
1.3	—	—	—	—	—	—	—	—
2.6	—	0.2	—	—	1.7	1.8	0.4	—
3.9	—	0.2	—	—	2.9	0.9	—	—
5.2	—	1.4	0.5	0.3	4.6	14.1	1.4	23.2
6.5	1.0	3.2	0.5	0.9	4.3	14.1	1.2	23.2
7.8	1.0	11.9	0.5	4.6	5.5	8.8	6.6	20.0
9.1	—	12.4	—	2.8	1.2	—	4.2	3.3
10.4	8.2	19.1	8.9	10.4	4.9	7.1	20.0	6.7
11.7	4.1	10.4	2.0	5.0	1.7	—	10.0	—
13.0	21.4	16.1	20.8	18.9	9.8	5.3	25.5	3.3
14.3	10.2	6.9	11.4	5.9	2.9	4.4	8.0	—
15.6	7.1	5.6	13.8	7.7	4.0	8.0	9.0	—
16.9	12.2	4.9	15.3	8.7	2.3	9.7	5.8	—
18.2	15.3	1.5	8.9	2.5	4.6	3.5	2.2	—
19.5	3.1	1.2	5.9	5.6	5.5	1.8	1.2	—
20.8	2.0	1.1	4.9	3.1	7.2	1.8	1.6	—
22.1	5.1	1.1	1.5	2.8	4.6	1.8	0.8	3.3
23.4	1.0	1.0	4.0	1.5	4.9	2.7	0.4	3.3
24.7	2.0	0.2	—	1.5	3.2	1.8	—	—
26.0	1.0	0.8	0.5	1.5	2.6	0.9	0.4	—
27.3	—	0.2	—	0.6	1.7	0.9	—	—
28.6	1.0	—	—	1.5	2.6	1.8	0.2	—
29.9	1.0	—	0.5	0.6	2.3	0.9	—	—
31.2	—	—	—	0.9	2.6	—	—	—
32.5	—	0.1	—	2.8	2.6	—	0.4	—
33.8	—	0.1	—	0.9	1.2	0.9	—	—
35.1	—	—	—	1.2	0.3	—	0.2	—
36.4	—	—	—	0.6	0.3	0.9	0.2	—
37.7	3.1	0.1	—	—	—	0.9	—	—
39.0	—	—	—	—	1.2	—	—	—
40.3	—	—	—	0.6	—	—	—	—
41.6	—	—	—	0.3	0.6	—	—	—
42.9	—	—	—	0.6	—	0.9	—	—
44.2	—	—	—	0.3	—	—	—	—
45.5	—	—	—	0.6	0.6	—	—	—
46.8	—	—	—	0.9	0.3	—	—	—
48.1	—	—	—	0.6	0.3	—	—	—
49.4	—	0.1	—	0.6	0.6	0.9	—	—
50.7	—	—	—	—	—	—	—	—

n	98	881	202	323	346	113	498	30
3/VIII . .	1536	53—0.3 (1);		55—0.3 (1);		56—0.3 (1);		57—0.3 (1)
3/VIII . .	1538	52—0.6 (2);		53—0.3 (1);		55—0.6 (2);		57—0.3 (1)
3/VIII . .	1730	101—3.3 (1);		114—3.3 (1);		332—3.3 (1);		358—3.3 (1)
6/VIII . .	1028	65—1.1 (1);		91—1.1 (1);		143—1.1 (1);		152—1.1 (1)
10/VIII . .	1205	338—14.3 (2);		546—7.1 (1);				
10/VIII . .	1228	65—0.1 (1);						

6.8		10.8					
1028 Cu (вершина)	1043 Sc (верх. ч. слоя)	1149 Cu (основание)	1151 Cu (середина)	1155 Cu (середина)	1200 Frcu	1205 Cu simpl (вершина)	1228 Cu hum
1 350 м	1 650 м	1 300 м	1 330 м	1 400 м	1 550 м	1 800 м	1 500 м
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
2.2	2.0	—	—	—	—	—	0.4
5.6	12.9	31.2	1.1	24.4	10.5	14.3	0.3
4.5	4.1	18.8	2.8	32.4	21.0	21.4	5.0
4.5	13.6	12.5	2.2	10.8	15.8	—	3.7
19.1	24.5	25.0	12.6	18.9	26.3	28.6	11.9
3.4	15.6	—	5.5	2.7	5.3	—	3.0
12.4	8.8	6.3	20.2	5.4	18.4	7.2	12.4
1.1	7.5	—	3.3	2.7	2.6	—	6.2
11.2	6.8	6.3	12.0	—	—	—	12.5
2.2	0.7	—	6.0	2.7	—	7.2	8.9
1.1	0.7	—	1.6	—	—	—	6.8
3.4	0.7	—	4.4	—	—	—	4.2
3.4	0.7	—	2.7	—	—	—	4.1
2.2	0.7	—	2.7	—	—	—	3.7
1.1	—	—	4.4	—	—	—	2.5
1.1	—	—	5.5	—	—	—	2.3
2.2	—	—	2.2	—	—	—	3.1
—	0.7	—	3.3	—	—	—	0.6
2.2	—	—	2.7	—	—	—	2.0
—	—	—	—	—	—	—	1.7
—	—	—	0.6	—	—	—	1.0
1.1	—	—	0.6	—	—	—	1.2
—	—	—	—	—	—	—	0.5
—	—	—	—	—	—	—	1.1
—	—	—	—	—	—	—	0.3
—	—	—	—	—	—	—	0.5
1.1	—	—	1.1	—	—	—	—
—	—	—	0.5	—	—	—	—
1.1	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	0.1
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	0.5	—	—	—	0.1
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

89	147	16	183	37	38	14	1035
8—0.3 (1);	62—0.3 (1);		75—0.3 (1);		88—0.3 (1);		
1—0.3 (1);	64—0.3 (1);		72—0.3 (1);		74—0.3 (1);	75—0.3 (1);	
			104—0.6 (2);		122—0.3 (1);	356—0.3 (1);	
5—1.1 (1);	162—1.1 (1);		173—1.1 (1);		188—1.1 (1);	202—2.2 (2);	
					208—1.1 (1);	244—1.1 (1);	

Диаметр капель в р.	11.8						
	1232	1307	1310	1312	1455	1459	1501
	Си (середина) 1 050 м	Си (вершина) 1 600 м	Си (середина) 1 250 м	Си (основание) 1 100 м	Си (середина) 1 370 м	Си (вершина) 1 400 м	Си (вершина) 1 420 м
1.3	—	—	—	—	—	—	—
2.6	0.6	—	0.6	6.1	1.2	0.4	0.4
3.9	1.8	—	0.6	19.2	2.2	0.7	0.4
5.2	3.1	5.2	1.2	17.1	4.7	4.6	2.2
6.5	3.7	1.7	1.8	22.2	10.7	8.1	3.1
7.8	14.8	8.6	6.2	4.0	12.7	12.0	3.5
9.1	17.9	—	4.9	11.1	14.1	10.2	3.1
10.4	26.6	6.9	15.4	8.1	19.8	22.6	3.9
11.7	9.3	3.4	4.9	6.1	8.7	2.8	1.7
13.0	14.2	7.7	21.6	4.0	15.1	19.0	15.3
14.3	3.1	0.9	1.2	—	4.3	3.5	1.7
15.6	1.8	7.7	13.6	1.0	3.7	5.6	9.2
16.9	2.5	6.9	8.0	1.0	1.7	4.2	11.8
18.2	0.6	6.9	1.8	—	0.3	1.4	7.0
19.5	—	9.5	4.3	—	0.15	1.8	5.7
20.8	—	1.7	1.8	—	0.3	0.7	3.1
22.1	—	1.7	1.8	—	0.15	0.4	6.1
23.4	—	5.2	4.3	—	—	—	3.5
24.7	—	3.4	1.8	—	—	—	1.3
26.0	—	4.3	—	—	0.15	—	2.2
27.3	—	1.7	—	—	—	—	0.4
28.6	—	0.9	—	—	—	—	1.7
29.9	—	0.9	0.6	—	—	—	1.7
31.2	—	3.4	—	—	—	—	0.4
32.5	—	1.7	—	—	—	—	1.3
33.8	—	0.9	—	—	—	—	0.4
35.1	—	1.7	—	—	—	—	—
36.4	—	0.9	0.6	—	—	—	—
37.7	—	0.6	—	—	—	1.3	—
39.0	0.9	—	—	—	—	0.4	—
40.3	—	—	—	—	—	0.4	—
41.6	—	—	—	—	—	—	—
42.9	—	—	—	—	—	0.4	—
44.2	—	—	—	—	—	—	—
45.5	—	—	—	—	—	—	—
46.8	—	—	—	—	—	—	—
48.1	—	—	—	—	—	0.4	—
49.4	—	—	—	—	—	—	—
50.7	—	—	—	—	—	—	—

n	162	116	162	99	644	284	229
11/VIII .	1307	83—0.9 (1);	87—0.9 (1);	173—0.9 (1);	218—0.9 (1)		
11/VIII .	1310	367—0.6 (1);	387—0.6 (1);	489—0.6 (1);			
11/VIII .	1455	68—0.4 (1);	239—0.4 (1);	243—0.4 (1);	281—0.4 (1)		
11/VIII .	1459	55—0.4 (1);	57—0.4 (1);	61—0.8 (2);	65—0.4 (1)		
11/VIII .	1528	200—0.7 (1);	220—0.7 (1);	221—0.7 (1);	234—0.7 (1)		

11.8

[illegible]

860	148	260	309	396	. 110	888
-0.9 (1);	289-0.9 (1);					

-0.4 (1);				
-0.4 (1);	72-0.4 (1);	74-0.4 (1);	81-0.4 (1);	101-0.4 (1);
			104-0.4 (1);	159-0.4 (1);
-0.7 (1);	351-0.7 (1)			

Диаметр капель в μ	11.8		13.8						
	1902	1908	0915	0922	0933	1623	1628	1633	1640
	Си (осно- вание) 1 470 м	Sc (верх. ч. слоя) 1 570 м	Си (вер- шина) 800 м	Си (вер- шина) 1 100 м	Си (вер- шина) 1 600 м	Си hum (осно- вание) 1 400 м	Си hum (сере- дина) 1 500 м	Си hum (вер- шина) 1 600 м	Си 2 000
1.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.9	—	0.2	0.2	—	—	—	—	—	—
5.2	—	0.4	4.8	0.4	—	0.6	—	—	0.1
6.5	—	0.6	21.2	0.4	6.7	1.6	0.6	4.0	0.7
7.8	3.8	1.9	21.3	3.2	8.9	3.2	1.9	3.6	1.6
9.1	6.9	1.3	19.2	10.5	13.3	2.7	2.2	10.8	3.4
10.4	27.0	5.8	21.2	30.2	24.4	10.5	8.4	18.0	11.1
11.7	16.4	1.3	4.8	12.5	17.8	2.2	5.0	9.6	9.2
13.0	27.0	8.4	6.2	20.6	17.8	8.7	13.8	19.6	16.0
14.3	5.7	3.0	0.8	8.1	—	3.7	4.0	3.6	7.8
15.6	8.8	6.0	0.2	7.7	2.2	6.1	12.8	7.6	13.5
16.9	3.8	4.7	0.2	4.0	2.2	6.7	14.4	12.4	12.8
18.2	0.6	2.4	0.2	0.8	—	6.0	9.4	6.4	6.8
19.5	—	5.4	—	—	—	6.1	13.4	3.6	6.6
20.8	—	3.0	—	—	—	4.8	3.7	1.2	2.8
22.1	—	1.1	—	1.2	4.4	6.4	4.4	—	3.4
23.4	—	5.1	—	—	2.2	8.4	1.9	—	1.3
24.7	—	3.9	—	—	—	6.0	1.6	—	0.9
26.0	—	4.5	—	—	—	2.6	1.9	—	0.3
27.3	—	1.3	—	—	—	2.2	0.3	—	0.3
28.6	—	4.9	—	—	—	3.5	0.3	—	0.3
29.9	—	4.9	—	—	—	2.1	—	—	0.1
31.2	—	2.8	—	—	—	1.6	—	—	0.1
32.5	—	3.9	—	—	—	1.5	—	—	0.1
33.8	—	4.1	—	—	—	0.6	—	—	—
35.1	—	3.2	—	—	—	0.5	—	—	—
36.4	—	2.8	—	0.4	—	0.6	—	—	—
37.7	—	2.4	—	—	—	0.3	—	—	—
39.0	—	0.9	—	—	—	0.2	—	—	0.1
40.3	—	0.9	—	—	—	—	—	—	—
41.6	—	2.1	—	—	—	—	—	—	—
42.9	—	1.5	—	—	—	0.2	—	—	—
44.2	—	0.2	—	—	—	—	—	—	—
45.5	—	0.9	—	—	—	—	—	—	—
45.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48.1	—	0.9	—	—	—	—	—	—	—
49.4	—	1.1	—	—	—	—	—	—	—
50.7	—	0.2	—	—	—	—	—	—	—

n 159 467 629 248 45 854 320 250 K

11/VIII . 1908 52—0.2 (1); 55—0.2 (1); 56—0.2 (1); 58—0.2 (1)

14/VIII . 1252 81—0.4 (1); 87—0.4 (1) 142—0.4 (1); 156—0.4

14.8

[illegible]

172

995

142

66

268

244

198

-0.2 (1);

62—0.2 (1);

 $69 - 0.2 \quad (1);$

74-0.2 (1);

124--0.2 (1);

-0.4 (1);

299—0.4 (1);

Диаметр капель в м	20.8						
	0956	0958	1143	1210	1213	1323	1325
	Сu (вершина) 900 м	Сu (основание) 750 м	FrCu 1 200 м	Сu hum (вершина) 1 400 м	Сu hum 1 000 м	Сu (середина) 1 000 м	Сu (вершина) 1 100 м
1.3	—	—	—	—	—	—	—
2.6	—	—	—	0.1	—	—	—
3.9	—	—	—	—	—	0.4	0.8
5.2	—	—	1.4	0.1	—	3.1	8.7
6.5	1.2	4.0	5.6	2.2	11.5	23.1	29.3
7.8	3.9	12.0	2.8	4.3	19.2	23.3	18.2
9.1	9.1	48.0	23.6	9.2	11.5	21.8	17.6
10.4	24.9	28.0	29.2	15.3	19.2	11.3	15.6
11.7	18.2	4.0	19.4	10.5	7.7	7.7	6.1
13.0	20.2	4.0	15.3	14.4	7.7	2.4	2.7
14.3	7.5	—	1.4	6.6	7.7	0.4	0.4
15.6	7.5	—	1.4	9.3	7.7	1.1	0.4
16.9	4.3	—	—	7.3	4.0	0.2	0.3
18.2	2.0	—	—	4.3	4.0	—	—
19.5	0.4	—	—	4.3	—	—	—
20.8	0.4	—	—	2.7	—	—	—
22.1	—	—	—	2.0	—	—	—
23.4	—	—	—	2.8	—	—	—
24.7	0.4	—	—	1.7	—	—	—
26.0	—	—	—	0.3	—	—	—
27.3	—	—	—	0.5	—	—	—
28.6	—	—	—	0.9	—	—	—
29.9	—	—	—	0.4	—	—	—
31.2	—	—	—	0.8	—	—	—
32.5	—	—	—	0.1	—	—	—
33.8	—	—	—	0.1	—	—	—
35.1	—	—	—	—	—	—	—
36.4	—	—	—	—	—	—	—
37.7	—	—	—	—	—	—	—
39.0	—	—	—	—	—	—	—
40.3	—	—	—	—	—	—	—
41.6	—	—	—	—	—	—	—
42.9	—	—	—	—	—	—	—
44.2	—	—	—	—	—	—	—
45.5	—	—	—	—	—	—	—
46.8	—	—	—	—	—	—	—
48.1	—	—	—	—	—	—	—
49.4	—	—	—	—	—	—	—
50.7	—	—	—	—	—	—	—

n	253	25	72	786	26	467	769
-----------	-----	----	----	-----	----	-----	-----

22/VIII .	1002	58—0.1 (1);	101—0.1 (1);
-----------	------	-------------	--------------

22/VIII .	1006	55—0.1 (1);
-----------	------	-------------

1002 Cu hum (вершина) 900 м	1004 Cu hum (вершина) 880 м	1006 Cu (вершина) 960 м	1012 Cu (вершина) 1 350 м	1015 Cu (середина) 900 м	1017 Fcu 700 м
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
0.2	—	0.1	—	—	—
0.9	1.5	0.8	—	2.9	4.3
2.5	8.7	1.0	0.5	6.8	16.9
4.4	6.4	1.9	6.5	11.7	16.1
13.3	25.0	5.4	18.1	24.7	29.5
17.8	30.7	8.1	32.6	24.4	18.5
13.3	8.2	6.8	16.3	12.6	8.7
10.5	7.2	8.4	15.3	9.1	4.7
7.4	4.9	6.2	1.4	2.6	0.8
7.5	4.0	9.7	5.6	3.9	—
6.4	1.7	10.7	1.9	0.6	—
3.2	0.5	5.9	0.5	—	—
3.5	0.2	6.9	0.5	—	—
1.8	0.7	4.0	0.5	0.3	—
2.3	—	5.5	0.5	0.3	0.4
2.0	—	4.5	—	—	—
0.5	—	3.4	—	—	—
—	—	2.4	—	—	—
0.2	0.2	1.0	—	—	—
0.3	—	2.1	—	—	—
0.6	—	1.1	—	—	—
0.5	—	0.9	—	—	—
—	—	0.8	—	—	—
0.2	—	0.8	—	—	—
0.3	—	0.7	—	—	—
—	—	0.1	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	0.4	—	—	—
—	—	0.1	—	—	—
0.1	—	—	—	—	—
—	—	0.1	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
870	404	888	215	308	254

Н. С. ШИШКИН

РОСТ ОБЛАЧНЫХ КАПЕЛЬ БЛАГОДАРИ РАЗНОСТИ СКОРОСТЕЙ ПАДЕНИЯ

Введение

В 1939 г. Финдайзен [1] дал теоретический расчет роста капель в облаке благодаря коагуляции. Он исследовал столкновения капель, падающих в облаке с разными стоксовыми скоростями, причем предполагалось, что каждое столкновение приводит к слиянию. Если облако состоит из одинаковых капель радиуса r_1 и через него падает более крупная капля, радиус которой в начальный момент равен r , то вероятность столкновения на 1 см пути равна

$$W = \pi(r + r_1)^2 n_1 \frac{\Delta v}{v}, \quad (1)$$

где $\pi(r + r_1)^2$ — эффективное сечение столкновения,

n_1 — число капель радиуса r_1 в 1 см³,

$v = \frac{2}{9} \frac{g}{\eta} r^2$ — стоксовая скорость падения,

Δv — разность скоростей падения капель с радиусами r и r_1 ,

g — земное ускорение,

η — коэффициент вязкости воздуха.

Увеличение радиуса капли за 1 столкновение дается формулой

$$\Delta r = \frac{\frac{4}{3} \pi r_1^3}{4 \pi r^2}, \quad (2)$$

если считать, что $r_1 \ll r$.

Из (1) и (2) находим увеличение радиуса капли на 1 см пути падения

$$\frac{dr}{dS} = \frac{\pi}{3} r_1^3 n_1 \left(1 + \frac{r_1}{r}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right]. \quad (3)$$

Интегрируя это выражение, Финдайзен получил для пути падения, на котором капля вырастает от радиуса r_0 до r

$$\begin{aligned} S &= \frac{3}{\pi r_1^3 n_1} \int_{r_0}^r \frac{dr}{\left(1 + \frac{r_1}{r}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right]} = \\ &= \frac{3}{\pi r_1^3 n_1} \left[r - \frac{9}{4} \frac{r_1^2}{r + r_1} + \frac{r_1^3}{4(r + r_1)^2} + \frac{1}{8} r_1 \ln \frac{r - r_1}{r_1} - \frac{17}{8} r_1 \ln \frac{r + r_1}{r_1} \right]_{r_0}^r. \end{aligned} \quad (4)$$

Заметим, что в цитированной статье [1] результат вычисления интеграла дан неверный.

Если в облаке имеются капли нескольких размеров $r_1, r_2, r_3, \dots$, то результирующую длину падения можно высчитать по формуле

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots$$

Финдайзен произвел численный подсчет для случая, когда в облаке имеются капли 4 размеров

$$\begin{aligned} r_1 &= 5\mu, & n_1 &= 150 \\ r_2 &= 10\mu, & n_2 &= 60 \\ r_3 &= 15\mu, & n_3 &= 30 \\ r_4 &= 20\mu, & n_4 &= 15 \end{aligned}$$

(это соответствует водности $1,25 \text{ г/м}^3$), а падающая сквозь облако капля имеет начальный радиус 30μ .

Оказалось, что радиус капли растет с длиной падения практически линейно, причем на пути 150 м капля вырастает до радиуса $r = 100 \mu$, а на пути 550 м до $r = 250 \mu$.

Принятие неизменности числа и размеров мелких облачных капель соответствует предположению о бесконечно медленном их росте. На самом деле в облаке имеет место рост капель всех размеров.

Первая известная нам попытка теоретического вывода формулы непрерывного распределения капель облака по размерам принадлежит Смолуховскому. Асимптотический вид распределения Смолуховского для больших времен получен Шуманом [2]. Он исходит из общей формулы для изменения числа капель данного объема v за 1 сек. , благодаря слияниям при столкновениях (предполагается, что каждое столкновение приводит к слиянию):

$$\frac{dn(v)}{dt} = -n(v) \int_0^\infty f(u, v) n(u) du + \frac{1}{2} \int_0^v f(u, v-u) n(u) n(v-u) du, \quad (5)$$

где 1-й член справа дает уменьшение числа капель объема v за счет столкновений: каплями любых размеров, а 2-й член — увеличение этого числа за счет слияния пар более мелких капель, сумма объемов которых равна v .

Предполагая, что число столкновений $f(u, v)$ (в единице объема за 1 сек.), рассчитанное на единицу концентрации капель каждого размера, не зависит от размеров капель, он нашел функцию распределения капель по размерам:

$$n(r) = \frac{25 q_w}{4 \pi r_m^6} r^2 e^{-\frac{5}{3} \frac{r^3}{r_m^3}}, \quad (6)$$

где q_w — водность облака (масса капельной воды в единице объема облака), r_m — радиус капель, дающих наибольший вклад в водность облака.

Несмотря на грубость приближения, его теоретическая кривая находится в довольно хорошем согласии с экспериментальными кривыми распределения капель туманов, полученными Хоутоном и Редфордом [3].

Входящий в формулу (6) радиус r_m в интересующем нас случае, когда рост капли происходит благодаря разности стоксовых скоростей падения, изменяется со временем по следующему закону

$$r_m = \frac{r_{m0}}{1 - 3,23 \cdot 10^5 q_w r_{m0} t}, \quad (7)$$

где r_{m0} — значение r_m в начальный момент $t = 0$. Вычисления Шумана дают рост r_m от 5μ до 15μ за время $68,7 \text{ мин.}$ при водности облака $q_w = 10^{-6} \text{ г/см}^3$.

Что касается капель, радиус которых меньше 5μ , то их рост происходит не только за счет эффектов столкновений, рассмотренных Шуманом. Действительно, если принять рост капель только за счет слияний, начиная от очень мелких размеров, меньше 1μ , то для образования нормального числа облачных капель порядка нескольких сот капель на 1 см^3 при $r_m \approx 3-5\mu$ мы должны были бы предположить, что первоначальное количество мельчайших "базисных" капель должно было составлять несколько десятков тысяч на 1 см^3 . Повидимому образование капель радиусом в несколько микрон следует отнести прежде всего за счет конденсации.

Во всяком случае вычисленное Шуманом время роста до $r_m = 5\mu$ около 2 часов при водности 1 г/м^3 является преувеличенным, в то время как приведенный выше рост r_m от начального значения 5μ представляется правильным по порядку величины.

Следует подчеркнуть, что рост r_m характеризует лишь быстроту смещения со временем максимума на кривой объемного распределения (кривой водности). Капли, превосходящие этот размер, как мы увидим ниже, растут гораздо быстрее.

Задачей данной статьи является исследование роста укрупненных капель облака (капель, радиус которых превосходит r_m), благодаря слияниям с более мелкими каплями. Рассмотрено действие эффекта разности стоксовых скоростей падения, играющего для укрупненных капель важную роль в облаках и туманах всех типов.

Вывод формулы для роста капли

Предположим, что слияния капель происходят только благодаря разности стоксовых скоростей падения, причем столкновения укрупненных капель (радиус которых превосходит r_m) друг с другом мы не будем учитывать (потому, что число их в облаке невелико и разность стоксовых скоростей падения мала).

Пользуясь формулами (1) и (2) и интегрируя по r от 0 до r_m , мы получим скорость роста укрупненной капли:

$$\frac{dr}{dt} = \int_0^{r_m} \pi(r+r_1)^2 n(r_1) \cdot \frac{2g}{9\eta} (r^2 - r_1^2) \frac{r_1^3}{r^2} dr_1. \quad (8)$$

Для вида функции распределения $n(r_1)$ мы примем выражение (6), выведенное Шуманом. Тогда

$$\frac{dr}{dt} = \frac{25}{54} \frac{gq_w}{\eta r_m^6} \int_0^{r_m} (r^4 r_1^5 + 2r^3 r_1^6 - 2r r_1^8 - r_1^9) e^{-\frac{5}{3} \frac{r_1^3}{r_m^3}} dr_1. \quad (9)$$

Интегрирование 1-го и 3-го членов выполняется элементарно, а 2-й и 4-й члены дают неполную гамма-функцию, табулированную Пирсоном.

Результат вычисления следующий:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} = \frac{1}{18} \frac{gq_w}{\eta r^2} & \left\{ \left(1 - \frac{8}{3} e^{-\frac{5}{3}}\right) r^4 + 2 \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \gamma\left(\frac{7}{3}, \frac{5}{3}\right) r_m r^3 + \right. \\ & \left. + \left(2 - \frac{73}{9} e^{-\frac{5}{3}}\right) r_m^3 r - \left[\frac{7}{5} \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{1}{3}} \gamma\left(\frac{7}{3}, \frac{5}{3}\right) - \frac{5}{3} e^{-\frac{5}{3}}\right] r_m^4 \right\}, \end{aligned} \quad (10)$$

причем

$$\gamma\left(\frac{7}{3}, \frac{5}{3}\right) = 0,473.$$

Как видно из формулы (10), рост крупных капель происходит значительно быстрее, чем рост мелких капель. Этим можно воспользоваться для приближен-

ного вычисления роста укрупненных (по отношению к каплям, дающим наибольший вклад в водность) капель путем разбиения времени их роста на этапы, для каждого из которых можно считать r_m постоянным.

Длительность каждого из этапов должна удовлетворять условию, что в знаменателе правой части формулы (7)

$$3,23 \cdot 10^5 q_w r_m t \ll 1.$$

Так как для недавно возникшей облачной массы r_{m0} порядка нескольких микрон, то при водности

$$q_w = 10^{-6} \text{ г/см}^3$$

критерий принимает вид $t \ll 10^4$ сек.

Если $q_w < 10^{-6} \text{ г/см}^3$, то число в правой части неравенства еще увеличится.

Водность облака мы будем предполагать постоянной в течение всего времени.

При этих упрощающих предположениях интегрирование уравнения (10) легко выполняется.

Полином в фигурных скобках разлагается на множители. Корни полинома находятся по способу Феррари [4] и оказываются равными

$$r_1 = 0,837 r_m; r_2 = -0,809 r_m;$$

$$r_{3,4} = (-0,819 \pm i \sqrt{0,058}) r_m.$$

Для времени роста капли от r_0 до r мы получим после интегрирования:

$$t = \frac{36,3 \eta}{q_w g r_m} \left[0,16 \ln(r - 0,837 r_m) - 7,00 \ln(r + 0,809 r_m) + \right. \\ \left. + 3,42 \ln(r^2 + 1,639 r_m r + 0,729 r_m^2) + 3,44 \arctg \frac{2r + 1,639 r_m}{0,48 r_m} \right]_{r_0}^r. \quad (11)$$

Заметим еще раз, что подсчет по этой формуле можно производить лишь для времени $t \ll 10^4$ сек. Однако, разбивая весь период роста капли на ряд этапов и учитывая рост r_m от этапа к этапу по формуле (7), можно найти увеличение радиуса капли за любой промежуток времени. При этом мы уже не пренебрегаем ростом мелких капель облака, как это делал Финдайзен.

Обсуждение результатов

Результаты подсчета для времени роста при водности облака $q_w = 10^{-6} \text{ г/см}^3$ и при начальных значениях $r_{m0} = 5 \mu$ и $r_0 = 7 \mu$ даны в табл. I.

Одновременно в двух последних столбцах приведены значения r_m для тех же промежутков времени.

Для роста укрупненной капли от $r_0 = 7 \mu$ до $r = 100 \mu$ требуется приблизительно 1 час 25 мин., если за $t = 0$ считать тот момент, когда радиус капель, дающих наибольший вклад в водность равен 5μ , а водность равна 1 г/м^3 .

Данные табл. I представлены графически на рис. 1.

Как видим, смещение максимума кривой объемного распределения (пунктирная кривая) значительно отстает от роста капель, радиус которых превосходит r_m . Наиболее быстрый рост r начинается от $15-20 \mu$, причем размер капли будет все более резко отличаться от размеров основной массы капель.

Микрофотографированием облачных капель с самолета, выполненным летом 1946 г. в Главной геофизической обсерватории И. И. Честной и В. Н. Зайцевым, действительно установлено, что в верхней части растущих кучевых облаков мощностью порядка $0,5 \text{ км}$ встречаются отдельные капли с радиусом 100μ и больше. В то же время в основании таких облаков (представляющем наиболее

Таблица 1

Время, необходимое для увеличения радиуса капли от r_0 до r

r_0 в μ	r в μ	Время роста капли от r_0 до r в сек.	r_m в μ	r_m в μ
7,0	8,0	720	5,0	5,6
8,0	9,0	570	5,6	6,4
9,0	10,0	470	6,4	7,2
10,0	11,0	380	7,2	7,9
11,0	13,0	585	7,9	9,3
13,0	15,0	330	9,3	10,3
15,0	20,0	540	10,3	12,5
20,0	25,0	390	12,5	14,8
25,0	30,0	190	14,8	16,3
30,0	40,0	285	16,3	19,1
40,0	50,0	240	19,1	22,4
50,0	70,0	250	22,4	27,4
70,0	100,0	190	27,4	33,0

молодую часть облака) наблюдались лишь мелкие капли, радиус которых обычно не превышал 10 μ .

Наш результат, с учетом того, что мы приняли завышенное значение водности облака, дает таким образом удовлетворительное согласие с опытными данными.

Конечно, для того, чтобы значительный рост размера капли мог осуществиться, она должна продолжительное время падать внутри облака. Такие условия как раз осуществляются в кучевых облаках благодаря наличию восходящих потоков.

Помимо исследования роста капель, интересно также проследить изменение со временем вида кривой распределения капель по размерам.

На рис. 2 даны кривые распределения в условных единицах:

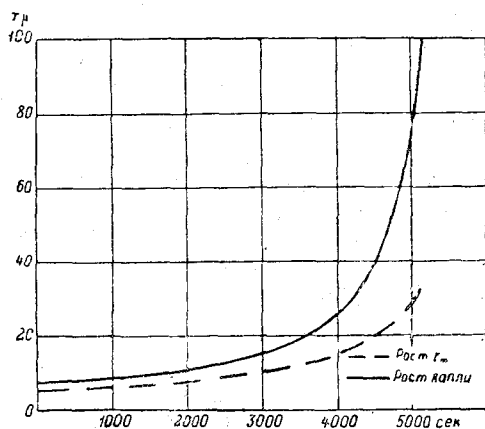


Рис. 1. Рост капли, благодаря разности Stokes'овых скоростей падения.

(5, 6, 8 μ), соответствующих разному возрасту облачной массы.

Максимум кривой распределения $n'(r)$ определяется приравнением нулю производной по r . Получается значение

$$r_m' = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} r_m \approx 0,74 r_m,$$

где r_m — радиус капель, дающих наибольший вклад в водность.

Общее число капель в единице объема облака получается интегрированием функции (6) по r :

$$N = \int_0^{\infty} n(r) dr = \frac{25 q_w}{4 \pi r_m^6} \int_0^{\infty} e^{-\frac{5}{3} \frac{r^3}{r_m^3}} r^2 dr = \frac{5 q_w}{4 \pi r_m^3} = \frac{5}{3} N_m, \quad (13)$$

где N_m — число капель в однородном облаке данной водности с радиусом кап-
пель r_m .

Из (13) для среднего объема капли $\bar{v} = \frac{q_w}{N}$ получается $\bar{v} = \frac{4}{5} \pi r_m^3$. Этот
результат уже был получен Шуманом.

Данные подсчета числа капель по формуле (13) приведены в табл. 2 для двух
значений водности: 1,00 и 0,16 г/м³.

Второе значение водности взято из опытных данных Дима [5] для облаков
(им наблюдалась водность от 0,007 до 0,65 г/м³, при среднем значении 0,16 г/м³).
По данным Хоутона, в облаках содержится 50—500 капель в 1 см³ при сред-
нем радиусе капель, дающих наибольший вклад в водность, не превосходящем 10 μ .
(что соответствует наивероятнейшему радиусу капель $r'_m = 7,4 \mu$). Наши данные:
при водности 0,16 г/м³ хорошо согласуются с этими экспериментальными резуль-
татами.

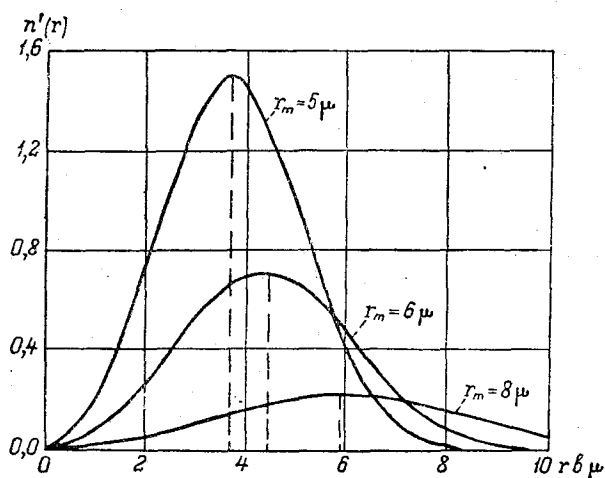


Рис. 2. Вид кривых распределения капель при разных
временах жизни облачной массы.

Таблица 2

Число капель в облаке в зависимости от его водности и радиуса r_m

Водность в г/м ³	r_m в μ									
	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50
1,00	3 300	1 600	1 100	800	550	400	50	15	7	3
0,16	530	255	175	130	90	65	8	2,4	1,1	0,5

По исследованиям Хоутона и Редфорда [3] для туманов при содержании воды
0,05—0,25 г/м³ и радиусе $r_m = (20—25) \mu$ число капель в 1 см³ равно 2—6.
С этими цифрами наши теоретические данные также находятся в хорошем согласии.

Относительно вида кривых распределения нужно сказать следующее. При ма-
лом r_m , т. е. для недавно возникшего облака (или тумана), кривая имеет резко
выраженный максимум и сравнительно узкую область значений радиусов. При
увеличении r_m , с развитием процесса коагуляции, пик становится более пологим,
а область значений более широкой; площадь кривой, характеризующая общее
число капель в 1 см³, быстро уменьшается.

Этот вывод вполне согласуется с результатами измерений размеров облачных капель методом микрофотографирования. Приведем для примера несколько графиков для разных типов облаков из статьи Дима [5] (полет № 37 22/IV 1941 г. в Си, полет № 61 10/X 1941 г. в Ns и полет № 66 22/X 1941 г. в Sc; см. рис. 3, 4, 5).

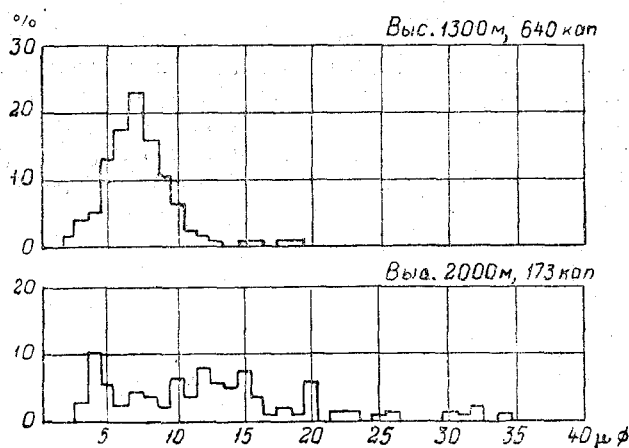


Рис. 3. Распределение капель по размерам в Си (1200—2000 м) полет 22/IV 1941 г. 10.51—11.40.

Аналогичные примеры имеются и для полетов в Си, выполненных в 1946 г. в Главной геофизической обсерватории (см. например, графики полетов 3/VIII 1946 г. от 15.37 до 15.39; 11/VIII 1946 — от 15.01 до 15.34 и 20/VIII 1946 г. от 09.57 до 09.59, помещенные в данном выпуске).

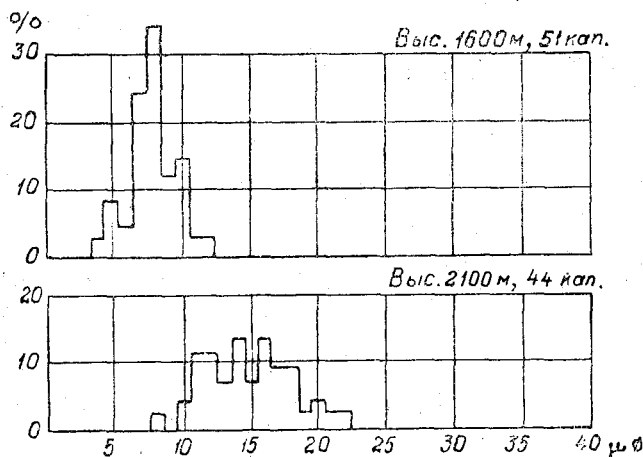


Рис. 4. Распределение капель по размерам в Ns (1200—2200 м) полет 10/X 1941 г. 08.35—09.40.

В ряде случаев экспериментальные кривые распределения имеют несколько максимумов (см. например, график функции распределения в статье Дима [5] для облаков типа Ns, вычерченный по данным всех полетов).

Это можно объяснить, с точки зрения нашей теории, следующим образом.

Если рост данной части облака происходит неравномерно и ранее возникшая облачная масса перемешивается с более молодой массой, капельки которой еще не успели укрупниться, то мы должны вычертить кривые для каждой из порций

облачной массы, имеющей соответствующее время жизни. Наложение кривых дает кривую с двумя или более максимумами.

При непрерывном подтоке влаги в облако, изменяющем его водное содержание, нужно решать задачу, аналогичную нашей, но с меняющимся q_w , например, считая q_w линейной функцией времени. Решение возможно, если вести его рядом этапов, считая на каждом из них водность не меняющейся.

Для радиационных туманов непрерывное увеличение водности достигается благодаря постепенному понижению температуры при выхолаживании, вызывающему дальнейшую конденсацию. К этому случаю можно применить тот же прием.

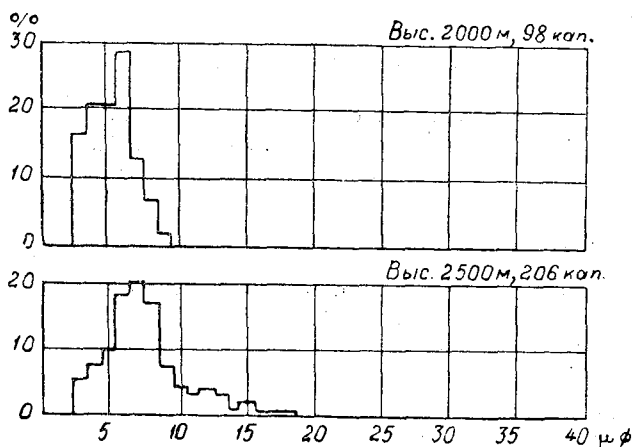


Рис. 5. Распределение капель по размерам в Sc (1500—2800 м) полет 22/X 1941 г. 09.47—10.45.

Кривые распределения в этих случаях будут иметь более размытый характер, чем кривые, вычерченные по формуле Шумана, с увеличением асимметрии в сторону крупных капель. Возможно, что рост асимметрии кривой распределения с увеличением r_m , по данным Хоутона и Редфорда, имеет именно это происхождение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Findeisen W. Met. Zschr. 56. 365. 1939.
2. Schumann T. Q. J. Roy. Met. Soc., 66. 195. 1940.
3. Houghton H. a. Radford W. Pap. in. Phys. Ocean. Met. VI. № 4. 1938.
4. Окунев Л. Я. Высшая алгебра. ГТТИ. 1940.
5. Diem M. Ann. d. Hydr. a. Maritim. Met., 70, H. V. 1942.

СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРЫ НАД ПАВЛОВСКОМ В ГРОЗОВЫЕ ДНИ

Для изучения гроз с различной степенью эффективности уже были применены все методы и средства современной синоптики: основная синоптическая карта, метод вертикальных разрезов, метод индикаторных диаграмм и, наконец, метод изэнтропического анализа.

Однако задача прогноза грозы еще слишком далека от окончательного разрешения.

Это объясняется, с одной стороны, исключительной сложностью рассматриваемого явления, с другой стороны, отсутствием достаточного количества надежных аэрологических данных и, наконец, недостаточной еще разработкой путей использования указанных методов для разрешения основных задач термодинамики атмосферы.

После введения Рефсдалем и Шоу понятия „влажнонеустойчивости“ были попытки решить задачу прогноза грозы только на основании определения запасов энергии термической неустойчивости.

В настоящее время существует несколько методов оценки этих запасов. Их различия определяются различиями в подходе к характеристике механизма нарушения равновесия.

Однако вопрос о практическом использовании этих методов не всегда ясен, поскольку механизм развития конвективной (а в особенности грозовой) облачности не установлен.

Опыт работы по анализу аэрологических зондирований показывает, что прогноз гроз не может быть основан только на учете запасов энергии термической неустойчивости. Наличие их является необходимым, но еще недостаточным условием развития гроз (см. [1]).

При изучении возможности развития грозы определение наличных запасов неустойчивости должно быть пополнено изучением процессов происходящих внутри самой облачной массы („микрофизика“ облака), а также учетом условий благоприятствующих или противодействующих высвобождению этих запасов: например, учетом физико-географических особенностей района, учетом особенностей поля токов во всей толще тропосферы и их изменений во времени, учетом изменений стратификации воздушных масс в силу развития рассматриваемой системы (циклона, фронта) в целом.

Учет большинства из этих условий возможен лишь при изучении каждой отдельной грозы на основании анализа учтенных зондирований.

Мы не имели возможности поставить такие исследования и потому не могли решать задачу „характеристики развития“ отдельных типов гроз.

В настоящее время представляется возможным исследовать лишь особенности „состояния атмосферы“ при грозах, используя для этого обычные обсерваторские наблюдения.

Знакомство с географическим распределением грозовой деятельности и ее особенностями в суточном и годовом ходе показывает, что для отдельных физико-географи-

ческих районов можно выявить процессы, которые играют доминирующую роль в формировании грозовых положений.

Выяснению процессов, играющих наиболее важную роль для развития грозовой деятельности в районе Павловска (главным образом на основании изучения термического поля атмосферы) и посвящена настоящая работа.

Нами были выписаны и рассмотрены материалы наблюдений над грозами по архивам Павловской метеорологической обсерватории за время с 1928 по 1938 гг. При этом были приняты во внимание только те случаи, когда наблюдались близкие и отдаленные грозы. Наблюдениями над зарницами пришлось пренебречь, так как в силу малой надежности наблюдений над ними можно было получить неправильные выводы. Даже в ночное время зарницы не всегда могут быть отмечены наблюдателем, днем же они не регистрируются вообще (хотя аналогичное состояние атмосферы, безусловно, возможно днем).

Общее число дней с грозами по месяцам за весь рассмотренный период времени дано в табл. 1; в ней также даны за это время средние числа дней с грозами по месяцам. Для сравнения приведены эти же данные для 39 станций Ленинградской области по десятилетнему материалу наблюдений (1926—1935 гг.), взятые из климатологического справочника.

Таблица 1

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Общее число дней с грозами в Павловске за 1928—1938 гг.	3	26	38	94	54	14	1	1
Среднемесячное число дней с грозами в Павловске за 1928—1938 гг.	0,3	2,4	3,5	8,5	5,0	1,3	0,1	0,1
Среднемесячное число дней с грозами по Ленинградской области за 1926—1935 гг.	0,5	2,4	3,5	5,8	4,2	1,1	0,1	—
Среднемесячное число дней с грозами в Павловске за 1926—1935 гг.	0,3	2	4	6	4	1	0,1	—

Из таблицы видно, что в июле и в значительной меньшей мере в августе в рассматриваемое нами время в Павловске наблюдалось большее число дней с грозами, чем в десятилетии, освещенном климатологическим справочником. Это обстоятельство связано с тем, что 1934, 1936, 1937 и отчасти 1938 гг. характеризовались активной грозовой деятельностью.

Табл. 1 показывает, что в Павловске и по Ленинградской области вообще максимум числа гроз в годовом ходе падает на июль. Число дней с грозами в мае больше, чем в сентябре, в августе больше, чем в июне. (Заметим, что по данным Горбиной [2] для условий континента ЕТС справедливо обратное).

Эта особенность не может быть объяснена условиями вертикального распределения температуры, так как по данным Е. С. Селезневой¹ вертикальный температурный градиент над Павловском в августе в среднем даже несколько меньше, чем в июне.

Однако по данным Накоренко [3] в августе средняя удельная влажность над Павловском значительно большая, чем в июне. Очевидно, это различие во влажности для развития конвекции имеет большее энергетическое значение, чем указанное различие в значениях градиентов температуры.

Распределение числа гроз по часам суток (по трехчасовым интервалам) представлено в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что суточный ход гроз в районе Павловска обычный для условий континентального климата наших широт. Время суточного максимума числа

¹ Е. С. Селезнев. „Распределение температуры над Павловском“. (Рукопись).

Таблица 2

Часы суток	0—3	3—6	6—9	9—12	12—15	15—18	18—21	21—24
Число гроз	10	6	9	36	79	58	35	17

гроз близко ко времени максимума температуры воздуха приземных слоев, а абсолютное большинство гроз приходится на время значительного притока солнечной энергии. Это указывает на то, что инсоляционное нагревание играет существенную роль в развитии грозовой деятельности рассматриваемого района.

Естественно ожидать, что грозовая деятельность отразится на состоянии полей основных метеорологических элементов как в приземных слоях воздуха, так и в свободной атмосфере, причем не только в момент развития гроз, но и при формировании грозового положения.

Установлением этих связей на основании анализа аэрологических наблюдений в Павловске (и характеристики ряда положений уже установленных в этом отношении другими авторами) мы и попытаемся решить поставленную задачу.

Давление воздуха и приземное поле токов в грозовые дни

Связь между давлением воздуха и частотой гроз изучалась целым рядом авторов: Клоссовским [4], Шерхагом [5], Колобковым [6] и др.

Их исследованиями установлено, что наибольшая частота гроз приходится на значения давления, наиболее часто встречающиеся в теплое время года. Например, для России, по данным Клоссовского, наибольшая частота гроз соответствует значениям давления около 750—760 мм.

Наибольшая же вероятность гроз, как показал Шерхаг, связана со значениями давления соответствующими циклоническими областям. Им же указывалось, что в районе Потсдама наибольшее „число гроз на грозовой день“ приходится на высокие значения давления (764,5—769,5 мм). Это обстоятельство связано с тем, что при такой обстановке развиваются преимущественно тепловые грозы. Процессы переслоения воздушных масс, происходящие при грозах этого типа, ограничиваются, повидимому, пространством, лишь незначительно превосходящим размеры грозового облака или, во всяком случае, не могут привести к нарушению общего характера наблюдаемой погоды.

Вторичный максимум „числа гроз на грозовой день“, согласно данным Шерхага, имеет место при относительно низких значениях давления (754,5—746,5 мм) и связан с многочисленными шквалами, наблюдающимися при этих условиях.

Связь между характером приземного поля токов и развитием гроз может быть охарактеризована следующими результатами, полученными Шерхагом.

Из 584 разобранных им грозовых положений оказалось, что в 561 случае грозы были связаны с циклональным изгибом изобар, в 15 случаях — с прямолинейными изобарами, в 8 случаях — антициклональным изгибом изобар. При этом Шерхаг обнаружил, что в трех случаях (из всех 15) при грозах, развивающихся в области прямолинейных изобар и в трех случаях (из всех 8) при грозах, развивающихся в областях с антициклональным искривлением изобар, воздушные потоки в верхних слоях атмосферы были перпендикулярны или противоположно направлены по отношению к приземным потокам. Следовательно, развитие гроз в области дивергентных потоков является исключением. Это положение у ряда авторов формулируется уже в виде „указания“ для прогноза грозы. Согласно последнему не следует ожидать гроз, когда даже этому благоприятствует стратификация атмосферы, если в течение прогнозируемого промежутка времени будет сохраняться или возникать антициклональное искривление изобар. Наоборот, конвергентное поле токов у земли нужно рассматривать как условие, благоприятствующее упорядоченному высвобождению наличных запасов энергии неустойчивости и следовательно развитию гроз. При анализе гроз, развивающихся в районе Павловска, эти положения полностью оправдываются.

Распределение ветра над Павловском в грозовые дни

Распределение ветра по высотам в дни с грозами нас интересовало, с одной стороны, с точки зрения выяснения преобладающего направления ветра как фактора, характеризующего основные черты адвективного переноса, с другой стороны, с точки зрения выяснения величины изменения с высотой вектора ветра как фактора, влияющего на условия вертикальной устойчивости в атмосфере.

Мы подсчитали повторяемость направления ветра на различных высотах по шаропилотным наблюдениям в грозовые дни в Павловске за 1934—1938 гг. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Направление	Высота, км						
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
В	13	16	11	6	4	6	5
ЮВ	9	8	11	11	10	10	5
Ю	36	37	38	31	21	19	15
ЮЗ	17	20	15	16	17	14	4
З	13	13	13	11	7	6	3
СЗ	5	7	4	6	5	3	2
С	6	7	6	3	2	2	2
СВ	16	4	3	2	3	3	2
Сумма . .	115	112	101	86	69	63	39

Данные этой таблицы указывают на явное преобладание в грозовые дни Павловске южных ветров.

Поскольку число наблюдений с высотой быстро убывало, то в основу наших суждений возьмем данные на высоте 4 км. Здесь число наблюдений над ветром приблизительно соответствовало числу случаев гроз, отмеченных за это время; тому же воздушный поток на этой высоте уже можно считать свободным от механического влияния земной поверхности и характерным для существующего переноса.

Сравнение повторяемости (в процентах) ветров различных направлений на этой высоте в грозовые дни со средней повторяемостью этих направлений за те же месяцы (V—IX), дано в табл. 4.

Таблица 4

	Направление							
	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ
повторяемость в грозовые дни теплого времени	11	11	38	15	13	4	6	3
средняя повторяемость за те же месяцы . . .	6	7	12	18	20	18	12	7

(Значения средней повторяемости приводятся по данным, заимствованным из сборника „Распределение ветра над СССР“).

Табл. 4 показывает, что в грозовые дни на высоте 2 км имеет место явное преобладание и в сравнении с нормой, резкое увеличение повторяемости южных ветров. На них падает в эти дни 38% от общего числа наблюдаемых случаев, в то время как многолетняя средняя повторяемость южных ветров на этой высоте и в те же месяцы составляет всего лишь 12%.

Можно отметить также некоторое увеличение повторяемости восточных и юго-восточных ветров в грозовые дни в сравнении с их средней повторяемостью. Это указывает на важную роль „в подготовке“ воздушных масс к грозообразованию процессов их трансформации в условиях континента ЕТС. Наоборот, повторяемость юго-западных, западных и особенно северо-западных и северных ветров в сравнении с нормой в грозовые дни в Павловске понижена.

Следует отметить, что эти результаты хорошо согласуются с данными, полученными при анализе поля температуры, и подтверждают справедливость сделанных там выводов.

В отношении связи грозовой деятельности со скоростью ветра различают два типа гроз:

- 1) грозы, наблюдающиеся при слабых ветрах,
- 2) грозы, наблюдающиеся при больших скоростях ветра (иногда достигающих силы шквала).

В условиях нашего района и на территории СССР вообще (как указывают Вельский, Колобков и др.) грозы при сильных ветрах наблюдаются реже. Интенсивная грозовая деятельность над большими территориями в течение длительного времени здесь обычно развивается в условиях размытого поля давления (т. е. при малых барических градиентах).

Исследованием связи грозовой деятельности с расслоением ветра по вертикали, насколько нам известно, никто не занимался.

Но тот факт, что огромное большинство даже так называемых „тепловых“ гроз наблюдается в поле седловины или вялой депрессии, или в областях разрушающихся антициклонов, указывает на неоднородность структуры воздушных масс, занимающих пространства, подверженные грозовой деятельности.

Связанное с этой неоднородностью масс расслоение ветра по высотам, являясь причиной, порождающей (при условиях, определяемых критерием Ричардсона) проявление динамической неустойчивости, может оказаться важным моментом в развитии упорядоченной конвекции и, следовательно, в развитии гроз.

Известно, что иногда, даже при наличии значительных запасов скрытой неустойчивости, на уровне конденсации облачная масса может иметь температуру ниже, чем окружающая среда. Для того чтобы могло развиваться грозовое облако нужно, чтобы на этом уровне был получен дополнительный импульс к подъему. При условиях динамической неустойчивости эта работа подъема может производиться касательными турбулентными напряжениями (см. [8]). В случае благоприятных обстоятельств облачные массы могут быть подняты до уровня „свободной конвекции“.

Если указанные условия будут осуществляться в течение длительного времени, то этого уровня могут достигнуть значительные объемы облачных масс. Энергия неустойчивости, связанная с высвобождением тепла конденсации этими уже значительными объемами, теперь в свою очередь может оказаться достаточной и для того, чтобы вынудить к подъему другие массы воздуха, лежащие даже в слоях ниже уровня конденсации. Таким образом может быть объяснено осуществление упорядоченной конвекции, особенно в зонах малоподвижных и размытых фронтов.

В этой связи следует отметить, что уже Кальваген [9] указывал, что для того, чтобы выяснить область возможного разрешения неустойчивости, необходимо знать поле токов в средних слоях тропосферы. Он особенно поэтому подчеркивал необходимость прослеживания старых фронтов окклюзии, которые обуславливают конвергентное поле токов в приземных слоях и должны давать указания на изменение режима в более высоких слоях.

Кальваген указывал, что эти старые фронты окклюзии часто превращаются в грозные области. Рефсдаль [10], указывая на то, что почти все „местные“ грозы и ливни всегда имеют „фронтальное расположение“, вслед за Кальвагеном связывал это обстоятельство с проявлением деятельности верхних фронтов, которые благоприятствуют упорядоченному подъему больших объемов воздуха. Он обращал внимание на известный из опыта факт, что прохождение размытых верхних фронтов часто находит себе выражение только во фронтальном расположении облачности и в усилении порывистости ветра. Последнее и является доказательством тому, что в этих зонах имеет место расслоение ветра и, следовательно, повышенная турбулентность.

Аналогичные указания мы находим и у Шерхага, который подчеркивает, что, например, при развитии так называемых „юго-восточных гроз“ (согласно его классификации) термическое поле атмосферы устойчиво, а развитие грозовой облачности объясняется „динамической неустойчивостью“ на поверхностях раздела.

Как уже указывалось выше, при исследовании отдельных редких случаев гроз, развивающихся в областях с прямолинейными изобарами или в областях с антициклональным искривлением изобар, Шерхаг обнаружил наличие расслоения потоков по вертикали.

Укажем, что эти представления механизма упорядоченной конвекции не требуют для развития грозных облаков восходящего движения частиц непосредственно от земной поверхности и, следовательно, вполне объясняют часто наблюдающееся развитие грозовой деятельности в вечерние и ночные часы или вообще над районами с приземными инверсиями.

Ниже, при анализе отдельных случаев гроз (например 3/VII 1938 г.) мы увидим, что по мере приближения к моменту грозы, в силу динамических процессов, связанных с приближением фронта, не обнаруживается существенных изменений стратификации предфронтальных масс. Следовательно, в этих случаях фронты являются лишь зонами реализации уже наличных запасов энергии неустойчивости, в силу осуществления описанного механизма упорядоченной конвекции.

Все это указывает, что при изучении гроз (и процессов погоды вообще) исследование особенностей распределения ветра по высотам как фактора, характеризующего динамическую турбулентность, представляет особый интерес. Было бы очень важно по распределению температуры и ветра сделать заключение о возможных изменениях турбулентной энергии.

Как известно (см., например, [11]) изменение кинетической энергии турбулентного движения определяется соотношением

$$\frac{dK'}{dt} = \iiint \left\{ \eta \left[\left(\frac{du}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 \right] - c \frac{g}{\Theta} \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right\} d\tau,$$

где K' — кинетическая энергия турбулентного движения рассматриваемого объема τ , u и v — компоненты вектора ветра,

η — коэффициент вихревого переноса количества движения,

c — коэффициент вихревого переноса количества тепла,

g — ускорение силы тяжести,

Θ — потенциальная температура.

Следовательно, эта задача должна сводиться к сравнению изменений по высоте вектора ветра с „критическими значениями“ этих изменений, вычисленными из приведенного соотношения. Но в настоящее время, в силу того что значения коэффициентов вихревого переноса количества тепла и вихревого переноса количества движения неизвестны, нахождение „критических значений“ невозможно. Поэтому мы пытались подойти к решению этого вопроса иначе.

Если считать, что за достаточно длительный интервал времени средний прирост турбулентной энергии в атмосфере должен быть равен нулю, тогда средние значения чисел Ричардсона, полученных по достаточно большому числу наблюдений за это время, должны быть близкими к их критическим значениям.

Мы считали, что если иметь в каком-либо пункте надежно полученные значения этих чисел по различным высотам для определенных отрезков времени (месяца, сезона и т. д.), то они могут иметь значения климатологической „нормы“ для характеристики турбулентности, аналогично тому значению, которое придается, например, среднему распределению температуры по высотам для характеристики термического поля атмосферы. Сравнением чисел Ричардсона, найденных, например, при грозовых положениях с их „нормальными“ значениями, можно установить особенности в значениях этих чисел на различных высотах, отражающие состояние турбулентности в атмосфере, свойственное для развития изучаемых явлений.

В виде опыта мы нашли средние значения чисел Ричардсона на различных высотах в утренние часы грозовых дней по одновременным наблюдениям над температурой и ветром за 1937 и 1938 гг. Эти числа вместе с их „нормальными“ значениями, полученными М. П. Чуриновой, приведены в табл. 5.

Таблица 5

	Толщина слоя, км									
	0,00—0,30	0,3—0,5	0,5—0,8	0,8—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,0
Средние числа Ричардсона утром грозовых дней	0,65	1,46	1,71	1,32	7,21	4,50	1,49	4,11	5,09	10,09
Число случаев	31	31	31	31	31	29	29	29	29	24
„Нормальные“ значения чисел Ричардсона для утра летнего времени	0,98	2,41	2,76	2,24	3,28	3,60	8,80	9,12	9,12	10,13

Приведенные результаты показывают, что числа Ричардсона в утренние часы при грозовых положениях до высоты 4 км (исключая слои 1,0—1,5 км) меньше их „нормальных“ значений. Эти различия наиболее существенны в слоях 2,0—3,5 км.

Возможно, что при обработке большего числа случаев значения этих чисел будут несколько исправлены. Однако важно то обстоятельство, что при грозовых положениях уже в утренние часы слои, близкие к уровню нижней границы облаков вертикального развития, в рассматриваемом районе (см. Накоренко и Токарь [14]) являются динамически неустойчивыми.

Дальнейшее увеличение турбулентного перемешивания, зародившегося в этих слоях, при благоприятном распределении температуры и влажности приведет к осуществлению описанного выше механизма упорядоченной конвекции.

При изучении отдельных случаев гроз использование данных о распределении ветра по высотам для количественной оценки устойчивости наслоения атмосферы еще более затруднительно. Несомненно, что при этом должны быть учтены слои с наиболее резкими разрывами ветра, так как именно они могут оказаться тем местом, где будет проявляться развитие турбулентности. Но эти слои далеко не всегда могут быть уловлены современными способами „стандартных“ наблюдений за ветром, особенно при обработке их по „стандартным“ высотам.

Следовательно, решение этих задач требует специально поставленных наблюдений за ветром. Вообще же вопрос о том, как нужно подходить к анализу расслоения ветра по высотам для количественной оценки устойчивости атмосферы, далек еще от окончательного разрешения.

Влажность воздуха в грозовые дни

Изучением зависимости грозовой деятельности от содержания водяного пара в воздухе также занимались многие авторы (Берг [13], Шерхаг [5], Колобков [6], Немайс [12] и др.). Установлено, что при суждениях о возможности образования гроз по наземным данным абсолютная влажность является наиболее важной характеристикой. По справедливому замечанию ряда авторов, вообще проблема гроз сводится к определению источника и переноса водяного пара.

Шерхаг по большому ряду наблюдений (1899—1917 гг.) получил для летних месяцев в Потсдаме наиболее часто встречающееся среднесуточное значение абсолютной влажности 9 мм, наибольшее же число гроз падает на дни со среднесуточными значениями абсолютной влажности 10—12 мм. Далее он показал, что вероятность грозы быстро возрастает с увеличением среднесуточных значений абсолютной влажности приземного слоя. Если, например, при значениях 10—11 мм вероятность грозы не превышает 20%, то уже при 16 мм она достигает 80%. Колобков указывает, что для ЕТС им получена совершенно аналогичная зависимость, с той лишь разницей, что при малой абсолютной влажности у земли, у нас гроз развивается еще меньше, чем в Западной Европе.

Как указал Берг, распределение абсолютной влажности воздуха сказывается и на направлении распространения гроз. Он нашел, что грозы движутся в том направлении, где абсолютная влажность наибольшая.

Надежных статистических данных (из длительных наблюдений) о распределении влажности по высотам при грозовых положениях пока не имеется. Поэтому нет окончательных выводов о связи гроз с абсолютными значениями этих величин в свободной атмосфере. Некоторые данные по этому вопросу приводит Пепплер [7]. Он получил, что от утра дня, предшествующего грозе, к утру грозового дня происходит увеличение удельной и относительной влажности до высоты 4 км. При этом наибольшее увеличение удельной влажности наблюдалось на высотах 2 и 3 км (на 0,71 г/кг и 0,57 г/кг соответственно).

Мы вычислили по данным наблюдений в Павловске для июля и августа средние значения относительной и удельной влажности в утренние часы грозовых дней.

Полученные данные вместе со средними месячными значениями влажности, введенными Накоренко, даны в табл. 6.

Из табл. 6(а) видно, что средние значения удельной влажности для утренних часов грозовых дней по всем рассматриваемым высотам больше средних месячных значений. Эти различия достигают 1,6—1,7 г/кг на высоте 0,5 км; 0,8—0,6 г/кг на высоте 3 км.

Максимум этого относительного увеличения падает на высоту 0,5 км. Несколько большие различия в сравнении с „нормой“ в слоях 1,5—4,0 км в июле, по сравнению с таковыми в августе, связаны с тем, что в июле оказалось относительно большее число зондирований с влажностью, приходящихся на случаи грозовых положений, обусловленных адвекцией неустойчиво-стратифицированных масс теплого воздуха.

Данные табл. 6(б) указывают, что в слоях 1,0—6,0 км в грозовые дни средние отклонения относительной влажности от средних месячных значений незначительны (не превосходят по абсолютной величине 4%). Внизу (в слое 0,03—0,5 км) утром в грозовые дни средние значения относительной влажности оказались существенно больше средних месячных значений, что естественно объяснить суточным ходом влажности.

Малые различия в слоях выше 1 км между средними значениями относительной влажности в утренние часы грозовых дней и их средними месячными значениями, при наличии указанных различий в значениях удельной влажности, являются отражением того, что в грозовые дни в среднем температура по высотам оказывается выше „нормы“.

Распределение средних значений относительной и удельной влажности по высотам в дневные часы грозовых дней июля дано в табл. 7 (для остальных месяцев из-за малого числа случаев эти значения не находились).

Таблица 6

	Высота, км									
	0,03	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0

а. Удельная влажность (г/кг)

Июль

Среднемесячные значения в грозовые дни	11,5	10,6	9,0	7,7	6,4	5,2	4,4	3,0	1,8	1,0
Общее число случаев	24	24	24	24	22	22	19	19	17	16
Число случаев со значением больше среднемесячной	14	19	14	15	13	12	12	12	8	9
Число случаев со значением меньше среднемесячной	10	5	10	9	9	10	7	7	9	7
Среднемесячные значения	10,3	9,0	7,7	6,4	5,3	4,5	3,6	2,6	1,6	0,9

Август

Среднемесячные значения в грозовые дни	10,6	9,8	8,1	6,6	5,6	4,5	3,6	2,2	1,3	0,8
Общее число случаев	12	12	12	12	11	11	10	10	9	9
Число случаев со значением больше среднемесячной	5	9	10	9	8	7	7	8	6	8
Число случаев со значением меньше среднемесячной	7	2	2	2	3	4	2	2	3	1
Среднемесячные значения	9,4	8,1	6,8	5,8	4,9	4,0	3,1	2,0	1,2	0,7

б. Относительная влажность (в процентах)

Июль

Среднемесячные значения в грозовые дни	84	78	74	73	70	70	67	62	53	48
Число случаев	24	24	24	24	22	22	19	19	17	16
Число случаев со значением больше среднемесячной	21	19	11	19	8	12	10	9	8	8
Число случаев со значением меньше среднемесячной	3	4	10	9	14	10	9	8	9	7
Среднемесячные значения	70	72	74	73	72	70	67	62	54	49

Август

Среднемесячные значения в грозовые дни	87	74	71	67	67	64	66	57	49	46
Число случаев	12	12	12	12	11	11	10	10	9	9
Число случаев со значением больше среднемесячной	21	8	7	6	4	7	6	4	4	5
Число случаев со значением меньше среднемесячной	1	3	5	6	7	7	4	6	5	4
Среднемесячные значения	68	68	69	70	70	67	62	56	51	47

Таблица 7

	Высота, км									
	0,03	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
а. Удельная влажность (г/кг)										
Среднемесячная в грозовые дни	11,7	10,0	9,0	7,9	6,7	5,6	4,4	3,0	1,8	0,9
Число случаев	20	20	20	17	16	15	15	14	13	11
Число случаев со значением больше среднемесячных	19	16	15	14	14	13	12	8	7	4
Число случаев со значением меньше среднемесячных	1	4	5	3	2	2	3	6	6	5
Среднемесячная	10,3	9,0	7,7	6,4	5,3	4,5	3,6	2,6	1,6	0,9
б. Относительная влажность (в процентах)										
Среднемесячная в грозовые дни	63	65	71	72	71	71	72	68	58	48
Число случаев	20	20	20	17	16	15	15	14	13	11
Число случаев со значением больше среднемесячных	8	7	9	8	8	9	10	10	8	5
Число случаев со значением меньше среднемесячных	12	12	11	9	8	5	5	4	5	6
Среднемесячная	70	72	74	73	72	70	67	62	54	49

Эта таблица показывает, что в слое 0,03—0,5 км средние значения относительной влажности в дневные часы грозových дней существенно меньше среднемесячных значений (что является результатом хорошо выраженного суточного хода). Наоборот, в слое 3,0—5,0 км можно отметить некоторое увеличение относительной влажности по сравнению со среднемесячными значениями.

Согласно данным табл. 6(а) и 7(а), различия в средних значениях удельной влажности на высотах 3,0—5,0 км в утренние и дневные часы при грозových положениях в июле не обнаруживается. У земной поверхности в среднем можно отметить небольшое увеличение удельной влажности в дневные часы по сравнению с утренними. На высоте 0,5 км в дневные часы значение удельной влажности хотя остается больше среднемесячного значения, однако по сравнению с утренними асами грозových дней оно несколько уменьшается.

Наоборот, на высотах 1,5—2,5 км при грозových положениях имеет место некоторое увеличение удельной влажности в дневные часы в сравнении с утренними. Интересно отметить, что в дневные часы при грозových положениях максимальное различие удельной влажности с „нормой“ наблюдается на высотах 1,5—3,0 км (против 0,5 км в утренние часы). Эти обстоятельства, очевидно, являются признаком сильного вертикального перемешивания, наблюдающегося в этих слоях грозových дней.

Наличие масс с большим содержанием пара (и следовательно с большими запасами скрытой неустойчивости) на уровне 1,5—2,5 км несомненно будет благоприятствовать осуществлению описанного выше механизма упорядоченной конвекции.

Отсутствие существенных изменений удельной влажности по мере приближения момента грозы в слоях выше 2,5 км и относительно малое ее абсолютное зна-

чение на этих высотах позволяет заключить, что в питании развивающихся грозовых облаков водяным паром решающая роль принадлежит слоям, лежащим ниже этой высоты. Наоборот, энергетическая роль слоев, расположенных выше 2,5 км, ничтожна. Следовательно, независимо от высоты начального нарушения равновесия, для развития грозы необходимо, чтобы оно распространилось на нижние слои, богатые водяным паром.

Особенности распределения температуры над Павловском в грозовые дни

Поскольку, по современным воззрениям, развитие грозы тесно связано с наличием положительных запасов энергии неустойчивости, то при изучении состояния атмосферы при грозах должно больше всего уделяться внимания одновременному рассмотрению полей температуры и влажности. Однако малая надежность измерений влажности на высотах заставила нас остановиться более подробно на изучении особенностей термического поля атмосферы в грозовые дни.

Некоторые авторы (Пепплер и др.) пытались решать эту задачу сравнением величин вертикальных градиентов температуры в грозовые дни и в дни, свободные от гроз.

Однако нам кажется, что для характеристики состояния термического поля атмосферы в грозовые дни лучше всего пользоваться сравнением наблюдаемого распределения температуры по вертикали с „нормальным“ (многолетним среднемесячным) распределением. Это дает возможность связывать условия развития гроз с абсолютными значениями температуры, что важно не только с точки зрения оценки запасов энергии неустойчивости, но и с точки зрения оценки возможного „влагосодержания“ облака. Во-вторых, это позволяет по величине и ходу „отклонений“ температуры от нормы получить характерные особенности вертикального распределения температуры при различных типах гроз и, тем самым, сразу получить указания на важнейшие процессы, обуславливающие формирование грозовых положений.

Нами были вычислены отклонения температуры от средних месячных значений на различных высотах для двух групп аэрологических подъемов. В первую группу вошли ночные и утренние подъемы грозовых дней, во вторую — преимущественно дневные подъемы (точнее, подъемы, произведенные за 6 часов и менее до начала грозы).

Были рассмотрены все подъемы, произведенные в Павловске в грозовые дни 1928—1938 гг. Однако при вычислении „отклонений“ в обработку включены лишь те из них, которые достигали высоты не менее 4 км.

Более подробному анализу подвергнуты утренние и ночные подъемы, так как, с одной стороны, этих наблюдений было значительно больше, а с другой — нам казалось, что дневные показания радиозондов будут менее надежными.

Для установления особенностей термического поля атмосферы в грозовые дни прежде всего был интересен вопрос о преобладающем „знаке“ поля, т. е. вопрос о том, будут ли в эти дни преобладать в сравнении со среднемесячными значениями более высокие или более низкие температуры по высотам.

Ограничивая точность современного температурного зондирования атмосферы диапазоном в $2,5^{\circ}$, мы выделяли и подсчитывали отдельно случаи положительных и отрицательных отклонений температуры, выходящих за этот предел. Представление о преобладающем знаке отклонений и о средней величине их в утренние и ночные часы грозовых дней по месяцам и для теплого времени года (V—IX) в целом дано в табл. 8.

(Величины средних отклонений вычислялись методом разностей. Для мая и сентября, из-за малого числа случаев, отдельно эти вычисления не производились)

Данные табл. 8 показывают, что в грозовые дни, по всем высотам вообще и в особенности в слое 1—3 км, имеет место явное преобладание числа поло

Таблица 8

Отклонения температуры от среднемесячных значений
(утренние и ночные подъемы)

	Высота, км										
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

Грозовые дни теплого времени года

а. Май — сентябрь

Общее число случаев	89	89	89	89	89	89	87	83	81	77	68
Число отклонений от нормы:											
положительных	54	68	74	70	64	52	57	54	55	49	44
отрицательных	35	19	15	19	25	37	30	29	26	28	24
Число отклонений от нормы, выходящих за пределы точности наблюдений:											
положительных	39	56	60	57	48	41	39	36	38	36	24
отрицательных	17	5	6	10	12	16	15	15	20	19	16
Средние значения отклонений	1,2	3,3	3,9	3,5	2,1	1,4	1,4	1,5	1,3	1,3	0,7

б. Июнь

Общее число случаев	16	16	16	16	16	16	15	15	15	14	11
Число отклонений от нормы:											
положительных	11	12	12	12	11	11	10	10	10	9	8
отрицательных	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5	3
Число отклонений от нормы, выходящих за пределы точности наблюдений:											
положительных	8	10	10	10	8	7	7	7	7	6	3
отрицательных	4	2	2	3	4	4	4	4	5	4	2
Средние значения отклонений	1,6	4,3	4,8	3,8	1,8	0,9	0,9	0,7	0,9	0,5	0,1

в. Июль

Общее число случаев	40	40	40	40	40	40	39	37	37	34	33
Число отклонений от нормы:											
положительных	24	29	32	30	28	26	24	21	22	21	21
отрицательных	16	11	8	10	12	14	15	16	15	13	12
Число отклонений от нормы, выходящих за пределы точности наблюдений:											
положительных	18	24	26	24	20	20	17	16	15	15	12
отрицательных	6	4	4	5	6	9	6	6	11	9	9
Средние значения отклонений	1,3	2,5	3,2	2,9	1,7	1,4	1,4	1,1	0,7	0,9	0,3

	Высота, км										
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

г. Август

Общее число случаев	22	22	22	22	22	22	22	20	18	18	16
Число отклонений от нормы:											
положительных	13	20	21	19	18	18	16	16	16	12	10
отрицательных	9	2	1	3	4	4	6	4	2	6	6
Число отклонений от нормы, выходящих за пределы точности наблюдений:											
положительных	9	15	16	15	13	7	9	9	8	8	7
отрицательных	5	0	0	0	2	1	1	2	2	2	3
Средние значения отклонений	1,2	3,7	4,0	3,5	2,3	1,5	1,4	1,6	1,5	1,3	0,8

жительных отклонений температуры от нормы. Так, например, в целом за теплое полугодие на высоте 1 км число положительных отклонений, выходящих за пределы указанной точности зондирования, в 10 раз больше числа таких же отри-

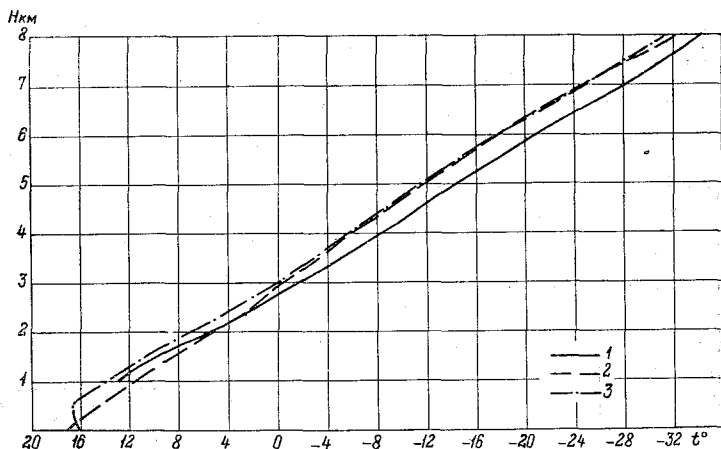


Рис. 1. Распределение по высотам средней температуры для грозовых дней августа, июня и средней месячной температуры за июль (Павловск).
1 — средняя для грозовых дней июня, 2 — средняя месячная за июль, 3 — средняя для грозовых дней августа.

цательных отклонений; на высоте 3 км число положительных отклонений в 4 раза, а на высоте 7 км почти в 2 раза больше числа отрицательных отклонений.

Это преобладание числа положительных отклонений температуры от нормы находит свое отражение и в величинах их средних значений как по каждому месяцу, так и за весь теплый период в целом.

Приведенные в табл. 8 „средние значения отклонений“ температуры от нормы, хотя сами по себе и имеют лишь некоторое условное значение, однако они указывают, что в условиях нашего района среднемесячные температуры грозовых дней будут выше „нормы“.

При этом оказывается, что средняя температура грозовых дней за август не только по всем высотам выше нормы августа, но до высоты 3 км она значи-

гельно выше июльской нормы, а с высоты 3 км и до 9 км она практически равна июльской (рис. 1).

Средние температуры грозовых дней в июне оказались не только выше средне-месячных значений этого месяца по всем высотам, но в слое 1—2 км даже несколько выше июльской нормы (см. рис. 1).

Если учесть, что среднемесячные значения температуры по высотам были выведены Е. С. Селезневой на основании одновременной обработки утренних и дневных зондирований, то окажется, что все указанные различия в сторону более высоких температур в слоях, подверженных влиянию суточного хода ее, в утренние часы грозовых дней приобретут еще большие значения.

Вычисленные нами отклонения температур от нормы на высотах отдельно для дневных подъемов в грозовые дни (точнее, для подъемов, произведенных за 6 часов и менее перед грозой, куда, однако, вошли в основном дневные подъемы) приведены в табл. 9.

Таблица 9

Отклонения температур в грозовые дни теплого времени года (V—IX) от средне-месячных значений (подъемы за 6 часов и менее перед грозой)

	Высота, км										
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Общее число случаев	48	48	48	48	48	48	47	45	40	37	29
Число отклонений от нормы, выходящих за пределы установленной точности наблюдений:											
положительных	48	45	42	38	35	31	30	30	28	22	13
отрицательных	0	3	6	10	13	17	17	15	12	15	16
Число отклонений от нормы, выходящих за пределы установленной точности наблюдений:											
положительных	45	39	34	31	26	23	24	22	22	15	9
отрицательных	0	2	2	4	7	8	7	7	9	9	10
Среднее значение отклонений	7,8	5,7	4,8	3,7	2,4	1,6	1,6	1,9	1,8	1,4	0,3

Некоторое увеличение значений „средних отклонений“ днем в слоях средней и верхней тропосферы, в сравнении с теми же значениями, полученными по утренним и ночным подъемам, объясняются целым рядом причин. Могли сказаться инерция приборов (что обусловит днем, при больших градиентах в среде, несколько завышенные показания температуры на высотах), и увеличение выделения скрытой теплоты конденсации, по мере приближения к моменту грозы, и, наконец, дальнейшее повышение температуры по всем высотам с приближением грозы в случае грозовых положений обусловленных адвекцией теплого воздуха (как увидим ниже, в условиях изучаемого района такие случаи грозовых положений наиболее часты).

Табл. 9 показывает, что в дневные часы грозовых дней отношение числа случаев положительных и отрицательных отклонений температуры от нормы по высотам (исключая, конечно, слои, подверженные влиянию суточного хода) приблизительно остается тем же самым.

Данные табл. 8 и 9 указывают, что в условиях рассматриваемого района для развития грозовой деятельности является весьма важным накопление неустойчивости в поле более высоких, в сравнении с нормой, температур.

Это дает косвенное указание на то, что развитие гроз стоит в связи не только с большой вертикальной мощностью облаков, но и с их высоким „влагосодержанием“.

В этом смысле грозы, очевидно, требуют для своего развития другого комплекса физических условий, чем шквалистые осадки неустойчивых холодных воздушных масс. Ниже, при разборе отдельных случаев гроз, мы убедимся в справедливости такого предположения.

Более подробное изучение хода отклонений температуры от нормы по высотам показывает, что для отдельных грозовых положений можно установить некоторые типичные особенности в ходе этих отклонений.

На основании этого принципа удалось выделить четыре типа грозовых положений.

Тип 1. При грозовых положениях этого типа существенные положительные отклонения температуры от нормы, наблюдаемые в нижних слоях, сохраняются в средней и верхней тропосфере. За рассматриваемый период из всех 89 гроз, освещенных аэрологическими зондированиями, оказалось 39 таких случаев. В частности, в июле таких гроз было 17 (из 40 вошедших в наши рассмотрения). Средние величины отклонений температуры от нормы по высотам за весь период теплого времени в целом и отдельно для июля даны в табл. 10.

Таблица 10

	Высота, км										
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Среднее отклонение для теплого времени года (V—IX)	2,6	5,6	6,9	6,7	5,1	4,4	4,4	4,7	4,9	4,7	3,6
Число случаев	39	39	39	39	39	39	39	38	37	36	33
Среднее отклонение для июля	2,7	4,9	6,3	6,6	5,1	4,6	4,4	4,8	4,8	5,0	4,0
Число случаев	17	17	17	17	17	17	17	16	15	15	12

Как видно из таблицы, эти отклонения (если отвлечься от нижнего километра) по абсолютной величине в общем убывают до высоты 4—5 км; далее наблюдается небольшое относительное их увеличение, после чего с высоты 7—8 км они уменьшаются вновь. Следовательно, при этих грозовых положениях уже в утренние часы стратификация атмосферы значительно более неустойчива в сравнении с нормой.

По значениям этих средних отклонений можно построить „типичную тефиграмму“ для данного типа июльских гроз. Это построение, вместе с изображением среднемесячного распределения температуры в июле, выполнено на рис. 2.

Найдены также средние значения удельной влажности на высотах в утренние часы при таких грозовых положениях в июле. Полученные результаты даны в табл. 11.

Табл. 11 показывает, что в эти дни с грозами значения удельной влажности на всех высотах в среднем значительно больше „нормы“. Эти различия составляют 2,4 г/кг в слое 0,5—1,0 км; 1,8 г/кг — на высоте 3 км; 0,5 г/кг — на высоте 5 км.

Естественно считать, что грозовое положение в этих случаях обуславливается адвекцией неустойчиво-стратифицированных масс теплого воздуха. С такого рода процессами, в условиях изучаемого района, связано не только наибольшее число

ней с грозами (относительно других типов гроз), но и наиболее длительные грозовые периоды (например грозовые периоды в первой и третьей декаде июля 1938 г., во второй декаде августа 1935 г. и т. д.). Интересно отметить, что наиболее длительные грозовые периоды в средней Европе, как показывают исследования Шерхага (периоды „восточных гроз“ по его классификации), также связаны адвекцией влажнонеустойчивых масс теплого воздуха в среднюю Европу с районов восточной Европы.

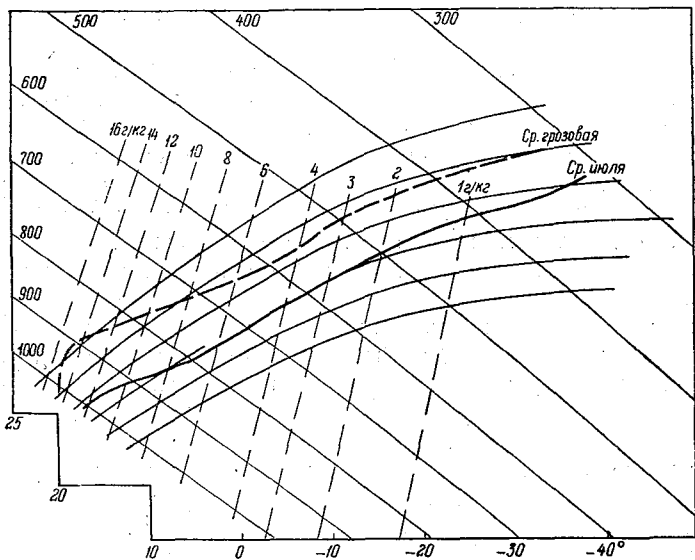


Рис. 2.

Таблица 11

	Высота, км							
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Среднее значение удельной влажности утром при грозовом положении I типа . . .	11,7	11,4	10,1	7,2	5,4	3,7	2,1	1,3
Число случаев	12	12	12	12	11	11	10	10
Из них:								
со значением выше нормы . . .	11	11	11	11	10	10	8	9
со значением ниже нормы . . .	1	1	1	1	1	1	2	1
Среднемесячное значение удельной влажности	10,3	9,0	7,7	5,3	3,6	2,6	1,6	0,9

Анализ отдельных случаев гроз этого типа показывает, что весной и осенью кие грозы в наших районах обуславливаются выносом масс тропического воздуха более низких широт (например случаи гроз 13/IX 1937 г., 7—9/IX 1938 г. др.).
В летние месяцы эти грозы у нас чаще связаны с адвекцией масс континентального тропического воздуха, формирующихся в условиях континента ЕТС.
Как впервые указывал С. П. Хромов [15], в условиях ЕТС (где вообще наиболее характерным макросиноптическим процессом являются процессы трансформации воздушных масс от подстилающей поверхности) в летнее время массы кон-

тинентального тропического воздуха находятся в очаге своего формирования и потому являются неустойчивыми массами. Поступая в рассматриваемый нами район, богатый озерами и болотами, они будут увлажняться и тем самым еще более увеличивать потенциальные запасы энергии неустойчивости.

Безусловно, что иногда в летнее время по западной периферии антициклонов (в области которых в большинстве случаев и происходит формирование масс кТВ над ЕТС) южным потоком могут увлекаться и выноситься в наши районы теплые и сильно увлажненные массы с района Средиземного и Черного морей (как это имело место в выраженной форме в случае гроз 3—6/VII 1938 г.).

Следовательно, для этих гроз можно говорить о типичном синоптическом положении. Интересно отметить, что чисто синоптическое исследование гроз в северо-западных районах ЕТС, выполненное Бельским и Синягиным [16], показало, что около 40% общего числа наблюдающихся здесь гроз связано с рассматриваемой синоптической ситуацией (тип 1-А предложенной ими схематизации).

Правда, указанные авторы утверждали, что „всякая грозовая ситуация северо-западного района и отчасти БССР теснейшим образом связана с действием арктического фронта, с действием масс арктического воздуха“. Но это утверждение не обосновывается ими и не стоит ни в какой связи со всем содержанием их интересной работы.

Характерно, что повторяемость этих положений, по Бельскому и Синягину, хорошо согласуется с повторяемостью гроз, обусловленных адвекцией неустойчиво-стратифицированных масс теплого (тропического) воздуха, полученной нами на основании анализа температурных зондирований в Павловске. Так как на северо-западе ЕТС повторяемость тропического воздуха невелика (даже в летние месяцы она составляет менее 17%), то можно утверждать, что в рассматриваемом районе грозы наиболее свойственны массам тропического воздуха.

Укажем, наконец, что наибольшая повторяемость гроз этого типа находит отражение и в повторяемости направлений ветра на высотах. В грозовые дни в Павловске (см. табл. 3 и 4) оказываются преобладающими ветры южных направлений.

При изучении отдельных случаев грозовых положений удается подметить некоторые особенности, характерные только для грозовой деятельности, развивающейся в неустойчивых теплых массах.

Кроме уже известных особенностей, а именно:

- а) относительно большого числа гроз в теплых массах,
- б) сохранения, а иногда и усиления грозовой деятельности в ночные часы (преимущественно при развитии неустойчивости в области теплого фронта), — бро-сается в глаза еще и следующее обстоятельство.

Оказывается, что развитие упорядоченной термической конвекции в неустойчивых теплых массах почти всегда сопровождается грозами. Во всяком случае при этом дождей без гроз по району наблюдается очень мало.

Например, за время с 01 час 28/VII по 01 час 30/VII 1938 г. по условно выбранному нами району авиасиноптической кольцевой карты (рис. 3), согласно данным срочных синоптических телеграмм, в основные синоптические сроки и между ними отмечалось: гроз 85, отдельно дождей без гроз 12. Такого соотношения числа этих явлений и такого обилия гроз не обнаружено в неустойчивых холодных массах. Ниже мы увидим, что вообще в неустойчивых массах холодного воздуха, в условиях нашего района, чаще наблюдаются шквалистые осадки и относительно редко развиваются грозы.

Возможно, что большое число гроз и склонность к их повторяемости при этих положениях связаны с развитием бризовых циркуляций в отдельных участках района, указанного на рис. 3. При рассматриваемых синоптических положениях, в силу малых общих скоростей потоков, бризовые компоненты ветра будут наиболее резко выражены. Если их направление не совпадает с направлением общего переноса, то, вызывая расслоение потока, эти ветры могут явиться „разрешающим импульсом“ для реализации запасов скрытой неустойчивости.

Дадим краткое описание развития отдельных случаев гроз при адвекции в наши районы неустойчиво-стратифицированных масс теплого воздуха.

Грозы 3–5/VII 1938 г.

Утром 1/VII над юго-западными районами ЕТС располагался антициклон, сформированный в массах прежнего морского полярного воздуха. Район Павловска в это время находился в области хорошо выраженной западной тяги, в относительно холодных массах прежнего морского полярного воздуха. Однако с этого момента началась перестройка барических градиентов и основных переносов воздушных масс. По юго-западной и западной периферии указанного антициклона начался интенсивный вынос масс тропического воздуха в северном направлении.

Рис. 4 показывает, что уже в 7 час. 2/VII, в слоях выше 2 км, над Павловском произошла замена масс прежнего мПВ на более теплые и близкие к норме по значениям температур массы кПВ.

В 11 час. 2/VII над Павловском в верхних слоях, начиная с высоты несколько больше 5 км, наблюдался значительно более теплый в сравнении с нормой (тро-

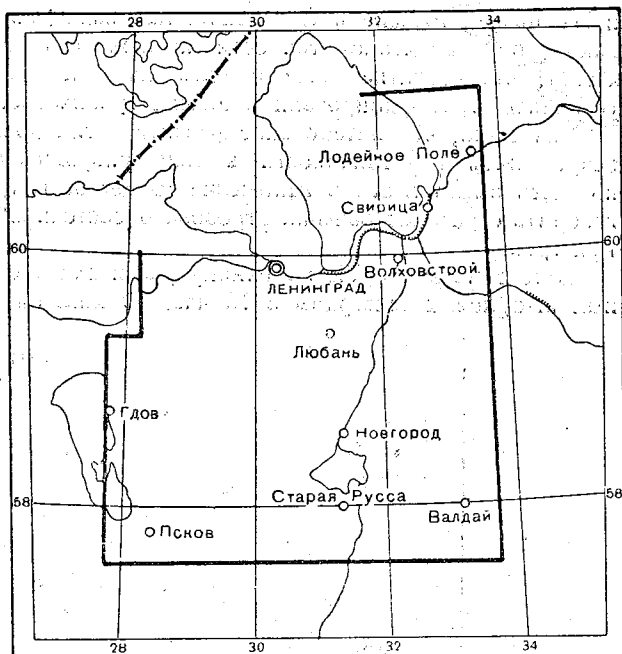


Рис. 3. Район по которому подсчитывались числа наблюдаемых гроз и дождей.

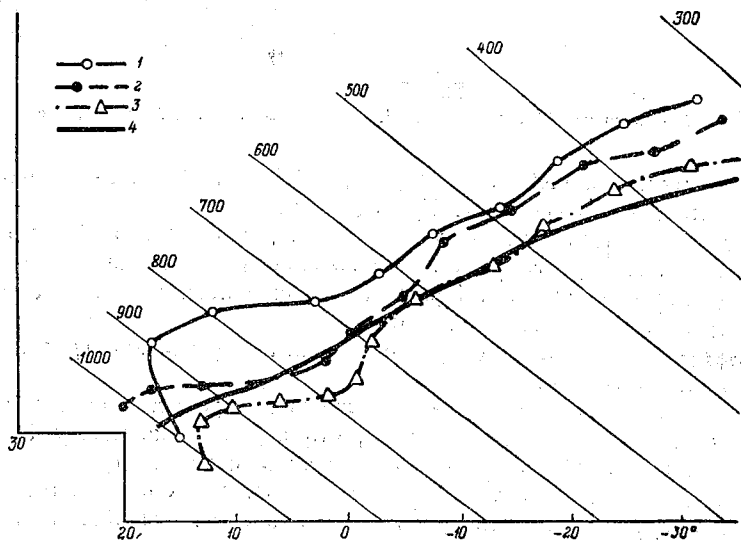


Рис. 4. Распределение температуры над Павловском 2–3/VII 1938 г. 1 – 3/VII 3.20, 2 – 2/VII 11.00, 3 – 2/VII 7.01, 4 – средняя месячная.

пический) воздух. В ночь на 3/VII через Ленинградскую область проходил теплый фронт, который вызвал интенсивную грозовую деятельность. К утру 3/VII над

Павловском по всей толще тропосферы произошла замена масс кПВ на массы ТВ (рис. 5).

В это время мы имеем приблизительно одновременные выпуски радиозондов в Павловске, Ржевке и Сиверской. Как видно из рисунка, все три ночных подъема дают (при современной точности наблюдений) хорошее согласование и подтверждают, что развитие грозовой деятельности в ночь на 3/VII происходило в неустойчиво-стратифицированных массах тропического воздуха.

Возможно, что интенсивное развитие этих ночных гроз определялось не только разрешением неустойчивости в силу упорядоченной конвекции в зоне фронта, но здесь имело место и наложение процессов излучения, при которых скорее можно говорить о распространении „грозового состояния“, чем о распространении отдельных гроз.

В течение дня 3/VII по району развивались отдельные местные грозы. По данным штормовых телеграмм в 15 час. 50 мин. наблюдалась гроза в районе ст. Ляды,

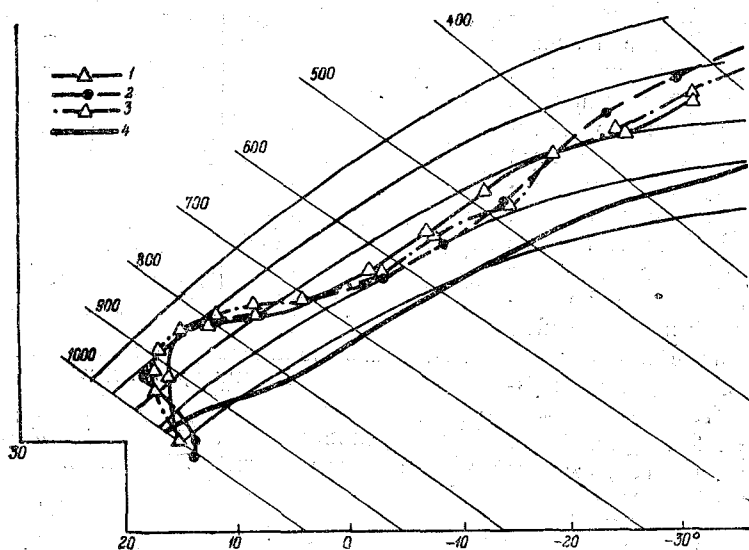


Рис. 5.

1 — Сиверская 4.30, 2 — Ржевка 4.00, 3 — Павловск 3.20, 4 — средняя месячная

в 15 час. 55 мин. — в районе Новгорода, в 14 час. 40 мин. — в районе Валдая, в 16 час. 06 мин. — в районе ст. Крестцы и т. д.

Конечно, свести развитие этих гроз к влиянию одного фронтального механизма нелегко. К тому же, как видно из синоптической карты, холодный мало-подвижный фронт в 19 час. 3/VII расположен еще несколько западнее Ленинграда и значительно западнее Новгорода (рис. 6).

Распространение его к востоку способствовало развитию гроз в районе Павловска лишь около 18 час.

Что этот фронт не мог существенно влиять на процессы погоды на указанных выше восточных станциях, видно из того, что в Павловске между 15 и 16 часами, несмотря на близость к фронту, было еще ясно и температура воздуха у земли между этими сроками достигала максимума за эти сутки и составляла $29,5^{\circ}$.

Попытаемся теперь выяснить роль фронтального механизма в развитии грозы в Павловске вечером 3/VII.

Вечерний подъем, произведенный в Павловске в 16 час. 15 мин., т. е. приблизительно за 2 часа перед развитием грозы, дает представление об условиях термической стратификации (рис. 7). Приблизительно одновременный подъем, произведенный в Сиверской, дает хорошо согласующиеся показания. Подъем в Ржевке,

хотя и дает более замедленный ход изменения температуры с высотой, однако до уровня 5 км удовлетворительно согласуется с ними в показаниях абсолютных значений температуры.

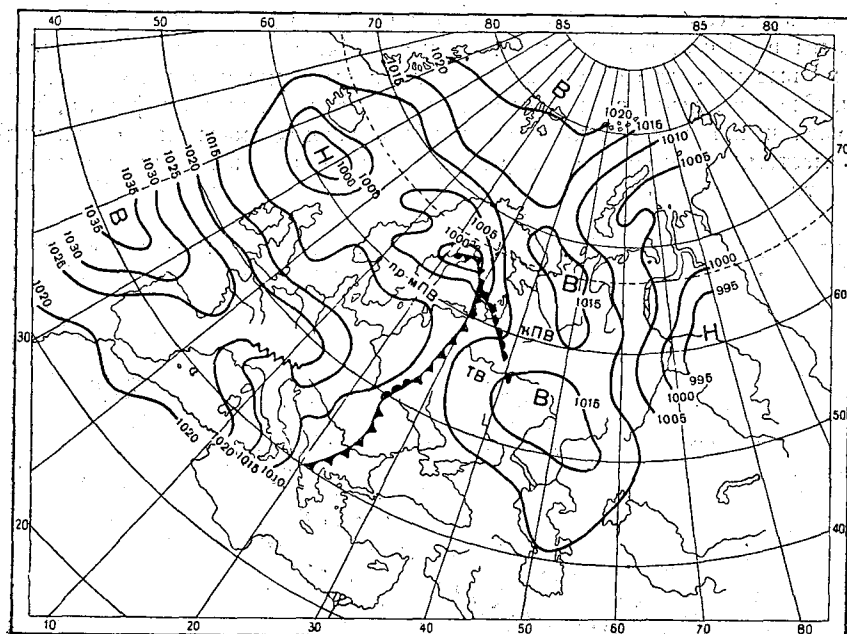


Рис. 6. Синоптическая карта 30/VII 1938 г. за 19 час.

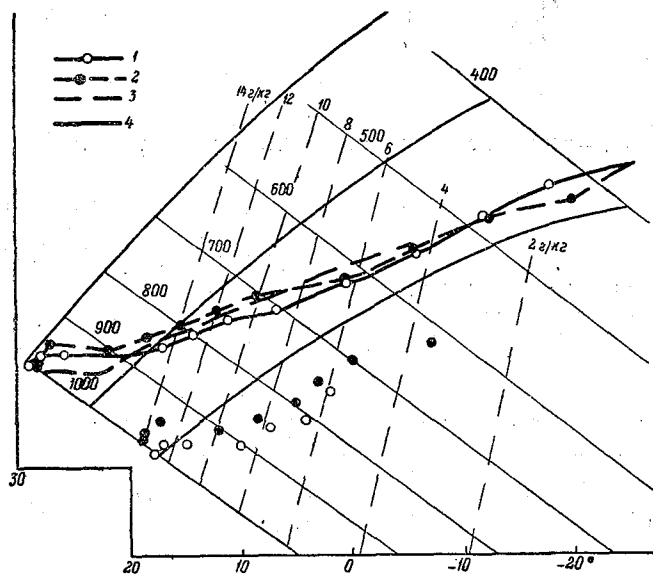


Рис. 7.

1 — Павловск 3/VII 16.15, 2 — Сизерская 3/VII 16.00, 3 — Ржевка 3/VII 16.00.

Как уже указывалось выше, согласно существующим представлениям, в предфронтальных положениях в том и состоит своеобразие динамических условий, что ни, с одной стороны, увеличивают неустойчивость расположенных перед фронтом масс воздуха, а с другой стороны, приводят к разрешению неустойчивости.

Однако, как показывает рис. 8, сравнение подъема 3/VII, произведенного в 3 час. 20 мин. и дневного подъема 3/VII в 16 час. 15 мин. не дает указаний на наличие существенных изменений стратификации атмосферы по мере приближения к моменту грозы (так как почти до высоты 6 км величины вертикальных градиентов в обоих случаях приблизительно одинаковы).

Подъемы в 19 час. по всем этим пунктам дают некоторое повышение температуры на высотах, что очевидно связано с выделением скрытой теплоты конденсации. Следовательно, в этом случае, по мере приближения фронта, не наблюдалось увеличения неустойчивости предфронтальных масс и фронтальная зона являлась местом, где происходила реализация уже наличных запасов энергии неустойчивости.

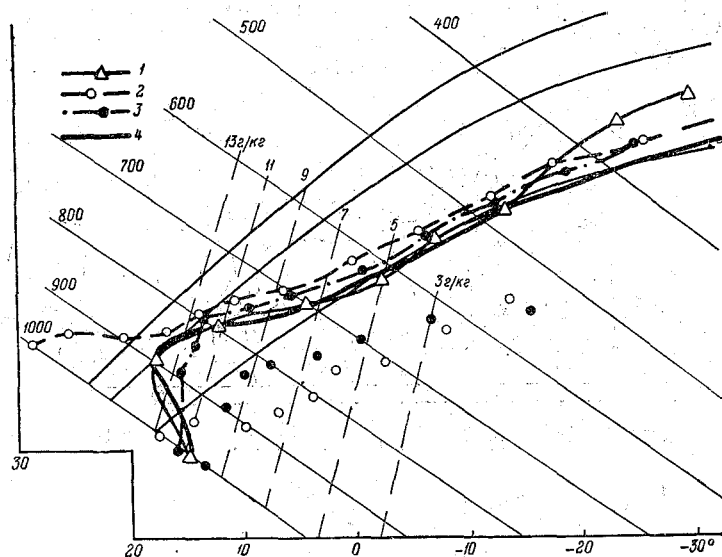


Рис. 8. Распределение температуры над Павловском 3—4/VII 1938 г.
1 — 3/VII 3.20, 2 — 3/VII 16.15, 3 — 4/VII 18.56, 4 — 4/VII 03.07.

В чем же состоит особенность механизма, приводящего в этом случае к разрешению неустойчивости? Так как возможность развития чисто термической конвекции (учитывая время суток) исключена, то причину этому нужно искать в условиях динамической турбулентности.

Распределение ветра с высотой по наблюдениям в 16 час. 15 мин. дано в табл. 12.

Таблица 12

	Высота, км											
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0
Направление, град.	183	180	200	231	254	240	236	230	232	229	227	225
Скорость, м/сек.	5	5	6	9	11	11	13	12	11	12	11	12

Вычисленные по этим данным числа Ричардсона оказались в слоях 0,5 до 3,5 км значительно меньшими, в сравнении с их „нормальными“ значениями, полученными Чуриновой для дневных часов летнего времени (табл. 13).

Таблица 13

		Границы слоев, км						
		0,5—0,8	0,8—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5
Значения чисел Ричардсона	3/VII . .	0,40	0,05	0,90	1,75	4,24	3,56	4,79
	Нормальные*	2,76	2,24	3,28	3,60	8,80	9,12	9,27

Выше и ниже этих уровней числа Ричардсона оказались значительно выше нормы. Следовательно, условия устойчивости в слоях 0,5—3,5 км благоприятствовали осуществлению упорядоченной конвекции.

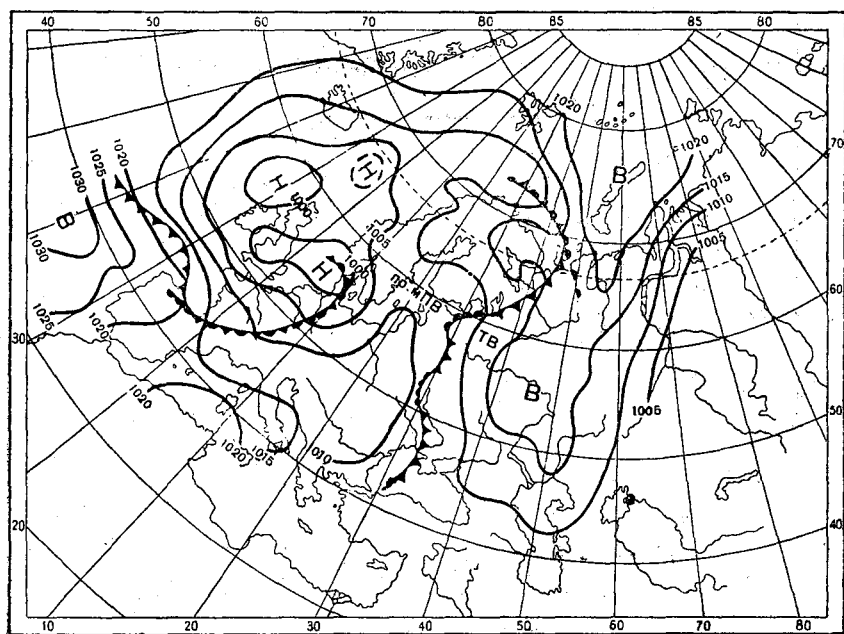


Рис. 9. Синоптическая карта за 7 час. утра 5.VII.38 г.

Естественно полагать, что в последующем, по мере приближения фронта, происходило дальнейшее возрастание турбулентной энергии, что и привело к развитию роз.

Грозовая деятельность по району и в ночные часы была интенсивной. Здесь, очевидно, сказывалось наложение процессов излучения на увеличение запасов неустойчивости. Как видно из подъема в 4 часа 4/VII, распределение температуры это время близко к таковому в 3 час. 20 мин. 3/VII (см. рис. 8) и указывает а некоторое похолодание в сравнении с дневным подъемом 3/VII.

В ночь с 4 на 5/VII, как показывает синоптическая карта за 07 час. 5/VII (рис. 9), над нашим районом развивалось волновое возмущение. Последнее послужило поводом и местом упорядоченного высвобождения запасов энергии неустойчивости и интенсивного развития гроз в ночные часы в неустойчивых массах теплого воздуха.

Условия стратификации вечером 4/VII в районе Павловска могут быть охарактеризованы кривой, изображенной на рис. 10. Здесь же дано распределение темпера-

туры с высотой, полученное по данным почти одновременного выпуска радиозонда в Ржевке. Обе кривые дают хорошее согласование.

Распределение ветра в 18 час. 56 мин. 4/VII, представленное в табл. 14, указывает на наличие расслоения его в нижних слоях атмосферы.

Таблица 14

	Высота, км											
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
Направление, град. . .	352	33	73	105	137	180	185	196	195	202	207	208
Скорость, м/сек. . . .	8	6	3	3	4	5	6	8	11	13	13	12

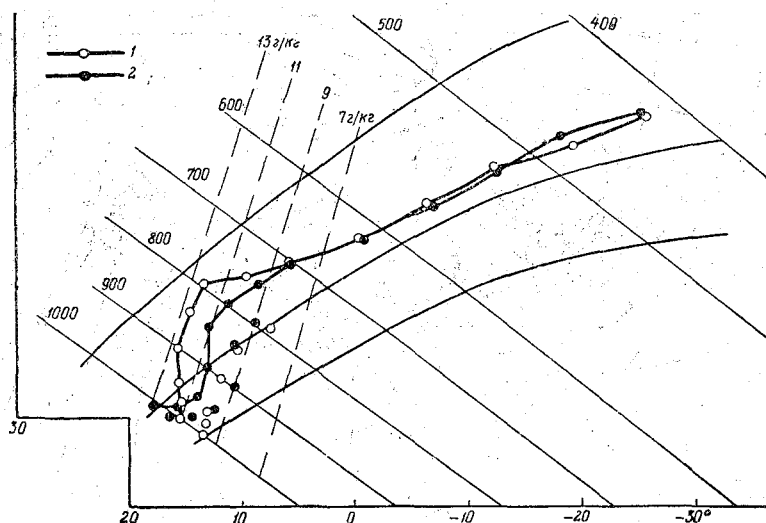


Рис. 10. Распределение температуры по вечерним подъемам 4/VII 1938 г. в Павловске и в Ржевке.

1 — Ржевка 4/VII 20.00 1938 г., 2 — Павловск 4/VII 18.56 1938 г.

Изменение направления ветра было особенно резким в слое 0,2—0,8 км, где оно достигало почти 180°. Вычисленные по этим данным числа Ричардсона оказались только в нижних слоях до 0,8 км несколько меньшими „нормальных“ значений. Несомненно, однако, что в этом случае питание грозовых облаков могло обеспечиваться за счет восходящих движений масс воздуха, лежащих в слоях не ниже 1 км. Массы, лежащие ниже этого уровня, для их подъема могли бы требовать только затраты энергии.

Развитие турбулентного перемешивания в этих слоях во всяком случае не могло бы привести к образованию локально ограниченной конвективной облачности. Следовательно, нужно полагать, что в дальнейшем по мере развития волнового возмущения в этой области происходило нарастание динамической неустойчивости, которое, распространившись на слои выше 1 км, обусловило реализацию скрытых запасов энергии, несмотря на устойчивость термического наслоения в нижнем километре.

Последнее и привело к развитию гроз в Павловске, которые отмечались от 23 час. 4/VII до 2 час. 5/VII.

В заключение необходимо отметить обилие гроз, наблюдавшихся в эти дни по рассматриваемому району (рис. 3). За время с 01 час. 3/VII по 01 час. 5/VII

(согласно данным срочных синоптических телеграмм) наблюдалось: гроз — 77, дождей без гроз — 39. Особенно интенсивной грозовой деятельность была в ночь на 5/VII. За время с 19 час. 4/VII по 07 час. 5/VII наблюдалось (согласно тем же данным): гроз — 38, дождей без гроз — 14.

Такое интенсивное развитие грозовой деятельности в наших условиях, как уже указывалось выше, является характерным для неустойчивости масс теплого воздуха.

Грозы 24 — 30/VII 1938 г.

В течение почти всей третьей декады июля 1938 года над Ленинградской областью развивалась интенсивная грозовая деятельность, связанная так или иначе, с высвобождением энергии в неустойчиво-стратифицированных массах теплого воздуха. Однако в первые дни декады (именно 22/VII), согласно данным радиозондирования в Павловске, наряду со значительными положительными отклонениями температуры от нормы в нижней тропосфере, имели место значительные отрицательные отклонения температуры от нормы в слоях средней и верхней тропосферы.

Как показывает табл. 15, в течение всего рассматриваемого периода в районе Павловска удерживалась преимущественно юго-восточная тяга.

Таблица 15

Дата и время		Высота, км								
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
24/VII 13 00	$\frac{d}{v}$	$\frac{143}{5}$	$\frac{144}{7}$	$\frac{148}{9}$	$\frac{149}{12}$	$\frac{165}{11}$	$\frac{148}{10}$	$\frac{152}{11}$	$\frac{148}{9}$	$\frac{133}{7}$
	$\frac{d}{v}$	$\frac{185}{6}$	$\frac{181}{9}$	$\frac{176}{8}$	$\frac{175}{8}$	$\frac{173}{9}$	$\frac{173}{12}$			
26/VII 07 00	$\frac{d}{v}$	$\frac{136}{4}$	$\frac{136}{11}$	$\frac{141}{12}$	$\frac{152}{9}$	$\frac{147}{9}$	$\frac{146}{8}$	153	$\frac{151}{10}$	$\frac{148}{11}$
	$\frac{d}{v}$	$\frac{353}{4}$	$\frac{62}{3}$	$\frac{56}{2}$	$\frac{76}{4}$	$\frac{144}{5}$	$\frac{168}{5}$	$\frac{218}{6}$	$\frac{205}{5}$	$\frac{169}{5}$
28/VII 07 03	$\frac{d}{v}$	$\frac{164}{4}$	$\frac{156}{5}$	$\frac{151}{5}$	$\frac{155}{5}$	$\frac{157}{5}$	$\frac{153}{6}$	$\frac{154}{7}$	$\frac{157}{7}$	$\frac{141}{5}$
	$\frac{d}{v}$	$\frac{185}{10}$	$\frac{175}{14}$	$\frac{172}{17}$	$\frac{165}{17}$	$\frac{161}{15}$	$\frac{163}{14}$	$\frac{169}{15}$		
29/VII 07 03	$\frac{d}{v}$									
	$\frac{d}{v}$									
30/VII 07 28	$\frac{d}{v}$									
	$\frac{d}{v}$									

Это обусловило приток в наши районы теплых масс, формирующих свои свойства в центральных и юго-восточных областях ЕТС.

Синоптическое положение за эти дни представлено картами за 19 час. 24/VII (рис. 11) и за 7 час. 28/VII (рис. 12).

Уже начиная с утра 24/VII и до конца рассматриваемого периода, над Павловском по всем высотам температура была значительно выше нормы.

В послеполуденные часы 24/VII по Ленинградской области, особенно в ее южных районах, наблюдается развитие гроз. В Павловске слышны были раскаты грома около 19 час.

В течение 25, 28, 29 и 30/VII в Павловске наблюдались близкие грозы.

Рис. 13 и 14 дают представление о вертикальном распределении температуры над Павловском в утренние и дневные часы 25, 28 и 29/VII; здесь же изображено среднемесячное распределение температуры по высотам. Они доказывают, что в эти дни над Павловском расположены массы тропического воздуха. В них и происходило развитие гроз. Последние прекратились лишь после того, когда на наши районы распространились более холодные массы мПВ.

Табл. 16 дает представление о ходе во времени и количестве гроз и отдельно дождей без гроз, наблюдавшихся в течение 25, 28 и 29/VII, по вышеуказанному району (рис. 3).

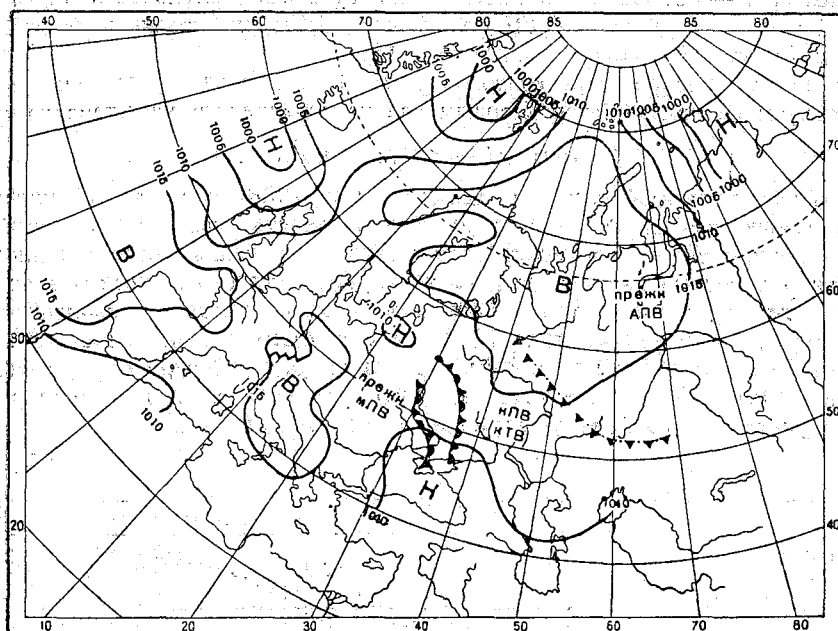


Рис. 11. Синоптическая карта за 19 час. 24/VII 1938 г.

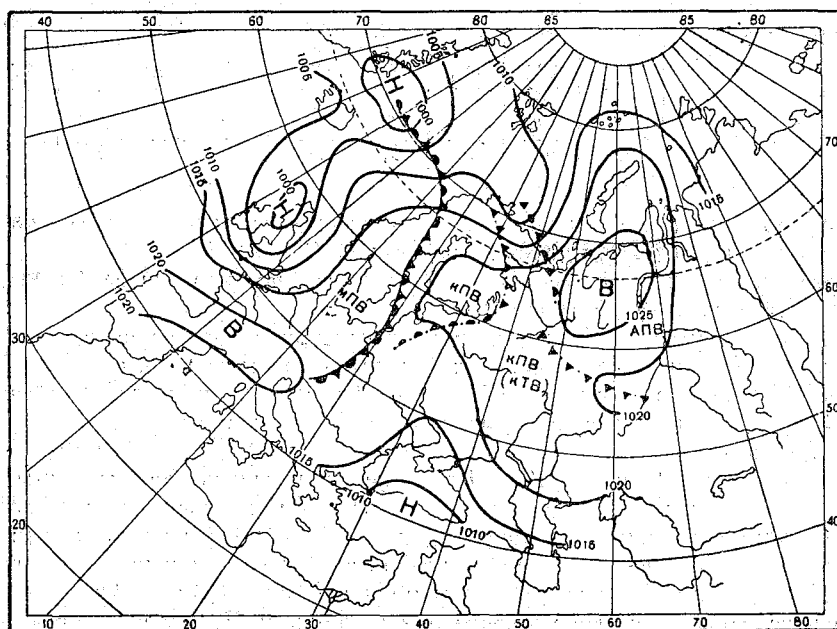


Рис. 12. Синоптическая карта за 7 час. утра 28/VII 1938 г.

	Диапазон времени в часах				Дата
	01—07	07—13	13—19	19—01	
Число гроз	0	0	17	11	25/VII
Число дождей без гроз . .	0	0	4	6	
Число гроз	1	5	31	7	28/VII
Число дождей без гроз . .	2	0	12	0	
Число гроз	3	2	12	13	29/VII
Число дождей без гроз . .	2	0	7	4	

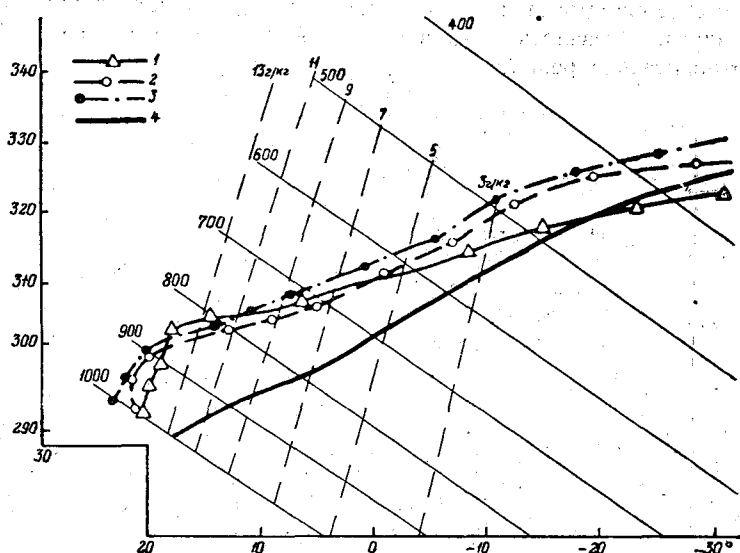


Рис. 13. Распределение температуры над Павловском по утренним подъемам 25/VII, 28/VII, 29/VII 1938 г.

1 — 29/VII 7.03, 2 — 26/VII 7.02, 3 — 28/VII 7.03, 4 — средняя июля.

Из нее видно, что грозовая деятельность в эти дни была интенсивна и что число дождей, наблюдавшихся без гроз, было мало. Следовательно, развитие конвекции при этих условиях почти всегда приводило к образованию гроз.

Укажем, что рассматриваемая синоптическая обстановка является наиболее типичной для развития интенсивной грозовой деятельности в наших районах. Именно при этой ситуации грозы часто повторяются несколько раз в течение дня над данным и тем же пунктом.

Для этого грозового периода было найдено распределение средних значений чисел Ричардсона по высотам на основании 6 случаев одновременных наблюдений ад температурой и ветром в утренние часы. Эти значения приведены в табл. 17.

Относительно малые средние значения чисел Ричардсона в слоях 2,0—3,5 км, сравнении с их „нормальными“ значениями, указывают на наличие динамической неустойчивости на этих уровнях уже в утренние часы грозовых дней.

Это обстоятельство в сочетании с интенсивным развитием термической неустойчивости в дневные часы в приземных слоях и обуславливало развитие упорядоченной конвекции и гроз.

Тип. II. При грозовых положениях этого типа по всем высотам имеют место существенные отрицательные отклонения температуры от нормы. Следовательно,

Таблица 17

	Граница слоя, км									
	0,00—0,30	0,3—0,5	0,5—0,8	0,8—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,0
Средние значения чисел Ричардсона в грозовой период	2,47	2,15	3,37	2,15	12,24	3,82	0,99	3,14	8,6	12,60
„Нормальные“ значения чисел Ричардсона	0,98	2,41	2,76	2,24	3,28	3,60	8,80	9,12	9,27	10,13

в этих случаях необходимые запасы неустойчивости обуславливались адвекцией холодного воздуха. Оказалось, что в условиях рассматриваемого района грозы этого типа относительно редки.

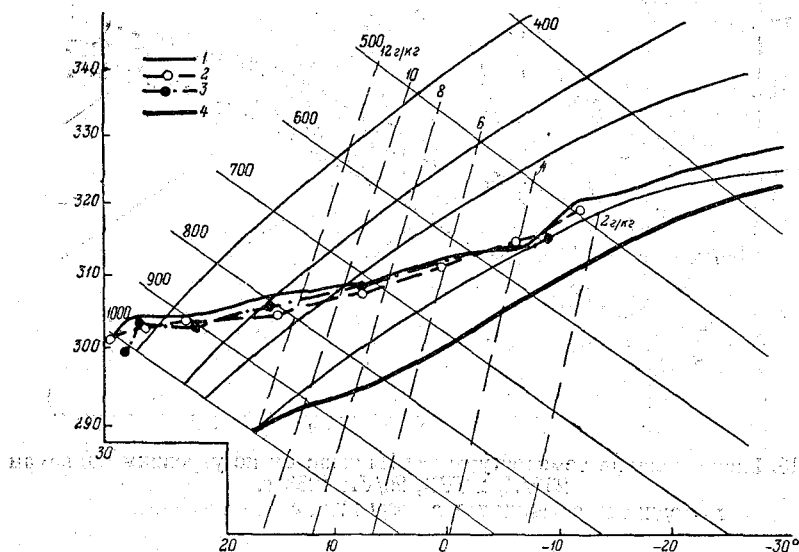


Рис. 14. Распределение температуры над Павловском по дневным подъемам, 25/VII, 28/VII, 29/VII 1938 г.

1 — 29/VII 13.15, 2 — 25/VII 13.10, 3 — 28/VII 13.00, 4 — средняя июля.

Как видно из табл. 8, всего за рассматриваемое время таких случаев оказалось для всего теплого времени года — 16 (из 89 рассмотренных нами), отдельно в июле — 6 (из 40 рассматриваемых в этом месяце). При этом только в 12 случаях (из 16 указанных выше) имели место отрицательные отклонения температуры от нормы одновременно почти во всей толще тропосферы. В остальных же случаях воздушные массы в нижних слоях были уже значительно прогреты и имели температуру близкую к норме, или даже несколько выше ее.

Представлялось интересным установить особенности вертикального распределения температуры именно для тех случаев гроз, которые развивались в холодных массах воздуха, не успевших значительно трансформироваться. По утренним зондированиям мы вычислили величины средних отклонений температуры от нормы по высотам как для всех грозовых дней теплого времени года в целом, так и отдельно для июля. Полученные результаты приведены в табл. 18.

Таблица 18

	Высота, км											
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	
Среднее отклонение для теплого времени	- 2,2	- 2,2	- 1,6	- 1,7	- 3,6	- 4,8	- 4,9	- 5,3	- 6,0	- 5,8	- 5,8	
Число случаев	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	9	
Среднее отклонение в июле	- 2,0	- 2,4	- 2,0	- 2,6	- 3,2	- 4,5	- 4,5	- 4,7	- 5,8	- 5,3	- 5,3	
Число случаев	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

По данным табл. 18, аналогично тому как это делалось для гроз теплого воздуха, можно построить „типичную тефиграмму“ для гроз, развивающихся в массах

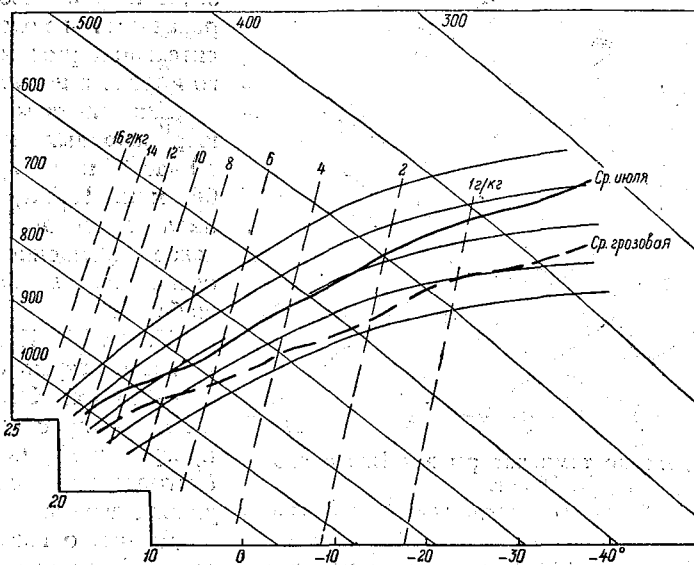


Рис. 15.

холодного воздуха в июле. Это построение выполнено на рис. 15, где для сравнения изображено также распределение по высотам средней месячной температуры июля (за недостатком данных среднее распределение влажности в этом случае не вычислялось).

Как видно из данных табл. 18 и рис. 15 стратификация атмосферы при грозовых положениях этого типа значительно более неустойчива в сравнении с нормой. Нужно учесть, что в холодных массах суточный ход температуры в приземных слоях выражен особенно резко, а следовательно, к моменту развития гроз (в дневные часы) относительная разность запасов неустойчивости при этих положениях в сравнении с „нормой“ будет еще больше.

Из того факта, что отклонения температуры от нормы при этих положениях в слое 1—7 км с высотой увеличиваются, можно заключить, что при этом осуществляются достаточно мощные по высоте вторжения холодных масс, что повидимому необходимо для накопления нужных для гроз запасов неустойчивости. Относительно небольшое число грозовых дней, связанное в наших районах с этими поло-

жениями, очевидно, указывает на то, что такие мощные по высоте вхождения холодных масс не являются у нас обычными.

При изучении отдельных грозовых положений этого типа удастся подметить, что по рассматриваемому району (рис. 3) наблюдается относительно малое число гроз, при обилии шквалистых осадков. Малая толща „водяной“ части облаков, развивающихся в холодных массах, и относительно малое „влагосодержание“ этих масс очевидно не благоприятствуют развитию гроз.

Возможно также, что относительно низкое положение уровня ледяных ядер в холодных массах будет вызывать в облаках нарушение „коллоидального равновесия“ раньше, чем может возникнуть необходимая для гроз разность потенциалов электрического поля. В этой связи следует ожидать относительно возрастания роли адвекции холода в развитии грозовой деятельности в более южных районах.

Дадим краткое описание развития гроз этого типа.

Грозы 18/VII 1935 г.

Ночное и дневное зондирование в Павловске (рис. 16) и синоптическая карта за 19 час. этого дня (рис. 17) указывают на то, что наш район занят неустойчиво стратифицированными и холодными (относительно нормы) массами свежего морского полярного воздуха.

Как показывают данные шаропилотных наблюдений в 19 час. 30 мин. 17/VII и в 7 час. 00 мин. 18/VII, в это время имело место до больших высот левое вращение ветра при очень малых скоростях его (табл. 19).

Утром 18/VII имеется значительный разрыв ветра в слое 2,0—2,5 км. Это обстоятельство, наряду с инсоляционным прогреванием нижних слоев, благоприятствовало развитию упорядоченной конвекции.

Данных о ветре выше 3 км нет, так как на высоте 3320 м пилот вошел в облака Ас. Возможно, что развитие облаков Ас на этих высотах было обусловлено динамической неустойчивостью.

Таблица 19

Дата и время		Высота, км								
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
17/VII 19 30	$\frac{d}{v}$	$\frac{326}{2}$	$\frac{309}{4}$	$\frac{302}{6}$	$\frac{291}{4}$	$\frac{272}{2}$	$\frac{259}{2}$	$\frac{221}{1}$	$\frac{165}{3}$	$\frac{148}{6}$
18/VII 07 00	$\frac{d}{v}$	$\frac{274}{6}$	$\frac{256}{3}$	$\frac{214}{3}$	$\frac{205}{1}$	$\frac{172}{4}$	166	Ас = 3320 м		

В Павловске между 14 час. 40 мин. и 15 час. 55 мин. наблюдался ливневой дождь, около 15 час. слышался отдаленный гром. Однако грозовая деятельность по району, несмотря на значительные запасы энергии неустойчивости, была неин-

тенсивной. От 07 до 19 час. в этот день по району наблюдалось: гроз — 6, дождей без гроз — 26, т. е. имело место явное преобладание дождей по сравнению с грозами.

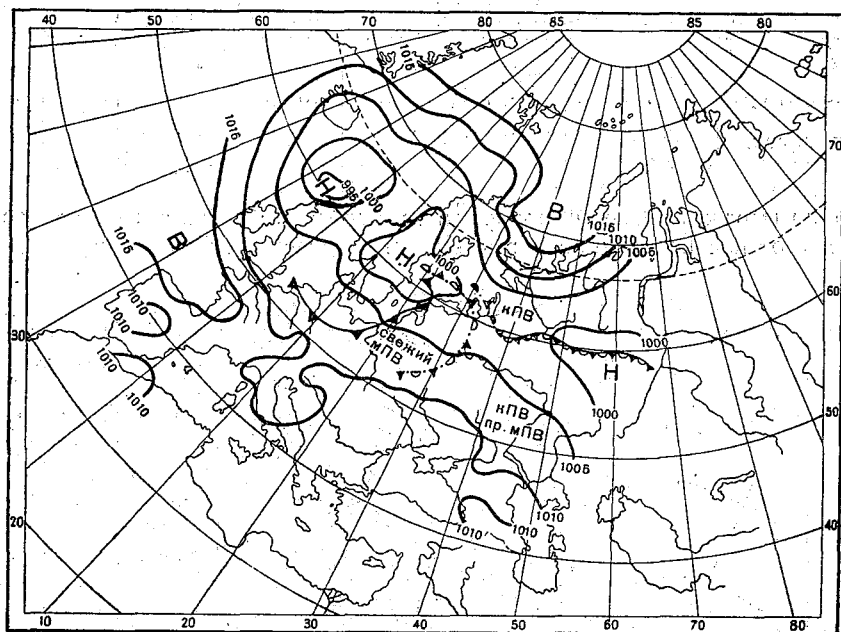


Рис. 17. Синоптическая карта за 19 часов 18.VII.35 г.

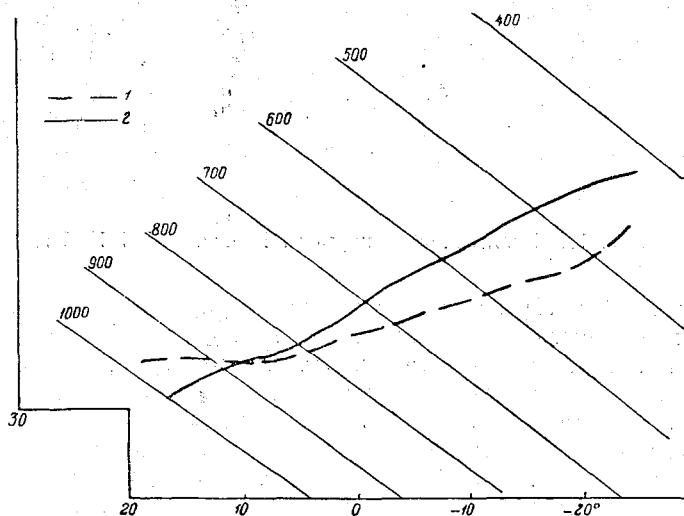


Рис. 18. Распределение температуры над Павловском 29/VII 1935 г.
1 — по подъему в 15 час.; 2 — средняя июля.

Грозы 29/VII 1935 г.

Подъем радиозонда в Павловске в 15 час. (рис. 18) и синоптическая карта за 19 час. (рис. 19) этого дня указывают, что наш район занят неустойчиво-стратифицированными и холодными (в сравнении с нормой) массами воздуха. Распределение ветра по высотам в 15 час. дано в табл. 20.

	Высота, км								
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Направление, град	173	163	158	153	165	148	129	115	107
Скорость, м/сек.	6	4	4	5	5	4	6	9	12

Хорошо выраженный левый поворот ветра особенно в слоях выше 3 км и увеличение скорости его, начиная с уровня выше 5 км, подтверждает вторжение относительно

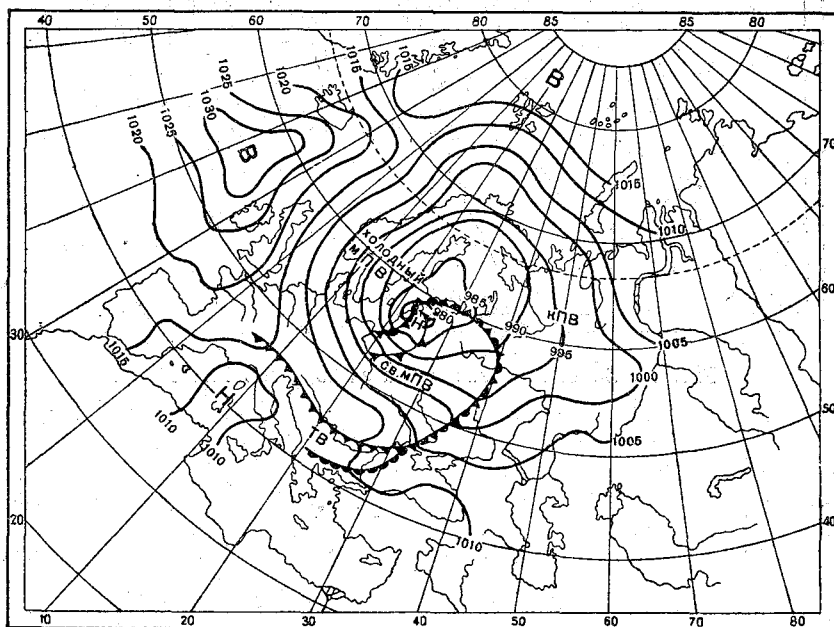


Рис. 19. Синоптическая карта за 19 час. 29/VII 1935 г.

холодных масс в район Павловска и одновременно указываем на возможность влияния динамической неустойчивости на развитие упорядоченной конвекции и гроз.

Около 17 час. в Павловске отмечен отдаленный гром, а с 18 час. 30 мин. и до 19 час. 15 мин. наблюдался дождь. В этот день опять преобладали дожди без гроз: от 07 до 19 час. наблюдалось дождей без гроз — 53, гроз — 4.

Рассмотренные случаи показывают, что при поступлении в район Павловска масс холодного воздуха, даже при больших запасах энергии неустойчивости, в них относительно редко развиваются грозы, чаще же наблюдаются лишь одни проходящие дожди.

Тип III. Характерной особенностью отклонений температуры от нормы для грозовых положений третьей группы является наличие значительных положительных отклонений в нижних слоях тропосферы (от 0,5—1,0 км до 2,0—3,0 км) при значениях температуры, близких к норме во всех вышележащих слоях ее.

В формировании рассматриваемых грозовых положений доминирующая роль принадлежит процессам инсоляционного прогревания воздушных масс от земной поверхности в наших же широтах. Обычно это имеет место при стационаровании

над территорией рассматриваемого района разрушающихся антициклональных образований, оформляющих массы полярного воздуха. В таких областях градиенты давления невелики и, следовательно, горизонтальный перенос масс выражен слабо.

В этих условиях воздушные массы, прогреваясь, будут принимать такое распределение температуры по вертикали, которое соответствует условиям теплового баланса в данном районе для данного времени года. [Как известно, в этих случаях установившаяся температура приземных слоев воздуха („равновесная“ температура) должна значительно отличаться от климатологической средней].

В летнее время прогревание (и одновременное увлажнение) воздушных масс от земной поверхности, распространившись на ту толщу приземных слоев, которая питает водяным паром грозовую облачность, создает условия благоприятные для развития гроз. В Павловске за рассматриваемое время таких случаев гроз оказалось: для всего теплого времени года — 12, отдельно для июля — 6. Вычисленные для них средние величины отклонений температуры по высотам в ночные и утренние часы грозовых дней даны в табл. 21.

Таблица 21

	Высота, км									
	0,03	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Среднее отклонение для всего теплого времени .	1,2	4,3	4,4	3,4	1,6	0,7	0,5	0,3	0,6	0,3
Число случаев	12	12	12	12	12	12	10	10	10	10
Среднее отклонение для июля	2,5	3,6	3,5	2,1	0,5	0,6	0,5	0,2	0,1	0,1
Число случаев	6	6	6	6	6	6	4	4	4	3

Построенная по данным табл. 21 для таких грозовых положений „типичная тефиграмма“ июля дана на рис. 20; как и для других групп там же для сравнения изображено распределение среднемесячной температуры по высотам. Из этой „тефиграммы“ следует, что грозы этого типа развиваются в массах прогретого полярного воздуха.

Дадим краткое описание отдельного случая таких гроз.

Грозы 22—23/VII 1937 г.

Антициклон, сформированный в массах арктического воздуха и располагавшийся 7/VII еще над Баренцовым и Карским морями, несколько ослабевая, смещался в южном направлении. С утра 20/VII он стационарировал и начал распадаться. В течение последующего времени наблюдалось интенсивное разрушение этого уже малоподвижного антициклона. Одновременно происходила интенсивная трансформация формирующих его воздушных масс.

К вечеру 21/VII нужно считать процесс трансформации АВ и ПВ законченным, так как эти массы уже начали динамически взаимодействовать со свежими порциями арктического воздуха.

Распределение ветра по высотам, приведенное в табл. 22, показывает, что эти дни изменение термического поля атмосферы над Павловском происходило в условиях слабой адвекции и обусловливалось главным образом прогреванием воздушных масс от земной поверхности.

Уже 22/VII (рис. 21) на утренней синоптической карте эти массы поименованы прогретым кПВ. Справедливость этого определения подтверждается вертикальным распределением температуры над Павловском (рис. 22). Из сравнения значений температуры по высотам в эти дни с их среднемесячными значениями видно, что

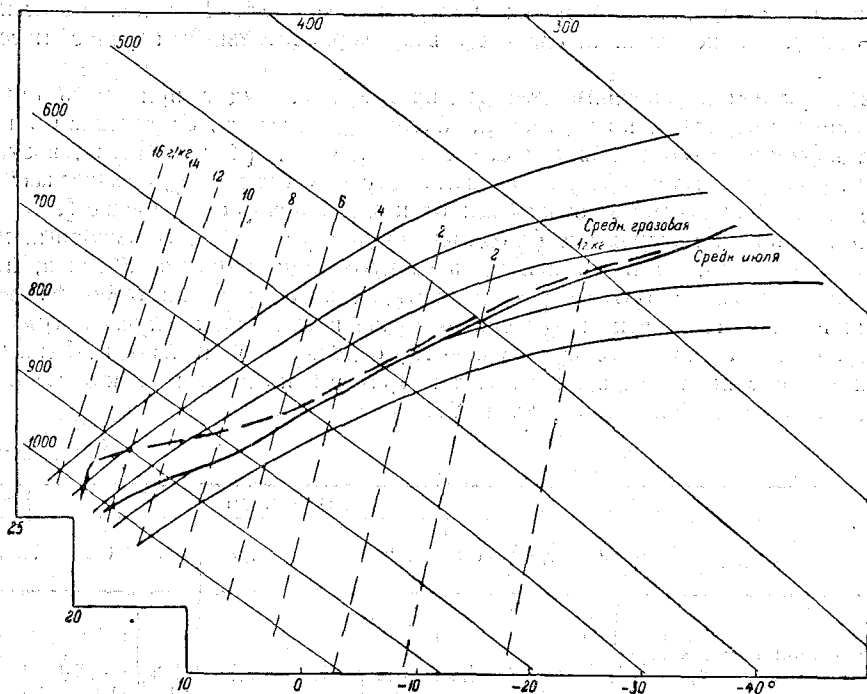


Рис. 20.

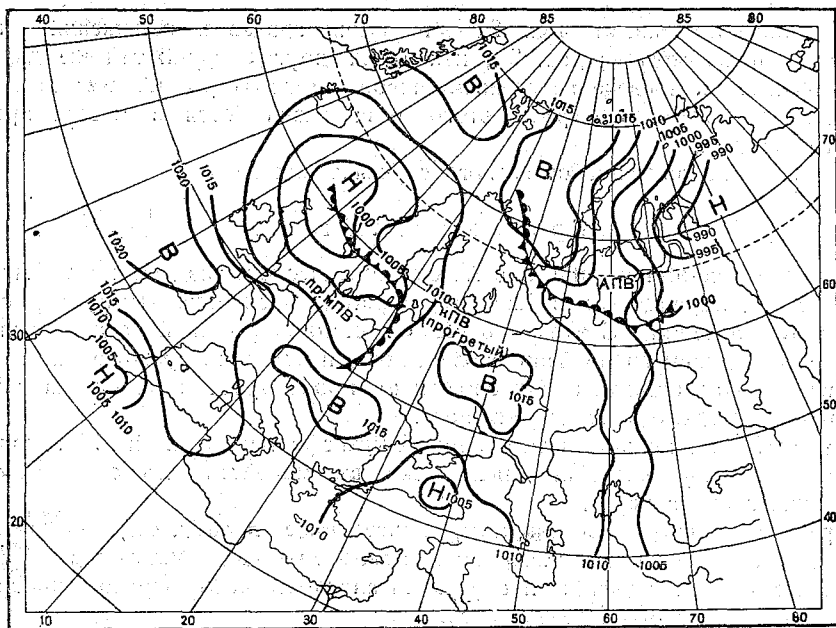


Рис. 21. Синоптическая карта за 7 час. 22/VII 1937 г.

Таблица 22

Дата и время		Высота, км									
		0,03	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
21/VII 12 55	$\frac{d}{v}$	0	0	$\frac{173}{1}$	$\frac{157}{4}$	$\frac{175}{3}$	$\frac{230}{3}$	$\frac{213}{6}$	$\frac{201}{8}$	$\frac{206}{8}$	$\frac{206}{8}$
22/VII 19 30	$\frac{d}{v}$	$\frac{186}{3}$	$\frac{190}{4}$	$\frac{220}{3}$	$\frac{257}{3}$	$\frac{211}{2}$	$\frac{209}{2}$	$\frac{200}{4}$	$\frac{283}{2}$	$\frac{264}{2}$	$\frac{325}{2}$
23/VII 7 00	$\frac{d}{v}$	$\frac{143}{3}$	$\frac{150}{6}$	$\frac{158}{3}$	$\frac{165}{3}$	$\frac{153}{4}$	$\frac{140}{5}$	$\frac{145}{6}$	$\frac{135}{7}$		

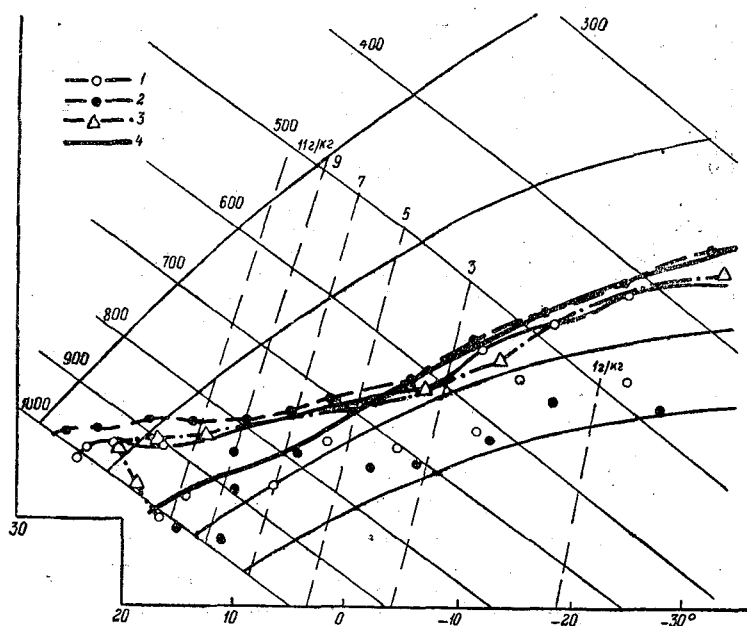


Рис. 22. Распределение температуры над Павловском 22—23/VII 1937 г.
1 — 22/VII 12.58, 2 — 23/VII 12.22, 3 — 23/VII 0.30.

нижних слоях даже в ночные часы (см. подъем 23/VII в 00 час. 30 мин.) воздушные массы были значительно теплее нормы, в слоях не выше 3 км их температура была близка к норме.

Как видно из рис. 22, стратификация атмосферы в эти дни благоприятствовала развитию гроз.

В рассмотренные дни за время с 01 час. 22/VII и по 01 час. 24/VII по району, огласно данным синоптических телеграмм, наблюдалось гроз — 53, дождей без роз — 26.

Если учесть, что из 26 случаев телеграфных данных о дождях 11 случаев адают на ночные часы 23/VII, когда они развивались в области фронта, тогда реобладание числа наблюдаемых гроз в эти дни становится весьма резким.

Тип IV. При грозовых положениях этого типа отклонения температуры от ормы в нижних слоях атмосферы по абсолютной величине не превосходят $\pm 2,5^\circ$, начиная с уровня 3 км значения температуры по всем высотам близки к норме.

Всего за рассматриваемое время было 22 таких грозы (около 25% от всех случаев, освещенных аэрологическими зондированиями). Они происходили главным образом в июле и августе, в частности, в июле оказалось 11 таких случаев.

Величины средних отклонений температуры от нормы в ночные и утренние часы таких грозовых дней для всего теплого времени года и отдельно для июля приведены в табл. 23.

Построенная по этим данным „типичная тефиграмма“ июля дана на рис. 23. Были найдены также средние значения удельной влажности по высотам в утренние часы при таких грозовых положениях в июле.

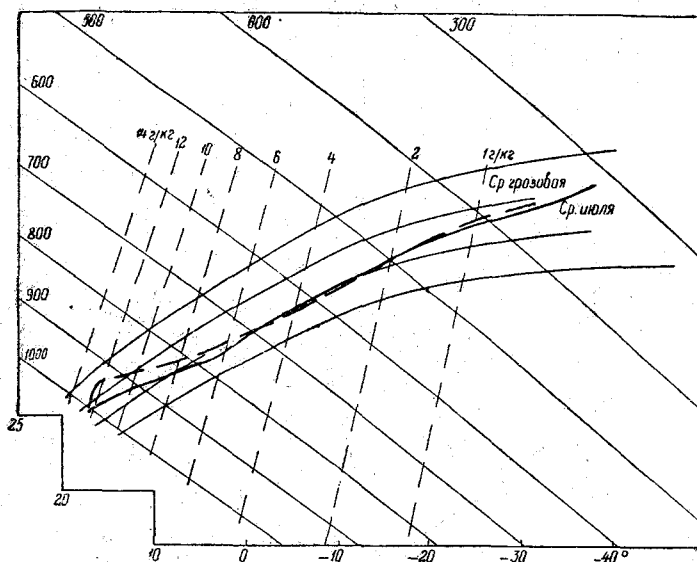


Рис. 23.

Таблица 23

	Высота, км									
	0,03	0,6	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Среднее отклонение для теплого времени года ..	0,1	2,1	2,3	1,5	0,7	0,3	0,1	0,2	0,7	0,6
Число случаев	22	22	22	22	22	22	22	19	19	18
Среднее отклонение для июля	0,3	1,8	2,0	1,2	0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,4
Число случаев	11	11	11	11	11	11	11	11	10	9

Полученные результаты приведены в табл. 24.

Данные табл. 23 и 24 показывают, что в этих случаях стратификация атмосферы близка к „норме“. Это является подтверждением справедливости высказанного выше утверждения о том, что изучение грозовой неустойчивости не может быть сведено только к нахождению запасов энергии неустойчивости. Естественно, что прогноз грозы при этих положениях особенно затруднителен.

Возможно, что для развития некоторых гроз утренние подъемы не были „репрезентативны“, так как необходимые запасы энергии неустойчивости создавались в ходе развития атмосферных процессов после зондирования и потому не находили отражения в его показаниях.

Таблица 24

	Высота, км								
	0,03	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Средняя удельная влажность утром при грозовых положениях IV типа	10,2	9,9	8,2	6,7	5,5	3,7	2,4	1,4	0,9
Число случаев	8	8	8	8	8	8	8	8	7
Средняя месячная удельная влажность	10,3	9,0	7,7	6,4	5,3	3,6	2,6	1,6	0,9

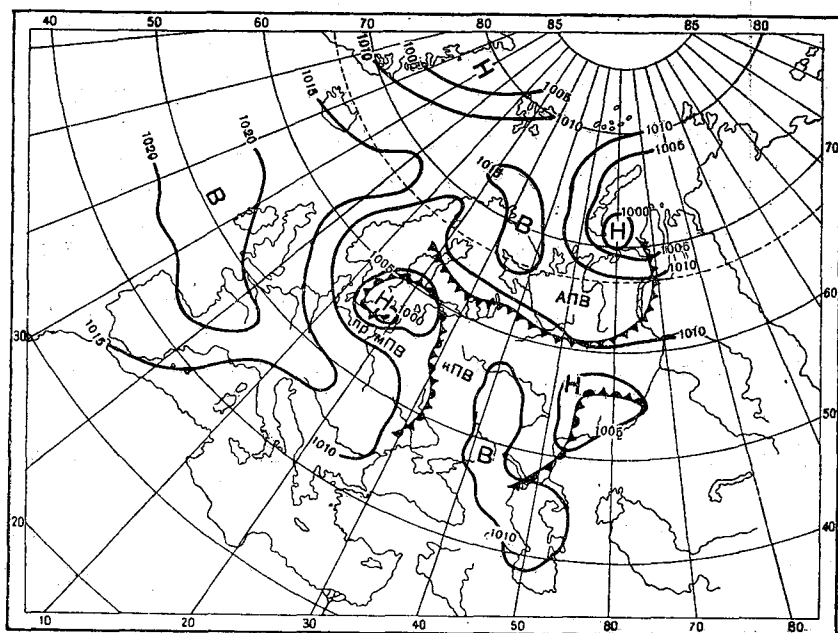


Рис. 24. Синоптическая карта за 7 час. 27/VII 1937 г.

Однако в нашем распоряжении имеются и такие случаи, которые показывают, что и в дневные часы, по мере приближения к моменту грозы, в стратификации воздушных масс не происходило существенных изменений в силу процессов адвекции или динамических причин и все изменения такого рода определялись лишь суточным ходом температуры (см. случай 27/VII 1937 г.). Этим инсоляционным прогреванием масс в суточном ходе в сочетании с процессами динамической турбулентности в области фронтов (чаще мало подвижных и размытых) и обусловливается развитие гроз при таких положениях.

Просмотр отдельных случаев гроз этого типа позволяет заключить, что неустойчивость стратификации атмосферы при этих положениях определяется прогреванием (и увлажнением) масс полярного воздуха в области мало подвижных циклонических систем.

Типичным примером гроз этого типа являются грозы 27/VII 1937 г.

Грозы 27/VII 1937 г.

Синоптическое положение утром этого дня представлено на рис. 24.

Распределение температуры с высотой по подъемам в 06 час. 02 мин. и 12 час. 30 мин. этого дня вместе с распределением среднемесячных температур дано на рис. 25.

В этом случае утром распределение температуры в слое 0,5—5,0 км практически совпадает со среднемесечным распределением. От утреннего к дневному подъему существенные изменения температуры происходили лишь в нижних слоях, подверженных влиянию суточного хода.

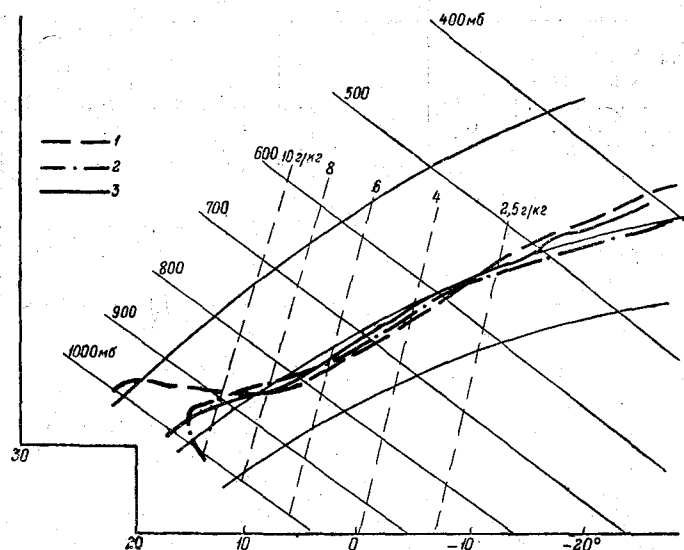


Рис. 25. Распределение температуры над Павловском 27/VII 1937 г.
1 — 27/VII 12 32, 2 — 27/VII 06.02, 3 — средняя июля.

Таблица 25

		Высота, км										
		0,03	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	
Среднемесечная влажность	06 час. 02 мин.	Влажность удельная	9,0	10,0	7,0	4,9	4,3	3,8	3,1	2,0	1,2	0,7
		Влажность относительная	98	86	70	60	62	69	63	55	51	43
	12 час. 30 мин.	Влажность удельная	9,7	8,6	8,8	7,8	6,9	4,9	3,9	3,0	2,1	1,2
		Влажность относительная	58	60	87	97	100	84	83	83	83	72
		удельная	10,3	9,0	7,7	6,4	5,3	4,5	3,6	2,6	1,6	0,9
		относительная	70	72	74	73	72	70	67	62	54	49

Распределение удельной и относительной влажности для данного случая представлено в табл. 25. Из нее видно, что от утреннего к дневному подъему произошло увеличение удельной влажности в слое 1,0—2,5 км, причем максимум увеличения падает на слои 1,5—2,0 км.

Увеличение удельной влажности привело к повышению относительной влажности на этих высотах, где в дневные часы она составляла соответственно — 97 и 100%.

Замечательно, что именно на этих уровнях утром имел место значительный разрыв вектора ветра; здесь наблюдалось увеличение скорости от 2 до 5 м/сек. и изменение направления от 172 до 196° (см. табл. 26).

Таблица 26

Время		Высота, км							
		0,03	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,8
06 02	$\frac{d}{v}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{62}{2}$	$\frac{145}{2}$	$\frac{172}{2}$	$\frac{196}{5}$	$\frac{196}{7}$	$\frac{186}{8}$	$\frac{178}{9}$
	$\frac{d}{v}$	$\frac{151}{3}$	$\frac{105}{3}$	$\frac{64}{3}$	$\frac{16}{2}$	$\frac{25}{2}$	$\frac{360}{3}$	$\frac{327}{5}$	
19 20	$\frac{d}{v}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{62}{3}$	$\frac{145}{3}$	$\frac{172}{2}$	$\frac{196}{2}$	$\frac{196}{3}$	$\frac{186}{5}$	
	$\frac{d}{v}$	$\frac{151}{3}$	$\frac{105}{3}$	$\frac{64}{3}$	$\frac{16}{2}$	$\frac{25}{2}$	$\frac{360}{3}$	$\frac{327}{5}$	

Следовательно, в рассматриваемых слоях имелись условия, благоприятствующие развитию турбулентного перемешивания, которое в дневные часы при развитии ермической конвекции в приземных слоях, способствовало осуществлению упорядоченной конвекции.

В Павловске между 16 час. 05 мин. и 16 час. 58 мин. наблюдались в этот день близкие грозы.

По рассматриваемому району за время от 07 до 19 час. в этот день наблюдалось гроз — 24, дождей без гроз — 27.

Этот случай является типичным для данных грозовых положений. При них отношение числа наблюдаемых гроз к числу наблюдаемых дождей меньше, чем массах теплого, и больше, чем в массах холодного воздуха.

Выводы

1. В условиях рассматриваемого района (Павловск) в формировании грозовых положений решающая роль принадлежит адвекции масс неустойчиво-стратифицированного теплого воздуха.

2. Развитие упорядоченной конвекции в холодных массах, обладающих даже значительными запасами неустойчивости, относительно редко сопровождается грозами, чаще же лишь выпадением шквалистых осадков. Наоборот, высвобождение запасов неустойчивости теплых масс почти всегда сопровождается грозами; случаи, когда в теплых массах наблюдались только ливневые дожди без грозовых изрядов — относительно редки.

3. Изучение связи грозовой деятельности с распределением температуры ветра по высотам показывает, что для развития гроз весьма важно наличие динамической неустойчивости в слоях, расположенных вблизи уровня конденсации.

ЛИТЕРАТУРА

- Гриценко и Дюбюк. Полные запасы энергии неустойчивости воздушных масс над Москвой. „Метеорология и гидрология, № 5. 1939.
- Торбина. Синоптические условия гроз над ЕГС. „Метеорология и гидрология, № 2. 1937.
- Накоренко. Распределение влажности в атмосфере. Труды НИУ ГУГМС СССР, сер. I, вып. 21. 1946.

4. Клоссовский. Грозы в России. Одесса, 1886.
 5. Scherhag. Über die atmosphärischen Zustände bei Gewittern. Berlin, 1931.
 6. Колобков. Грозы и шквалы. Гидрометеониздат. 1938.
 7. Reppler. Beitr. zur Phys. d. fr. Atmos. Bd. XXI. S. 125.
 8. Извеков и Кочин. Динамическая метеорология. ч. II.
 9. Calwagep. Zur diagnose und prognose lokaler Sommerschauer. Geof. Publ. Vol. III. 10, 1926.
 10. Refsdal. Der feuchtlabile Niederschlag. Geof. Publ. Vol. V, № 12. 1930.
 11. Брент. Физическая и динамическая метеорология. 1938.
 12. Nemias. Thunderstorms forecasting with meaid of isentropical charts. Bnll. Amer. Met. Sos., Vol. 19, № 1. 1938.
 13. Берг. Значение абсолютной влажности для происхождения и распространения гроз. 1886.
 14. Накоренко и Токарь. Распределение температуры и влажности в облаках. Труды НИУ ГУГМС СССР, сер. I, вып. 21. 1946.
 15. Хромов. К вопросу о трансформации воздушных масс. Журнал геоф., т. V, № 3. 1935.
 16. Вельский и Синягин. Опыт фронтологического анализа грозовой деятельности в северо-западных районах БССР и на Украине. Труды ГГО. Синоптический сборник № 1. 1934.
-

СНЕЖНЫЕ ФОРМЫ ОСАДКОВ ИЗ ЗИМНИХ ЛИВНЕВЫХ ОБЛАКОВ

Одним из методов изучения микрофизических процессов в облаках является микроскопическое исследование снежных форм осадков при отрицательной температуре в месте наблюдения [1, 2, 3]. В данной статье рассматриваются микроформы снежных осадков, выпадающих только из ливневых облаков.

Формы снежных осадков из ливневых облаков стали отмечаться совсем недавно [4]. В первую очередь была выделена, как ливневое явление, снежная крупка, затем ливневой снегопад. В отечественном руководстве метстанциям определение снежной крупы оформляется в 1928 г., а ливневого снегопада — в 1935 г. Непосредственно с ливневыми облаками связывали до последнего времени лишь некоторые случаи крупы („весенняя ливневая крупка“) и ливневой снегопад. О совокупности снежинок последнего специальных исследований нам не встречалось. В лабораторных опытах Накайя [5] получил, что самая сильная конвекция дает комковатый некристаллический снег, т. е. аналог крупы. Таким образом была подтверждена связь крупы с бурной конвекцией и с ливневыми облаками.

Микростроение крупы привлекло к себе внимание ряда исследователей, которые и дали объяснение ее роста [6, 7]. Любопытно, что совершенно произвольное допущение о природе крупы как сферокристалла, данное А. Вегенером [8] и опровергнутое последовательно всеми последующими работами, до сих пор удержалось в нашей метеорологической литературе [9]. Микроособенности ливневых снегопадов вообще или снегопадов из ливневых облаков до сих пор не освещены достаточно. Эта заметка и предназначена главным образом к заполнению этого пробела в самом первом приближении.

Наблюдение снежинок при отрицательной температуре показывает их малое изменение от испарения при падении из ливневого облака на землю, если судить по сохранению тонких кристаллических выступов (см., например, фотографии Бентлея [10]).

Время полета, в течение которого снежинка может испаряться на пути от основания облака до поверхности земли, составит при 500 м высоты облака и скорости падения 1 м/сек. все же 8—9 мин. Возможно, что малому изменению посредством испарения благоприятствует большая влажность воздуха зимой между снежной поверхностью земли и облаком. Во всяком случае, факт малого испарения снежинок на пути и медленность испарения под микроскопом дают возможность отождествлять без больших погрешностей вид снежинки под микроскопом в момент выпадения из облака, тем более что рост снежинок вне облака вряд ли возможен, если судить по наземной изморози [16]. Поэтому в дальнейшем формы снежинок, рассмотренные нами, без поправок и оговорок подразумеваются как бы только что выходящими из облака, т. е. не искаженными падением, исключая процесс объединения в хлопья.

Кучево-ливневые облака зимой обладают рядом особенностей, которые необходимо учитывать при изучении снежных форм осадков, выпадающих из них.

Разница между кучевыми и ливневыми облаками, столь резкая летом, теряется зимой. Даже слабо развитое по вертикали кучевое облако при низких темпера-

турах зимой в значительной части является ледяным и дает снег, т. е. оказывается ливневым. Совмещение процессов кучевого и ливневого облака — наиболее характерная особенность зимних конвективных облаков. Сама конвекция зимой весьма слаба, отчего ливневые облака могут принимать форму разорванно-дождевых, что и было уже отмечено Международным синоптическим кодом [11]. В то же время и над снежным покровом при отрицательной температуре развиваются обычные кучевые облака и, следовательно, высказываемое иногда мнение о невозможности этого [12] — ошибочно. Слабые вертикальные движения и малая мощность некоторых видов зимних ливневых облаков, естественно, вызывают малую ливневость их осадков. В то же время довольно мощная и бурная конвекция в весенних ливневых облаках дает резко выраженные снежные и крупяные ливни. Разная мощность зимних ливневых облаков и должна вызывать большое разнообразие форм снежинок.

Нечеткость форм снежинок из зимней конвективной облачности увеличивается еще обычным сопровождением ливневых облаков другими формами, чаще всего чечевицеобразными слоисто-кучевыми облаками.

Осадки обоих этих облачных видов при падении соприкасаются и дают впечатление неоднородного сплошного снегопада колеблющейся силы. Смешение выпадающих снежинок облегчается медленностью их падения (меньше 1 м/сек.) из-за их большой парусности и турбулентности воздуха.

Форма снежинок определяется не только степенью пересыщения воздуха, но и той или другой формой облака. Наблюдения над изморозью показывают зависимость формы обледенения от температуры воздуха, хотя возможно температура и не влияла непосредственно. Именно при низких температурах (около -30°) капельно-жидкие туманы дают при штиле чисто сублимационную изморозь почти без всяких следов намерзания капель воды. С повышением температуры или с ростом ветра увеличивается число капель тумана, намерзших на кристаллах льда. Наконец, при температурах около 0° или при небольшом морозе, но сильном ветре, кристаллическая основа почти совершенно исчезает под массой намерзших капель.

Скорость ветра относительно снежинки для снегопада меняется в пределах от долей м/сек. для снежинок в доли миллиметров диаметром и до 3—5 м/сек. у крупы, т. е. изменения скорости встречного ветра и, следовательно, кинетической энергии капель облака для снежинок меняются значительно меньше, чем для изморози, где колебания ветра от 0 до 15 м/сек. обычны. Поэтому главное дополнительное влияние на форму снежинок должна оказывать температура: чем она ниже, тем кристаллическое, правильное должна быть снежинка, чем выше температура, тем сильнее обзернена.

Использованный нами наблюдательный материал по микроформам снежинок из конвективных облаков очень мал — всего около 20 случаев, часть из которых оказалось возможным использовать лишь с ограниченной целью. Большинство наблюдений производилось в 1945—1946 гг. в Ленинграде, остальные — в Ростове н/Д (1937—1939 гг.), Свердловске (1943 г.), Москве (1944 г.) и в Тегеране (1945 г.). Скудность материала заставляет считать все приводимые ниже выводы лишь первым приближением к действительности, больше постановкой вопроса о формах снежинок ливневой облачности, чем ответом на этот вопрос.

Зимние ливневые облака дают три типа снежинок: сильно обзерненные и крупнообразные формы (рис. 1 и 2), пластинчатые и игольчатые (рис. 3 и табл. 1). Столбчатые формы не наблюдались, что согласуется с лабораторными опытами Накайя, который получил их при самом малом пересыщении [5]. Под пластинчатыми формами в табл. 1 подразумеваются звезды (рис. 3 и 5), слабо развитые пушинки (звезды, обросшие с одной стороны плоскими кристаллами) рис. 4, и ежи (разросшиеся из одной точки пластинки), — все это либо совершенно без капель или с отдельными намерзшими каплями воды. В графу сильного обзернения и крупы вошли все случаи значительного обзернения, вне зависимости от того — различим ли первоначальный кристалл (обычно звезда) или уже неразличим.

Под средним весом подразумевалось процентное соотношение числа снежинок разных типов, выпадающих в одном снегопаде совместно, под частотой — повторяемость снегопадов с данной формой.

Таблица 1

Типы снежинок из зимних ливневых облаков

	Иглы	Пластины	Сильное об- зернение и круп
Частота, %	8	46	46
Средний вес	100	80	72
Температура у земли, °C	-1	-6,2	-6,6

Иглы выпадали совершенно самостоятельно, а две другие группы форм — со значительным преобладанием одной из них. Большой разницы в температуре двух наиболее частых групп снежинок не обнаружилось, иглы выпадали при температуре около нуля.

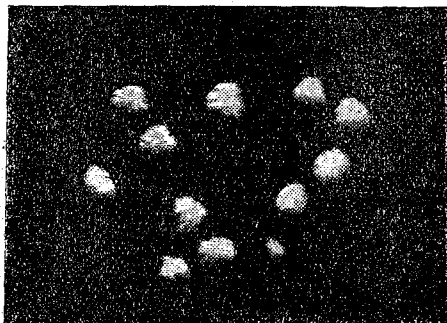


Рис. 1. Снежная крупа [10].

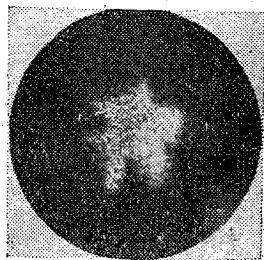


Рис. 2. Густо обзерненная звезда [3].

Снежная крупа обнаружила любопытные особенности. Она не отличалась от „снежных зерен“ — строение обоих оказалось из мелкокапельной сетки. По размеру они также не отличались. Например, 24/I 1946 г. при -6° дважды густо выпадала порывами типичная крупа, но размером от 0,3 до 1,2 мм, в среднем 0,7 мм; самый большой размер отмечен 2,5 мм, да и то за счет „крупяных хлопьев“ из многих единичных крупинок. Таким образом крупа по размеру может быть меньше 1 мм в среднем. В то же время среди общего выпадения различных снежинок иногда встречаются отдельные редкие крупинки до 3 мм. Это показывает, что по характеру выпадения и по микростроению нельзя различать „снежные зерна“ и „снежную крупу“, как это делается сейчас в „Наставлении мет-станциям“ [13], согласно международной договоренности. К тому же выводу пришел Р. Гейгер, нашедший, что интенсивность осадкообразующего процесса снежных зерен лежит между сильным обложным снегопадом и ливневым снегом [14]. Вопрос о том, что же тогда является твердым аналогом мороси нами не изучался.

Кристалличность плоских форм, выпадающих из ливневого облака, иногда проявлялась в красивых оптических явлениях. Например, однажды в Ростове н/Д. на фоне общего темно-голубого неба проходили отдельные небольшие и мало-мощные кучевые облака с полосами падения снега под ними. При подходе облака к накрыванию наблюдателя этой полосой снегопада, или просто при ее прохождении в зените, над головой вспыхивала разноцветная яркая верхняя касательная дуга к кругу радиусом 46° . С удалением облака дуга исчезала.

Отсутствие разницы в температуре выпадения пластинчатых и крупяных форм может быть предположительно объяснено различной степенью мощности ливневых облаков — при крупе они мощнее. Поэтому влияние на форму снежинки количества капель воды в единице объема перекрывает действие температуры. В туманах на земле первого фактора столь резких колебаний водности нет, если судить хотя бы по видимости — в ливневых облаках она доходит до 15–20 м, а в рассмотренных нами туманах обычно не уменьшалась ниже 100 м.

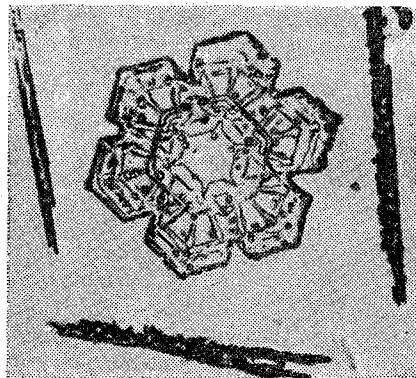


Рис. 3. Обзерненная звезда и иглы [10].

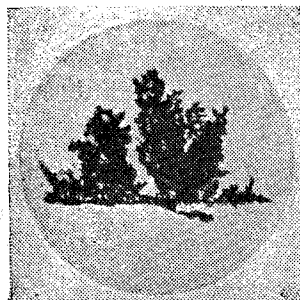


Рис. 4. Пушинка в профиль [3].

Снежные иглы выпадали 16/XI 1945 г. из довольно плоских зимних ливневых облаков, соприкасавшихся краями и имевших лишь редкие просветы, напоминавших слоисто-кучевые облака. Сила снегопада колебалась от нуля до умеренного. Иглы образовывали между собой большие хлопья, в пределе из многих сотен игл. Размер отдельных хлопьев доходил до 8 мм, имея форму комка из связанных каплями игл, торчащих в разные стороны ежом. Сами иглы были составлены из ряда сросшихся вдоль длины элементов — батарей игл, сильно обзерненных.

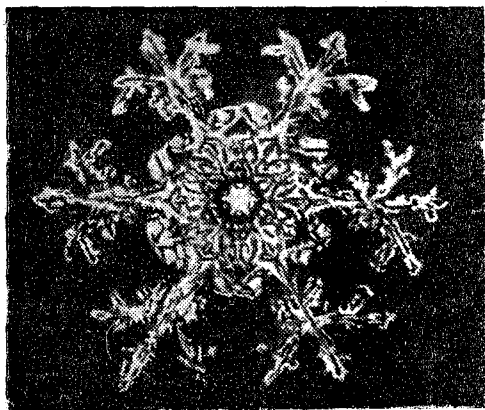


Рис. 5. Звезда [10].

Не только снегопады из игл, связанные с ливневыми облаками, содержали большие хлопья. Большинство ливневых снегопадов имеют хлопья, иногда достигающие огромных размеров [15]. Существенно, что наибольшая величина хлопьев связана именно с ливневыми облаками. Из табл. 2 видно, что без хлопьев не отмечалось ни одного снегопада, хотя в 22% случаев установить наличие-отсутствие хлопьев не удалось. В некоторых случаях даже мелкая крупа соединялась в хлопья из десятка крупинок.

Изложенное приводит к заключению, что понятие „ливневой снег“ охватывает ряд групп форм снежинок. Для уточнения атмосферного процесса желательно было

бы их разграничение, тем более что отличить группы снежинок друг от друга можно уже невооруженным глазом. Зимние ливневые облака дают легко различимые следующие группы снежных форм (табл. 3). Кроме того, каждая из групп форм может выпадать в двух вариантах — хлопьями и без хлопьев, хотя последнее и мало вероятно. Эти подробности в отметке форм снежинок дадут возможность судить об осадкообразующих процессах в облаке, что важно, например, для синоптического анализа состояния атмосферы.

Рассмотрение снежных форм зимних ливневых облаков показывает отсутствие единой формы снежинок, согласно отсутствию только одного и во всех случаях одинакового процесса в ливневом облаке. По снежинке можно определять не наличие ливневого облака, а наличие лишь какого-то „ливневого процесса“, который может быть и в других облаках (например ливневые облака внутри

Таблица 2

Снежные хлопья из зимних ливневых облаков

Снежинки	Хлопья	Крупа	Неизвестно	Без хлопьев
Частота, %	50	28	22	0

Таблица 3

Формы снежинок из зимних ливневых облаков

№ п/п	Группа форм снежинок из ливневых облаков	Соответствующие принятые термины	№ рисунка
1	Снежная крупа	Снежная крупа	1
2	Мелкая снежная крупа	Снежные зерна	1
3	Густо обзерненный кристалл	Снежная крупа	2
4	Обзерненная звезда	Ливневый снег	3
5	Пушинка	" "	4
6	Звезда	" "	5
7	Иглы	" "	3

системы слоисто-дождевых облаков теплого фронта). В то же время снежинка из ливневого облака может быть показателем неливневого процесса, когда она порождается побочными процессами в ливневом облаке или развивается в облаке, сопутствующем ливневым облакам. Таким образом по микроформе снежинки можно уточнить представление о процессах в атмосфере сравнительно с общим обозрением облаков и обычной отметкой осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Findeisen W. Über flugmeteorologische Schneebeobachtungen. Met. Zeitschr. S. 429. 1939.
2. Вейнберг Б. П. Лед. Гостехиздат. 1940.
3. Nakaya U. and Sekido I. General classification of snow crystals... Journ. of the Fac. of Science. Hokkaido University. Seric II, Vol. I, p. 243. 1936.
4. Бергерон Т. Лекции об облаках. ЦУЕГМС. 1934.
5. Nakaya U., Toda I. and Maruyama S. Farther experiments on the artificial production of snow crystals. Journ. Hokkaido Univ, Vol. II, p. 13. 1938.
6. Dobrowolski A. B. Historia naturalna lodu, Warszawa. 1923.
7. Barkow E. Met. Zeitschr. B, 25, S. 456. 1908.
8. Wegener A. Thermodynamik der Atmosphäre. Leipzig. 1911.
9. Оболенский В. Н. Метеорология. Гидрометеиздат. 1944.
10. Bentley W. A. and Humphreys W. I. Snow crystals. 1931.
11. Руководство к составлению ежедневных метеорологических телеграмм. Редиздат ЦУЕГМС, стр. 37. 1935.
12. Святский О. Д. и Кладов Т. Н. Занимательная метеорология. „Время“. Л., 1934.
13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. 1946.
14. Geiger R. Über die Beziehungen des fallenden Niederschlages zur Luft temperatur. Met. Zeitschr. H. 5, S. 145. 1944.
15. Заморский А. Д. Снежные хлопья великаны. „Природа“, № 3. 1946.
16. Заморский А. Д. Связь изморози с туманом „Метеорология и гидрология“, № 6. 1946

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Часть I. Результаты исследования кучевых облаков летом 1946 г.	
Предисловие	3
Селезнева Е. С. Условия образования кучевых облаков по наблюдениям летом 1946 г.	5
Зайцев В. А. Распределение ядер конденсации по высоте в дни с кучевой облачностью	15
✓ Честная И. И. Микроструктура кучевых облаков	27
Заморский А. Д. Формы кучевых облаков	33
Приложение. Таблицы результатов зондирований и графики размеров капель	41
 Часть II. Разные вопросы физики облаков	
✓ Шишкин Н. С. Рост облачных капель благодаря разности скоростей падения	88
Чуваев А. П. Состояние атмосферы над Павловском в грозовые дни	96
Заморский А. Д. Снежные формы осадков из зимних ливневых облаков	135

10874

Редактор *Е. С. Селезнева.*

Техн. редактор *Л. Б. Кононова.*

Сдано в набор 23/X 1947 г.

Подписано к печати 17/II 1948 г.

Индекс М-Л-58.

Изд. № 58. Бумага 70 × 105¹/₁₆. Зн. в 1 печ. л. 71 000. Уч.-изд. л. 16,7. Печ. л. 8³/₄ + 1 вкл.

Тираж 600 экз.

Гидрометеиздат. г. Ленинград 1948 г.

М-00464.

Заказ № 1632

Цена 12 руб.

2-я Типо-литография Гидрометеиздата, Ленинград, Прачечный пер., 6.