

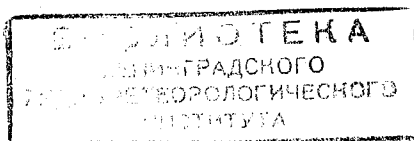
Т Р У Д Ы ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 74

ГРОЗЫ И ГРАД НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Под редакцией
канд. геогр. наук
В. П. ПАСТУХА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1957

АННОТАЦИЯ

В сборнике помещены: карты числа дней с грозами и градом и краткий текст, в котором освещаются вопросы распределения гроз и града на территории СССР, годовой ход числа дней с грозами и градом и максимальное число дней с градом, наблюдавшееся в отдельных пунктах.

Для отдельных районов даются характеристики повреждений от градобитий. Кроме того, рассматриваются вопросы числа дней с грозами, когда они наблюдались на некоторой ограниченной территории одновременно. Наряду с климатологической характеристикой гроз и града в сборнике приведены теоретические данные механизма образования града и освещается вопрос о современных возможностях предотвращения гроз и града.

Сборник предназначен для научных работников в области климатологии и агроклиматологии.

ГРАД НА ТЕРРИТОРИИ СССР

§ 1. Введение

Град наносит значительный ущерб народному хозяйству. Государство выплачивает большие денежные средства по страхованию различным организациям за причиненные градом убытки. От града страдают главным образом сельскохозяйственные растения и сады, особенно в период цветения.

Установлено, что в районах с интенсивным выпадением града ежегодно повреждается или уничтожается до 1% посевов [1]. В отдельные годы в некоторых районах может выпадать крупный град, который полностью уничтожает посевы. Например, на Европейской территории Советского Союза отмечались следующие, наиболее значительные повреждения. В Кировской области, в пункте Нагорское, 25/VI 1947 г. уничтожено градом 500 га посевов, а в 1952 г. с мая по август было уничтожено около 4000 га.

В Московской области, в Михневском районе, 3/VIII 1939 г. в течение 40 минут градом были уничтожены посевы в 7 колхозах. В 1952 г. во всей Московской области только за август было уничтожено около 13 000 га посевов.

В Воронежской области, по данным метеорологической станции Митрофановка, 25/VII 1944 г. градом было повреждено до 1000 га посевов, а по всей области в 1951 г. с мая по август было уничтожено более 11 000 га.

По данным метеорологической станции Полевой Сундырь (Марийская АССР), 19/V 1927 г. в районе станции выпал град величиной с куриное яйцо, в результате были пробиты железные крыши на домах; убито много домашней птицы и наблюдалось ранение людей со смертельным исходом; погибли посевы.

В Гомельской области в 1950 г. с мая по июль было уничтожено градом более 13 000 га посевов.

По данным метеорологической станции Долматово (Курганская область), 2/VIII 1945 г. были повреждены посевы на площади более 2500 га. В районе станции Половинное (Курганская область) 3/VI 1948 г. в результате сильного градобития (отдельные градины были больше куриного яйца) было повреждено более 2000 га посевов, убито много скота и домашней птицы.

По данным метеорологической станции Зерноград (Ростовская область), в ее окрестностях 20/VI 1949 г. прошел сильный ливневый дождь с градом продолжительностью около 30 минут. Градины достигали размеров куриного яйца. В результате градобития было уничтожено более 800 га посевов, пострадали сады и огороды.

В районе станции Труновское (Ставропольский край) 17/VI 1938 г.

выпал крупный град. В результате чего, по данным Райзо, целиком погибло по району 11 000 га посевов.

В южных районах Европейской территории СССР градобитие принимает в отдельных случаях катастрофические размеры. По данным метеорологической станции Нальчик (Кабардино-Балкарская АССР), с 9 по 10/VI 1939 г. в ее окрестностях выпал град величиной с куриное яйцо, сопровождавшийся сильным ливнем. В результате погибло свыше 60 000 га пшеницы и около 4000 га других культур; убито около 2000 овец и погибло 8 чабанов.

В отдельных районах Азиатской части Советского Союза град также наносит большой материальный ущерб народному хозяйству. Так, например, в Узбекской ССР, по данным ст. Касан-Сай, 11 и 12/V 1949 г. наблюдался сильный град с ливнем. Было уничтожено 6400 га хлопчатника и на 100% плоды деревьев.

На Дальнем Востоке, на ст. Приморская, 19/VI 1936 г. градом повреждены огородные культуры, уничтожена часть домашней птицы и выбиты стекла окон. На ст. Иман 9/V 1938 г. от выпадения града было повреждено 30 000 корней рассады. На ст. Улунга 17/VI 1941 г. градом повреждены лесонасаждения и посевы на полях.

Град наблюдается преимущественно в теплую половину года и на местности обычно выпадает пятнами. Иногда град выпадает полосами, достигающими нескольких километров в длину и тысячи метров в ширину. Выпадение града чаще всего сопровождается ливневыми осадками, грозами и иногда шквалистым ветром [2].

При катастрофических выпадениях града большие площади могут покрыться толстым слоем льда. Так, например, по данным метеорологической станции Отрадное (Краснодарский край), 17/VI 1938 г. наблюдался сильный град. Слой выпавшего града местами достигал 30 см. На ст. Кокпекты (Казахстан) 17/VI 1950 г. отмечено сильное градобитие. Град прошел полосой с юго-запада на северо-восток шириной до 5 км. Градобитие длилось около 40 минут. После выпадения града образовался покров льда толщиной в 10—15 см, который в отдельных ложбинах лежал в течение суток, в результате чего посевы погибли полностью.

В тех районах, где большое народнохозяйственное значение имеет отгонное животноводство (например, в Казахстане), выпадение крупного града может привести к гибели мелкого скота.

Поэтому данные о градовых явлениях представляют большой интерес для работников сельского хозяйства. Знание географического распределения града и интенсивности его выпадения в отдельных районах позволяет предусматривать некоторые меры, уменьшающие потери от градобитий. Особенно это важно для весеннего периода и начала лета в южных районах Европейской территории СССР и Кавказа, а также для некоторых районов Средней Азии. Поврежденные градом поля могут быть пересеяны такими сельскохозяйственными культурами, которые могут дать урожай в том же году.

Данные о распределении среднего и наибольшего числа дней с градом, выпадающим в том или ином районе, области или республике, могут быть учтены при планировании сельскохозяйственного производства. Эти данные должны учитываться также органами Госстраха.

Изучению особенностей градовых явлений и географическому распределению числа дней с градом на территории СССР и посвящена данная работа.

Для исследования вопроса о выпадении града на территории СССР были использованы данные наблюдений более 3300 метеорологических станций. Для Европейской территории Советского Союза использованы результаты наблюдений около 2000 станций, из них по Кавказу — около

250 станций; по Азиатской территории СССР использованы данные более 1300 станций; по Казахстану и Средней Азии около 400 и по остальной части территории более 900 станций.

Из приведенных данных видно, что Европейская территория Советского Союза освещена данными лучше, чем Азиатская. При этом следует отметить, что отдельные горные районы Кавказа и Средней Азии освещены недостаточно полно.

Указанное количество метеорологических станций позволило впервые построить карту числа дней с градом для всей территории СССР и дать картину пространственного распределения града. Отдельными исследователями изучался ранее вопрос о выпадении града, его интенсивности и т. п. Однако карты для всей территории СССР не строились.

Несмотря на то, что наблюдения над выпадением града на метеорологических станциях производятся по единой программе, качество наблюдений на отдельных станциях не всегда удовлетворительно, особенно в переходные месяцы года (III—IV, IX—X), так как часто наблюдатели в указанные месяцы путают град с крупой. В таких случаях для выбора надежных данных просматривались таблицы основных наблюдений (ТМ-1), причем выпадение града увязывалось с другими метеорологическими элементами (грозами, ливневыми осадками, формой облаков), и при анализе учитывались температурные условия.

Обработка данных по числу дней с градом производилась в местных управлениях гидрометеорологической службы, после чего эти материалы поступали в Отдел климатологии Главной геофизической обсерватории для окончательного просмотра.

Для климатологической обработки числа дней с градом были использованы данные в пределах периода 1891—1950 гг. Однако в отдельных случаях использованы наблюдения только с 1936 г., так как с этого периода введены на всей сети станций четырехсрочные наблюдения с более подробной записью атмосферных явлений.

Для оценки качества и установления однородности рядов наблюдений применялся метод сравнения данных рассматриваемой станции с данными ближайших станций, расположенных по возможности в аналогичных физико-географических условиях. Окончательный анализ материала проводился по картам и графикам годового хода числа дней с градом. Среднее многолетнее число дней с градом получено путем непосредственного подсчета без приведения к многолетнему периоду.

§ 2. Влияние возвышенностей и гор на выпадение града

В процессе анализа материала выявлено влияние рельефа, крупных водоемов, лесных массивов на увеличение или уменьшение числа дней с градом.

На Европейской территории Советского Союза заметное увеличение числа дней с градом по сравнению с окружающей местностью наблюдается, например, на Валдайской и Средне-Русской возвышенностях. Аналогичное явление отмечается и на возвышенностях Казахского мелкосопочника. Для характеристики приводятся следующие данные (табл. 1).

Увеличение выпадения града под влиянием возвышенностей можно объяснить усилением турбулентности в приземном слое воздуха и увеличением конвективной облачности. Если в равнинных условиях влияние небольших возвышенностей уже сказывается заметно на увеличении выпадения града, то в горных районах этот эффект усиливается весьма в большой степени. В качестве примера в табл. 2 приведены данные для горных районов Кавказа, Урала, Средней Азии, Казахстана и хребта Кузнецкого Алатау.

Влияние возвышенностей на выпадение града

Станция	Широта	Долгота	Высота (м)	Число дней с градом за год
---------	--------	---------	------------	----------------------------

Валдайская возвышенность

Валдай	57°58'	33°44'	220	3,5
Охоны	58 34	35 38	146	1,6
Старая Русса	58 01	31 19	26	1,4

Средне-Русская возвышенность

Борисовка, оп. п.	50°36'	36°04'	180	3,0
Сумы, оп. п.	50 53	34 43	179	2,7
Нежин, ж. д.	51 03	31 54	126	1,7
Алексеевка	50 38	38 42	107	1,4

Казахский мелкосопочник

Караганда	49°48'	73°09'	537	2,9
Осокоровка	50 41	72 41	454	1,6
Атбасар	51 43	68 22	303	1,2

Из приведенных данных можно сделать следующие выводы. Рассматривая выпадение града на Урале, следует отметить, что на ст. Таганай, гора по сравнению со ст. Таганай, нижняя при разности высот 552 м число дней с градом за год увеличилось на один день. В Армении на станциях, расположенных на разных высотах, но по одному склону, имеющих разности высот около 1300 м, наблюдается увеличение числа дней с градом более чем на 9 дней. В Грузии отмечается аналогичная картина.

На Кавказе влияние высот на выпадение града сказывается в большей степени, чем на Урале. Это объясняется большими высотами над уровнем моря, более высокими температурами подстилающей поверхности, способствующими усиленной конвекции, а также большим влажностью воздушных масс, приходящих с бассейна Черного моря.

Закономерности увеличения выпадения града с высотой мы обнаруживаем и в горах Средней Азии, Казахстана и других районах. На ст. Сары-Таш, превышающей по высоте ст. Ош в три раза, отмечалось увеличение числа дней с градом на 2 дня, а по сравнению с Ферганской долиной — более чем на 4 дня.

Особенно интересным представляется распределение числа дней с градом по склону Заилийского Алатау.

Ниже (табл. 3) приводится пример, характеризующий увеличение числа дней с градом по склону по сравнению с данными ст. Алма-Ата, город.

Таблица 2

Влияние гор на выпадение града

Станция	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря (м)	Число дней с градом за год
Г р у з и я				
Гудаури	42°28'	44°29'	2197	8,3
Боржоми, Минеральные Воды	41 50	43 24	794	3,3
А р м е н и я				
Арагац, высокогорная	40°29'	44°11'	3229	14,6
Сошабулах	40 29	44 16	1967	5,2
Джаджур, ж. д.	40 52	43 57	1795	4,0
У р а л				
Гаганай, гора	55°20'	59°51'	1102	3,4
Гаганай, нижняя	55 20	59 54	550	2,4
С р е д н я я А з и я				
Сары-Таш	39°44'	73°15'	3207	4,4
Чульга	40 19	73 27	1561	2,6
Ош	40 32	72 48	1013	1,2
Фергана	40 23	71 45	578	0,3
К а з а х с т а н				
Мын-Джилки	43°05'	77°01'	3036	10,8
Верхний Горельник	43 08	77 03	2254	8,7
Медео	43 10	77 02	1529	2,9
Алма-Ата	43 14	76 56	825	1,5
Кузнецкий Алатау				
Ненастная	54°45'	88°49'	1186	2,9
Голец Подунный	54 13	89 24	842	1,6

Таблица 3

Изменение числа дней с градом по склону Зайлийского Алатау

Станция	Высота над уровнем моря (м)	Разность высот (м)	Число дней с градом за год	Увеличение числа дней с градом
Алма-Ата, горд	825	—	1,5	—
Медео	1529	704	2,9	1,4
Верхний Горельник	2254	1429	8,7	7,2
Мын-Джилки	3036	2211	10,8	9,3

Из приведенных данных видно, что наибольшее возрастание числа дней с градом наблюдается примерно до высот 2000—2500 м. Дальнейшее увеличение высоты над уровнем моря уже не дает такого роста числа дней с градом. Так, например, на ст. Верхний Горельник, расположенной на высоте 2254 м над уровнем моря, отмечается на 7 дней с градом больше (за год), чем на ст. Алма-Ата, город; однако по сравнению со ст. Мын-Джилки, расположенной еще на 800 м выше Верхнего Горельника, число дней с градом за год увеличивается лишь на 2 дня.

§ 3. Влияние водоемов на выпадение града

При анализе материала выявлено, что на уменьшение числа дней с градом оказывают влияние крупные водоемы. В качестве примера приводим следующие данные (табл. 4).

Таблица 4

Изменение числа дней с градом в зависимости от близости водоемов

Станция	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря (м)	Число дней с градом за год
Ладожское озеро				
Лесогорский	61°02'	28°56'	43	1,9
Приозерск	61 02	30 08	10	1,2
Азовское море				
Мелитополь	46°50'	35°22'	39	1,2
Осипенко	46 45	36 47	2	0,7
Озеро Байкал				
Слюдянка	51°39'	103°44'	465	0,5
Ольхон	53 03	106 54	468	0,2
Иркутск, обсерватория . .	52 16	104 19	468	0,2
Большой Ушканий остров .	53 50	108 31	460	0,1

Из приведенной таблицы видно, что станции, расположенные в непосредственной близости к водоемам, отмечают уменьшение числа дней с градом примерно в 1,5—2 раза по сравнению со станциями, лежащими в некотором удалении от берегов. Значительное уменьшение числа дней с градом над Байкалом связано с тем, что глубоководное озеро в течение всего теплого периода года остается холодным. Условия подстилающей поверхности не способствуют развитию конвективных токов и образованию кучевой облачности.

Некоторые исследователи (А. И. Воейков [3], А. В. Клосовский [4] и др.) считали, что лесные массивы оказывают влияние на уменьшение числа дней с градом по сравнению с районами, расположенными примерно на тех же широтах, но безлесными. При анализе материала по числу дней с градом этот факт в некоторых случаях находит свое подтверждение. Это, по-видимому, объясняется тем, что над большими зелеными массивами нет условий для образования мощной конвективной облачности, способствующей выпадению града. При нагревании поверхности кроны лесного массива происходит интенсивное испарение, пони-

кающее температуру прилегающих слоев воздуха, что тормозит возникновение конвективных токов над лесом. Однако этот вопрос требует дальнейшего исследования.

§ 4. Суточный ход выпадения града и его продолжительность

При анализе материала по числу дней с градом выявились некоторые особенности в суточном ходе выпадения града.

В центральных районах Европейской территории Советского Союза град преимущественно выпадает в послеполуденные часы. Около 60% всех случаев выпадения града наблюдается между 13 и 19 часами.

Продолжительность выпадения града также имеет свои закономерности. Для характеристики продолжительности выпадения града были сделаны выборки из наблюдений метеорологических станций по Ростовской области. Установлено, что в 50% случаев продолжительность выпадения града не превышает 5 минут, 30% случаев длится от 5 до 20 минут и 20% случаев град длится более 20 минут.

Из наблюдений установлено, что даже кратковременное выпадение града может причинить большие повреждения. Так, например, по данным ст. Курганная, 17/V 1939 г. в 14 час. 42 мин. в ее окрестностях прошел сильный град, продолжавшийся 2 минуты. Диаметр градин достигал 3 см. Ширина полосы прошедшего града составляла около 1,5 км. Град нанес повреждение посевам, фруктовым деревьям, было побито много домашней птицы и имелись случаи ранения людей.

По данным ст. Георгиевск, 4/VII 1944 г. наблюдался сильный град с ливнем и шквалистым ветром продолжительностью более 15 минут. Градом были нанесены повреждения посевам на площади более 10 000 га.

Такие же особенности выпадения града отмечаются и на Азиатской территории СССР. Так, в Узбекистане выпадение града наблюдается преимущественно в послеполуденные часы, но иногда град выпадает и в утренние часы. Продолжительность выпадения града редко превышает 15 минут. В Таджикистане град выпадает преимущественно между 18 и 20 часами, причем продолжительность выпадения 10—15 минут, а в отдельных случаях 20—25 минут. На Шахристанском перевале в отдельные дни продолжительность выпадения града более одного часа. В Киргизии отмечается много случаев выпадения града в утренние часы, а также между 18 и 20 часами. В Туркмении и Казахстане выпадает град чаще всего в послеполуденные часы. В Западной Сибири наиболее часто град отмечается между 12 и 16 часами. Нередки случаи выпадения града и в более поздние часы. Отмечены отдельные случаи выпадения града между 8 и 11 часами. Часты случаи выпадения града продолжительностью от 20 до 30 минут. В Забайкалье и Хабаровском крае выпадение града наблюдается преимущественно между 12 и 18 часами. Продолжительность выпадения града в рассматриваемых районах в большинстве случаев не превышает 10—15 минут.

§ 5. Связь града с грозами

Как уже указывалось, градовые явления связаны с грозами, однако не всегда при грозе выпадает град. От интенсивности грозы и орографических условий зависит частота выпадения града.

Наиболее часто град выпадает при грозах, связанных с вторжением холодных масс воздуха. Путь холодного фронта иногда отмечается полосами выпавшего града на местности. При холодных вторжениях отмечено больше всего случаев выпадения града крупных размеров. Однако довольно часто бывают интенсивные грозы и выпадает град при так

называемых внутримассовых процессах. В таких случаях на местности град выпадает пятнами. Для выяснения, как часто бывает град при грозах, было проведено исследование связей годового числа дней с грозой и числа дней с градом. Выявлено, что для отдельных районов территории СССР эти связи выражены недостаточно четко.

Соотношение числа дней с грозой и числа дней с градом для Европейской территории СССР можно принять такое: для пунктов, расположенных на высотах 200—300 м над уровнем моря, примерно один случай выпадения града на 10—15 гроз, а на высотах 1000 и более метров наблюдается один день с градом на 5—10 гроз. Последнее характерно для горных районов Кавказа. Примерно аналогичная картина наблюдается и на территории Азиатской части СССР.

§ 6. Географическое распределение среднего числа дней с градом за год на территории СССР

В результате исследования вопроса о выпадении града представилась возможность дать характеристику пространственного распределения числа дней с градом на территории СССР.

На карту с гипсометрической основой были нанесены данные числа дней с градом. Для Европейской территории Советского Союза строилась карта числа дней с градом в масштабе 1 : 5 000 000, для Кавказа и Крыма — в масштабе 1 : 2 000 000.

Карта для Азиатской территории СССР построена в масштабе 1 : 7 500 000.

После построения карт по отдельным частям территории СССР была составлена одна общая карта в масштабе 1 : 7 500 000. На карте представлена система изолиний, характеризующая пространственное распределение числа дней с градом различных градаций. По всей территории СССР изолинии проводились через 1 день, а в местах, где град представляет редкое явление — через 0,5 и 0,1 дня. Это означает, что в этих районах град выпадает в среднем 1 раз в 2 года или 1 раз в 10 лет. В связи с тем, что в горных районах наблюдаются резкие различия в выпадении града, то для системы изолиний были применены градации: 2, 4, 8 и т. д.

Ввиду сложности физико-географических условий горных районов Кавказа и Средней Азии карты числа дней с градом по указанным территориям носят в значительной степени ориентировочный характер.

При построении карт числа дней с градом учитывались физико-географические особенности местности, высота станции над уровнем моря, близость водных бассейнов и т. п.

При пользовании картой (см. рис. 1) следует иметь в виду, что в отдельных пунктах могут наблюдаться небольшие отклонения числа дней с градом по сравнению с теми, которые показаны изолиниями.

На Европейской территории Советского Союза среднее число дней с градом характеризуется довольно равномерным распределением (от 1 до 2 дней). Однако орографические условия влияют на увеличение числа дней с градом. Так, например, Валдайская, Средне-Русская, Приволжская возвышенности, южная часть Урала и другие характерны увеличением числа дней с градом (более 2 дней). Значительное увеличение числа дней с градом наблюдается в горных районах Крыма. Так, на Ай-Петри, на высоте 1180 м над уровнем моря, отмечено более 4 дней с градом за год. На Кавказе имеются большие различия по числу дней с градом в зависимости от высоты над уровнем моря. На Большом Кавказском хребте, примерно на высотах 1000—1500 м над уровнем моря, число дней с градом несколько больше 4, а на высотах бо-

ее 2000 м число дней возрастает до 8 и более. Так, на ст. Бермамыт, расположенной на северном склоне Большого Кавказского хребта на высоте 2586 м над уровнем моря, число дней с градом за год составляет 12,2. Увеличение количества дней с градом на северных склонах хребта связано с вторжением холодных масс воздуха и фронтальными процессами; на юго-западных склонах это связано с западным переносом насыщенных влагой масс воздуха, которые, поднимаясь по склонам, дают обильные осадки, усиление гроз и увеличение числа дней градом.

Аналогичное явление выпадения града наблюдается и в горах Малого Кавказского хребта. На Армянском плоскогорье, на высотах около 2000 м над уровнем моря, может наблюдаться более 8 дней с градом, а на высотах более 3000 м над уровнем моря (ст. Арагац, высокогорная) — до 4 дней. На Черноморском побережье Кавказа число дней с градом уменьшается до 1—2. На западном берегу Каспийского моря, в Курораксинской низменности, град наблюдается в среднем раз в два года, что связано с большой засушливостью данного района.

Наименьшее число дней с градом (менее одного дня) наблюдается в северных районах Европейской территории СССР, а в районах арктических морей были отмечены лишь отдельные случаи выпадения града на Мысе Желания, Бухте Тихой, о. Рудольфа и других пунктах.

На большей части Азиатской территории Советского Союза число дней с градом невелико — в среднем от 1 до 2 дней за год. В зоне хвойных лесов, на севере Западно-Сибирской низменности и на севере Средне-Сибирского плоскогорья, число дней с градом уменьшается до 0,5 за год. Наибольшее число дней с градом на рассматриваемой территории (более 10 дней) наблюдается в Казахстане на северо-западных склонах Заилийского Алатау и Кунгей-Алатау (от 6 до 11 дней). Около 5 дней с градом в году отмечается в предгорьях Угамского, Пскемского и Чаткальского хребтов. В предгорьях Алтайского хребта число дней с градом несколько меньше (3—4 дня за год). Примерно такое же количество наблюдается в предгорьях Зеравшанского и Туркестанского хребтов. На Джунгарском Алатау число дней с градом за год превышает 4. В Восточных и Западных Саянах это число колеблется от 2 до 3, местами до 4 дней за год. На хребте Кузнецкого Алатау отмечается более 3 дней с градом. В районе Казахского мелкосопочника наблюдается пятно повышенного числа дней с градом (более 2 дней за год), что связано с увеличением высоты местности.

На Западно-Сибирской низменности, начиная примерно с 62° с. ш. и далее к югу, число дней с градом колеблется от 1 до 1,5. Отдельные пятна с малым числом дней (менее 1 дня) отмечаются на севере Барабинской степи и в средней части Кулундинской степи (зона малого количества осадков). На огромном пространстве между реками Енисей и Лена, на Средне-Сибирском плоскогорье, примерно с 66—68° с. ш. число дней с градом колеблется от 0,5 до 1 за год; к северу от указанной широты это число менее 0,5 дня за год.

В горных районах Якутии — на юге Верхоянского хребта, на хребте Черского и в западной части Колымского хребта — число дней с градом колеблется от 1 до 2, на Нерском плоскогорье наблюдается более 2 дней за год.

На Дальнем Востоке число дней с градом невелико, в среднем отмечается от 0,5 до 1 дня за год. На хребте Сихотэ-Алинь и его предгорьях число дней с градом местами возрастает до 1,5—2. Более 2 дней с градом отмечается в предгорьях Буреинского хребта и хребта Ям-Алинь.

На Камчатке выпадение града представляет редкое явление. В горной части полуострова число дней с градом в среднем составляет 0,5 за

год, на остальной части территории град отмечается 1—2 раза в десятилетие.

На Сахалине число дней с градом также мало — в среднем до 1 дня в год, и только на юге острова град может выпадать ежегодно.

Малым числом дней с градом (менее 1 дня за год) отличаются полупустынные и пустынные области Казахстана и пустынные области Средней Азии. В этих районах так же, как и на Крайнем Севере, град представляет крайне редкое явление, в среднем он выпадает 1—3 раза в десятилетие. Это объясняется тем, что уровень конденсации находится на большой высоте от поверхности земли, что не способствует образованию осадков в теплое время года. На севере же это связано в основном с неблагоприятными температурными условиями. На берегах северных морей (Карского, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Берингова и Охотского) град наблюдается чрезвычайно редко — в среднем не более 1 раза в десятилетие.

§ 7. Годовой ход выпадения града

Значительный интерес представляет исследование годового хода выпадения града на территории СССР. Характеристики годового хода числа дней с градом даны в виде диаграмм по отдельным пунктам (рис. 2). На диаграммах сплошной штриховкой дано среднее число дней с градом, без штриховки — наибольшее число дней. Диаграммы построены в таком масштабе: 1 мм равен одному месяцу (по оси абсцисс); 1 см равен одному дню (по оси ординат).

В большинстве районов Европейской территории Советского Союза наиболее часто град выпадает в конце весны и в начале лета. Около 60% дней с градом приходится на май и июнь. Однако в годовом ходе среднего числа дней с градом по месяцам в отдельных районах имеются некоторые различия как в средних, так и в максимальных значениях. В Прибалтике отмечается равномерное распределение числа дней с градом в летние месяцы года, а в отдельных пунктах, лежащих в непосредственной близости к морю, заметно некоторое увеличение числа дней с градом и в осенние месяцы. В северо-западной части и в центральных районах Европейской территории СССР заметно увеличение числа дней с градом в июне, однако значительное число дней наблюдается и в мае.

На Украине, Крымском полуострове, Урале, Армении, во внутренних районах Грузии, Азербайджана и Дагестана наибольшее число дней с градом отмечается в мае и июне. На Черноморском побережье Кавказа град чаще всего наблюдается в январе и феврале, а на западном берегу Каспийского моря — в апреле и мае.

На большей части Западно-Сибирской низменности выпадение града чаще всего наблюдается в июне и июле. В Восточной Сибири наиболее часто град отмечается в июне, местами в мае.

На Дальнем Востоке наибольшее число дней с градом приходится на весну и осень (май и сентябрь), местами град выпадает и в октябре (Камчатка и Сахалин). Здесь летний муссон не благоприятствует образованию града.

В Средней Азии и Казахстане град чаще всего отмечается в мае, местами в апреле, а в горах на больших высотах — в июне и июле. В качестве примера приводятся графики годового хода числа дней с градом для различных районов территории СССР.

§ 8. Наибольшее число дней с градом на территории СССР

В приведенных выше материалах рассматривалось распределение среднего числа дней с градом и были даны примеры годового хода среднего и наибольшего числа дней с градом по отдельным характерным

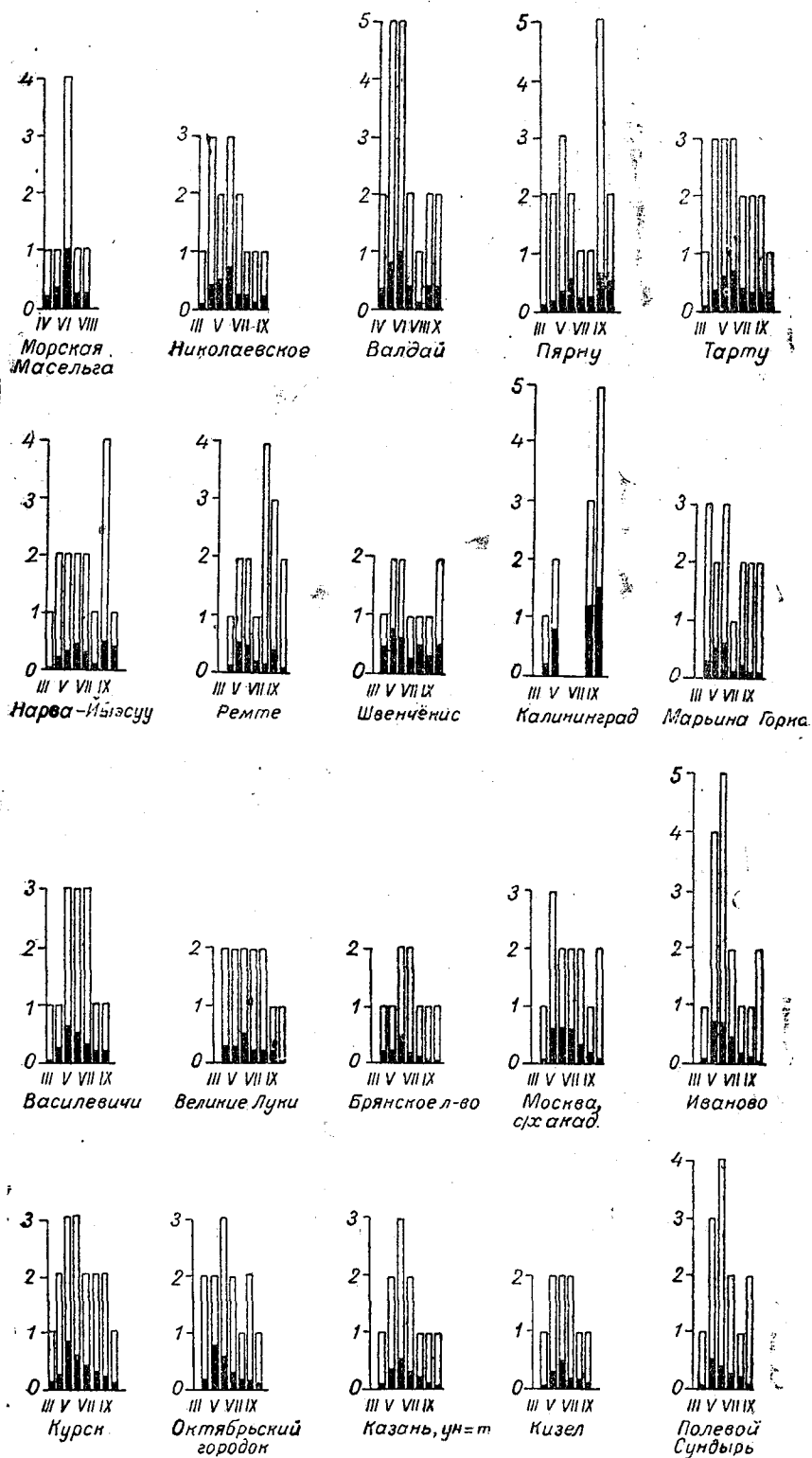


Рис. 2а. Годовой ход выпадения града на территории СССР.

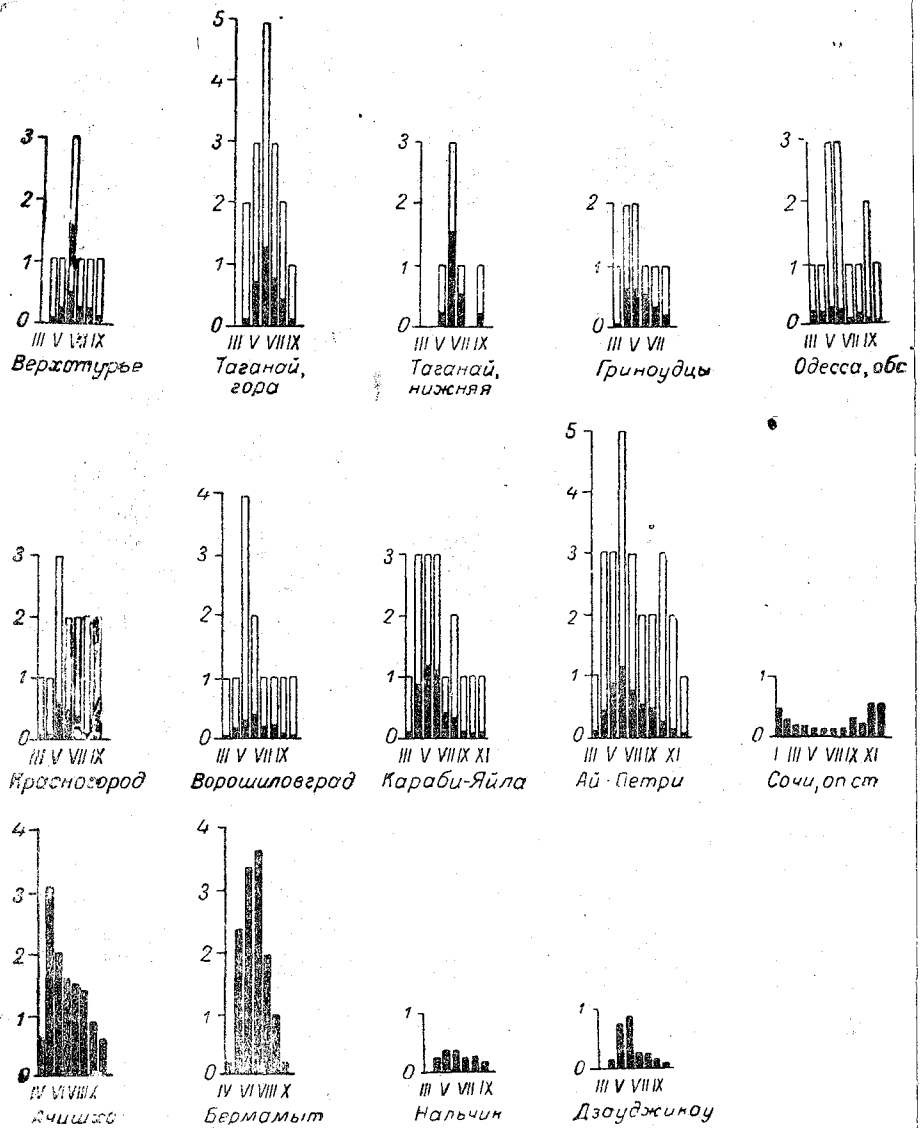


Рис. 26. Годовой ход выпадения града на территории СССР.

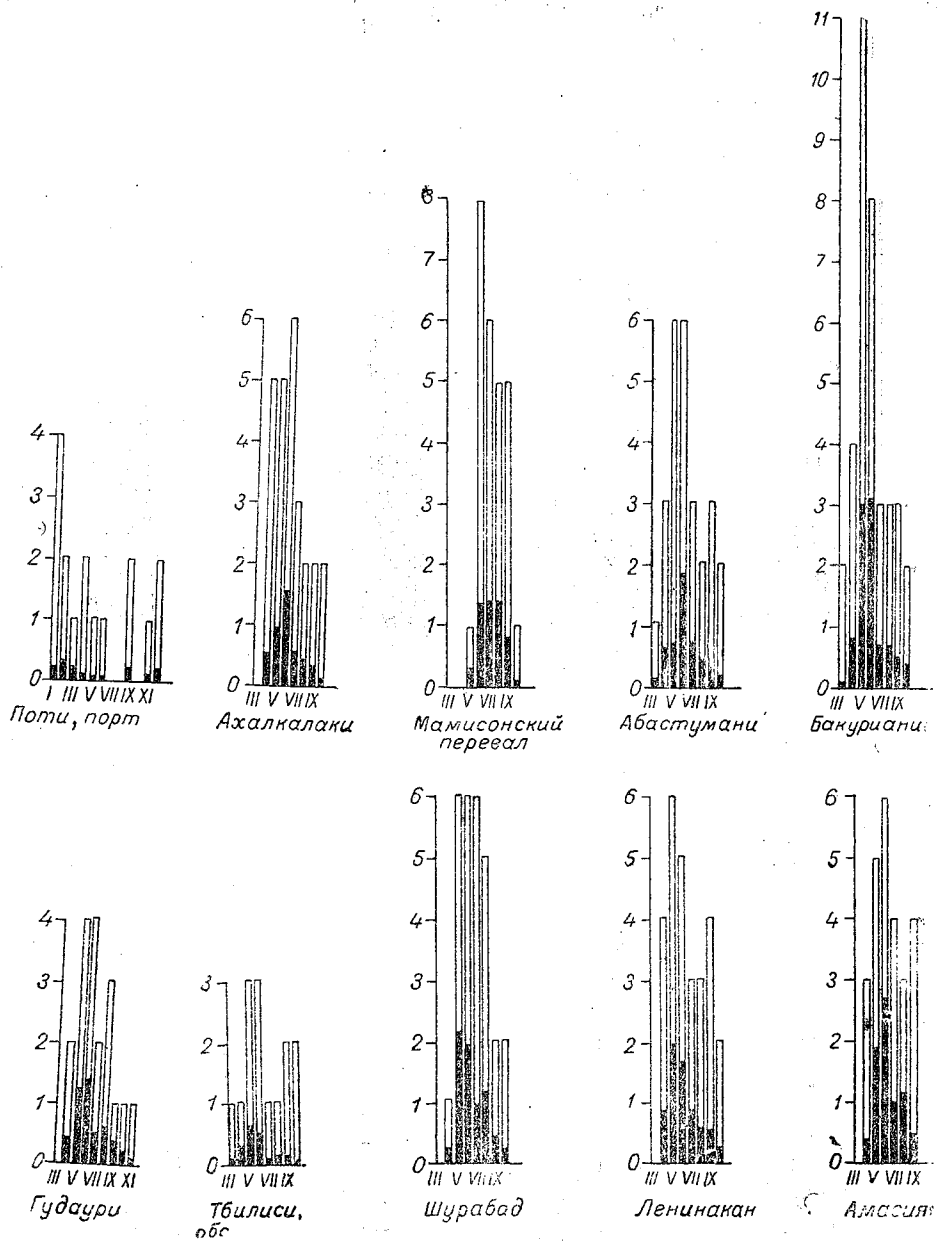


Рис. 2в. Годовой ход выпадения града на территории СССР.

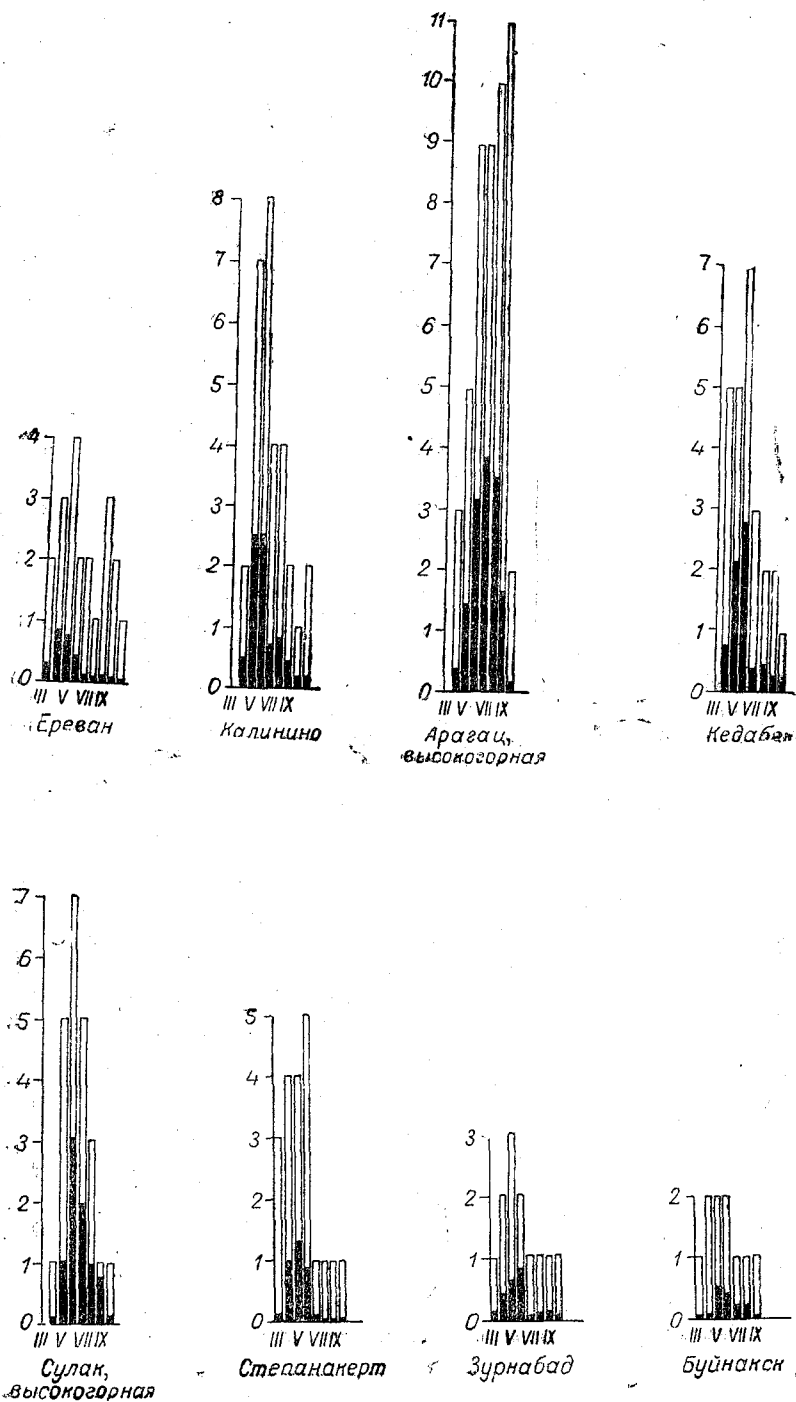


Рис. 2г. Годовой ход выпадения града на территории СССР.

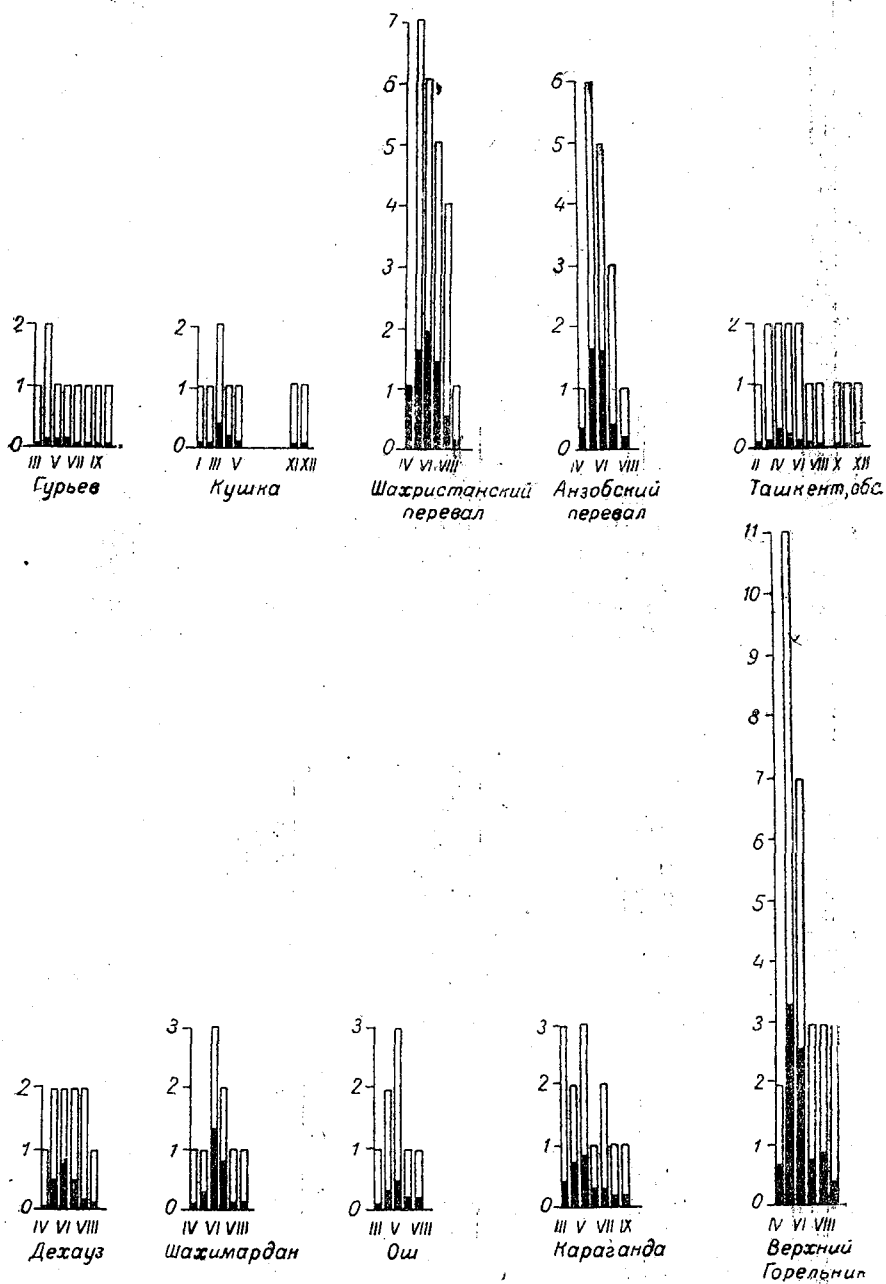
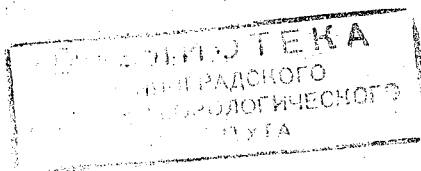


Рис. 2д. Годовой ход выпадения града на территории СССР.



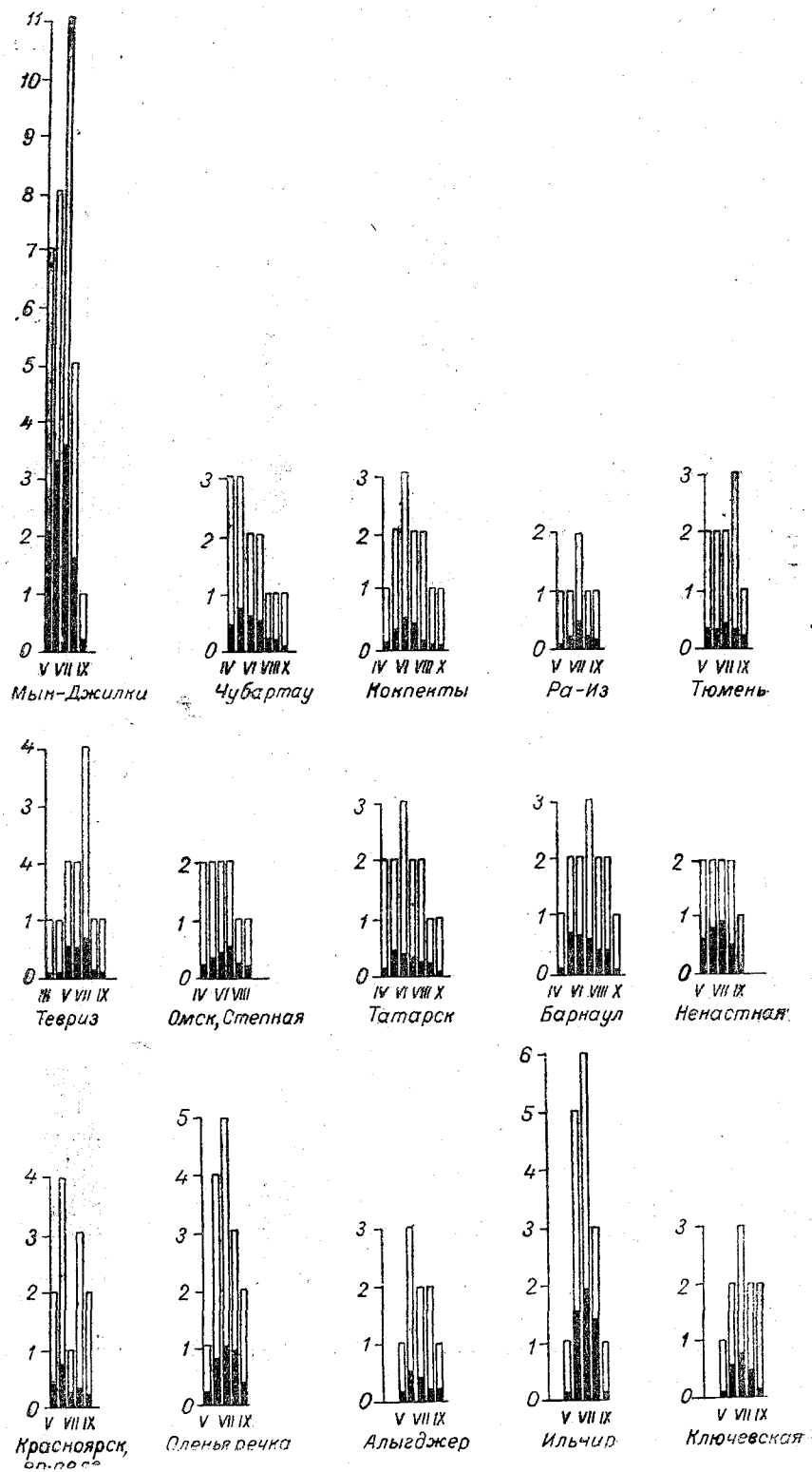


Рис. 2е. Годовой ход выпадения града на территории СССР.

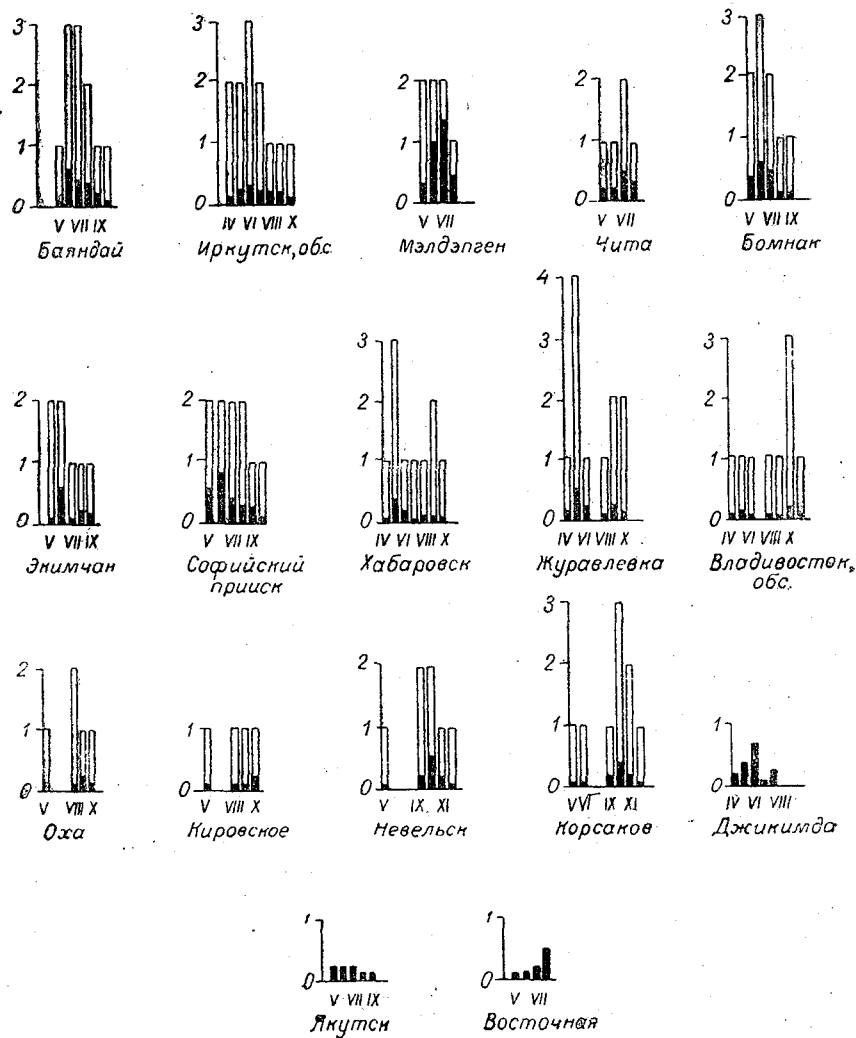


Рис. 2ж. Годовой ход выпадения града на территории СССР.

пунктам. В дополнение к указанным материалам даются таблицы наибольшего числа дней с градом в пределах периода с 1891 по 1950 г. для тех станций, где было отмечено в каком-либо месяце 4 и больше дней с градом (табл. I приложения). Данные о выпадении града до 4 дней представляют довольно частые явления и поэтому они не приводятся. Выпадение града в течение 4,5 и более дней в каком-либо месяце одного года в большинстве случаев связано с фронтальными процессами в атмосфере и влиянием возвышенностей и гор.

На преобладающей части Европейской территории Советского Союза наибольшее число дней с градом не превышает 4. Некоторое увеличение числа дней с градом (до 5—6) отмечается в осенние месяцы в Прибалтике и до 6—7 дней на возвышенностях (Валдайской, Смоленско-Московской, Вольно-Подольской) и в южной части Урала. В горных районах Кавказа наибольшее число дней с градом превышает 10 (Ачишхо, Бермамыт, Казбеги, Арагац, высокогорная).

На Азиатской территории Советского Союза наибольшее число дней с градом в основном также не превышает 4. В Средней Азии на Туркестанском, Зеравшанском, Чаткальском и Заалайском хребтах наибольшее число дней с градом колеблется от 5 до 7. В Казахстане на хребте Кунгей-Алатау максимальное число дней с градом в отдельные месяцы может достигать 8—11. На юге Красноярского края и в Западных Саянах наибольшее число дней с градом не превышает 5, а в Восточных Саянах — 6. В отдельных пунктах Дальнего Востока также наблюдается до 5 дней с градом. Следует отметить, что наибольшее число дней с градом, как и среднее число дней, наблюдается весной и в начале лета.

В приморских районах, например в Прибалтике и на Дальнем Востоке, это явление отмечается преимущественно в осенние месяцы.

§ 9. Вероятность различной повторяемости града в отдельные годы

Представляет значительный интерес рассмотрение вероятности различной повторяемости града в отдельные годы. Как уже отмечалось ранее, на частоту выпадения града в том или ином пункте оказывают влияние орографические условия, высота над уровнем моря и своеобразие атмосферных процессов, способствующих выпадению града.

Для вычисления вероятностей различной повторяемости выпадения града в отдельные годы были выбраны районы (Украина, Грузия, Армения и Казахстан), где град наиболее часто наблюдается. В указанных районах отобраны характерные станции, имеющие ряды наблюдений от 30 до 60 лет. В высокогорных районах (Армения и Казахстан) использованы и более короткие ряды наблюдений (табл. II приложения).

При рассмотрении данных табл. II по отдельным районам выявляются некоторые характерные особенности. Так, например, на большей части территории Украины вероятность 1 дня с градом составляет от 10 до 35% всех лет наблюдений; вероятность 2—3 дней составляет 5—10%, а 4 дней с градом — всего лишь 2—3%. Некоторое исключение представляют станции, расположенные вблизи моря, где град выпадает значительно реже и вероятность 1 дня с градом не превышает 20%, а на остальные градации приходится около 5% на каждую.

В Грузии в связи со сложными орографическими условиями частота выпадения града вообще возрастает. Вероятность 1 дня с градом увеличивается в отдельных случаях до 40%. Значительно возрастает вероятность 2—3 дней. Так, например, 2 дня с градом составляют 10—25%, а 3, 4 и 5 дней — в отдельных месяцах 5—10%. От 2 до 5% всех случаев наблюдений относится к 6, 7 и более дням с градом.

На территории Армении повторяются те же закономерности, что и в Грузии. Вероятность 10—20% составляет 3, 4, 5 дней с градом в отдельности. От 5 до 11 дней с градом составляет около 5% в отдельности. В пункте Арагац, высокогорная, расположенном на высоте 3229 м над уровнем моря, 9 дней с градом в июле составляет 18%.

В Казахстане на высотах от 2000 до 3000 м над уровнем моря вероятность выпадения града в отдельные годы составляет: для 1 дня — 15—35%, для 2 дней — 10—40%, для 3 дней — 10—35%, для 4 дней — 10—20%, а от 5 до 11 дней вероятность выпадения града составляет около 10% каждой градации. По наблюдениям ст. Большое Алмаатинское Озеро, расположенной на высоте 2511 м над уровнем моря, сказывается влияние холодного озера на уменьшение частоты выпадения града по сравнению со станциями, расположенными на той же высоте, но в удалении от водоема. С уменьшением высоты над уровнем моря (менее 1000 м) отмечается весьма малый процент выпадения града для градаций 3—4 дня с градом. Для отдельных пунктов это составляет около 5%. На этих высотах возрастает вероятность града от 1 до 2 дней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Град и градобития. Гидрометкомитет СССР и РСФСР, М., 1933.
2. Заморский А. Д. Атмосферный лед. Гидрометеиздат, Л., 1955.
3. Воейков А. И. Грозы и град. Метеорол. Вестник, № 6, 1900.
4. Клоссовский А. В. К вопросу о географическом распределении града в России. Одесса, 1870.

Таблица

Максимальное число дней с градом по данным метеорологических станций
в пределах периода наблюдений с 1891 по 1950 г.

№ п/п	Название станции	Широта	Долгота	Высота (м)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI
Европейская часть Союза ССР														
1	Колежма	64° 14'	35° 53'	6							4			
2	Морская Масельга	63 06	34 55	120				4						
3	Шуньга	62 35	34 57	48			4							
4	Суаярви	62 06	32 23	145			4							
5	Ладва	61 21	34 31	60					4					
6	Лесогорский	61 02	28 56	43					4					
7	Будогощь	59 17	32 28	54		4	5							
8	Тихвин	59 39	33 30	44					4					
9	Шугозеро	59 57	34 12	89		4								
10	Остров	57 21	28 20	55				4						
11	Дно	57 49	29 57	71			4							
12	Коростынь	58 11	31 00	44					4					
13	Валдай	57 58	33 14	220				5	5					
14	Серафимовская	58 37	33 41	130			4							
15	Красная Гора	58 24	34 46	180				7						
16	Ристна	58 56	22 03	11							4			
17	Сырве	57 55	22 03	5								4	4	
18	Кихелконна	58 22	22 03	3								4	4	5
19	Курессааре	58 15	22 29	6								6	6	7
20	Абрука	58 09	22 31	1										
21	Тахкуна	59 06	22 35	3							6			
22	Рухну	57 48	23 16	7							6	6	5	
23	Осмуссаар	59 19	23 22	4								4	4	
24	Лихула	58 41	23 50	16	4									
25	Пакри	59 23	24 02	23	4							4	4	
26	Кооду	58 34	24 05	21								4	4	
27	Суурупи	59 28	24 23	45							6	4	4	
28	Вигала	58 47	24 15	10							4	5		
29	Пярну	58 23	24 30	7							4			
30	Нымме	59 23	24 42	46							4			
31	Куусику	58 58	24 44	51				4						
32	Таллин, порт	59 26	24 45	3								4		
33	Таллин, маяк	59 26	24 48	43			4							
34	Тори	58 29	24 49	15								6		
35	Кяру	58 50	25 09	85								6		
36	Ягала	59 25	25 14	35							4			
37	Сууре-Кыпу	58 19	25 16	76				4						
38	Кехра	59 20	25 20	50							4	4		
39	Кярдла	58 59	22 45	7							4	4	7	
40	Маапая	59 19	25 28	61							4			
41	Хирвли	59 27	25 33	58								7	5	
42	Водья	58 56	25 40	72				4						
43	Массумыйса	58 14	25 42	80			4					4		
44	Янеда	59 15	25 43	79				6						
45	Оанду	59 34	26 06	32							4			
46	Бао	59 06	26 12	105				6				4		
47	Тоома	58 52	26 16	87			4							
48	Вайндло	59 49	26 22	4							4			
49	Вастсеметса	57 51	26 42	96				4						
50	Касаритса-Вастсе	57 49	27 04	102				4						
51	Мяэ-Мурати	57 36	27 05	172				5						

Название станции		Широта	Долгота	Высота (м)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2	Костре	58° 23'	27° 05'	37			5							
3	Курекуля	58 10	27 23	48		4								
4	Васкнарва	59 00	27 44	33							4			
5	Нарва-Йыэсуу	59 28	28 02	5							4			
6	Казданга	56 44	21 44	69								4		
7	Ремте	56 46	22 49	102					4					
8	Вецауце	56 28	22 53	101			4							
9	Мерсрагс	57 22	23 07	3								4		
0	Межотне	56 26	24 03	23			4							
1	Скулте	57 19	54 25	10								5		
2	Гауиена	57 28	26 20	80			5							
3	Резекне	56 31	27 20	142		4								
4	Паланга	55 55	21 04	4								4		
5	Дотнува	55 24	23 52	71							4	5		
6	Тельшяй	55 59	22 15	149			4							
7	Вильнюс	54 41	25 15	126		4								
8	Клайпеда	55 43	21 08	3							4	4		
9	Советск	55 06	21 54	36,9							4			
0	Калининград	54 42	20 37	26,6								5		
1	Зарасай	55 44	26 15	155				5						
2	Холм	57 09	31 10	72				5						
3	Осташков	57 08	33 07	213				7						
4	Верхне-Волжский бейш- лот	56 52	33 20	205				4						
5	Вышний Волочок	57 35	34 34	161			4							
6	Максатиха	57 48	35 53	138			4							
7	Оршинская дача	56 58	36 18	147			4							
8	Можайск	55 31	36 00	184			4							
9	Стрелецкая слобода	56 10	36 07	195				5			4			
0	Сытьково	55 42	36 10	185							4			
1	Ново-Иерусалим	55 54	36 49	169			5	4						
2	Клин	56 19	36 45	168			4							
3	Яхрома, низ.	56 23	37 28	126			5							
4	Шаповский с.-х. техни- кум	55 25	37 28	210				5						
5	Дмитров	56 21	37 32	178			4							
6	Захарьино	55 30	37 35	150				5						
7	Ахтырка	56 15	37 56	175				6						
8	Куртино	54 59	38 17	165				5						
9	Черусти	55 33	40 01	129				5						
0	Мышкино	57 46	38 29	125				4						
1	Переславль-Залесский	56 43	38 50	166			4							
2	Никола-Кория	57 54	38 33	100			4							
3	Успенский с.-х. техни- кум	56 38	39 12	242				4						
4	Ярославль	57 35	39 55	96				4						
5	Покров	56 24	39 45	130				5						
6	Гусь-Хрустальный	55 37	40 39	134				4						
7	Фоминки	55 58	42 23	120				4						
8	Иваново	57 01	40 58	129			4	5						
9	Шуя, школа	56 51	41 22	95			4	4						
00	Кострома	57 44	40 57	139			4							
01	Макарьев	57 54	43 48	118			4							
02	Троицкое	55 48	45 18	140				4						
03	Канаш	55 31	47 29	189			4							
04	Полевой Сундырь	55 10	47 41	130				4						
05	Молотовск	57 33	49 57	125			4	4						
06	Новозыбков, училище	52 32	31 56	191		4								
07	Бемь	53 49	36 08	185				5						
08	Волово	53 34	38 00	273		4								
09	Павелец	53 47	39 15	209					5					
10	Тума	55 08	40 33	125			4							

№ п/п	Название станции	Широта	Долгота	Высота (м)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	X
111	Коренево	51° 25'	34° 54'	154			4							
112	Поныри	52 19	36 18	252			4							
113	Белгород	50 35	36 35	124			4							
114	Щигры	51 52	36 53	214			5							
115	Старый Оскол	51 18	37 53	145			4							
116	Нижнедевицк	51 45	38 20	200			4							
117	Рамонь	51 54	39 20	163			4							
118	Лиски	51 00	39 30	118					4					
119	Липецк	52 37	39 36	149			4							
120	Сагуны	50 36	39 43	206				4						
121	Бутурдиновка	50 49	40 38	130				4	4					
122	Каменная Степь	51 03	40 42	194			4	4	4					
123	Большая Соснова	57 40	54 39	150				4						
124	Белорецк	53 56	58 20	564					4					
125	Дуван	53 42	57 54	326				4						
126	Таганай, гора	55 20	59 51	110,2				5						
127	Мокроусово	55 48	66 48	150				4						
128	Стрый	49 16	23 52	297				4						
129	Львов	49 50	24 01	312				4						
130	Владимир-Волынский	50 50	24 20	190				4						
131	Тернополь	49 34	25 36	324			4	4						
132	Селетин	47 53	25 13	744				4						
133	Волочинск	49 32	26 13	321					4					
134	Шепетовка	50 10	27 03	261			4							
135	Старая Чарторья	50 00	27 41	249		5								
136	Жмеринка	49 01	28 08	336			4							
137	Винница	49 14	28 28	287					4					
138	Киев, полит. инст.						4							
139	Киев	50 27	30 30	183			4							
140	Богуслав	49 32	30 52	210			4							
141	Златополь	48 50	31 39	177			4							
142	Хаенки	50 50	32 16	138					4					
143	Чигирин	49 05	32 40	95					4					
144	Нехворитца	49 08	34 43	80					4					
145	Ромны	50 46	33 27	169				5						
146	Шостинский 3-д	51 52	33 29	155				4						
147	Глухов	51 39	33 59	167			4							
148	Веселые Терны	48 07	33 34	75				4						
149	Кирилловка	47 20	36 20	222				4						
150	Казачья Лопань	50 20	36 12	145			5							
151	Татарка	50 18	36 16	200			4							
152	Приколотное	50 10	37 21	214			4							
153	Ворошиловград	48 34	39 15	62			4							
154	Лисичанск	48 55	38 27	170	5	4	4							
155	Деркульское л-во	49 03	39 48	152			4							
156	Сороки	48 09	28 17	63			5							
157	Кишинев	46 59	28 51	106	5									
158	Мелитополь	46 50	35 22	39				4						
159	Плоти	47 57	29 11	143			4							
160	Солнцедар ¹	44 34	38 01	60										
161	Пицунда, маяк ¹	43 09	40 21	7										
162	Ай-Петри	44 28	34 05	45				5						
163	Симферополь	44 57	34 08	258				4						

Кавказ

Грузия														
164	Поти ¹	42° 09'	41° 39'	3									4	4
165	Батуми ¹	41 39	41 38	3										
166	Поти, порт ¹	42 08	41 42	4										

¹ На указанных станциях в январе отмечено по 4 дня с градом.

№ п/п	Название станции	Широта	Долгота	Высота (м)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
167	Бахмаро	41° 52'	42° 19'	1933				6						
168	Абастумани	41 45	42 50	1263			6	6						
169	Ахалцихе	41 38	43 00	980				7						
170	Боржоми, Мин. воды	41 50	43 24	794			4							
171	Ахалкалаки	41 25	43 29	1717		5	5	6						
172	Ефремовка	41 12	43 45	2112			6	8						
173	Цалка	41 36	44 05	1464			5	4						
174	Гори	41 59	44 07	590			4							
175	Манглиси	41 42	44 27	1195		4	5	6						
176	Гудаури	42 28	44 29	2197			4	4						
177	Коби	42 34	44 31	1987				5		4				
178	Болниси	41 27	44 33	534				4						
179	Тианети	42 07	44 58	1091			4							
180	Ахмета	42 02	45 13	576					4					
181	Гомбори	41 52	45 15	1160			4							
182	Сагареджо	41 44	45 20	806			4							
183	Цинандали	41 54	45 35	560			4	4						
184	Сталинири	42 14	43 59	871				4						
185	Мамисонский перевал	42 42	43 47	2850				8	6	5	5			
186	Бакуриани, питомник	41 44	43 31	1654		4	11	8						
Армения														
187	Шурабад	41 04	43 39	2027			6	6	6	5				
188	Арагац, ж. д.	40 19	43 40	1255		4		4						
189	Амасия	40 57	43 47	1900			5	6	4					
190	Ленинакан	40 47	43 50	1529		4	6	5			4			
191	Верин Талин	40 23	43 53	1594			7							
192	Джаджур, ж. д.	40 52	43 57	1795				4						
193	Горновит	40 30	43 57	2155			5	5						
194	Шахназар	41 12	44 14	1573			5	5						
195	Арагац, высокогорная	40 29	44 11	3229			5	9	9	10	11			
196	Спитак, ж. д.	40 50	44 16	1560				4						
197	Кошабулах	40 22	44 16	1967		4	5	6			4			
198	Калинино	41 07	44 17	1506			7	8	4	4				
199	Апаран	40 36	44 21	1891			7		4		5			
200	Степанован	41 00	44 22	1400			5	6						
201	Пушкино	40 58	44 25	1490			5							
202	Ереван	40 08	44 29	907			4							
203	Кировакан	40 49	44 30	1353			5	5	4					
204	Узунлар	41 03	44 37	1105			4	5						
205	Лермонтово	40 46	44 38	1798		4	5	7	5					
206	Фонтан	40 24	44 41	1799			4	5						
207	Гарни	40 07	44 44	1423			4							
208	Неркин Ахта	40 30	44 46	1766			4	4						
209	Дилижан	40 45	44 52	1255			5	6						
210	Севан, аэропорт	40 33	44 56	1937			6	11	4		4			
211	Севан, остров	40 34	45 00	1919			5	6	4		4			
212	Нор-Баязет	40 21	45 08	1950				4						
213	Иджеван	40 52	45 09	694			4	4						
214	Яных	40 00	45 14	2325		4	9	5						
215	Шоржа	40 30	45 16	1918			4							
216	Мартуни	40 08	45 18	1943			5	4						
217	Красносельск	40 36	45 21	1848			7	4	4					
218	Мартирос	39 36	45 30	1933	4	6	4	4						
219	Гергер	39 46	45 32	1643			6	4						
220	Гюней	40 20	45 37	2005					4					
221	Мазра	40 12	45 44	1930			7					4		
222	Базарчай	39 40	45 49	2014			4							
223	Сисиан	39 32	46 01	1614			4							
224	Горис	39 30	46 21	1364				4						

№ п/п	Название станции	Широта	Долгота	Высота (м)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Азербайджан														
225	Кедабек	44° 34'	45° 49'	1452		5	5	7						
226	Дашкесан, город	40 30	46 05	1604			5							
227	Михайловка	40 30	46 21	1185			5							
228	Лачин	39 39	46 32	1178					4					
229	Лысогорск	39 41	46 39	1800			5	8						
230	Степанокерт	39 49	46 45	857		4	4	5						
231	Шуша	39 46	46 45	1304			4	5						
232	Алибек	41 40	46 48	1750			5	4						
233	Евлах	40 37	47 09	15		4								
234	Бист	39 09	45 53	1551		4	4	4						
235	Сулак, высокогорная	42 22	46 15	2923			5	7	5					
236	Гуниб, верхний	42 24	46 56	1583				5						

Азиатская часть Союза ССР

1	Хейрабад	37° 53'	57° 50'	2027		5	7							
2	Гаудан	37 98	58 24	1511		4								
3	Аман-Куртан	39 19	66 58	1213		4								
4	Шахристанский перевал	39 33	68 33	3200			7	6	5	5				
5	Анзобский перевал	39 05	68 52	3583			6	5						
6	Оби-Гарм	38 43	69 42	1363			4							
7	Ангрен	41 33	70 47	2289				5	4					
8	Устье р. Терс	41 14	70 53	1784										
9	Устье р. Тос	41 38	71 38	1530				4						
10	Ак-Терек-Гава	41 16	72 49	1748		4	6	5						
11	Тамынген	39 38	70 24	3036		5	4							
12	Сары-Таш	39 44	73 15	3207				4	4					
13	Кочкорка	42 13	75 44	1812			4							
15	Нарын	41 26	76 00	2049					4					
16	Кара-Куджур	41 56	76 18	2800		4		4						
17	Рыбачье	42 27	76 11	1620						4				
18	Пржевальск	42 30	78 24	1774				4						
19	Кустанай	53 13	63 37	171					4					
20	Рузаевка	52 49	66 58	228					4					
21	Балкашино	52 32	68 45	367					4					
22	Алексеевское	52 00	70 57	384				4						
23	Анар	50 37	72 26	437					4					
24	Лебяжий поселок	51 27	77 47	150					4					
25	Жилая Коса	46 51	53 11	—22					4					
26	Актюбинская с.-х. оп. ст.	49 14	57 40	275					4					
27	Коктункуль	48 34	72 12	545				4						
28	Жана-Арка	48 41	71 40	487					4					
29	Каркаралинск	49 25	75 32	813				4						
30	Никитинка	49 32	82 25	290					5					
31	Усть-Каменогорск	49 57	82 43	282					5					
32	Усть-Каменогорск, АМСГ	49 58	82 41	299					4					
33	Александровский	49 01	83 14	500				5	4					
34	Самарка	49 02	83 24	530				4						
35	Ленингорск	50 20	83 33	778					4					
36	Орловский поселок	48 42	86 29	1081						5				
37	Красный Водопад	41 29	69 27	607				4						
38	Чимган	41 32	70 01	1438				4						
39	Блинково	42 14	70 09	1212				4						
40	Чокпак	42 31	70 37	1128		4								
41	Курдай	43 19	74 57	1145					4					

Название станции	Широта	Долгота	Высота (м)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2 Большое Алмаатин- ское Озеро	43° 04'	76° 59'	2511			5	4	5					
3 Медое	43 10	77 02	1529						4				
4 Верхний Горельник	43 08	77 03	2254			11	7						
5 Усть-Горельник	43 08	77 04	1936			9	4						
6 Ворота реки Малая Алматинка	43 07	77 04	2500			6	5	4					
7 Мын-Джилки	43 05	77 04	3036			7	8	11	5				
8 Джеланаш	43 02	78 39	1765					4	5				
9 Кегень	43 01	79 14	1845			4		4					
0 Сыр-Джас	42 55	79 36	1944					4					
1 Нарынокое	42 49	80 13	1800				6						
2 Балгалы	44 19	77 51	1054					4					
3 Кос-Агач	44 35	79 06	1570			4	4			4			
4 Арал-Тюбе	44 35	79 09	900				4						
5 Сарканд	45 25	79 55	795				4						
6 Лепсинск	45 32	80 37	1011			4							
7 Тевриз	57 31	72 24	65					4					
8 Чистоозерное	54 42	76 34	111,6				4						
9 Купино	54 22	77 17	116,8			4							
0 Северное	56 21	78 21	123			5							
1 Карчасок	59 03	80 57	80				4						
2 Киселевск (Афонино)	54 02	86 39	287,2				4		4				
3 Кузедеево	53 20	87 10	290,8				4						
4 Сталинск	53 46	87 14	215,2			4							
5 Усть-Кобырза	52 50	88 26	410,5			4							
6 Змеиногорск	51 09	82 12	387			4		4					
7 Усть-Енисейский порт	69 40	84 22	25										
8 Дудинка	69 24	86 09	20					4					
9 Ванавара	60 20	102 16	260						4				
0 Ярцево	60 15	90 14	59				4						
1 Крутойрский зерносов- хоз	55 42	90 00	375				4						
2 Ачинск, ж. д.	56 17	90 30	217					4					
3 Енисейск	58 27	92 10	76				4	4					
4 Красноярск, оп. ст.	56 02	92 45	276				4						
5 Казачинское оп. п.	57 45	93 11	176				4		4				
6 Абан	56 42	96 02	246				4						
7 Оленья Речка	52 48	93 14	1387				4	5					
8 Голец Подлунный	54 13	89 24	842					5					
9 Бея	53 03	90 55	446				4						
0 Черьянка	57 39	99 32	230				4						
1 Ильчир	52 03	101 05	2084				5	6					
2 Телемба	52 43	113 18	922						4				
3 Могзон	51 44	111 58	902				4						
4 Доно	50 53	118 35	693				4						
5 Могоча	53 54	119 47	619				4						
6 Ерофей Павлович	53 58	121 56	524				4						
7 Тында	55 11	124 40	513				4						
8 Локшак	54 51	130 37	605				4						
9 Стойба	52 48	131 43	364			4							
0 Кур	43 33	134 38	266			4							
1 Биробиджанская с.-х. оп. ст.	48 23	134 47	96				4						
2 Лазо-Иман	45 55	133 44	105						4				
3 Журавлевка	44 45	134 28	216			4							
4 Холмск	47 03	142 03	27								5		
5 Пилево	50 03	142 10	37								4		

Вероятность различной повторяемости града в отдельные годы (в ‰)

Станции	Число дней с градом	Месяцы									
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Украина											
Львов, политехнич. ин-т	0	97	97	80	62	53	77	83	93	93	
Ш = 49°50', Д = 24°01'	1	3	3	10	28	30	20	14	4	4	
В = 312 м	2			7	7	7		3	3	3	
Число лет = 30	3			3	3	7					
	4					3	3				
Киев, обсерватория	0		98	89	61	65	72	87	89	90	96
Ш = 50°27', Д = 30°30'	1		2	6	24	24	28	6	11	10	2
В = 183 м	2				11	9		7			2
Число лет = 60	3			5	4	2					
Одесса, обсерватория	0		94	85	78	82	90	85	95	95	
Ш = 46°26', Д = 30°46'	1		6	15	17	10	10	15	3	5	
В = 43 м	2				3	5			2		
Число лет = 60	3				2	3					
Кировоград	0		94	69	51	52	54	80	92	92	96
Ш = 48°30', Д = 32°18'	1		6	29	32	40	35	10	8	6	4
В = 112 м	2			2	9	8	9	10		2	
Число лет = 60	3				8		2				
Полтава, оп. ст.	0		90	82	57	63	73	90	84	94	
Ш = 49°36', Д = 34°33'	1		10	12	33	31	20	10	12	6	
В = 160 м	2			4	4	2	5		4		
Число лет = 51	3				6	4	2				
	4			2							
Днепропетровск	0			74	72	59	76	88	90	90	98
Ш = 48°27', Д = 35°03'	1			19	20	31	18	12	6	10	2
В = 98 м	2			7	8	6	4		4		
Число лет = 51	3					4	2				
Харьков, обсерватория	0			90	61	61	73	84	90	98	
Ш = 48°54', Д = 36°19'	1			8	35	29	23	14	8	2	
В = 188 м	2			2	4	6	2	2	2		
Число лет = 49	3					4	2				
Ворошиловоград (Луганск)	0		97	76	76	71	79	84	95	98	98
Ш = 48°34', Д = 39°15'	1		3	24	19	24	21	14	3	2	2
В = 62 м	2				3	3		2	2		
Число лет = 59	3					2					
	4				2						
Грузия											
Абастумани	0	98	90	61	28	30	49	72	69	82	
Ш = 41°45', Д = 42°50'	1	2	10	22	28	25	35	20	29	14	
В = 1263 м	2			15	28	15	10	8		4	
Число лет = 51	3			2		8	6		2		
	4				6	12					
	5				4	6					
	6				4	2					
	7										
	8				2	2					
Бакуриани, пит.	0		92	43	16	11	52	54	62	65	
Ш = 41°44', Д = 43°31'	1		3	43	13	19	32	22	24	30	
В = 1654 м	2		5	6	25	13	11	19	11	5	
Число лет = 37	3			3	11	13	5	5	3		
	4			5	8	19					
	5				13	11					

Станции	Число дней с градом	Месяцы									
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	6				5	5					
	7					3					
	8				3	3					
	9				3	3					
	10										
	11				3						
Икалто	0		94	94	49	53	79	92	86	91	
Ш = 41°57', Д = 45°23'	1		6	3	36	25	21	8	14	9	
В = 700 м	2			3	9	14					
Число лет = 38	3				6	8					

Армения

Ленинакан	0			52	19	38	58	63	63	84	
Ш = 40°47', Д = 43°50'	1			21	29	19	11	33	25	12	
В = 1529 м	2			21	19	17	27		10	4	
Число лет = 48	3			4	19	12	4	4			
	4			2	10	6			2		
	5				2	8					
	6				2						
Арагац, высокогорная	0			77	50	18	5		40	82	
Ш = 40°29', Д = 44°11'	1			13	4	9	23	23	23	14	
В = 3229 м	2			5	18	14	23	23	9	4	
Число лет = 22	3			5	9	23	5	6	18		
	4				9	5	14	18			
	5				5	14	4		5		
	6				5	9	4	18			
	7					4					
	8						4	6			
	9					4	18				
	10							6			
	11								5		
Ереван	0		76	37	45	65	87	93	92	91	98
Ш = 40°08', Д = 44°29'	1		20	43	36	28	11	7	4	7	2
В = 907 м	2		4	18	15	7	2		2	2	
Число лет = 54	3			2	2				2		
	4				2						
Кировакан	0		94	56	22	6	66	69	72	63	
Ш = 40°49', Д = 44°30'	1		6	19	22	28	16	25	19	31	
В = 1353 м	2			16	16	25	9	3	6	6	
Число лет = 32	3			9	22	16	3	3	3		
	4				12	16	6				
	5				3	9					
	6				3						
Севан, аэропорт	0		98	76	22	22	57	52	61	74	
Ш = 40°33', Д = 44°56'	1		2	17	28	20	28	26	24	21	
В = 1937 м	2			5	17	30	7	18	11	5	
Число лет = 47	3			2	22	20	4	4	2		
	4				5				2		
	5				4	4					
	6				2	2					
	7										
	8										
	9										
	10										
	11					2					

Станции	Число дней с градом	Месяцы										
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Казахстан												
Верхний Горельник Ш = 43°08', Д = 77°03' В = 2254 м Число лет = 14	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11			57 22 21	7 14 22 36 7	16 15 23 31 15	57 22 7 14	50 14 29 7	79 21			
Усть-Горельник Ш = 43°08', Д = 77°04' В = 1936 м Число лет = 14	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9			72 21 7	21 8 36 14 14	7 22 43 21 7	57 22 21	50 22 22 6	78 22			
Мын-Джилки Ш = 43°05', Д = 77°04' В = 3036 м Число лет = 14	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11				21 36 15 7 7 7 7	7 15 21 15 21 7 7	15 29 7 14 14 7	38 8 31 8 8 7	79 21			
Алма-Ата Ш = 43°14', Д = 76°56' В = 848 м Число лет = 36	0 1 2 3 4	94 6	88 12	64 30 3 3	68 26 6	77 20 3	91 3 6	91 9				
Большое Алмаатинское Озеро Ш = 43°04', Д = 76°59' В = 2511 м Число лет = 19	0 1 2 3 4 5		84 11 5	11 33 22 22 6 6	42 26 11 16 5 5	43 21 26	53 32 10 5	79 11 10	94 6			
Сарканд Ш = 45°25', Д = 79°55' В = 795 м Число лет = 24	0 1 2 3 4		74 22 4	35 30 30 5	57 22 17 5	96 4	65 31 4	80 16 4				
Кокпекты Ш = 48°45', Д = 82°22' В = 511 м Число лет = 41	0 1 2 3		95 5	75 18 7	66 21 8 5	70 24 6	82 15 3	95 5				

Станции	Число дней с градом	Месяцы									
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Самарка	0			96	50	65	73	* 93	84	91	
Ш = 49°02', Д = 83°24'	1			4	31	19	19	7	16	9	
В = 284 м	2				15	12	8				
Число лет = 26	3					4					
	4										
Орловский поселок	0			97	84	42	42	75	79		
Ш = 48°42', Д = 86°29'	1			3	13	37	36	17	21		
В = 1081 м	2				3	13	20	8			
Число лет = 37	3					8					
	4						2				
	5										

Примечания. 1. В табл. II: Ш — широта места, Д — долгота места, В — высота станции над уровнем моря.

2. При вычислении вероятностей учитывались и те дни, когда град не наблюдался (в графе „Число дней с градом“ это обозначено цифрой 0).

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГРАДА

Введение

Град является формой атмосферных осадков, требующей для своего образования наибольших скоростей восходящих потоков в облаках.

Он выпадает из конвективных облаков при весьма большой неустойчивости атмосферного воздуха, которая обеспечивает бурное их развитие.

Градовые облака исследованы очень мало как вследствие того, что выпадение града представляет сравнительно редкое явление, так и благодаря большой опасности заходов самолета в эти облака.

В литературе встречаются сообщения, что вершины градовых облаков достигают уровня 9 км и больше [6], а скорости восходящих потоков в них могут равняться иногда нескольким десяткам метров в секунду.

О механизме образования града имеются лишь некоторые общие представления. Зародышем градин, по-видимому, являются замерзшие облачные капельки; возникновение ледяных кристаллов в градовых облаках сублимационным путем мало вероятно. Последующий их рост осуществляется как за счет диффузионной перегонки водяного пара с жидких капель, так и посредством коагуляции с переохлажденными облачными капельками. В начальной стадии существования зародыша градинки диффузионный рост может играть важную роль, но по достижении частицей радиуса 40—50 μ [3] главную роль играет коагуляционный рост, а диффузией водяного пара можно пренебречь.

Намерзание облачных капель при столкновении с ледяной частицей в переохлажденной части облака приводит либо к образованию на поверхности градины непрозрачных относительно рыхлых слоев, если облачные капельки мелкие и замерзают в виде шариков, либо к образованию слоев прозрачного льда, если облачные капельки крупны и замерзают при небольшой отрицательной температуре воздуха с растеканием по поверхности градины. Наиболее крупные градины обычно имеют многослойное строение, что свидетельствует о сложности процесса их роста.

Обычно град имеет сферическую форму, но встречаются градинки конической, полусферической и неправильной формы. Вес отдельных градин достигает 10 кг, а диаметр — 30 см [1]. Однако выпадение градин диаметром более 1 см представляет редкое явление.

Физические условия образования града

Если считать радиус облачных капель равным 20 μ , то для образования градинки радиусом 2 мм необходимо, чтобы она испытала миллион столкновений. Следовательно, одно из условий образования града состоит в том, что в зоне от уровня замерзания капель до изотермы 0°

концентрация ледяных частиц должна быть много меньше, чем концентрация переохлажденных капель.

Кроме того, как мы уже указывали в введении, образование града возможно в том случае, если в облаках развиваются достаточно интенсивные и продолжительные восходящие потоки, которые обеспечивают возможность роста облака до больших высот, порядка 6—9 км и больше, и роста ледяных частиц до значительных размеров.

Обсудим подробнее эти условия.

Как известно, вероятность замерзания капель при некоторой отрицательной температуре зависит от их размера. Поэтому можно ожидать, что значительная разность концентраций ледяных частиц, образующихся в результате замерзания капель, и жидких частиц может встретиться в той части облака, где велик диапазон размеров облачных капель. Исследования микроструктуры капельных облаков показывают, что спектр капель наиболее широк в центральной части облака или несколько выше его середины. Концентрация крупных капель составляет здесь малую долю общей концентрации. Близ вершины облака ширина спектра невелика благодаря падению крупных капель относительно воздуха при его поднятии.

Расчеты роста капель [3] показывают, что в капельном облаке с равномерным восходящим потоком вершины траекторий первых капель дождя лишь незначительно поднимаются выше середины облака.

Поэтому большую разницу концентраций для замерзших и незамерзших капель вероятнее всего встретить в центральной части облака.

Оледенение вершин конвективных облаков, как показывают наблюдения, происходит весьма быстро и, следовательно, условие малости относительной концентрации ледяных частиц может выполняться в верхней части облака лишь в течение очень небольшого промежутка времени.

Все это дает основание считать наиболее вероятным зарождение града в центральной по высоте части облака близ уровня вершины траектории первых частиц осадков. Поскольку положение вершины траектории частиц осадков зависит от скорости восходящих потоков, а замерзание капель в облаках, как показывают наблюдения, начинается при температуре порядка от -10 до -12° , то естественно предположить, что град может зарождаться лишь при скорости восходящих потоков, превышающей некоторое критическое значение. К такому же выводу можно прийти и исходя из условий таяния града при падении [3].

В работе [2] автора настоящей статьи выполнен теоретический расчет роста града, частицы которого образовались в центральной части облака с равномерным восходящим потоком. Предполагалось при расчетах, что ниже уровня вершины траектории этих частиц все падающие частицы являются замерзшими, а поднимающиеся — жидкими. При этом обеспечивается выполнение условия о малости относительной концентрации ледяных частиц.

Расчетами охвачен весьма широкий диапазон скоростей восходящих потоков в облаках, от 1 до 25 м/сек. Мы не будем останавливаться здесь на методе расчета. Он подробно изложен в работах автора [2, 3]. Ограничимся лишь изложением полученных результатов.

На рис. 1 представлена зависимость между радиусом сферических частиц (капель на восходящей ветви кривой и ледяных частиц на нисходящей ветви кривой) и их высотой над уровнем основания облака при различных скоростях восходящего потока. Расчет выполнен для начального периода выпадения осадков в предположении, что основание облака находится на уровне 900-миллибаровой поверхности, а температура воздуха на этом уровне $t_0 = 6^\circ$.

При других значениях температуры на уровне основания облака форма кривых будет несколько иной. Так, для облака со скоростью восходящего потока 1 м/сек. вершина траектории будет находиться при $t_0 = 12^\circ$ на высоте 2,12 км над уровнем основания облака, а при $t_0 = 0^\circ$ — на высоте 2,77 км. Причина этого изменения состоит в том, что водность на соответствующем уровне над основанием облака увеличивается с ростом температуры (при вычислении водности предполагалось

что вертикальный градиент температуры внутри облака равен влажноадиабатическому). Чем больше водность, тем на меньшей высоте

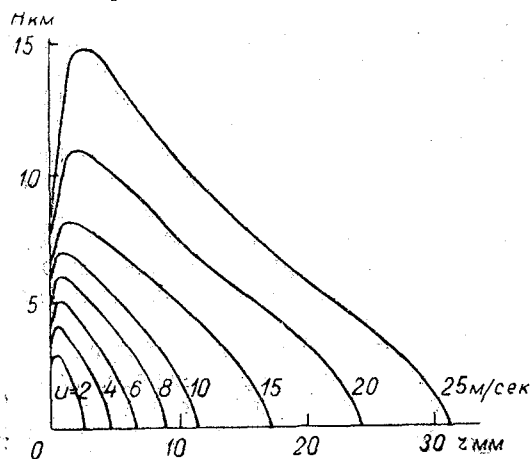


Рис. 1. Рост града с высотой в облаках с различными скоростями восходящих потоков.

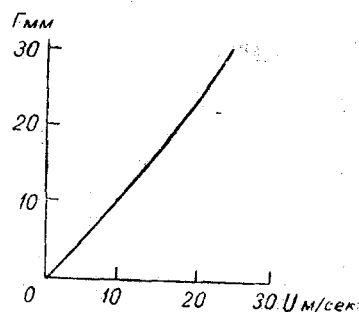


Рис. 2. Зависимость между радиусом частиц града и скоростью восходящих потоков.

те частица достигает размера, при котором скорость ее падения относительно воздуха равна скорости восходящего потока. Однако размер выпадающих из облака частиц практически не зависит от температурных условий в облаке, пока действует описанный выше механизм образования града.

Для облака с $t_0 = 12^\circ$ радиус частиц осадков равен 1,52 мм, а при $t_0 = 0^\circ$ — 1,51 мм.

На рис. 2 дана зависимость между радиусом частиц града и скоростью восходящего потока. Радиус частиц града линейно растет с увеличением скорости восходящего потока. Грубо говоря, радиус сферического града в мм численно равен скорости восходящего потока в м/сек.

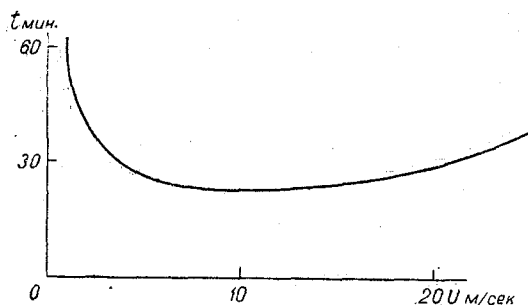


Рис. 3. Время, необходимое для образования града при различных скоростях восходящих потоков.

Мы вычислили также время, необходимое для образования града в облаке с равномерным восходящим потоком при температуре на уровне его основания 6° . На рис. 3 представлена зависимость времени выпадения града из облака от скорости восходящего потока. Время отсчитывается от момента начала быстрого развития облака.

При повышении или понижении температуры на уровне основания облака время образования града изменяется незначительно. Так, для облака со скоростью восходящего потока 1 м/сек. при температуре осно-

ания $t_0 = 12^\circ$ осадки выпадут лишь на 5 минут быстрее, чем при $t_0 = 6^\circ$, а при температуре основания $t_0 = 0^\circ$ — на 7 минут позднее.

Учет таяния частиц града при падении ниже уровня изотермы 0° указывает, что при температуре 6° на высоте основания облака частицы радиусом менее 2 мм полностью растают [3]. При повышении температуры основания облака соответствующий радиус частиц града увеличится. Следовательно, в реальных условиях мы должны при расчетах юста града принимать во внимание только случаи со скоростью восходящего потока свыше 2 м/сек.

Учитывая это, можно сказать, что время образования града при весьма широком диапазоне скоростей восходящих потоков составляет лишь 30—40 минут.

Напомним еще раз, что вычисления велись при равномерной скорости развития облачности. Так как в начальный период существования облака скорости обычно малы, то фактическое время, требующееся для образования града, может превышать указанные нами значения. Однако из расчетов следует с определенностью, что после начала быстрого развития облачности можно ожидать выпадения града уже примерно через полчаса.

Оценка скоростей вертикальных движений воздуха в градовых облаках

Непосредственных измерений скоростей восходящих потоков в градовых облаках до сих пор не производилось. Оценка возможных скоростей по размерам частиц града в предположении, что градины любого размера могут удерживаться в облаке во взвешенном состоянии, не имеет смысла, ибо само исходное предположение безосновательно.

Указанная в предыдущем разделе примерно линейная связь между размером частиц града и скоростью восходящих потоков позволяет производить оценку последней. Однако эта связь имеет место только при определенном гипотетическом механизме образования града. Поэтому необходимо иметь еще независимый способ расчета возможных скоростей вертикальных движений в градовых облаках. Сопоставление значений скоростей, полученных двумя способами, может дать большую уверенность как в правильности оценки скоростей вертикальных движений, так и в правильности предположения о механизме образования града.

Скорость вертикальных движений в конвективных облаках может быть вычислена методом слоя по данным стратификации температуры в атмосфере.

Метод слоя учитывает, как известно, наряду с высвобождением кинетической энергии при развитии в облаках вертикальных движений (если вертикальный градиент температуры превышает влажноадиабатический), затрату энергии на развитие компенсирующих движений в окружающем пространстве.

Изменение кинетической энергии за время dt в некотором слое, содержащем облака и безоблачные промежутки, при развитии конвекции определяется, согласно Бьеркнесу [5], соотношением

$$dE = c_p \frac{M_B}{M_C} [M_C (\gamma - \gamma_B) - M_B (\gamma_C - \gamma)] w_B dt, \quad (1)$$

где c_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении, w_B — скорость вертикального движения влажного (облачного) воздуха, M_B и M_C — массы влажного (облачного) и сухого воздуха в слое, γ , γ_B , и γ_C — значения фактического, влажноадиабатического и сухоадиабатического градиента температуры.

Это выражение выведено в предположении, что скорость восходящих потоков в облаке w_b на данном уровне можно считать постоянной для всего сечения облака, так же как и скорость нисходящих движений в сухом (безоблачном) воздухе w_c . При этом должен выполняться закон сохранения массы

$$M_b w_b + M_c w_c = 0. \quad (2)$$

Если подставить в (1) вместо γ_b среднее значение влажноадиабатического градиента температуры $\bar{\gamma}_b$, то при данных значениях масс M_b и M_c мы получим после интегрирования следующее выражение для изменения кинетической энергии в слое за период времени пока облачная частица начавшая движение на нижней границе слоя, достигнет его верхней границы

$$\Delta E = c_p \frac{M_b}{M_c} [M_c (\gamma - \bar{\gamma}_b) - M_b (\gamma_c - \gamma)] \Delta h, \quad (3)$$

где Δh — толщина слоя.

Черту у γ_b мы будем в дальнейшем для простоты отбрасывать.

Максимуму кинетической энергии конвекции при данном вертикальном градиенте температуры в слое соответствует некоторое определенное соотношение масс облачного и сухого воздуха. Его можно найти, если мы продифференцируем (3) по M_b и приравняем производную к нулю. При этом мы должны вместо M_c подставить $M - M_b$, где M — масса всего воздуха в слое, остающаяся неизменной.

В результате получим

$$\frac{\partial (\Delta E)}{\partial M_b} = c_p \left[(\gamma - \gamma_b) - \frac{M_b}{M - M_b} \left(1 + \frac{M}{M - M_b} \right) (\gamma_c - \gamma) \right] = 0. \quad (4)$$

Отсюда находим формулу для массы влажного воздуха $M_{b \max}$, соответствующей максимуму кинетической энергии конвекции:

$$\frac{M_{b \max} (2M - M_{b \max})}{(M - M_{b \max})^2} = \frac{\gamma - \gamma_b}{\gamma_c - \gamma}. \quad (5)$$

Из (3) следует, что энергия конвекции положительна, если

$$M_c (\gamma - \gamma_b) - M_b (\gamma_c - \gamma) > 0. \quad (6)$$

Таким образом, конвекция возможна, если выполняется условие

$$\frac{M_b}{M_c} \leq \frac{\gamma - \gamma_b}{\gamma_c - \gamma} \quad (7)$$

или

$$\frac{M_b}{M} \leq \frac{\gamma - \gamma_b}{\gamma_c - \gamma_b}. \quad (7a)$$

Сравнение соотношений (5) и (6) показывает, что (5) не противоречит общему условию развития конвекции. Именно при прочих равных условиях $M_{b \max}$ меньше предельного значения M_b , при котором возможна конвекция.

Левая часть (7a) дает возможное количество конвективных облаков S_b в долях единицы, если боковые поверхности облаков считать вертикальными.

Следовательно, из (7a) имеем

$$S_b \leq \frac{\gamma - \gamma_b}{\gamma_c - \gamma_b}. \quad (8)$$

Если количество облаков рассчитывать в баллах, то нужно умножить правую часть неравенства (8) на 10.

Аналогично из (5) мы получаем формулу для количества облаков, которое соответствует максимуму кинетической энергии конвекции

$$S_{в\max} = 1 - \sqrt{\frac{\gamma_c - \gamma}{\gamma_c - \gamma_{в}}} \quad (9)$$

Эта формула справедлива при $\gamma > \gamma_{в}$, когда возможно развитие конвекции.

В том случае, когда конвективные облака пронизывают ряд атмосферных слоев с различными значениями вертикального градиента температуры, мы должны варьировать сумму выражений вида (3).

Полагая $M_{в\max} = \rho \Delta h S_{в\max}$, где ρ — плотность воздуха, мы получим

$$S_{в\max} = 1 - \sqrt{\frac{\sum_k \rho_k (\Delta h_k)^2 (\gamma_c - \gamma_k)}{\sum_k \rho_k (\Delta h_k)^2 (\gamma_c - \gamma_{вk})}} \quad (10)$$

где индекс k указывает номер слоя.

Формула (10) дает количество облаков (в долях единицы), которое соответствует максимуму кинетической энергии конвекции в том случае, когда конвекция распространяется на ряд атмосферных слоев.

Перейдем к вычислению скорости вертикальных движений в конвективных облаках.

Общее изменение кинетической энергии ΔE в слое складывается из изменений кинетической энергии сухого и влажного воздуха

$$\Delta E = \Delta \left(\frac{M_c w_c^2}{2} \right) + \Delta \left(\frac{M_{в} w_{в}^2}{2} \right) \quad (11)$$

Исключая отсюда w_c с помощью (2), получим

$$\Delta E = \Delta \left(\frac{M}{M - M_{в}} \frac{M_{в} w_{в}^2}{2} \right) \quad (12)$$

Сравнивая (12) и (3) и переходя от $M_{в}$ к количеству облаков, мы находим выражение для изменения кинетической энергии единицы массы облачного воздуха при ее поднятии на высоту Δh

$$\Delta \left(\frac{w_{в}^2}{2} \right) = c_p [(\gamma - \gamma_{в}) - S_{в} (\gamma_c - \gamma_{в})] \Delta h \quad (13)$$

Теплоемкость воздуха при постоянном давлении $c_p = 0,243$ кал/г·град. ≈ 1 дж/г·град. и мало меняется при изменении давления. Если выражать Δh в сотнях метров, а градиенты температуры в °/100 м, то мы получим изменение кинетической энергии единицы массы облачного воздуха в джоулях. Вычисления этой величины для многослойной атмосферы ведутся последовательно от слоя к слою, начиная от уровня основания облаков.

Мы определим таким путем скорость восходящих потоков в облаках при наиболее благоприятных условиях их развития, если подставим в (13) вместо $S_{в}$ значение $S_{в\max}$. Эта скорость не будет максимально возможной, ибо такое значение мы получили бы при $S_{в} \rightarrow 0$. Но вероятность развития очень небольшого количества мощных облаков в дни, когда атмосферные условия допускают образование конвективной облачности в значительном количестве, мала.

Скорее всего можно ожидать, что фактическое количество облаков

при данной стратификации будет колебаться от $S_{в\max}$, определяемого соотношением (9) или (10), до $S_{в}$, определяемого соотношением (8).

В таком случае формула (13) при $S_{в} = S_{в\max}$ даст максимальные реально возможные скорости восходящих потоков в конвективных облаках, которые возникают при наиболее благоприятных условиях их развития.

Наряду с ними, будут возникать в облаках восходящие потоки меньшей скорости.

Рассчитанные по формуле (13) скорости восходящих потоков должны соответствовать наибольшим значениям скорости развития облачности, которые определяются по размерам частиц града в случаях выпадения аномально крупного града. В этих случаях мы можем быть уверенными, что соответствующие скорости близки к максимально возможным при данной стратификации атмосферы.

Приведем несколько случаев расчета возможных вертикальных скоростей в облаках в дни с аномально крупным градом.

Расчеты выполнялись по данным станций аэрологического зондирования, отстоящих не более чем на 200 км от пункта, где отмечено выпадение аномально крупного града.

Мы вычисляли последовательно, начиная от уровня конденсации: а) количество облаков, при котором происходит развитие максимальной кинетической энергии конвекции при прохождении облаками одного слоя, затем двух, трех слоев и т. д. по формуле (10); б) изменение кинетической энергии единицы массы облачного воздуха при прохождении одного слоя; затем двух, трех слоев и т. д. по формуле (13); в) скорость облачного воздуха на верхней границе первого, второго слоев и т. д.; г) среднюю скорость вертикальных движений в первом, втором слоях и т. д.; д) среднюю скорость вертикальных движений в облаке.

В заметке В. Н. Шмакова [4] описан случай выпадения града в Вышневолоцком районе Калининской области 5 июля 1953 г. Град выпадал в течение 18 минут, масса градин достигала 75 г, а максимальный радиус градин равнялся 27 мм. При этом размере града средняя скорость восходящих потоков в градовом облаке должна была достигать 25 м/сек. Выпадение града связано с прохождением холодного фронта.

Расчет возможной вертикальной скорости восходящих потоков в облаках, согласно данным утреннего радиозондирования в г. Бологое Калининской области за 5 июля 1953 г., показывает, что средняя скорость вертикальных движений в слое 1—5 км могла равняться 27 м/сек.

На высоте 5 км температура воздуха достигала $-10,5^{\circ}$, что могло обеспечить замерзание капель. Расчет по данным утреннего зондирования показывает возможность развития конвективной облачности до уровня 6,5 км. Однако условия стратификации таковы, что уже небольшое увеличение неустойчивости в нижних облачных слоях могло обеспечить рост облачности до большей высоты, порядка 8—9 км.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

6 июля 1954 г., по сообщению М. Берденниковой, в районе Сосново Ленинградской области в 17 час. 20 мин. наблюдалось градобитие длительностью 3—4 минуты. Радиус градин достигал 17 мм.

Средняя скорость восходящего потока, при которой мог образоваться град такого размера, составляет 15 м/сек.

Расчет конвективной неустойчивости выполнен нами по данным утреннего самолетного зондирования в Шоссейной (близ Ленинграда). Он дал для возможной скорости восходящих движений в слое от уровня конденсации (0,6 км) до высоты 4,6 км значение 22 м/сек. Данные расчета приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты расчета возможных скоростей восходящих потоков в градовом облаке 5 июля 1953 г. по данным утреннего радиозондирования в г. Бологое Калининской области

Высота над уровнем моря в км	Давление в мб	Температура в град.	Количество облаков в баллах, при котором кинетическая энергия конвекции максимальна	Средняя скорость восходящего потока в слое в м/сек.
0,18	986	13,3	—	—
0,50	950	14,3	—	—
0,86	910	15,4	—	—
$H_{\text{конд}} = 1,00$	894	14,5	—	—
1,5	842	11,6	1,6	6,3
2,0	794	8,1	1,6	25,0
3,0	701	1,4	1,5	37,5
4,0	619	-5,3	1,3	38,2
5,0	545	-10,5	0,7	21,4
6,0	477	-16,3	0,4	—
7,0	417	-21,8	0,2	—
8,0	363	-30,5	—	—

Таблица 2

Результаты расчета возможных скоростей восходящих потоков в градовом облаке 6 июля 1954 г. по данным утреннего самолетного зондирования в Шоссейной (Ленинград)

Высота над уровнем моря в км	Давление в мб	Температура в град.	Количество облаков в баллах, при которых кинетическая энергия конвекции максимальна	Средняя скорость восходящего потока в слое в м/сек.
$H_{\text{конд}} = 0,02$	1010	14,7	—	—
0,57	947	17,5	—	—
0,88	913	16,3	0,6	6,3
1,50	847	13,1	0,6	18,7
2,10	787	10,1	0,6	18,7
2,89	715	6,5	0,6	18,7
3,06	700	5,3	0,6	18,7
3,82	637	-0,4	0,6	18,7
4,07	618	-1,7	0,6	34,6
4,22	606	-3,3	0,6	40,3
4,42	591	-4,3	0,6	46,1
4,76	566	-3,8	0,2	21,7
5,20	535	-7,7	0,2	—
6,00	482	-11,2	0,2	—
6,60	446	-16,9	0,2	—

Грозы и градобития в этот день связаны с прохождением фронтального раздела с волнами.

18 июня 1955 г. в г. Ефремове Тульской области в 17 час. выпал град радиусом до 20 мм. Градобитие было связано с прохождением фронтального раздела с волнами. Средняя скорость восходящего потока, при которой мог образоваться град указанного размера, составляет 17 м/сек.

Расчет конвективной неустойчивости выполнен нами по данным утреннего радиозондирования в г. Курске. Для возможной скорости восходящих потоков в облаках мы получили значение 23 м/сек.

Данные расчета приведены в табл. 3.

Таблица

Результаты расчета возможных скоростей восходящих потоков в градовом облаке 18 июня 1955 г. по данным утреннего радиозондирования в г. Курске

Высота над уровнем моря в км	Давление в мб	Температура в град.	Количество облаков в баллах, при которых кинетическая энергия конвекции максимальна	Средняя скорость восходящего потока в слое в м/сек
0,23	980	15,9	—	—
0,50	954	15,2	—	—
$H_{\text{конд}} = 0,90$	900	12,2	—	—
1,40	850	9,3	0,7	9,6
2,50	741	3,5	0,7	26,4
3,00	700	-0,4	0,7	26,4
3,20	688	-1,9	0,7	35,0
4,60	574	-8,6	0,2	20,1
5,50	500	-15,8	0,2	—
7,30	400	-26,8	—	—
9,80	300	-43,2	—	—

В наших расчетах не учитывались затраты энергии на турбулентное перемешивание, а также не учитывалась возможность развития в облаках нисходящих движений. Поэтому вычисленные значения возможных скоростей восходящих потоков в грозовых облаках являются, вероятно, несколько завышенными.

Сопоставление значений скоростей вертикальных движений в градовых облаках, полученных двумя независимыми друг от друга способами, показывает удовлетворительное их согласование.

Поэтому можно думать, что предложенный нами механизм градообразования в основных чертах правильно описывает это сложное метеорологическое явление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заморский А. Д. Атмосферный лед. Изд. АН СССР, М. — Л., 1955.
2. Шишкин Н. С. Исследование роста сферического града. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 6, 1952.
3. Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозное электричество. ГИТТЛ, М., 1954.
4. Шмаков В. Н. Редкий случай града. Природа, № 2, 1954.
5. Bjerknes J. Saturated — adiabatic ascent of air through dryadiabatically descending environment. Q. J. Roy. Meteorol. Soc., V 64, p. 275, 1938.
6. Weickmann H. Entstehung und Bekämpfung des Hagels. Meteorol. Rundschau N 9/10, s. 175, 1953.

КАРТЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ДНЕЙ С ГРОЗОЙ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Известно, что грозы нередко причиняют значительные убытки народному хозяйству. Они часто сопровождаются шквалами, сильными ливнями, а иногда и градом.

Удары молнии повреждают линии электропередачи и связи, являясь причиной тяжелых аварий.

При разработке различных мероприятий по грозозащите необходимо знать особенности в распределении гроз по территории и повторяемость их в различные месяцы.

Однако карт географического распределения гроз для всей территории Советского Союза в целом до настоящего времени не существует. Имеющиеся карты годового количества гроз освещают лишь Европейскую часть СССР или отдельные районы. Месячные карты гроз вообще не строились. Последние представляют также практически важное значение и для метеорологического обслуживания авиатрасс.

В России первая карта среднего годового числа дней с грозой была построена в 1899 г. профессором А. В. Клоссовским для юго-западных районов. Для построения этой карты были использованы данные довольно значительного количества метеорологических станций с двадцатилетними рядами наблюдений [1].

Позднее большую работу по построению карты среднего годового количества дней с грозой для Европейской части Союза ССР выполнил Энергетический институт АН СССР. Вначале эта карта была построена П. Н. Тверским на основании большого количества данных метеорологических станций за различные годы наблюдений в пределах периода 1891—1930 гг. Затем аналогичную карту построил В. В. Соколов, который при составлении карты использовал данные 640 метеорологических станций за период с 1920 по 1940 г. и частично карту П. Н. Тверского [2].

Кроме того, имеются карты годового количества гроз для отдельных районов: Кавказа, целинных земель и др. [3, 4].

В последние годы обработан и проанализирован большой материал систематических наблюдений над грозами, который позволил построить карты распределения гроз для всей территории Советского Союза для года и за отдельные месяцы.

Для характеристики географического распределения гроз на территории СССР построены карты среднего числа дней с близкими и отдаленными грозами за год (рис. 1) и для четырех месяцев теплого периода — с мая по август (рис. 2—5), в которые наиболее развита грозовая деятельность¹.

Кроме того, для характеристики годового хода и продолжительности грозового периода построены для ряда пунктов диаграммы среднего и

¹ На картах (рис. 1—5) Кавказ дан врезкой в более крупном масштабе.

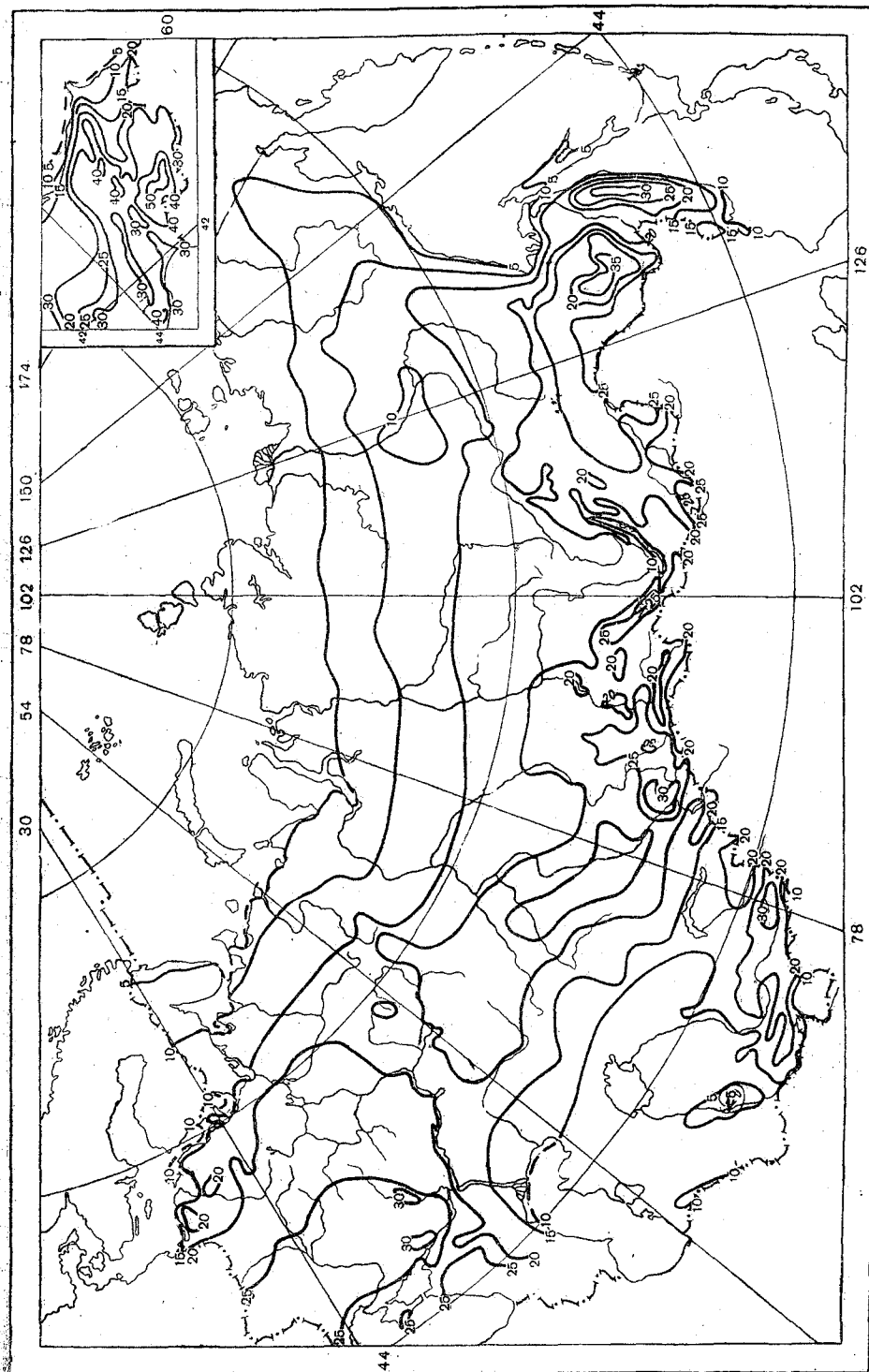


Рис. 1. Географическое распределение годового числа дней с грозой.

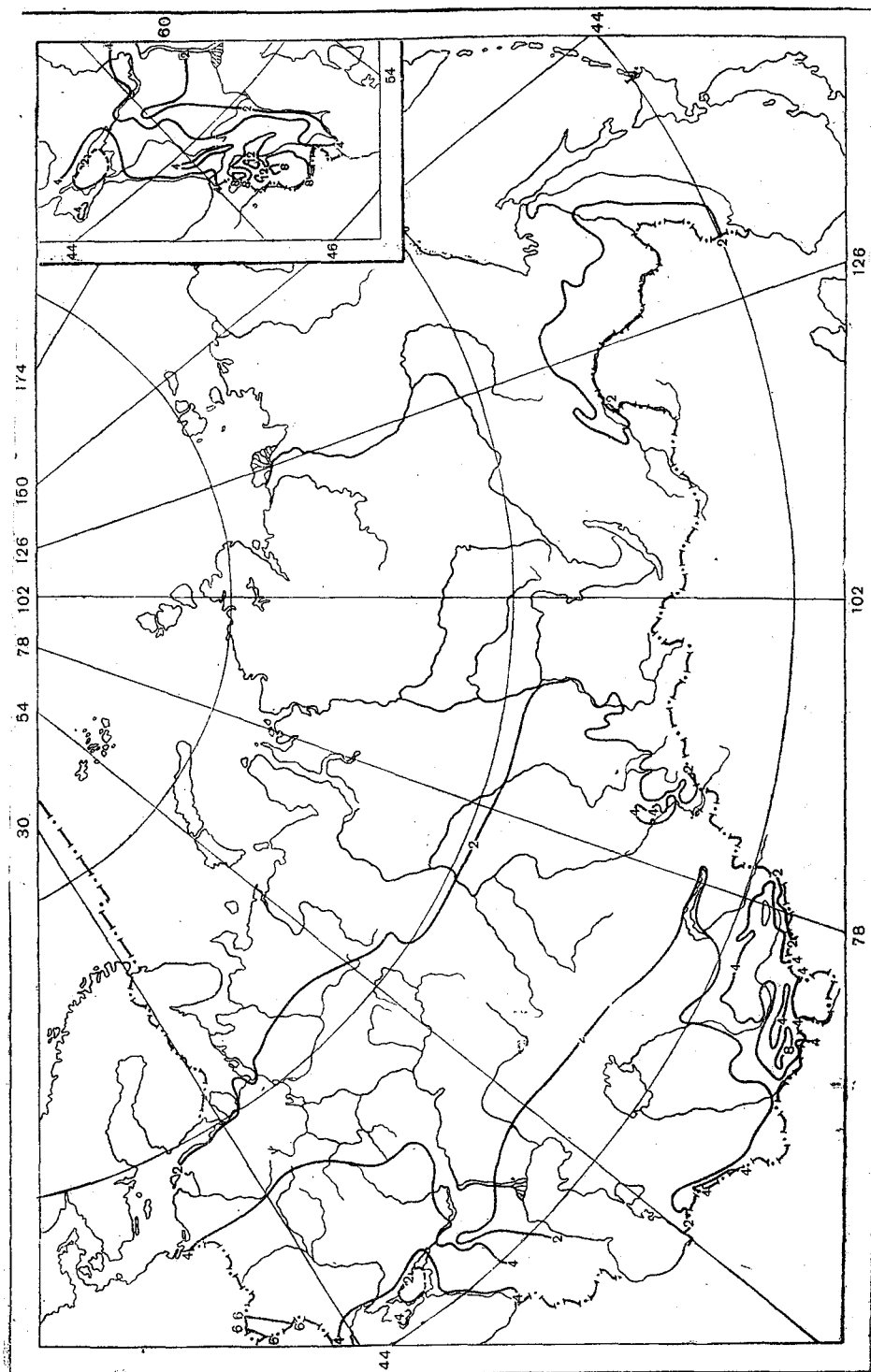


Рис. 2. Географическое распределение числа дней с грозой в мае.

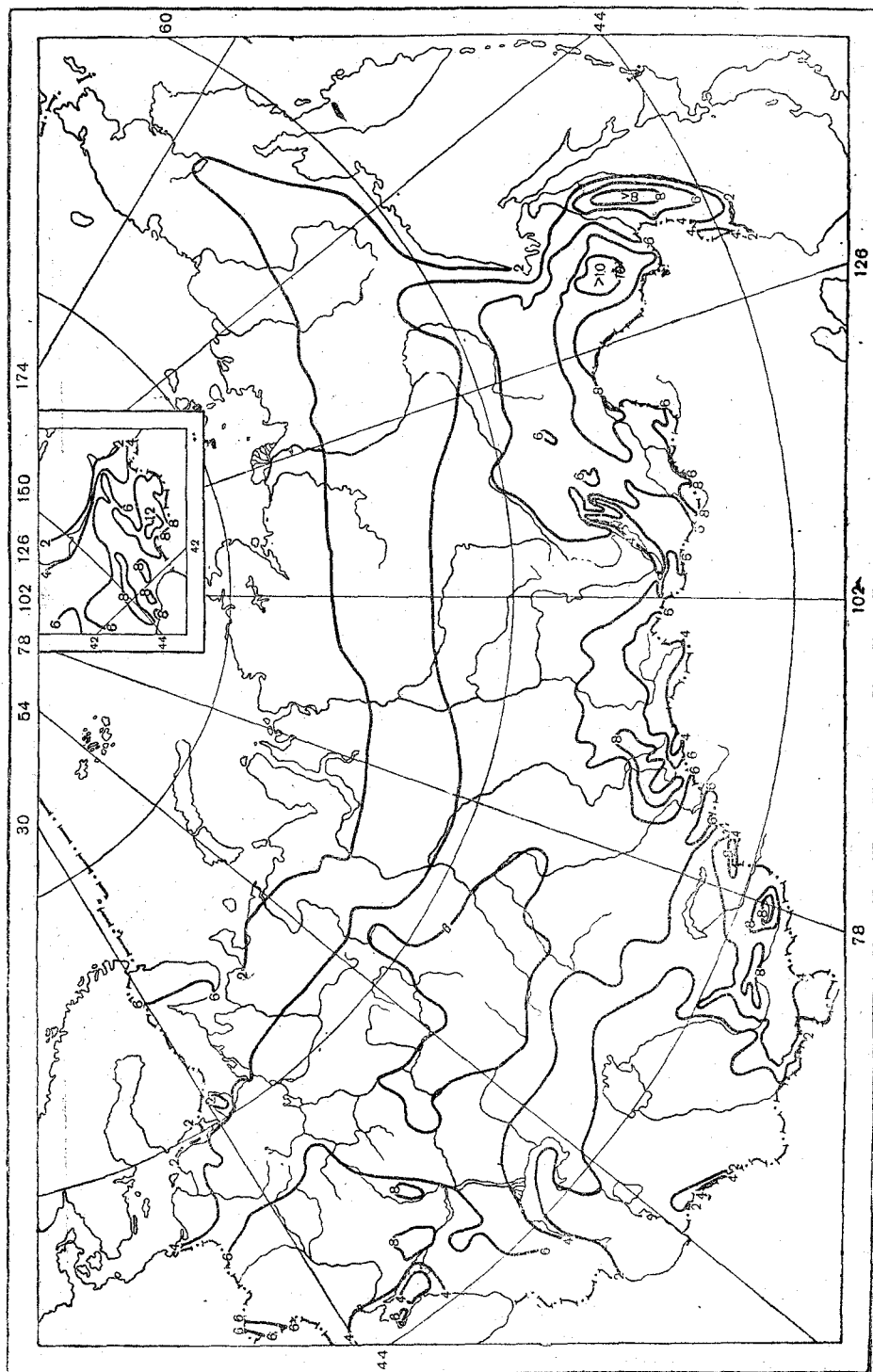


Рис. 3. Географическое распределение числа дней с грозой в июне

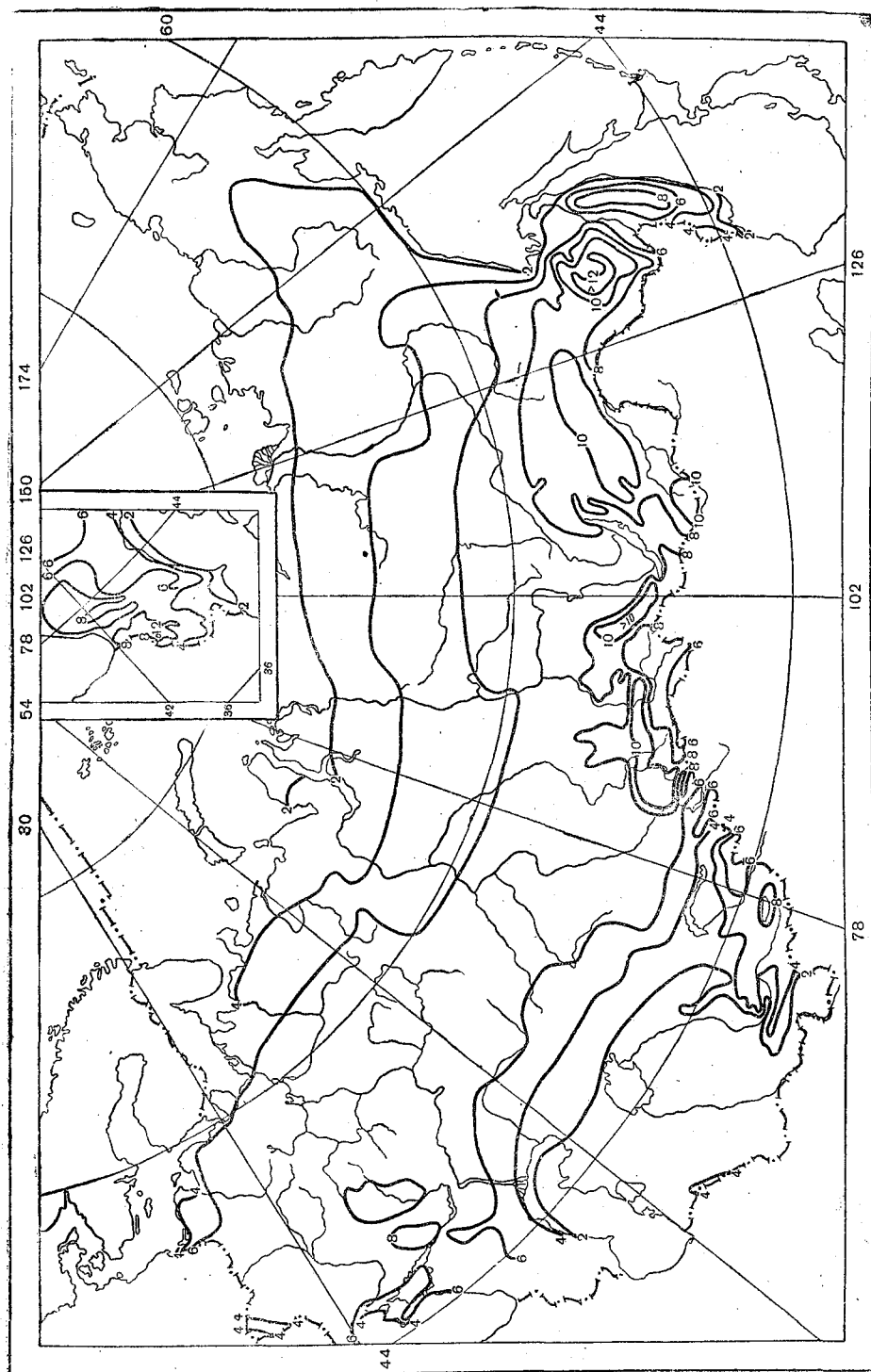


Рис. 4. Географическое распределение числа дней с грозой в июле.

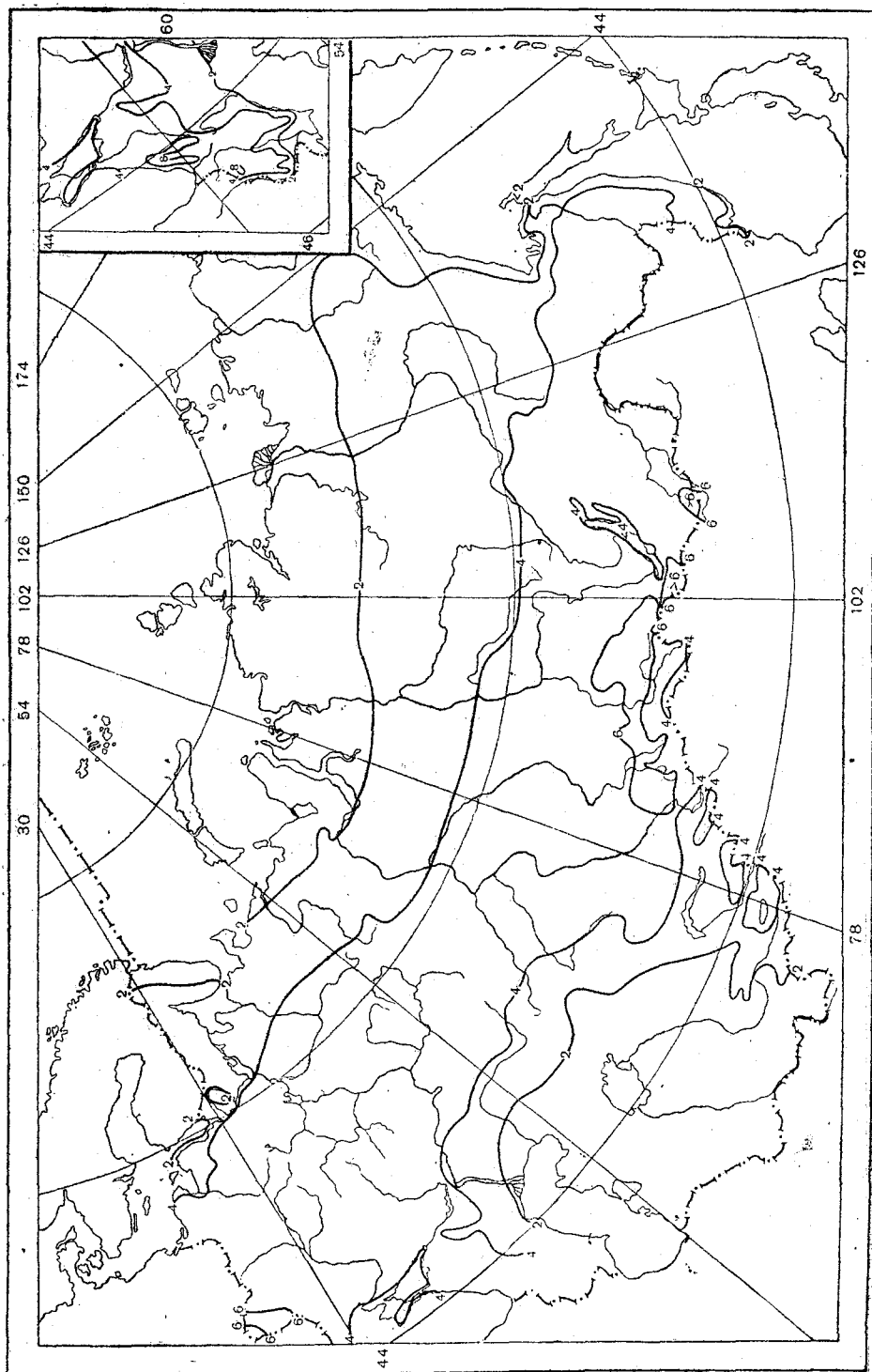


Рис. 5. Географическое распределение числа дней с туманом в августе.

аибольшего числа дней с грозой по месяцам, представленные на ис. 6—7. Наибольшее число дней с грозой дает представление не только максимальном количестве дней с грозой, которое наблюдалось в данном пункте в тот или иной месяц за использованный период наблюдений, но и о максимальном отклонении числа дней с грозой в отдельный год от многолетнего среднего.

Вышеуказанные карты составлены в основном по материалам климатологических справочников СССР по числу дней с грозами. При построении карт числа дней с грозой использованы данные около 2100 метеорологических станций с наблюдениями различной длительности в пределах периода 1891—1948 гг. Как правило, использовались данные станций, имеющих не менее 10—15 лет наблюдений, и только в районах, слабо освещенных в отношении данных по грозам, для установления порядка числа дней с грозой были использованы дополнительно обработанные станции с периодом наблюдений менее 10 лет. Это относится главным образом к горным районам.

В равнинных местностях большая часть данных станций, имеющих период наблюдений менее 15 лет, приведены к станциям с длительными периодами наблюдений. Приведение осуществлялось методом отношений, при помощи графиков корреляционной зависимости. Качество и однородность рядов наблюдений проверялись по этим же графикам.

Прежде чем переходить к географическому распределению числа дней с грозой по территории, следует остановиться на некоторых особенностях интенсивности грозовой деятельности в зависимости от физико-географических условий местности.

При рассмотрении карт распределения числа дней с грозой, помимо общего увеличения грозовой деятельности с севера на юг, в связи с ростом температуры и влажности воздуха, отмечается тесная связь числа дней с грозой с физико-географическими условиями местности. При этом самое большое влияние на грозовую деятельность оказывает рельеф местности. Как показывают карты, уже сравнительно небольшие возвышенности, например Донецкий кряж и другие, отличаются повышенной грозовой деятельностью по сравнению с равнинной местностью, что в основном обусловлено усилением турбулентности, связанной с изрезанностью рельефа. Еще более отчетливо на интенсивности грозовой деятельности сказывается влияние больших гор. Как известно, в горах возрастает динамическая турбулентность и восходящие течения при поднятии вверх по склону создают импульсы к образованию мощных конвективных токов, что приводит к увеличению гроз. Более значительным количеством гроз отличаются наветренные склоны гор, обращенные в сторону преобладающих влажных ветров. Закрытые долины и пониженные места характеризуются ослаблением грозовой деятельности. Уменьшение грозовой деятельности отмечается и на плоских берегах морей, так как летний морской бриз, принося с моря относительно прохладный воздух, не способствует образованию облаков восходящих токов. Однако на гористых берегах не отмечается ослабления грозовой деятельности, поскольку на них создается вынужденное поднятие воздуха, приносимого морским бризом. Этим объясняется увеличение числа дней с грозой на Черноморском побережье Кавказа, Крыма, на берегах Тихого океана и на Дальнем Востоке.

Европейская часть СССР

Распределение числа дней с грозой на Европейской части Советского Союза характеризуется в общем довольно равномерным увеличением гроз с севера на юг, за исключением юго-восточной части территории,



Тихая



м. Желанная



М. Каракулы



Югорский Шар



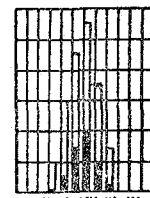
Жаннин Нос



Оксино



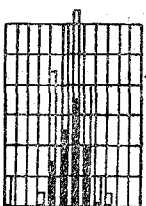
Жибины



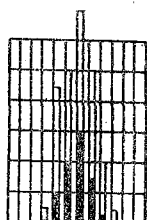
Архангельск



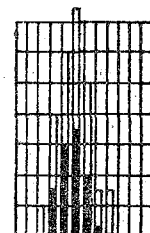
Ленинград



Каргополь



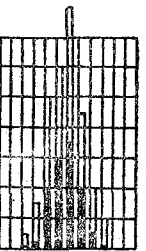
Сыктывкар



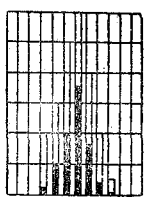
Молотов



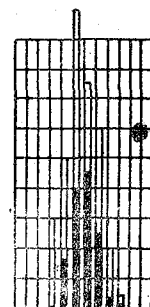
Рига



Москва



Казань



Свердловск

Рис. 6. Годовой ход и наибольшее число дней
I — среднее число дней с грозой



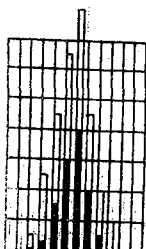
I III V VII IX XI

Минск



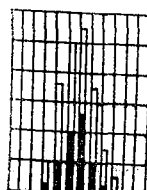
I III V VII IX XI

Воронеж



I III V VII IX XI

Пенза



I III V VII IX XI

Уральск



I III V VII IX XI

Жолонев



I III V VII IX XI

Ивесса



I III V VII IX XI

Севастополь



I III V VII IX XI

Астрахань



I III V VII IX XI

Ставрополь



I III V VII IX XI

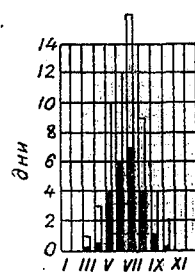
Ленинград



I III V VII IX XI

Баку

Условные обозначения



1—

2—

1 — грозой. Европейская часть СССР.
2 — наибольшее число дней с грозой.

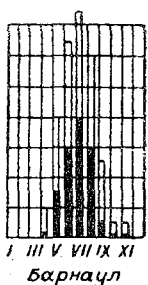
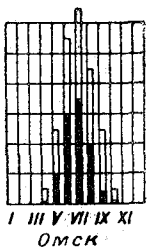
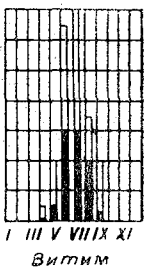
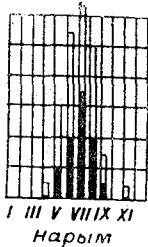
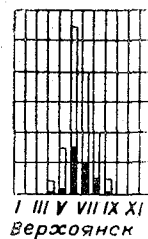
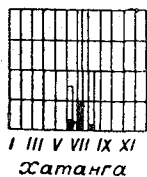
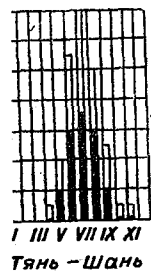
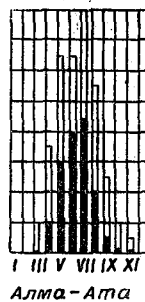
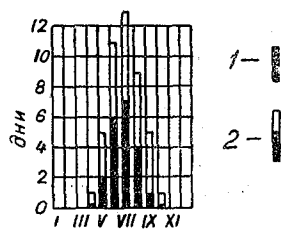


Рис. 7а. Годовой ход и наибольшее число дней
I — среднее число дней с грозой



Условные
обозначения

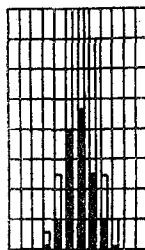


грозой. Азиатская часть СССР.

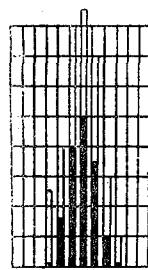
— наибольшее число дней с грозой.



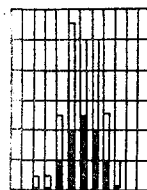
I III V VII IX XI
Николаевск



I III V VII IX XI
Дамбуки



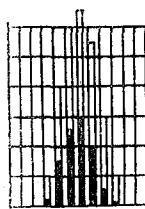
I III V VII IX XI
Гош



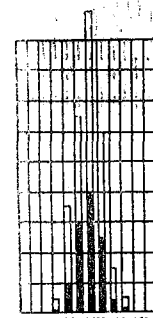
I III V VII IX XI
Хабаровск



I III V VII IX XI
Акмолинск



I III V VII IX XI
Кокпекти



I III V VII IX XI
Орловский пос



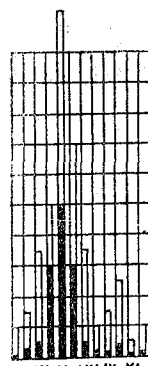
I III V VII IX XI
Эмба



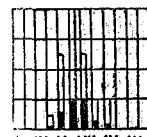
I III V VII IX XI
Ашхабад



I III V VII IX XI
Кушка



I III V VII IX XI
Сталинбад



I III V VII IX XI
Мургаб

Рис. 76. Годовой ход и наибольшее число
Усл. обозначения



Диксон



Кысюр



Амбарчин



Узелен



Байкит



Якутск



Оймякон



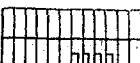
Сатываа



Озотск



Ключи



Никольское



Петропавловск



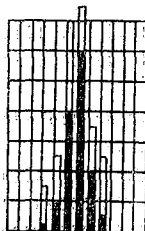
Ключевская



Бушканий о-в



Чита



Турик

ней с грозой. Азиатская часть.
м. рис. 7а.

где наблюдается резкое уменьшение числа дней с грозой по направлению к югу и юго-востоку. Наиболее отчетливо равномерное увеличение гроз по направлению к югу отмечается на севере рассматриваемой территории.

Общее направление линий равного числа дней с грозой на большей части Европейской территории СССР широтное, лишь на востоке меридиональное.

Наибольшее число дней с грозой в пределах равнинной территории Европейской части Советского Союза наблюдается на юго-западе в среднем за год составляет от 25 до 30, а на Донецком кряже, Калачской возвышенности и в горах Западной Украины достигает 35 дней.

В прибрежной полосе количество гроз уменьшается и составляет менее 25 дней с грозой в среднем за год. Это уменьшение обусловлено влиянием летнего относительно прохладного морского бриза на плоское побережье Черного моря.

По направлению к северу и юго-востоку число дней с грозой уменьшается, составляя от 25 до 20 дней с грозой в среднем за год до линии границей которой на севере является Белое озеро, на востоке — р. Велуга, восточная оконечность Приволжской возвышенности и Ергени, на западе — западные отроги Валдайской возвышенности и южные отроги Балтийской гряды. Далее к северу от указанной линии количество гроз уменьшается также равномерно, но значительно быстрее. На побережьях Баренцева и Карского морей и северной окраине Кольского полуострова в среднем за год бывает уже менее 5 дней с грозой. Грозы, хотя и очень редко — 1—2 раза в течение 5—10 лет, наблюдаются на крайнем севере севернее 80° с. ш.

По мере продвижения к Уралу грозовая деятельность усиливается. Однако на самом Урале не наблюдается больше 25—30 дней с грозой в среднем за год.

Следует отметить увеличение гроз с поднятием по склону. На это указывают данные пары станций на Южном Урале, из которых первая «Таганай, нижняя» расположена у подножья горы Таганай на высоте 550 м над уровнем моря, вторая «Таганай, гора» — на высоте 1150 м. На первой из них в среднем за год бывает 20 дней с грозой, на второй — 25.

Юго-восток Европейской части Советского Союза характеризуется резким ослаблением грозовой деятельности, что связано с общей сухостью воздуха в этих районах. Так, на правом берегу Дона в среднем за год наблюдается более 25 дней с грозой; в низовьях Волги — уже менее 15, а на восточном побережье Каспийского моря — менее 10 дней с грозой.

В Кумо-Манычской впадине грозовая деятельность также ослаблена. Здесь бывает в среднем за год от 15 до 17 дней с грозой.

Крым. В северной степной части Крымского полуострова в среднем за год наблюдается от 20 до 22 дней с грозой. Таким же количеством гроз характеризуется и Керченский полуостров. По мере приближения к Крымским горам интенсивность грозовой деятельности возрастает. В предгорных и горных районах примерно с высоты 300—400 м число дней с грозой в среднем за год составляет 25—30. На южных склонах гроз отмечается несколько меньше, чем на северных; это, по-видимому, связано с влиянием морского бриза. С приближением к морю грозовая деятельность ослабевает, и в низменной части узкой прибрежной полосы в среднем за год бывает уже менее 20 дней с грозой.

Кавказ. Сложная орография и изрезанный рельеф в сильной степени влияют на грозовую деятельность. Значительные площади Главного Кавказского хребта покрыты вечными снегами и ледниками. Наличие таких

факторов, наряду с близостью огромных водоемов Черного и Каспийского морей, обуславливает пеструю картину в распределении числа дней грозой.

Выше указывалось, что Кумо-Манычская впадина характеризуется небольшим числом дней с грозой — менее 20.

По мере продвижения к Кавказскому хребту число дней с грозой возрастает. Наиболее отчетливо это отмечается в западной части Ставропольской возвышенности, где количество дней с грозой в среднем за год достигает 30, а местами и больше. При дальнейшем приближении к горам число гроз еще более увеличивается, и в предгорьях на высоте около 400 м количество дней с грозой в году достигает 35, а на горе Бэрмамыт (высота над уровнем моря 2586 м) отмечается около 55 дней с грозой. С удалением к востоку грозовая деятельность ослабевает, и восточная часть Кавказского хребта характеризуется меньшим количеством гроз по сравнению с западной вследствие меньшей увлажненности воздуха. Исключения составляют склоны, обращенные к долине р. Алазани, где в восточной части Кавказского хребта гроз наблюдается не меньше, чем в западной.

Следует отметить, что южные склоны Главного Кавказского хребта отличаются более развитой грозовой деятельностью по сравнению с северными. Особенно много гроз отмечается на склонах, обращенных к морю. На таких склонах значительное увеличение гроз происходит уже на сравнительно небольших высотах. Так, на высотах около 600 м бывает уже более 40 дней с грозой в течение года, на высоте 2000 м — около 50, а на отдельных участках и более 50.

Приведенные данные так же, как и на Урале, показывают увеличение числа гроз вверх по склону. Увеличение числа дней с грозой происходит примерно до высоты 2000—2500 м над уровнем моря. Выше уже наблюдается ослабление грозовой деятельности в связи с общим понижением температуры и уменьшением влажности воздуха. В высокогорной зоне (выше снеговой линии) отмечается существенное снижение интенсивности грозовой деятельности, хотя по абсолютному значению в этой зоне бывает еще сравнительно большое количество гроз: на высотах около 4000 м над уровнем моря 25—27 дней с грозой в среднем за год.

Значительное ослабление грозовой деятельности наблюдается в долинах, закрытых от воздушных потоков, несущих влагу, несколькими горными хребтами. Так, например, за Скалистым хребтом в среднем за год бывает менее 15 дней с грозой.

Побережья Черного и Каспийского морей резко различаются по числу дней с грозой. На побережье Каспийского моря в связи с общей сухостью воздуха грозовая деятельность выражена слабо, и число гроз здесь является наименьшим по сравнению с другими районами Кавказа, составляя на Апшеронском полуострове всего лишь 5 дней с грозой в году. На побережье Черного моря число дней с грозой в 5—6 раз больше по сравнению с побережьем Каспийского моря и составляет 30—35 дней. Лишь на севере в районе Анапы число гроз несколько меньше — около 20.

Переходя к рассмотрению грозовой деятельности на Малом Кавказе и Армянском нагорье, следует отметить, что здесь она развита очень интенсивно, значительно интенсивнее, чем на Главном Кавказском хребте, кроме того, районы с высокоразвитой грозовой деятельностью здесь более значительны по площади, чем на Большом Кавказе.

До 50 дней с грозой в среднем за год наблюдается в северо-западной части Армянского нагорья и примыкающих к нему хребтах Малого Кавказа. На отдельных участках этого большого района с интенсивной грозовой деятельностью среднее годовое количество дней с грозой достигает

еще больших значений. Так, в районе севернее массива Алагез, включая Мокрые горы и Сомхетский хребет, бывает в году более 50 дней с грозой, а на горе Алагез — более 60. Это самое большое среднее годовое количество дней с грозой, наблюдавшееся на территории Кавказа. Отсюда интенсивность грозовой деятельности повсеместно уменьшается и в сухой долине р. Аракса, восточнее Нахичевани, отмечается уже менее 25 дней с грозой.

Азиатская часть СССР

В северной половине Азиатской территории Советского Союза распределение числа дней с грозой характеризуется более или менее равномерным увеличением с севера на юг, за исключением восточных районов, где число дней с грозой возрастает в направлении с востока на запад, т. е. от окружающих морей в глубь материка. Кроме того, наблюдается некоторое уменьшение гроз в пониженных формах рельефа, так, например, в районе Вилуйской впадины. Направление линий равного числа дней с грозой на большей части северной половины Азиатской территории СССР широтное и только на востоке меридиональное.

Западно-Сибирская низменность. На севере рассматриваемой территории в среднем за год бывает менее 5 дней с грозой. К югу число дней с грозой постепенно увеличивается, и на южной окраине Западно-Сибирской низменности наблюдается более 20 дней с грозой в среднем за год. В районе Барабинской и Кулундинской степей в связи с большей сухостью количество дней с грозой несколько уменьшается и составляет от 15 до 20 в среднем за год. С приближением к горным районам грозовая деятельность усиливается.

Алтай. Наибольшим количеством гроз отличается западная часть Алтая, расположенная на пути воздушных потоков, несущих влагу. В предгорьях на высоте 300—400 м в среднем за год отмечается свыше 30 дней с грозой, а на высоте 700—800 м — 35 и более. При дальнейшем поднятии вверх по склону происходит возрастание грозовой деятельности и, судя по аналогии с другими районами, на высотах 1500—2000 м количество дней с грозой достигает 40 и более. Большим количеством гроз характеризуется котловина Телецкого озера, окруженного со всех сторон высокими горами. По данным станций Яйлю, Бея (высота над уровнем моря 500—600 м), здесь наблюдается в среднем за год более 35 дней с грозой. Такое большое количество гроз в котловине, по-видимому, объясняется совместным влиянием озера и гор, т. е. повышенной влажностью воздуха вследствие испарения с озера и восхождения влажного воздуха вверх по склону. Обычно же долины и котловины, защищенные от влажных ветров, отличаются пониженной грозовой деятельностью.

Южная и внутренние части Алтая характеризуются меньшим количеством гроз. В южной части вследствие большей сухости воздуха грозовая деятельность менее развита на южных склонах, чем на северных. На северных склонах в среднем за год бывает более 25 дней с грозой (Катон, Карагай на высоте 1068 м — 26 дней), а на южных — от 20 до 25 (Орловский поселок на высоте 1081 м — 22 дня). По направлению к озеру Зайсан количество гроз уменьшается и в котловине озера в среднем за год бывает 20 и менее дней с грозой.

Во внутренней части Алтая особенно мало гроз бывает в Чуйской степи, окруженной со всех сторон горами. По данным станции Кош-Агач (высота над уровнем моря 1922 м), здесь бывает только 12 дней с грозой.

Северная часть Алтая — хребты Абакинский и Кузнецкий Алатау

характеризуются еще довольно значительным числом гроз. На западных их склонах, являющихся наветренными по отношению к влажным ветрам, число дней с грозой в среднем за год составляет 25 и более, а на восточных несколько меньше, от 20 до 25 дней. В Минусинской котловине и в долине реки Енисей, к северу от Минусинской котловины, отмечается менее 20 дней с грозой за год.

Северо-Сибирская низменность, Средне-Сибирское плоскогорье и горные области Северо-Восточной Сибири. Рассматриваемые районы характеризуются слабо развитой грозовой деятельностью, особенно прибрежные. В прибрежных районах Северо-Сибирской низменности грозы наблюдаются очень редко, обычно не ежегодно. С продвижением к югу число дней с грозой несколько возрастает, и в южных районах указанной низменности отмечается 4—5 дней с грозой в среднем за год. На территории Средне-Сибирского плоскогорья интенсивность грозовой деятельности увеличивается, и на южной окраине его бывает ежегодно 15—17 дней с грозой. Горные области Северо-Восточной Сибири отличаются малым количеством гроз, особенно ее крайние северо-восточные районы, где бывает 1—2 грозы в 10 лет. С удалением в глубь материка количество гроз увеличивается, и западнее реки Колымы отмечается в году 7—10 дней с грозой, а западнее реки Индигирки — 10—15 дней.

Саяны и Тувинская котловина. Саянский хребт и Тувинская котловина данными по числу дней с грозой освещены слабо. В Западных Саянах, судя по данным станции Кара-Жем и Нижняя Уса, на высотах 500—700 м отмечается в среднем за год свыше 25 дней с грозой. Вверх по склону число дней с грозой может увеличиться до 30—35. В Восточных Саянах грозовая деятельность развита несколько слабее по сравнению с Западными.

О количестве гроз в Тувинской котловине можно судить в основном по аналогии с другими районами, учитывая их физико-географические особенности. В западной степной части котловины, более сухой, количество дней с грозой примерно такое же, как и в Минусинской котловине, т. е. от 15 до 20, а в восточной лесостепной части, судя по данным станции Толбукской, более 20 дней.

Прибайкалье и Забайкалье. К востоку от Саян количество дней с грозой уменьшается. В Братске и Иркутске отмечается в среднем за год по 17 дней с грозой. На хребтах Байкальском, Хамар-Дабане, расположенных на путях переноса влаги с северо-запада, число дней с грозой возрастает. На Байкальском хребте в среднем за год бывает от 20 до 25 дней с грозой, а на Хамар-Дабане — от 25 до 30. Такое же количество гроз отмечают на Баргузинском хребте и хребте Кентей.

На побережье Байкала количество дней с грозой резко снижается до 13—11, а над зеркалом озера в среднем за год бывает менее 10 дней с грозой.

К востоку от Байкала число дней с грозой возрастает. В долинах рек Уды, Хилок и Онона наблюдается в среднем за год от 15 до 20 дней с грозой. Таким же количеством гроз характеризуется район, расположенный к северо-востоку от Байкала, а также Алданское плоскогорье.

В пределах Яблонового хребта, в южной цепи Станового хребта грозовая деятельность усиливается. Здесь число дней с грозой в среднем за год превышает 25.

Дальний Восток. На территории Дальнего Востока грозовая деятельность наиболее развита в районе Буреинского хребта. На Буреинском хребте в среднем за год отмечается более 35 дней с грозой. Хребт Янкан-Джагды-Тукирингра характеризуется несколько меньшим количеством гроз. Здесь в среднем за год бывает от 25 до 30 дней с грозой, а в долине Амура, к югу от Буреинского хребта — менее 25 дней. На

Сихотэ-Алине отмечается от 30 до 35 дней с грозой в среднем за год. В направлении к долине Амура и побережью Японского моря интенсивность грозовой деятельности снижается, и вдоль всего побережья бывает менее 10 дней с грозой (Владивосток — 6 дней). Таким же количеством гроз характеризуется и внутренняя часть Сахалина. В прибрежных районах и северной части Сахалина грозы наблюдаются реже — около 3—5 дней с грозой в среднем за год. Еще более понижена грозовая деятельность на побережье Охотского моря, Камчатке и особенно на островах Командорских, Карагинском. Причем во внутренних районах Камчатки гроз бывает несколько больше (2—4 дня с грозой), чем в прибрежных районах, где грозы наблюдаются не ежегодно. На Командорских островах грозы бывают еще реже — 2,3 раза в 10 лет.

Средняя Азия. Наличие на территории Средней Азии высочайших горных массивов и обширных пустынь обуславливают пеструю картину в распределении числа дней с грозой.

Восточное побережье Каспийского моря и пустынные районы, расположенные к востоку от него, характеризуются очень слабо развитой грозовой деятельностью. Здесь число дней с грозой в среднем за год менее 10, а в восточной части Кара-Кумов даже менее 5 дней. С приближением к горным районам число дней с грозой увеличивается и уже в пределах хребта Копет-Даг составляет более 15.

В горных районах Памиро-Алая и Тянь-Шаня распределение гроз отличается большой сложностью.

На южных склонах Гиссарского хребта примерно до высоты 3000—3500 м над уровнем моря наблюдается около 25 дней с грозой в среднем за год (Сталинабад на высоте 840 м — 26 дней, Оби-Гарм на высоте 1360 м — 25 дней). Такое же количество гроз отмечает и станция Андзобский перевал на высоте 3350 м.

Таким образом, имеющиеся данные не отмечают увеличения количества гроз на южных склонах Гиссарского хребта по мере поднятия вверх по склону, что четко обнаруживается во многих горных районах и, в частности, на некоторых хребтах горной системы Тянь-Шаня.

К югу от Гиссарского хребта грозовая деятельность сильно снижается. В Термезе уже наблюдается всего 6 дней с грозой.

Район между Гиссарским и Туркестанским хребтами отличается также небольшим количеством гроз, особенно долины и котловины. Так, в долине Зеравшана, закрытой с севера Туркестанским хребтом, а с юга Зеравшанским и Гиссарским хребтами, бывает менее 15 дней с грозой, а в котловине озера Искандер-Куль, расположенного на северном склоне Гиссарского хребта, на высоте 2204 м над уровнем моря, только 10 дней.

На северных склонах Туркестанского хребта грозы наблюдаются несколько чаще, на высоте 1000—1500 м — от 15 до 20 дней с грозой в среднем за год, а в отдельных его частях на высоте свыше 3000 м — более 20 дней.

Ферганская долина, окруженная с трех сторон горами, характеризуется незначительным количеством гроз. На высотах около 400 м отмечается 10—12 дней с грозой. С приближением к горам число гроз возрастает.

В предгорьях Алайского хребта на высоте 600—800 м отмечается 15 дней с грозой в среднем за год; с поднятием вверх по склону число гроз возрастает и на высоте 1500—1600 м составляет более 20 дней. Следует отметить, что в восточной части Алайского хребта гроз бывает больше, чем в западной. Здесь на высоте 1500—1600 м отмечается уже более 25 дней с грозой.

Таким же количеством гроз характеризуются и Ферганский хребет,

а также наветренные склоны хребтов Угамского, Чаткальского, Пскемского.

В предгорьях Заилийского Алатау на высоте 600—700 м среднее годовое число дней с грозой составляет 20, на высоте 1000 м — более 30. Приведенные данные показывают увеличение количества гроз вверх по склону. Однако уже на высоте 3000 м станция Мын-Джилки, расположенная вблизи ледника, не отмечает увеличения гроз, а показывает некоторое, хотя и незначительное, уменьшение. Здесь в среднем за год бывает 28 дней с грозой.

Хребет Джунгарский Алатау характеризуется примерно таким же количеством гроз, как и Заилийский Алатау.

По направлению к северу и северо-западу от этих хребтов грозовая деятельность ослабевает, и в котловинах озер Алаколь, Сасык-Коль и Балхаш бывает менее 15 дней с грозой. Однако по мере приближения к Казахской складчатой стране и хребту Тарбагатай грозовая деятельность вновь усиливается.

В северной части Казахской складчатой страны число дней с грозой возрастает до 20 и более (Каркаралинск, Караганда, Балхашино — 21 день).

В юго-западной части Казахской складчатой страны число дней с грозой составляет менее 20, а в Тургайской столовой стране, южной части Мугоджар и в северо-западной части Прикаспийской низменности в связи с возрастающей сухостью воздуха и приближением к пустынным районам — менее 15.

Интересно отметить, что на территории Средней Азии грозовая деятельность наиболее развита в котловине озера Иссык-Куль, расположенного на границе Центрального Тянь-Шаня и окруженного со всех сторон горами, хотя известно, что этот район довольно сухой, особенно его юго-западная часть.

На берегу озера наблюдается в среднем за год более 30 дней с грозой, а на склонах гор — свыше 35. Такое значительное число дней с грозой, как и на Телецком озере, по-видимому, объясняется совместным влиянием озера и гор. Однако нужно отметить, что грозы здесь нередко бывают сухие, без осадков.

По направлению к югу число дней с грозой уменьшается. В Нарыне на высоте 2000 м и в высокогорной обсерватории Тянь-Шань на высоте более 3500 м наблюдается от 20 до 25 дней с грозой.

Наименьшее число дней с грозой на территории Средней Азии отмечается на Памире, где на леднике Федченко и в Джаушангозе на высоте 3500—4000 м обычно бывает в году 2—3 дня с грозой, а в Алтын-Мазаре, расположенном в узкой глубокой долине р. Сурхоб на высоте около 3000 м, — один день.

Слабая грозовая деятельность на Памире обусловлена главным образом пониженной температурой и влажностью воздуха в связи со значительной высотой над уровнем моря и наличием ледников. Этому способствуют также горные хребты, расположенные в меридиональном направлении к западу от Памира, так как они задерживают влагу преобладающих западных потоков.

Годовой ход и наибольшее число дней с грозой

Годовой ход числа дней с грозой, а также наибольшее количество дней с грозой для каждого месяца за многолетний ряд наблюдений наглядно изображены на рис. 6—7. При рассмотрении этих рисунков отчетливо видно, что грозовая деятельность достаточно развита лишь в теплый период с мая по август. Однако грозы начинаются значительно

раньше. На севере как Европейской, так и Азиатской территории СССР первые грозы в отдельные годы уже наблюдаются в апреле, а на юге — в марте.

Наибольшее число дней с грозой в среднем за многолетний период наблюдений бывает в июле на большей части территории Советского Союза. В отдельные годы наибольшее число дней с грозой может быть не только в июле, но в любой летний месяц и достигать на севере 8—10 дней (за исключением побережий северных и северо-восточных морей, где число дней с грозой очень мало), а на юге 12—15 (исключая юг Средней Азии, где также число дней с грозой мало).

В прибрежной полосе Крымского полуострова и на севере Средней Азии самое большое число дней с грозой преимущественно бывает в июне.

На Черноморском побережье Кавказа грозы наиболее часто наблюдаются в июле и августе, а в более южных районах даже в сентябре. В отдельные годы с усиленной грозовой деятельностью число дней с грозой в эти месяцы может здесь достигать 15. На южных склонах Главного Кавказского хребта, обращенных к морю, во все летние месяцы количество дней с грозой в некоторые годы может быть более 20.

На Малом Кавказе, Армянском нагорье и на юге Средней Азии наибольшее количество гроз наблюдается в мае, а на крайнем юге в пустынных районах Средней Азии — в апреле. На Малом Кавказе и Армянском нагорье, в районах с развитой грозовой деятельностью, в отдельные годы в мае грозы наблюдаются почти ежедневно.

В высокогорной зоне на высоте около 4000 м на Кавказе грозы чаще бывают в июле и августе, а в Средней Азии — в июне, июле.

Осенью грозовая деятельность на всей территории Советского Союза прекращается, и уже в сентябре на большей части территории грозы бывают не ежегодно, а в ноябре даже на Черноморском побережье грозы наблюдаются не каждый год.

Зимой грозы почти на всей территории СССР исключительно редкое явление и лишь на крайнем юге Крыма и Кавказа, а также в пустынных и горных районах Средней Азии грозы наблюдаются в любой из зимних месяцев, но не ежегодно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клоссовский А. В. Материалы для климатологии юго-запада России (текст и карты). Одесса, 1899.
2. Тверской П. Н. Грозы и грозовые явления. Библиотека естествознания, Л., 1945.
3. Стекольников И. С. Физика молнии и грозозащита. АН СССР. М. — Л., 1943.
4. Архипова Е. П. Карты географического распределения среднего числа дней с грозой для территории освоения целинных и залежных земель. Изв. Всес. геогр. общ-ва, т. 88, вып. 2, III — IV, 1956.

ВЕРОЯТНОСТЬ ГРОЗ НА ОГРАНИЧЕННЫХ УЧАСТКАХ ТЕРРИТОРИИ

В практике метеорологического обслуживания народного хозяйства явлению грозы уделяется большое внимание. Это понятно, так как грозы могут иногда причинять значительный материальный ущерб. Для авиации грозы создают условия сложной метеорологической обстановки, в которой полеты весьма затруднительны.

Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что в грозовых облаках сильно развиты вертикальные токи, способные подбросить самолет вверх на 700—1000 м или бросить вниз на 1000—2000 м и более. Были случаи, когда в грозовом облаке самолет падал на 3000—4000 м [3].

Несмотря на важность этого сложного метеорологического явления, его режимные характеристики еще недостаточно полно освещены. До сих пор не было климатических карт гроз по территории СССР в целом. Впервые такие карты гроз построены Е. П. Архиповой. Они дают достаточно полное представление о закономерностях годового хода и географического распределения изучаемого явления [1, 2].

Вместе с тем настоящие карты не позволяют полностью удовлетворить некоторые запросы по метеорологическому обеспечению авиации и других отраслей народного хозяйства, если речь идет о вероятности гроз в районе пункта и тем более в пространстве — в районе авиатрассы или линии высоковольтной передачи.

На территории СССР грозы наиболее вероятны летом, в июне—августе. Сравнительно часто они бывают в конце весны (в мае). Для этих месяцев целесообразно вычислять не только среднее число дней с грозой, но и вероятность числа дней с грозой в различных пределах.

В июне и июле, когда вероятность гроз наибольшая в году, число дней с грозой в районе отдельных пунктов от года к году изменяется в пределах 0—19 в месяц. В одни годы грозы могут совершенно отсутствовать или их очень мало, в другие годы, наоборот, число дней с грозой сравнительно велико. Поэтому в ряде случаев среднее число дней с грозой оказывается недостаточно полной характеристикой географического распределения гроз. Это видно из нижеприведенных данных (табл. 1).

Данные табл. 1 вычислены обычным способом, широко распространенным в гидрологии [6]. Для расчета числа дней с грозой различной обеспеченности использованы станции, ряды наблюдений которых более 30—40 лет. Каждое число дней с грозой, соответствующее той или иной градации обеспеченности (5, 10, 20 . . . 90, 95%), является нижним пределом; например, в июне при обеспеченности 90% в Москве бывает не менее двух дней с грозой, при обеспеченности 10% — не менее 10 дней в месяц.

Число дней с грозой различной обеспеченности

№ п.п.	Станции	Максимум	Обеспеченность (%)											Минимум
			5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	
И ю н ь														
1	Архангельск . . .	9	8	6	6	4	3	2	2	1	1	0	0	0
2	Каргополь . . .	12	10	8	6	5	4	4	3	2	1	1	0	0
3	Москва	13	11	10	9	7	7	6	5	4	3	2	1	1
4	Пенза	13	10	8	7	7	7	6	5	5	4	2	1	1
5	Василевичи . . .	17	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2
6	Киев	14	13	10	8	8	7	7	6	5	4	4	2	0
7	Харьков	19	14	11	9	8	7	7	6	5	5	4	2	1
8	Одесса	15	14	12	11	9	8	7	6	5	4	3	3	2
9	Симферополь . .	14	13	10	8	8	7	6	5	4	4	1	1	1
10	Ставрополь . . .	14	14	12	11	9	9	7	6	5	4	3	2	2
11	Чкалов	13	12	10	8	7	6	6	5	4	3	2	1	0
И ю л ь														
1	Архангельск . . .	11	9	7	6	5	4	4	3	2	2	0	0	0
2	Каргополь . . .	13	11	10	9	7	6	5	5	4	4	2	1	0
3	Москва	16	13	11	10	9	8	7	7	6	5	4	3	3
4	Пенза	16	15	13	11	9	9	8	7	5	4	3	2	1
5	Василевичи . . .	19	14	12	11	11	9	8	7	6	5	3	2	1
6	Киев	16	11	9	8	8	7	6	6	5	5	4	2	0
7	Харьков	16	13	12	10	9	9	7	6	6	4	3	2	0
8	Одесса	14	11	10	9	8	6	5	5	4	3	2	1	1
9	Симферополь . .	16	15	14	9	8	7	6	5	5	4	2	1	1
10	Ставрополь . . .	15	15	14	12	11	10	9	8	7	5	4	3	2
11	Чкалов	13	11	10	9	8	7	7	5	4	3	2	1	0

Таблица 1 показывает, что в годы максимума грозовой деятельности на севере Европейской территории СССР наблюдается до 8—10 дней с грозой в месяц, в центральных, южных районах — до 13—14. Такие годы встречаются примерно один раз в 20 лет. В исключительно грозовые годы, наблюдающиеся один раз в 50—70 лет, число дней с грозой достигает 16—19 в месяц. Причем такое количество дней одинаково вероятно как в июне, так и в июле. В годы минимума — грозы редкое явление.

Однако если подходить к учету гроз, наблюдаемых не в районе пункта, а на некоторой ограниченной территории, то вероятность числа дней с грозой значительно возрастает. Чтобы показать, насколько изменятся численные характеристики вероятности гроз на некоторой ограниченной территории по сравнению с вероятностью гроз в пункте наблюдения, нами была произведена специальная обработка материалов ежедневных наблюдений. Обработке подверглись метеорологические наблюдения за июнь, июль и август 1946—1950 гг. по 120 станциям, находящимся в районе Приволжской возвышенности, Средней и Нижней Волги. Этот район интересен тем, что здесь располагается одна из областей Европейской территории СССР, где активность гроз очень большая. Вместе с тем к ней примыкает жаркая и сухая область юго-востока, где активность грозовой деятельности по числу дней с грозами и их продолжительность меньше, чем на Приволжской возвышенности.

За использованный ряд наблюдений вычислены число дней с грозами, число гроз и их продолжительность по пунктам, число дней с грозами на

площади радиусом 100 и 200 км. Днем с грозой в районе выделенных частей территории считался такой день, в который гроза наблюдалась хотя бы в одном из пунктов. Вероятность числа дней с грозами рассчитывалась большей частью по данным 8—12 пунктов для районов радиусом 100 км и по данным 35—45 пунктов для районов радиусом около 200 км (рис. 1).

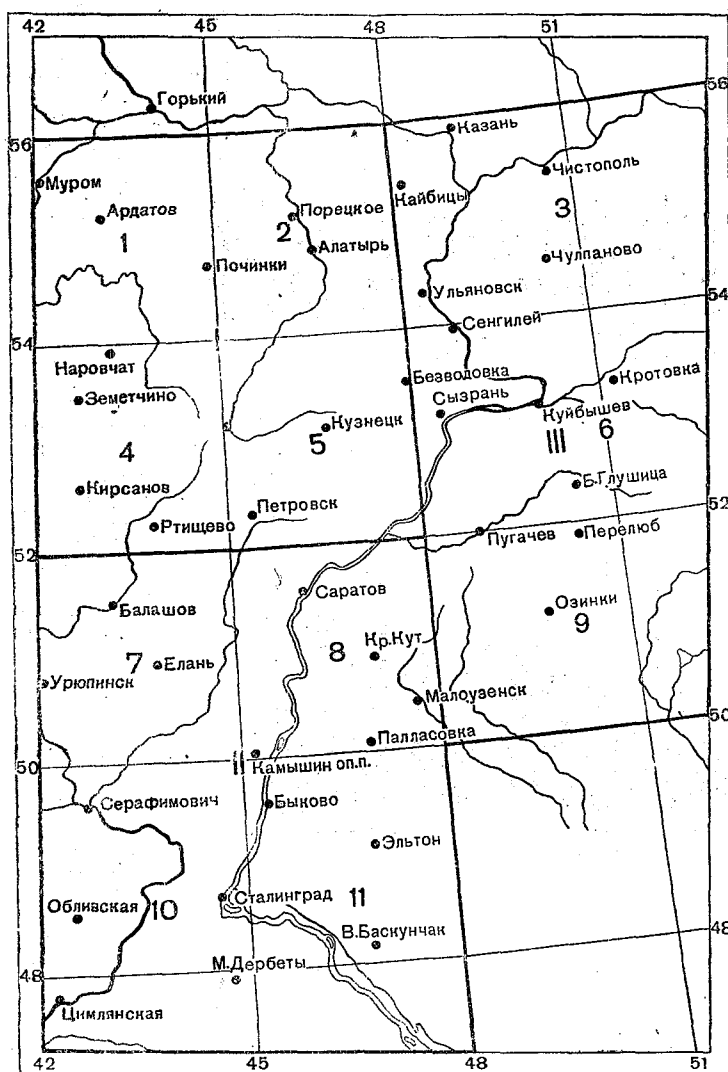
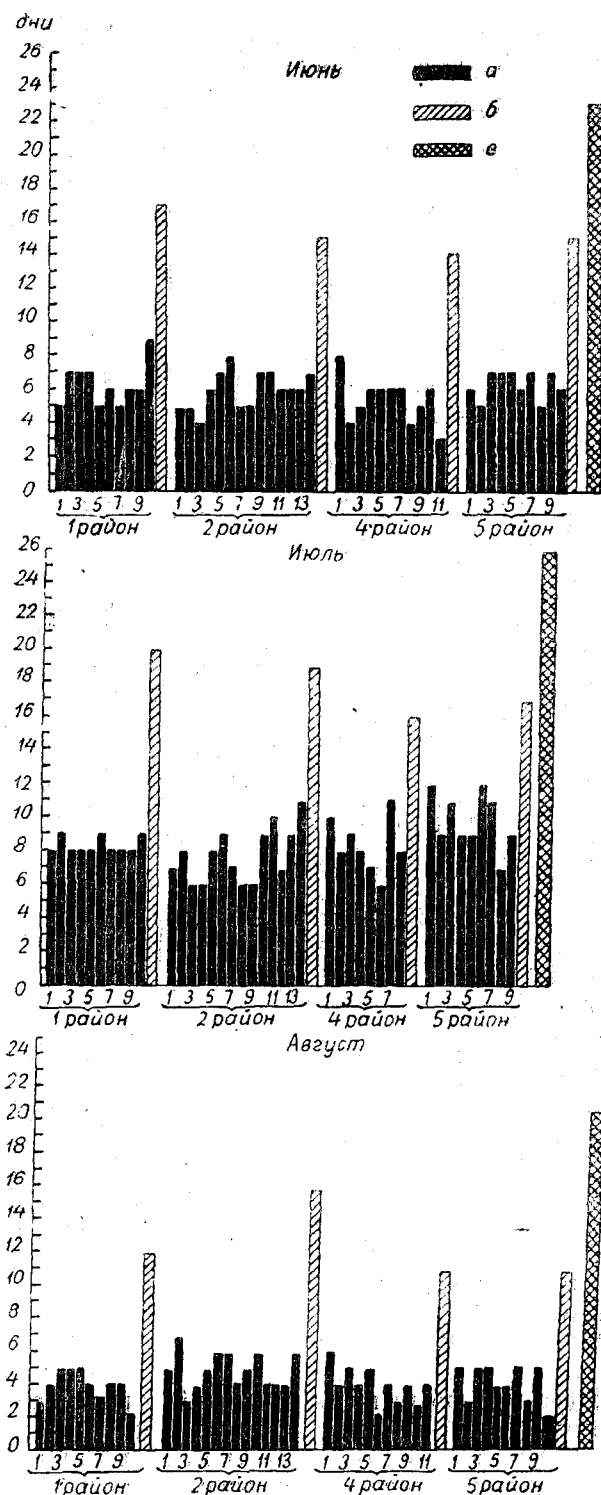


Рис. 1. Схема районов.

1, 2, 3 и т. д. — номера районов радиусом около 100 км. I, II, III — номера районов радиусом около 200 км.

Среднее число дней с грозами по пунктам за обработанный период (1946—1950 гг.) составляет около 7—8 дней в июле и по 5—7 дней в июне и августе. В некоторые годы число дней с грозами в отдельных пунктах отклонялось на 2—3 дня от приведенных выше величин. Отсюда следует, что эти пятилетние данные оказались близкими к средним многолетним. В этом нетрудно убедиться, если сопоставить средние числа дней с грозой, приведенные на рис. 2—4, с данными карт числа



Перечень станции
к рис. 2

1-й район

1. Симбилай
2. Муром
3. Выхса
4. Ардатов (Гор. обл.)
5. Лукоянов
6. Починки
7. Краснослободск
8. Торбеево
9. Темников
10. Рузаевка

2-й район

1. Чебоксары
2. Курмыш
3. Сергач
4. Канаш
5. Поречское
6. Полевой Сундырь
7. Ардатов
8. Алатырь
9. Дрожжаново
10. Кемля
11. Сурское
12. Саранск
13. Б. Березники
14. Анненково

4-й район

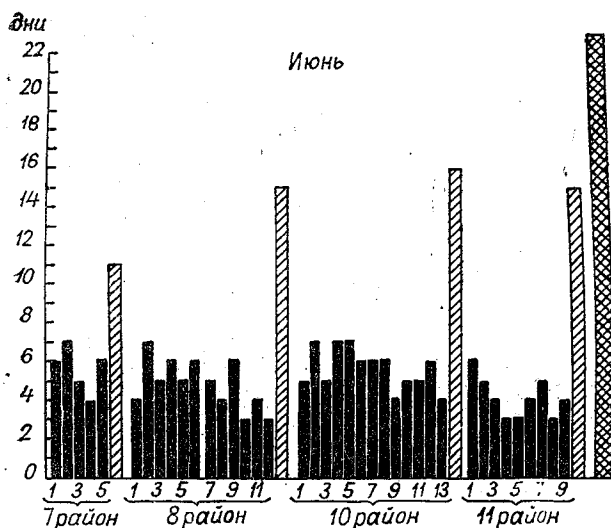
1. Наровчат
2. Инсар
3. Анучино
4. Заметчино
5. Атмис
6. Пачелма
7. Мокшан
8. Белинская
9. Чембар
10. Кирсанов
11. Ртищево

5-й район

1. Инза
2. Безводовка
3. Пенза
4. Городище
5. Кузнецк
6. Кондоль
7. Петровск
8. Карабулак
9. Черкасское
10. Привольск

Рис. 2. Вероятность числа дней с грозой
по станциям и районам — 1, 2, 4, 5 и I.

Среднее число дней с грозой: а — по станции, б — по району, в — по четырем районам вместе.



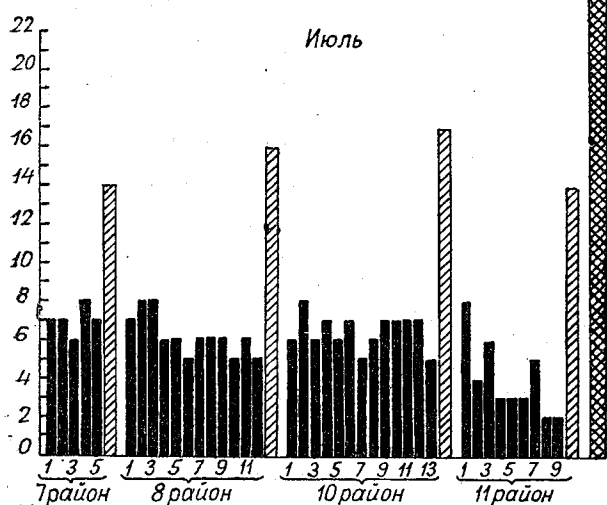
Перечень стан-
ций к рис. 3

7-й район

1. Балашов
2. Урюпинск
3. Елань
4. Ильмень
5. Филоново

8-й район

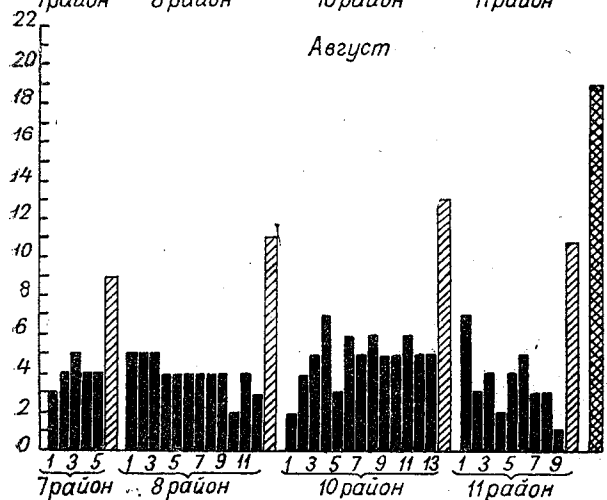
1. Аткарск
2. Маркс
3. Октябрьский Городок
4. Саратов
5. Энгельс
6. Урбах
7. Золотое
8. Красный Кут
9. Костычевка
10. Малоузенск
11. Камышин
12. Палласовка



10-й район

1. Арчеда
2. Серафимович
3. Клетская
4. Калач-на-Дону
5. Воропоново
6. Сталинград
7. Обливская
8. Нижне-Чирская
9. Гнилоаксайская
10. Малые Дербеты
11. Цимлянская
12. Котельниково
13. Зимовники

11-й район



1. Быково
2. Эльтон
3. Капустин Яр
4. Кордон
5. Верхний Баскунчак
6. Черный Яр
7. Харабали
8. Досанг
9. Сарпа

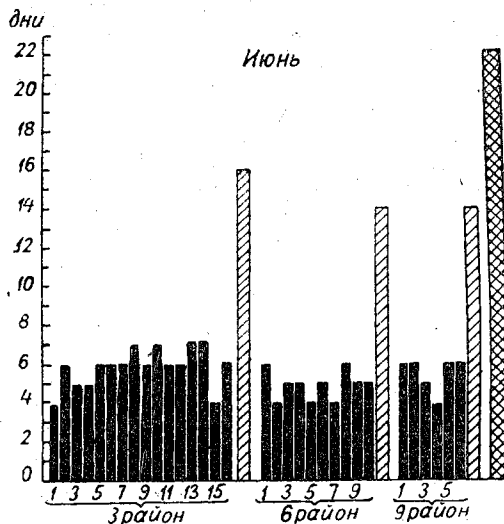
Рис. 3. Вероятность числа дней с грозой
по станциям и районам — 7, 8, 10, 11 и II.

Условные обозначения см. к рис. 2.

Перечень станций
к рис. 4

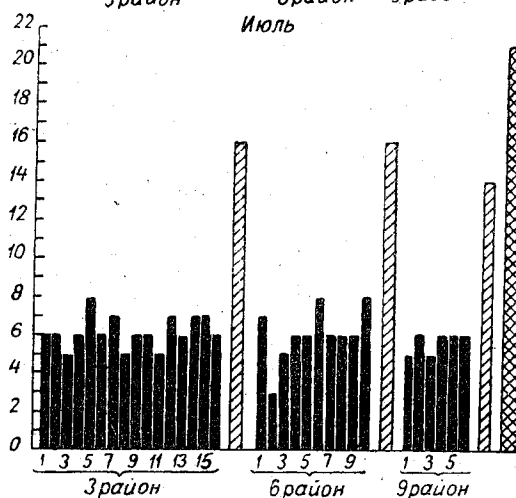
3-й район

1. Балтаси
2. Большая Атна
3. Арск
4. Казань
5. Вязовые
6. Мамадыш
7. Кайбицы
8. Камское Устье
9. Чистополь
10. Ново-Шешминск
11. Аксукбаево
12. Отрада
13. Чулпаново
14. Челно-Вершины
15. Ульяновск
16. Мелекес



6-й район

1. Сенгилей
2. Красное Поселение
3. Серноводск
4. Сосновый Солонец
5. Кротовка
6. Сызрань
7. Марьчевка
8. Безенчук
9. Большая Глушица
10. Куйбышев



9-й район

1. Пугачев
2. Перелюб
3. Теплый
4. Озинки
5. Орлов Гай
6. Александров Гай

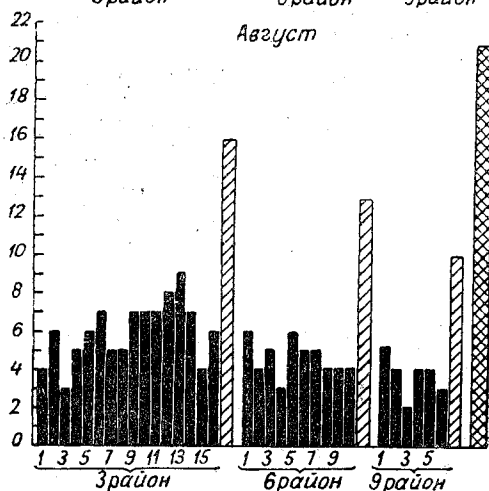


Рис. 4. Вероятность числа дней с грозой
по станциям и районам — 3, 6, 9 и III.
Условные обозначения см. к рис. 2.

дней с грозой, составленных Е. П. Архиповой [1]. Причем и общее географическое распределение числа дней с грозами в пределах Средней и Нижней Волги вполне согласуется с закономерностями многолетнего режима гроз.

С удалением от Приволжской возвышенности на юг и юго-восток число дней с грозами и продолжительность гроз убывает, что объясняется возрастанием засушливости климата.

Анализируя данные, можно видеть, что число дней с грозами в районах радиусом 100 км в 2—3 раза, а в районах радиусом 200 км в 3—4 раза больше, чем по отдельным пунктам. Следовательно, климатическая обеспеченность гроз для некоторых ограниченных участков территории значительно превышает климатическую обеспеченность гроз для пункта наблюдения (табл. 2—3).

Таблица 2

Среднее число дней с грозами в пункте

Месяц	Районы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Июнь . . .	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	4
Июль . . .	8	8	6	8	10	6	7	6	6	6	4
Август . .	4	5	6	4	4	4	4	4	4	5	4

Таблица 3

Среднее число дней с грозами в районе радиусом около 100 км

Месяц	Районы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Июнь . . .	17	15	16	14	15	14	11	15	14	16	15
Июль . . .	20	19	16	16	17	16	14	16	14	17	14
Август . .	12	16	16	11	11	13	9	11	10	13	11

Примечание. Номера районов (1, 2, 3 и т. д.) даны на рис. 1 (список станций см. в перечне к рис. 1).

Приведенные в табл. 2 и 3 данные показывают, что если учитывать дни с грозой, регистрируемые в районе в пределах 200 км по широте и 200 км по долготе, то вероятность числа дней с грозами резко возрастает по сравнению с числом дней с грозами в пункте наблюдения. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, грозы представляют собой локальное атмосферное явление. Во-вторых, грозы связаны с определенными физико-географическими условиями, а поэтому на одних участках территории они бывают чаще, на других реже, что особенно заметно проявляется в развитии внутримассовых гроз. В-третьих, не все метеорологические станции отмечают грозы с одинаковой тщательностью, т. е. данные числа дней с грозами страдают некоторой субъективностью. При пространственном учете распределения гроз элемент субъективности исключается, поскольку наличие грозы в одном пункте подтверждается регистрацией ее в другом, соседнем пункте. Числа дней с грозами, приведенные в табл. 3, получены на основании именно таких данных.

Естественно, что при увеличении размеров исследуемой территории климатическая обеспеченность гроз будет расти. Это очень хорошо известно практикам метеорологического обеспечения авиации. Но в данном случае нас интересуют не бесконечные трассы или пространства территории, а вполне определенные конкретные районы. Например, как сильно увеличится вероятность числа дней с грозой, если взять районы радиусом не 100, а 200 км, т. е. по площади в четыре раза больше.

Чтобы ответить на поставленный вопрос, нами были объединены мелкие районы (радиусом 100 км) в крупные (радиусом 200 км). В данном случае числа дней с грозами по месяцам вычислялись из наблюдений всех метеорологических станций, находящихся в пределах больших районов. На территории Приволжской возвышенности, Средней и Нижней Волги выделено три таких района, которые показаны на рис. 1 римскими цифрами. В первый район радиусом 200 км вошли 1, 2, 4 и 5 районы радиусом 100 км, во второй — 7, 8, 10 и 11 и в третий — 3, 6 и 9. Результаты вычислений по этим крупным районам приведены в табл. 4.

Таблица 4

Число дней с грозами и их процент от общего количества дней в месяце в районе радиусом около 200 км

Год	I район		II район		III район	
	число дней	%	число дней	%	число дней	%
Июнь						
1946	25	83	21	70	24	80
1947	20	67	21	70	19	63
1948	24	80	24	80	29	97
1949	20	67	25	83	20	67
1950	27	90	26	87	19	63
Средн. ...	23	77	23	77	22	73
Июль						
1946	26	84	27	87	26	84
1947	24	77	22	71	18	58
1948	29	94	20	65	27	87
1949	26	84	28	90	18	58
1950	24	77	21	68	18	58
Средн. ...	26	84	24	77	21	68
Август						
1946	27	87	26	84	25	81
1947	20	64	22	71	24	77
1948	22	71	16	52	17	55
1949	16	52	17	55	19	61
1950	22	71	15	48	21	68
Средн. ...	21	68	19	61	21	68

Данные показывают, что в большинстве случаев число дней с грозой в районах радиусом 200 км на 6—10 дней больше, чем в районах радиусом 100 км. Но в отдельные годы грозы одинаково часто бывают в больших и малых районах. Так, например, на северо-западе Приволжской

возвышенности в июне 1948 г. в первом районе (радиусом 100 км) грозы отмечались столь же часто (23 дня в месяц), как и на территории первого большого района (24 дня в месяц), занимающего всю северную и центральную часть этой возвышенности.

Несущественное различие в числах дней с грозами, наблюдаемыми в большом и малом районах, указывает на то, что грозовая деятельность развивалась на обширных пространствах. Одни и те же грозовые очаги регистрировались многими метеорологическими станциями. Это возможно лишь в том случае, если грозы фронтальные, а не термические (внутримассовые). Таким образом, в отдельные годы, в те или иные летние месяцы, могут наблюдаться исключительно фронтальные грозы, которые в один день прослеживаются на десятках станций.

Однако на исследуемой территории в среднем число дней с грозой в районах радиусом 200 км значительно больше, чем в районах радиусом 100 км, хотя $\frac{2}{3}$ всех гроз на Европейской части СССР составляют фронтальные грозы [5]. Частично это объясняется локальным распределением внутримассовых гроз, но частично и тем, что не все станции района находятся в одинаковых условиях погоды при прохождении фронтов.

Выше было показано, насколько больше дней с грозами на ограниченных участках территории радиусом 100 и 200 км по сравнению с числом дней с грозами, регистрируемыми отдельными станциями. Наглядное представление о соотношении числа дней с грозами в пункте и районах 100×100 и 200×200 км дают рис. 2—4. На рисунках приведены средние числа дней с грозой для каждого пункта данного месяца, затем среднее число дней с грозой в районе радиусом 100 км. В конце каждого графика справа (после всех маленьких районов) стоит столбик, выражающий число дней с грозой в районе радиусом 200 км. Здесь же указаны названия метеорологических станций, на основании наблюдений которых производился учет гроз по районам. Первые два больших района, обозначенные на рис. 1 цифрами I и II, по площади и конфигурации вполне равноценны. Третий район (III) по площади примерно такой же, как I и II, но он вытянут с севера на юг.

Значительная разница между числами дней с грозой в пункте и районе объясняется тем, что на некоторой, хотя и небольшой, ограниченной территории в различных ее частях грозы возникают не в одни и те же дни месяца. В некоторых случаях одна и та же гроза может дать два дня с грозой в месяц. Например, если грозовой очаг устойчив, то в одном месте он пройдет, допустим, в 22—23 часа, а в другом — в 1—2 часа. Поэтому не исключена возможность, что такая гроза при подсчете количества гроз по району будет учтена в двух смежных днях.

Приведенные графики показывают, что при метеорологическом обеспечении авиации и высоковольтных линий электропередач, наряду с данными по пунктам, необходимо учитывать вероятность гроз по трассам в целом или на отдельных участках.

Выводы

1. По числу дней с грозами в пункте наблюдения нельзя получить полного представления о грозовой деятельности в пределах некоторого ограниченного участка территории.

2. В летние месяцы число дней с грозами в пункте наблюдения в 2—3 раза меньше, чем на исследуемой территории в радиусе 100 км, и в 3—4 раза меньше, чем на местности радиусом 200 км. Этот вывод можно распространить на остальную часть Европейской территории СССР, за исключением горных районов.

3. Климатическая обеспеченность числа дней с грозами на рассмотренной территории для пункта составляет 20—25% в июле и 10—20% в июне и августе; на участках территории радиусом 100 км климатическая обеспеченность числа дней с грозами возрастает до 45—65% в июне и июле. К концу лета засушливость климата возрастает, а активность грозовой деятельности уменьшается; в августе климатическая обеспеченность числа дней с грозами снижается до 30—40% и только во втором и третьем районах (в северной части Приволжской возвышенности) сохраняется около 50%. В радиусе 200 км климатическая обеспеченность числа дней с грозами в июне и июле достигает 80—85% в первом и втором районах и 70% — в третьем; в августе она составляет 60—70% для всех трех районов.

4. Большой практический интерес представляют данные по продолжительности гроз на некоторых ограниченных участках территории. Этот вопрос здесь не рассматривался. Но по предварительным данным, продолжительность гроз в радиусе 100 км примерно в четыре раза больше, чем в районе пункта наблюдения. Суммарная же продолжительность гроз по пунктам составляет 10—20 час. в июле и 5—10 час. в июне и августе. Следовательно, суммарная продолжительность гроз для районов радиусом 100 км будет, очевидно, около 80—160 час. в июле и по 40—80 час. в июне и августе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипова Е. П. Карты географического распределения числа дней с грозой на территории СССР. (Напечатаны в настоящем выпуске).
2. Архипова Е. П. Карты географического распределения среднего числа дней с грозой для территории освоения целинных и залежных земель. Известия ВГО, вып. 2, т. 88, 1956.
3. Кравченко И. Преодоление трудностей полета в грозовых зонах. Вестник воздушного флота, № 7, 1955.
4. Арабаджи В. И. Географические особенности гроз. Природа, № 7, 1954.
5. Хромов С. П. и Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. 1955.
6. Лебедев В. В. Гидрология и гидрометрия в задачах. 1955.

О СОВРЕМЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГРОЗ И ГРАДА

Историческое развитие методов воздействий на облака и осадки было, прежде всего, связано с установлением возможности влияний на облака конвективной природы. Это положение справедливо и в настоящее время, как в смысле искусственного вызывания (и даже «перераспределения») осадков [1, 2, 3], так и смысле предотвращения образования гроз, града и катастрофических селевых паводков, связанных с обильными ливнями [4].

Следует однако отметить, что научный подход к этой проблеме стал возможным только после того, как в результате наблюдений за естественным развитием облаков и выпадением осадков, было получено достаточное количество данных, необходимых для теоретических обобщений и создания правильных представлений об основных физических явлениях и процессах, происходящих в облаках.

Будет справедливым считать, что первые указания о возможностях борьбы с градобитиями, основанные на использовании более или менее разработанных научных положений, были даны Финдайzenом [5]. Он писал: «Тот факт, что недооцениваемые элементы (т. е. «ядра сублимации» — А. Ч.) оказывают сильное влияние на процессы большого масштаба, дает уверенность в возможности искусственного контроля за ходом метеорологических явлений. Можно уверенно сказать, что вскоре будет возможно, при сравнительно умеренных затратах, создавать искусственный дождь, устранять опасность обледенения и противодействовать образованию града».

Известно, что В. Н. Оболенский целиком разделял эту точку зрения и в курсе Метеорологии, изд. 1940 г., писал почти дословно то же (см. ч. I стр. 425).

Шефер, осуществляя в 1946 г. свои замечательные эксперименты, и, как видно из доклада Лэнгмюра [6], случайно открыв эффект воздействия твердой углекислоты (и других сильно охлажденных тел) на переохлажденные облака и туманы, не смог сразу оценить производственное значение полученных им результатов. Лишь в 1949 г. [7] он высказал предположительные соображения о возможности борьбы с опасными градобитиями, грозами и обледенением самолетов. Из вышесказанного видно, что эти соображения являются сходными с теми, которые уже были выдвинуты Финдайzenом. Возможно несколько новыми для того времени были высказывания Шефера о борьбе с грозами. По этому поводу он писал [7а] «... может быть удастся предотвратить образование мощного переохлажденного слоя в грозовых облаках и, таким образом, начать борьбу с сильными грозами». Нам неизвестны воззрения Шефера в то время на механизм электризации грозовых облаков и неизвестны также какие-либо эксперименты, которые были проведены им непосредственно в природе или другие данные, которые могли бы

явиться серьезным обоснованием для приведенных выше высказываний. Наоборот, Шеферу как ближайшему сотруднику Лэнгмюра и одному из руководителей работ по «Cirrus Project» было известно, что в Нью-Мексико 14/X 1948 г. воздействием на конвективные облака сухим льдом в двух случаях (из трех опытов) были вызваны грозы [8]. Кроме того в 1948 г. уже были опубликованы результаты опытов по искусственному вызыванию осадков в Трансваале [9], проведенных летом 1948 г. Южно-Африканским советом по научным и техническим исследованиям совместно с метеорологическим Управлением и Управлением Южно-Африканских военно-воздушных сил. Авторы этой публикации указывали, что искусственно вызванные осадки нередко сопровождались молниями и что в одном случае молнии наблюдались после засева даже такого облака, общий вид и развитие которого не предвещали грозы. (Заметим, что в этом случае, по-видимому, наблюдалось интенсивное развитие облака по вертикали после введения реагента). К сожалению, Лэнгмюр в цитированной работе [8] не приводит данных о вертикальной мощности и температуре верхней границы облаков, подвергнутых воздействию сухим льдом 14/X 1948 г. В южно-африканских опытах 1948 г. температура переохлажденных вершин облаков колебалась в пределах от -14 до -2°C .

Заметим, что нами неоднократно были осуществлены воздействия сухим льдом на мощные кучевые облака с температурами вершин ниже -14°C (см., например, нижеописываемые опыты 7/VI и 9/VI 1956 г.), однако гроз при этом ни разу не наблюдалось.

По-видимому, вертикальная мощность переохлажденного слоя, необходимая для развития грозовых явлений, меняется в зависимости от физических характеристик облаков. Это обстоятельство нужно учитывать при постановке и обсуждении таких экспериментов.

В 1949 г. Бержерон в статье «Проблема искусственного регулирования осадков на земном шаре» [76] также указывал, что применяемые в настоящее время методы искусственного вызывания осадков можно использовать «для предотвращения слишком интенсивного дождевания и электрических явлений в квазистационарных Cs ». Он указывал, что если в переохлажденной части облака создать очень большое число ледяных кристаллов, так что они не могли бы заметно вырасти за счет одной сублимации и приобрести значительную скорость падения, то облако останется физически устойчивым.

«В результате получится комбинированное облако, состоящее из Ci под нулевой изотермой и из особого рода Cs над ней, облако не дающее ни опасных ливней, ни града, ни шквалов, ни молний и не обледеневающее внутри — укрощенное чудовище, лишенное всей своей силы» [76].

Хотя представление Бержерона о структуре такого «комбинированного облака» в случае развития конвекции при бурном высвобождении запасов энергии неустойчивости вряд ли сможет соответствовать действительности, высказанные им соображения представляют особый научный и производственный интерес, поскольку, как известно, он является одним из авторов, предложивших и разработавших гипотезу о роли ледяных кристаллов в образовании атмосферных осадков.

После проведения совместно с В. Я. Никандровым [10] первых опытов по воздействиям на конвективные облака в 1948 г. автор также пришел к заключению о возможности борьбы с градобитиями [11], а в результате анализа опытов, проведенных летом 1950 г., и о возможности предотвращения гроз [12].

В этом смысле особенно убедительным был опыт, осуществленный автором вместе с В. Я. Никандровым 29/VII 1950 г. [13] в районе Колтуши — Петрокрепость (под Ленинградом).

В этот день Ленинградская область, как и большая часть Европейской территории СССР, находилась в области пониженного давления, что обусловило в дневные часы неустойчивую погоду с грозами.

Воздействие было осуществлено на мощные кучевые облака в начальный период их формирования. При этом были вызваны искусственные осадки, и в течение 50 минут произведено почти полное разрушение (вымывание) этих облаков, в то время как естественного выпадения осадков по району еще нигде не наблюдалось. Воздействие с помощью углекислоты, выпускаемой из четырех баллонов, производилось около 11 час. 30 мин. на облака мощностью в 3000 м при температуре верхней границы облачности около -9°C .

Естественные осадки в районе проведения опытов начались лишь после 12 час. 30 мин., а около 13 час. уже начались грозы. При описании опытов 1950 г. [12] нами подчеркивалось, что результаты указывают на возможность охраны дорогостоящих объектов от поражения их грозой, если использовать активные воздействия как средства профилактики [11].

В дальнейшем после проведения и анализа целого ряда таких опытов стало ясно, что успешное решение задачи предотвращения развития гроз, выпадения града и образования селевых паводков зависит от установления закономерностей разрушения или ослабления облаков мощной конвекции, происходящих в результате воздействий при различных метеорологических условиях. Поэтому на начальной стадии решения этих важных, но весьма сложных вопросов считалось целесообразным объединить их в одну проблему «Регулирования развития конвективных облаков» [14].

В 1951—52 гг. эти работы производились в северо-западных районах Европейской территории СССР. Однако, используя мало приспособленный для этих целей самолет ТС-62, мы не смогли получить тогда существенных выводов о результатах воздействий, осуществленных непосредственно при грозовом режиме [13].

В 1953, 1954 и 1956 гг. исследования продолжались в южных районах Европейской территории Советского Союза, как часть более широких комплексных работ ГГО и Научно-исследовательского института гражданского воздушного флота с использованием специально оборудованного самолета.

Результаты значительной части этих работ даны в Трудах ГГО, вып. 67 и 71.

Опыты по предотвращению развития мощных кучево-дождевых облаков непосредственно в области фронта или вблизи него впервые в СССР были осуществлены в 1954 г. (если не считать попыток, предпринимавшихся 6 и 13/VII 1951 г. [13]). В 1956 г. вновь было проведено большое число экспериментов по регулированию развития облаков мощной конвекции с целью предотвращения развития гроз. Ниже приводится описание части этих опытов, представляющих, как нам кажется, особый интерес в свете рассматриваемых вопросов.

Опыты 14/VII 1954 г. (район Красноармейской).

В районе трассы Сталино—Харьков, в связи с деятельностью фронтальных разделов, уже ранее 12 час. наблюдалось развитие мощной кучевой и кучево-дождевой облачности, а местами ливней и гроз, которые давали отражение на экране самолетного радиолокатора.

Опыт № 1

В районе Красноармейской около 12 час. 20 мин. с высоты 4600—4700 м, на фоне гряды наковален большого протяжения, были обнаружены мощные купола, вершины которых резко выделялись над волни-

стой (с отдельными холмами) поверхностью соседнего поля облаков (см. рис. 1). Ставилась задача: осуществить воздействие на эти купола путем введения в них твердой CO_2 и сравнить скорость их разрушения с естественным ходом изменения уже ранее развившихся наковален. В целях лучшей фиксации эффекта было решено провести опыт над группой куполов, расположенных левее гряды наковален. Поднявшись до высоты 5350—5400 м и находясь выше куполов на 30—20 м, в промежуток времени с 12 час. 27 мин. по 12 час. 30 мин. в течение 78 сек.



Рис. 1. Вид облаков вблизи наковальни до воздействия.

произвели сброс 8—10 кг размельченного сухого льда (приблизительно 1,5 кг на 1 км пути). Температура на высоте введения реагента была около -11° . Наблюдения за изменениями верхней границы «обработанных» облаков произведены с высоты 5600—5700 м. Уже через несколько минут после начала воздействия по пути сброса реагента наблюдалось оледенение «обработанных» вершин и быстрое их оседание, а к 12 час. 40 мин. произошло почти полное выравнивание поля облаков в зоне воздействия. Сказанное хорошо иллюстрируется фотографией этой зоны, выполненной в 12 час. 40 мин. с высоты 5600—5700 м (рис. 2).

Около 12 час. 56 мин. с высоты 2100—2000 м (уровень нижней границы окружающего поля облаков) наблюдали за осадками, вызванными в результате воздействия. Как показывали изображения отраженных сигналов на экране локатора в соответствии со временем прохода через облака при сбросе реагента, зона вызванных осадков простиралась (с перерывами) на расстояние более 10 км. Максимальное значение напряженности электрического поля в зоне этих осадков составляло $-7,6$ в/см.

Следует однако заметить, что осадки не были интенсивными (по крайней мере в это время). Они давали эхо на экране локатора на расстояниях, не превышающих 10 км, и со временем продолжали ослабевать.

После этих наблюдений самолет вновь стал набирать высоту и 13 час. 10 мин. на уровне около 3500 м вышел на верхнюю границу облачных остатков. Было четко видно, что гряда естественных наковален к этому времени не только сохранилась, но даже еще разрослась. Следовательно, проведенным опытом было показано, что в результате воздействия сухим льдом купола, имеющие вертикальную мощность более 000 м, в течение 35—40 минут в значительной мере разрушались, в то время как естественно развившаяся гряда наковален за это время не только не ослабла, но продолжала развиваться. Было решено при такой

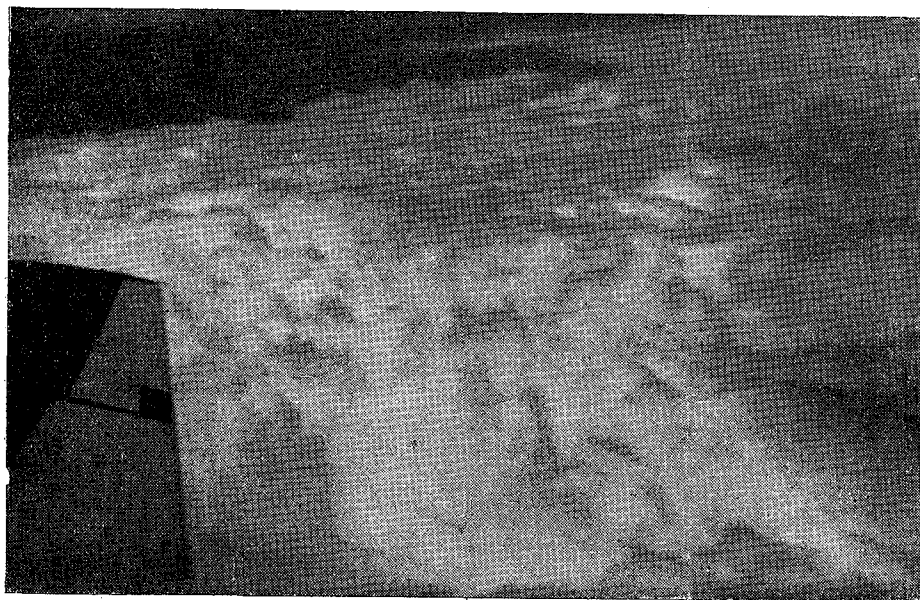


Рис. 2. Вид того же участка облаков после воздействия.

интересной обстановке провести еще один опыт. Состояние погоды по трассе в 13 час. дается на рис. 3.

Опыт № 2

Поднявшись к 13 час. 30 мин. до 5000 м и имея в поле зрения уже развитые наковальни, вновь выбрали группу куполов для проведения повторного опыта с той же целью. Вид этих облаков до воздействия представлен на рис. 4.

С 13 час. 40 мин. по 13 час. 44 мин. на высоте 4900 м произвели заходы в вершины двух куполов и в течение 24 сек. сбросили в них около 7—8 кг размельченного сухого льда (~ 5 кг/км). Температура на этом уровне составляла -9° . Во время сброса в радиусе не менее 40 км отражений выпадающих осадков на экране радиолокатора не наблюдалось.

Около 13 час. 50 мин. на той же высоте был произведен заход в новый купол и в течение 9 сек. вновь произведен сброс около 3 кг размельченного сухого льда. К этому времени от облака первого сброса уже появилось радиозхо. Вскоре после сбросов были отмечены изменения, происшедшие с куполами; их верхняя часть потемнела и стала волокнистой.

К 13 час. 57 мин. было отмечено уже значительное разрушение облака, на которое воздействовали при первом опыте, и опускание вершины

второго купола. Около 14 час. на экране радиолокатора отмечались отраженные сигналы только от облаков, подвергнутых воздействию. Ни каких других очагов в радиусе 40 км не наблюдалось. Дальнейшие наблюдения за зоной искусственно вызванных осадков создали впечатление, что в зоне первого сброса они уже ослабевали, так как к 14 час. 07 мин. осадки становились видимыми на экране локатора и

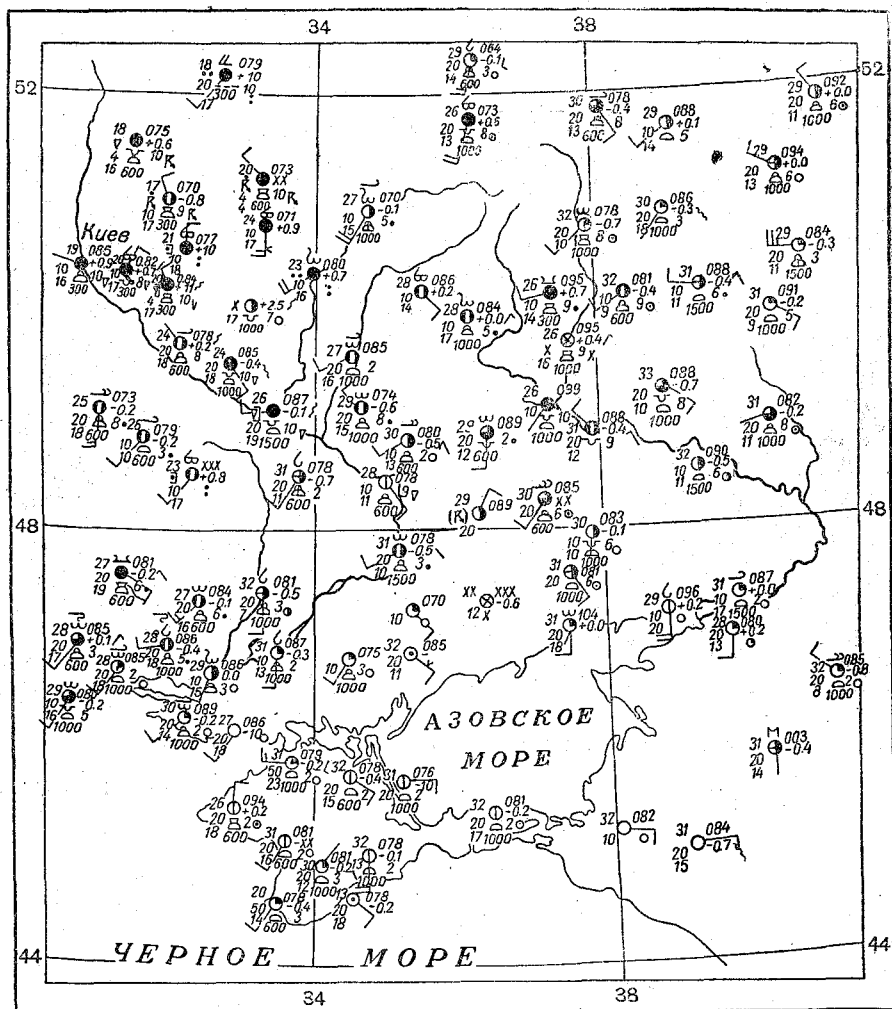


Рис. 3. Состояние погоды на 13 час. 14/VII 1954 г.

удалении не более 8 км. Однако позднее обе зоны осадков как бы соединились. Проведенный опыт также показал относительно быстрое разрушение (вымывание) мощных куполов в результате искусственного введения в их вершины твердой углекислоты.

Интересно отметить, что напряженность электрического поля в вершинах облаков первого сброса значительно менялась по величине и знаку, а ее максимум по абсолютной величине достигал значений 51 в/см. Как видно из специальных исследований, такое значение напряженности поля обычно указывает на опасность перехода мощного кучевого облака в грозовое. Однако в данном случае, по-видимому, в связи с проведенным воздействием, такого перерастания не произошло.



Рис. 4. Вид поля облаков до воздействия (второй опыт).

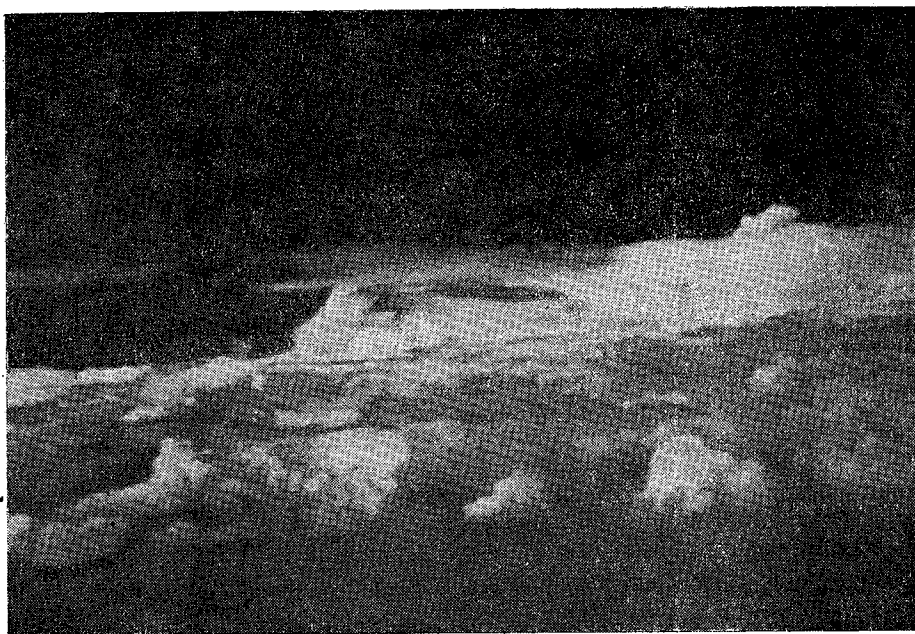


Рис. 5. Гряда облаков (р-н Опошня).

Опыты 20/VII 1954 г. (район Опошня)

В этот день над северными районами Украины, в связи с прохождением фронта и развитием на нем ряда волновых возмущений, наблюдались отдельные дожди, местами с грозами.

Опыт № 3

Как и в предыдущем случае, было решено отыскать группу куполов большой мощности (но не достигших еще в своем развитии стадии оледенения вершин), произвести в них сброс сухого льда и изучить ход дальнейшего развития других мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, не подвергнутых воздействию. Такие облака около 13 час. были обнаружены в районе Опошня Харьковской обл. (см. рис. 5 и 6). Облака, имевшие оледенелые вершины (рис. 5), давали эхо на экране радиолокатора. Находясь на высоте 5700 м, около 13 час. 16 мин. зашли в вершины неоледенелых куполов и в течение 40 сек. ввели в них около 10 кг раздробленного сухого льда ($> 3 \text{ кг/км}$).

Температура на этой высоте была -12° . Остановка в развитии куполов на этом уровне происходила, по-видимому, из-за наличия задерживающего слоя.

Для наблюдений за состоянием вершин обработанных облаков поднялись до высоты 6300 м. Было установлено, что вначале, после сброса сухого льда, происходил подъем волокнистых (кристаллизующихся) вершин до высоты 6000—6100 м (где начинался новый задерживающий слой). Затем последовало быстрое их оседание, хотя отдельные волокнистые выбросы сохранялись на уровне около 6000 м относительно длительное время.

После 13 час. 39 мин. при заходе в один из таких участков на этой высоте электрическое поле менялось плавно, преимущественно было положительным, а его максимальное значение составляло $+34 \text{ в/см}$ (лишь в начальный момент оно было отрицательным и составляло -5 в/см).

Продолжая наблюдения за «обработанными» облаками с высоты 6100 м, было установлено их разрушение и образование в них просветов.

В 13 час. 47 мин., опустившись до высоты 5800 м, зашли в вершину еще одного расположенного вблизи купола и в течение 10 сек. ввели в него около 2 кг CO_2 (3 кг/км). Напряженность поля в этой вершине колебалась от $+10,4 \text{ в/см}$ до $-4,1 \text{ в/см}$. Затем вновь поднялись до высоты 6100 м и вели наблюдения за результатами опытов. Облака первого сброса теперь были еще более разрушены. Вершина облака второго сброса была целиком оледенелой и начала оседать. Было решено произвести спуск вниз. На спуске, пролетая в 14 час. около обработанных облаков на высоте 5500 м, сфотографировали их. Эта фотография (рис. 7) показывает, что разрушающиеся облака первого сброса почти по всей своей толще имеют волокнистую структуру.

В 14 час. 26 мин. на высоте около 4000 м сфотографировали облако второго сброса (рис. 8), вершина которого к этому времени значительно снизилась, а местами (особенно на периферийных частях) были заметны следы значительных разрушений. Наблюдения за естественно развившимися наковальнями показали, что они не претерпевали за это время таких резких изменений. О состоянии погоды в районе проведения опытов на 15 час. дня дает представление рис. 9.

Опыты 7/VI 1956 г. (район Нежин-Козелец — Конотоп)

В течение дня 7/VI почти вся Украина и юго-восточные районы Европейской территории СССР находились под воздействием обширной барической седловины с очень малыми градиентами давления.



Рис. 6. Вид куполов до воздействия (высота 5700 м).



Рис. 7. Разрушающиеся облака (первый сброс).

Вследствие этого, в послеполуденные часы над большей частью Украины наблюдались отдельные дожди и грозы. В ее северных районах в связи с прохождением фронтального раздела, имело место более интенсивное развитие грозовой деятельности.

Состояние погоды в районе полетов в 12 час. дня дается на рис. 10.

Опыт № 4

Выбрав пригодный для воздействия участок облаков, в 11 час. 37 мин. с высоты 5200 м произвели фотографирование некоторых его куполов

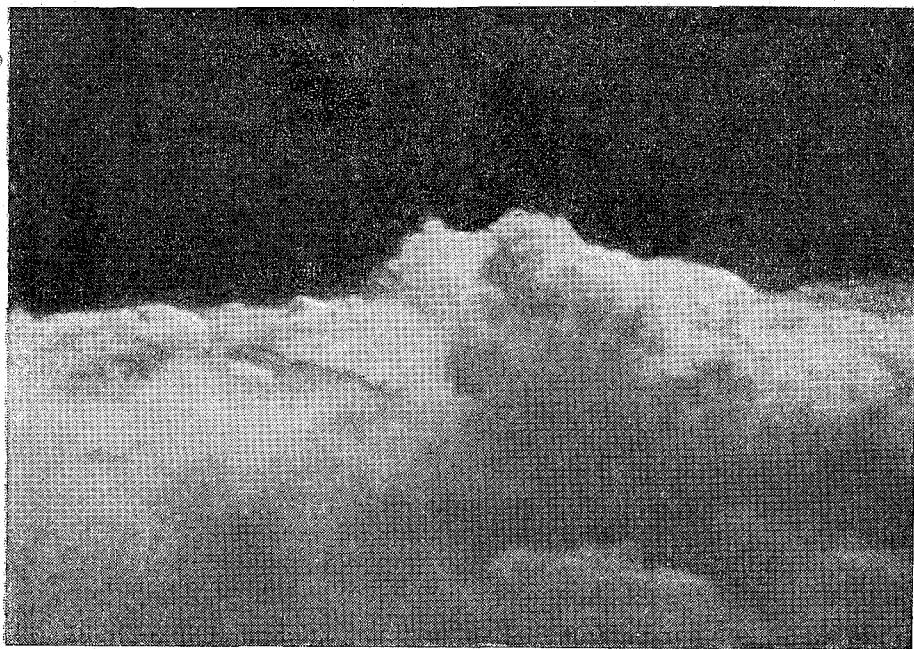


Рис. 8. Начало разрушения облаков (второй сброс).

(рис. 11). Заметим, что к этому времени верхняя граница многих куполов достигала высоты более 5200 м, однако еще ни один купол не имел оледенелости в вершине, хотя температура на этих высотах была ниже -14° . Только около 11 час. 45 мин. было отмечено оледенение одного купола из группы наиболее мощных. Его верхняя граница достигала тогда высоты 5400 м, где температура была ниже -16° . Другие купола, однако, достигшие этой и затем несколько большей высоты (более низкой температуры), не имели еще признаков оледенения.

В 11 час. 46 мин., находясь на высоте около 5500 м, в районе Ичня (ю.-з. Нежина), начали сброс твердой CO_2 из баллонов с помощью специальной установки. За 10—15 сек. было введено в облако около 300 г реагента (в облаке, однако, были значительно меньшее время).

Температура в момент введения реагента была -17° . Превышение самолета над облаком составляло 20—30 м. Напряженность поля в облаке колебалась от $+2$ до -2 в/см. Заметим, что к моменту начала воздействия большая часть куполов в этом районе еще не достигала высоты 5400 м.

Уже в 11 час. 50 мин. было четко видно появление оледенелостей в вершине «обработанного» купола, и вскоре началось ее опускание.

Интересно отметить, что из облака, вершина которого начала 11 час. 45 мин. естественно оледеневать, к этому времени уже выпадали садки. На это указывало радиоэхо на экране локатора. Кроме того, данное явление удалось четко зафиксировать фотографированием. Додолжили ли эти осадки до земной поверхности — осталось не установленным. Из дальнейших наблюдений за районом воздействия было уста-

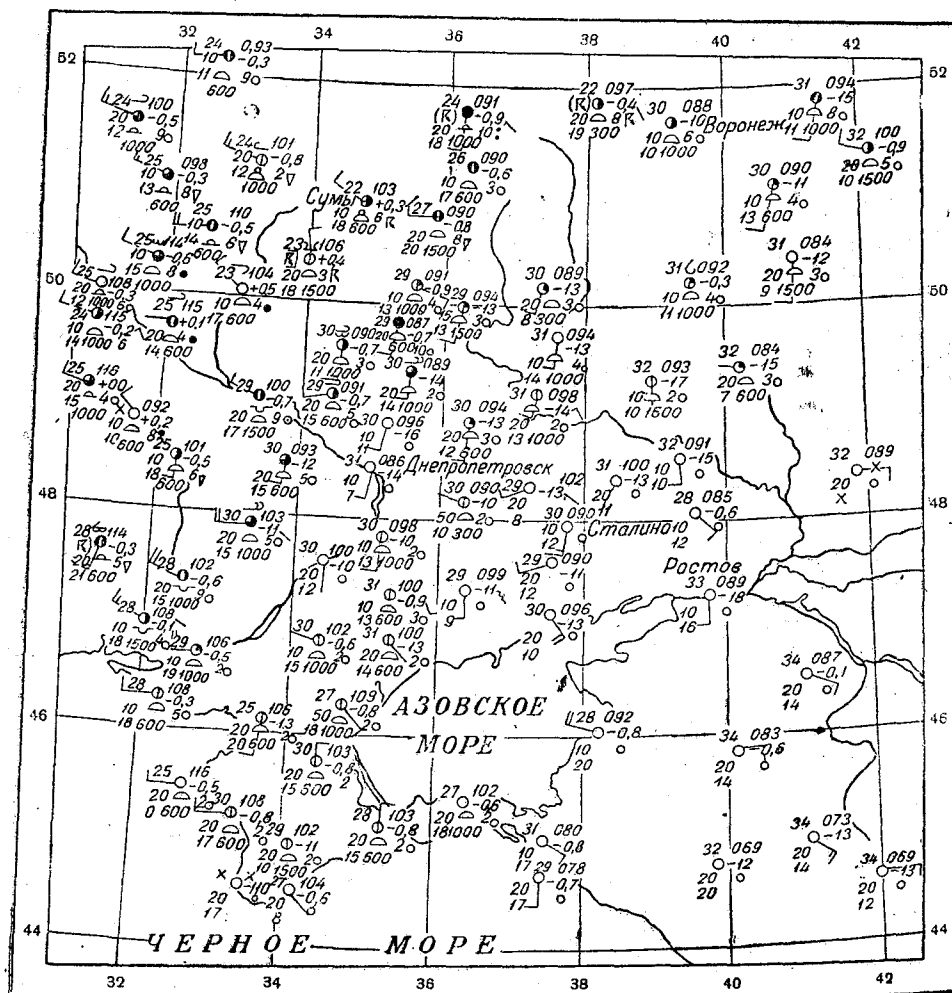


Рис. 9. Состояние погоды на 15 час. 20/VII 1954 г.

новлено, что к 11 час. 56 мин. волокнистая структура уже распространилась по всей толще облака, что фиксируется фотографией, данной на рис. 12.

Однако дальнейшие наблюдения за эффектом воздействия были затруднены условиями режима полета, а также потому, что вышеупомянутая зона естественного оледенения постепенно расширялась и в дальнейшем было бы трудно отличать районы ее естественного развития и районы процессов после воздействия.

Было ясно, что в зоне введения сухого льда процесс разрушения облаков шел более интенсивно, чем в зоне естественного оледенения. Важно также отметить, что к этому времени в другой стороне от облака,

подверженного воздействию, уже сформировалась вторая наковальня не меньшей мощности, чем первая (рис. 13).

При внимательном рассмотрении рис. 13 можно найти убедительные доказательства эффекта осуществленного воздействия. В левой части

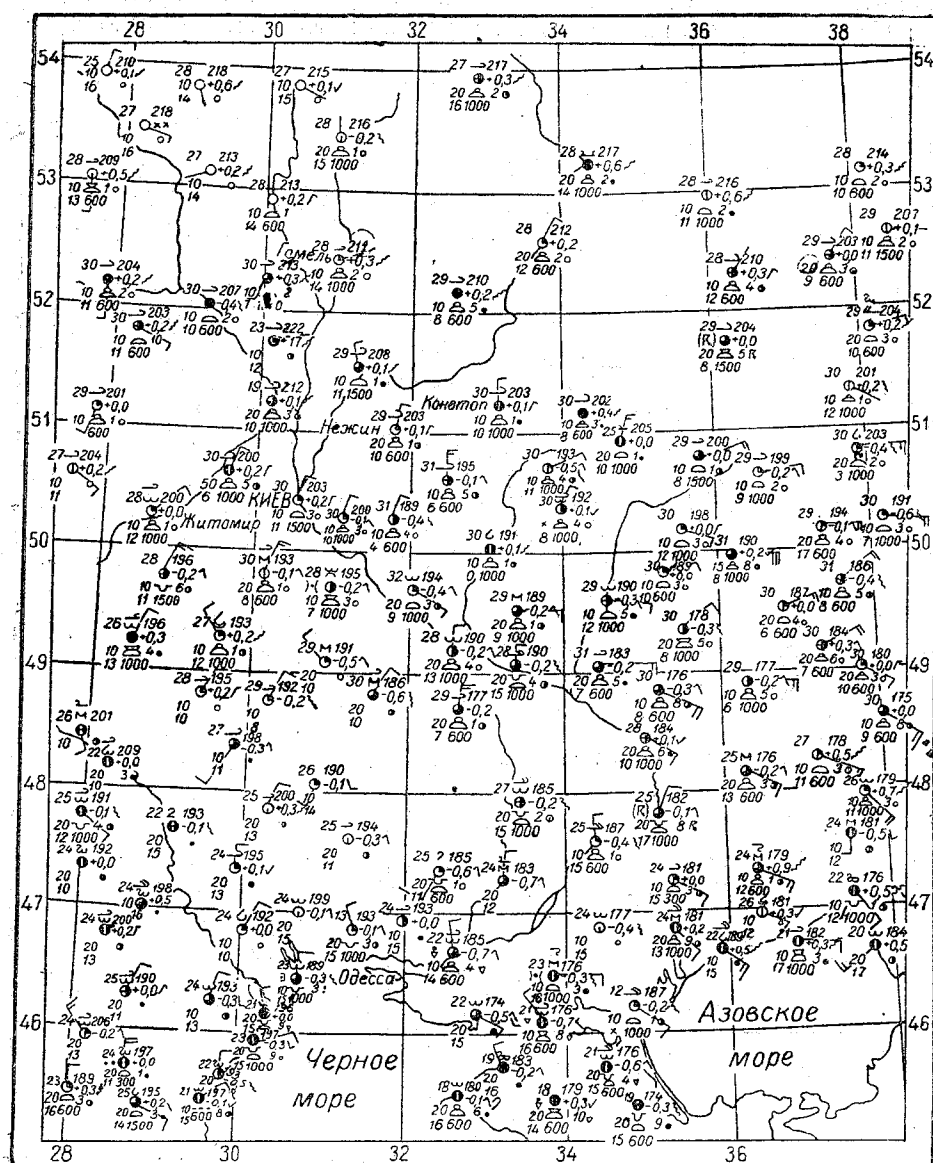


Рис. 10. Состояние погоды на 12 час. 7/VI 1956 г.

рисунка имеется только что развившаяся наковальня, которая к этому времени еще имела четко очерченную нижнюю границу и не давала полос падения, хотя и достигала, по-видимому, уже высоты тропопаузы. На заднем плане четко выделяются относительно высокие (развивающиеся) купола вида «цветной капусты». В правой части рисунка, на переднем плане — уже почти разрушившиеся облака в зоне воздействия (снимок произведен в 12 час. 01 мин. с высоты 5400 м).



Рис. 11. Вид облака до воздействия.

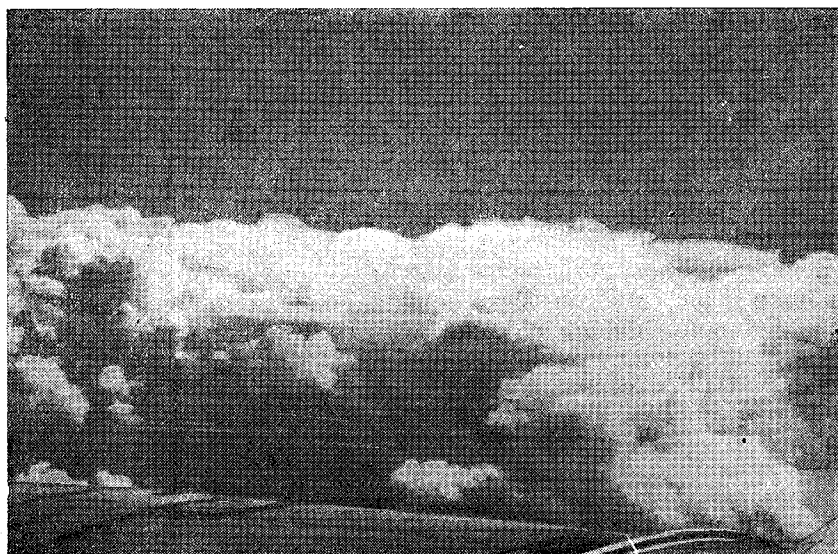


Рис. 12. Вид облака через 10 мин. после начала воздействия.

В данном случае, в связи с относительно высоким положением нижней границы облаков (около 2300—2500 м), по-видимому, можно было осуществлять успешные профилактические воздействия с целью предотвращения гроз с той же нормой расхода реагента (около 0,3 кг/км и еще при более низких температурах, возможно даже ниже —20° (см. ниже опыт № 5).

Заметим, что в тех случаях, когда вершины облаков достигали уровня 6500—7000 м, был замечен их стремительный рост по вертикали. Вопрос о возможности осуществления воздействий с целью предотвращения гроз при таких условиях остается еще невыясненным (см. ниже).

Было решено отойти в северном направлении от района с естественно оледенелыми вершинами и провести новый опыт.

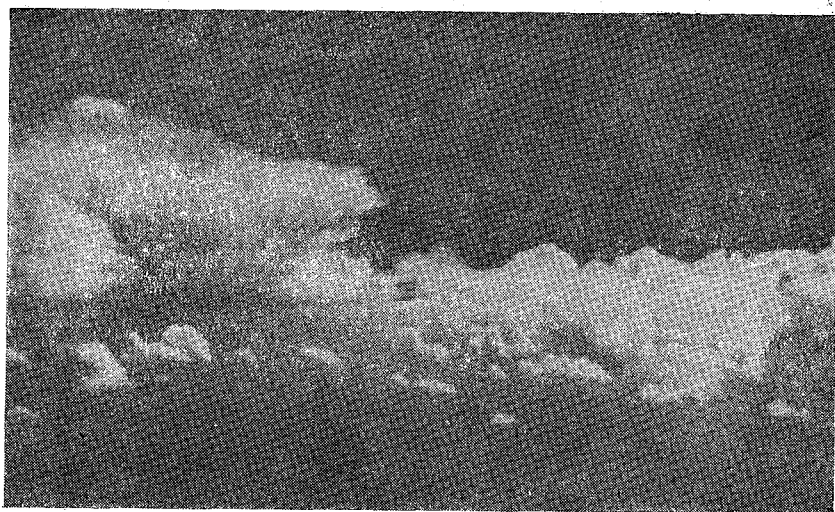


Рис. 13. Наковальня и купола, развившиеся вблизи зоны воздействия.

Опыт № 5

Удалившись от первой из описанных наковален, судя по изображению на экране локатора, на расстояние около 50 км, вышли на р. Десну в районе г. Козелец.

В 12 час. 10 мин., находясь на высоте 5400 м, произвели фотографирование выбранного для воздействия поля облаков (рис. 14), а около 12 час. 16 мин. на высоте 5400—5300 м начали выброс углекислоты из установки в периферийную часть облака, виражируя по овалу радиусом 2—3 км. Установка работала 5 мин., за это время выброшено около 5 кг твердой углекислоты. Температура на уровне введения реагента была —16°, —15°. Превышение самолета над облаком — 30 м. Лишь на очень короткое время, около 12 час. 18 мин., на высоте 5400 м был произведен заход левым крылом самолета в облако. Напряженность поля была в пределах 0,6—2,0 в/см.

В местах введения реагента облак начало сразу оледеневать. Вершина центральной части облака достигала примерно высоты 5700 м. Она была выше уровня полета при сбросе и после него продолжала некоторое время еще расти. Интересно отметить, что температура на уровне вершин таких куполов — на высоте 5700 м, была уже ниже —18°, однако нигде в этом районе еще не наблюдалось их естественного оледенения.

К 12 час. 25 мин. в районе введения реагента, в периферийной части

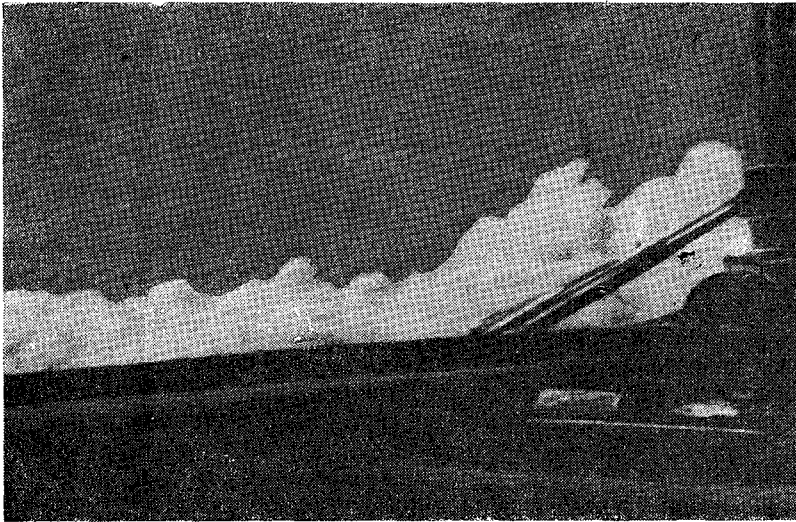


Рис. 14. Вид поля облаков перед введением реагента.

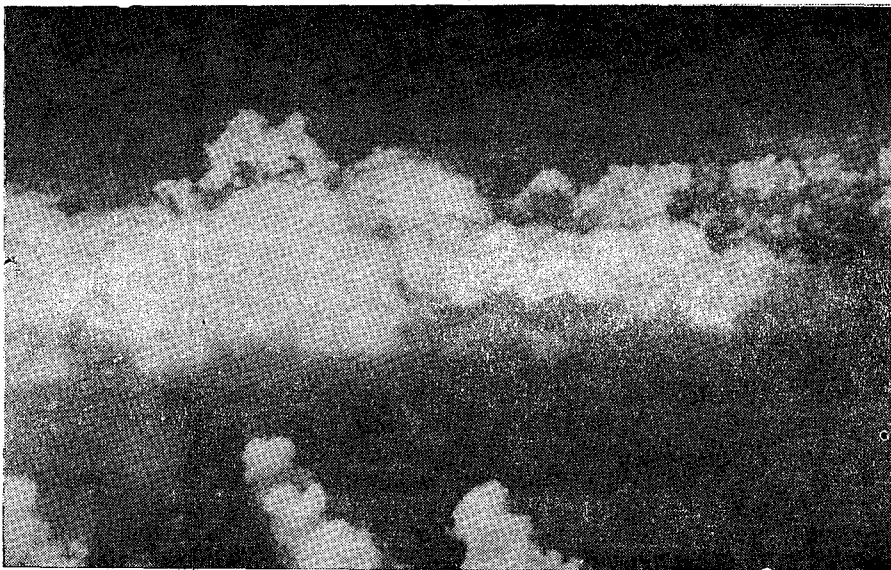


Рис. 15. Полосы осадков на периферии облаков (в зоне воздействия).

облака волокнистая структура уже достигала их нижней границы, были четко видны полосы падения, а местами началось разрушение облаков. Однако центральная часть облака еще мало изменилась. Это убедительно иллюстрируется фотографиями, произведенными с высоты 5300 м (рис. 15).

Около 12 час. 30 мин., приблизительно через 15 минут после начала воздействия, от «обработанного» облака появилось радиоэхо. К этому времени периферийная часть облака уже значительно разрушилась и началось заметное оседание центральной части. С распространением искусственно созданных ледяных затравок в центральную часть облака и было связано, по-видимому, появление радиоэха. В данном случае подтверждаются выводы, сделанные при обсуждении первого опыта этого дня. На этот раз также было вызвано разрушение облака мощностью около 3500 м, с температурой верхней границы ниже -18° , при введении из установки твердой CO_2 лишь в периферийную часть облака.

Есть основание сделать следующий вывод из данного опыта: при введении твердой углекислоты сначала непосредственно в центральную часть облака, а уже затем для расширения зоны воздействия в его периферийную часть, норма, обеспечиваемая используемой установкой (300 г на 1 км пути), была бы достаточной для того, чтобы вызвать относительно быстрое разрушение изучаемых облаков.

Из-за условий режима полета было решено отойти от этого района в северо-восточном направлении и провести еще один опыт.

Опыт № 6

Около 13 час. 20 мин., находясь в районе севернее Конотопа, встретили большое поле неоледенелых куполов. Лишь в южной части поля была очень высокая (по-видимому, достигавшая тропопаузы), но уже достаточно «вымытая» наковальня, дававшая в самом верху, по потоку, протяженный выброс перистых облаков в виде «ширмы». Эта «ширма» постепенно рассеивалась. После 13 час. 20 мин. произвели фотографирование предназначенного для воздействия участка облаков. Около 13 час. 30 мин., находясь на высоте 5500 м, начали выпуск реагента из установки без захода в облака (с превышением на 20—30 м). В течение 1 минуты (преимущественно над периферийной частью купола) было выброшено около 1 кг твердой углекислоты. Температура на этом уровне была около -17° .

Эффект воздействия в этом опыте был аналогичен двум предыдущим. Облака в зоне воздействия начинали быстро оледеневать и постепенно разрушаться. Кристаллизация постепенно распространялась с периферии на центральную часть облака. Уже в 13 час. 33 мин. на экране локатора было обнаружено слабое эхо. Как показывают фотографии, произведенные в промежуток времени от 13 час. 36 мин. до 13 час. 40 мин. с высоты 5200—4700 м, изучаемые облака в зоне воздействия к этому времени приобрели волокнистость почти по всей толще, давали полосы падения и уже в значительной мере разрушились. Самолет, постепенно опускаясь вниз, около 13 час. 50 мин. на высоте 2900—3000 м вышел на нижнюю границу разрушающихся облаков.

Нижняя граница окружающего поля облаков располагалась на высоте 2100 м (мощность обработанного облака была около 3400 м).

Этот опыт также показывает, что при данных метеорологических условиях норма расхода твердой CO_2 (300 г/км) достаточна для того, чтобы вызвать относительно быстрое разрушение облаков.

В заключение отметим, что опыты этого дня представляют методический интерес, так как впервые оценивался эффект воздействия твердой

тлекислоты на относительно мощные конвективные облака при относительно малом и строго нормированном ее расходе.

Опыты 9/VI 1956 г. (район Большой Врэдиевки)

В течение дня 9/VI над большей частью Украины отмечались кратковременные дожди с грозами. Над юго-западными районами развитие гроз было связано с деятельностью размытого фронта в барическом болоте; в северных и восточных районах дожди и грозы обуславливались влиянием холодного фронта.

Около 12 час. в районе аэропорта Одесса наблюдалась облачность 7/4 Ас, Сс, Сс сопг. К этому времени на АМС(Г) уже поступили



Рис. 16. Вид поля облаков в районе воздействия (верхняя граница на высоте 4500 м).

от ряда метеорологических станций Днепропетровской и Запорожской областей и из района Конотопа штормовые предупреждения о развитии гроз.

Нижняя граница облаков в районе Одессы располагалась на высоте 700 м.

К 12 час. 30 мин. самолет вышел в район Б. Врэдиевки (100 км севернее г. Одессы). Здесь к этому времени верхняя граница облаков уже достигла высоты 4500 м, а нижняя граница была на высоте 1000—1200 м (определено на спуске). Было решено провести в этих районах опыты по воздействию на мощные кучевые облака с целью предотвращения их переростания в грозовые.

Опыт № 7

До начала воздействия и некоторое время спустя поле облаков в этом районе было как бы однородным (рис. 16).

В 12 час. 35 мин. на высоте 4500 м был начат выброс твердой CO_2 в периферийную часть мощного кучевого облака. Радиус виража при сбросе был около 3 км, превышение над облаком составляло 50—100 м. Температура на уровне введения реагента около -11° . Скорость сброса

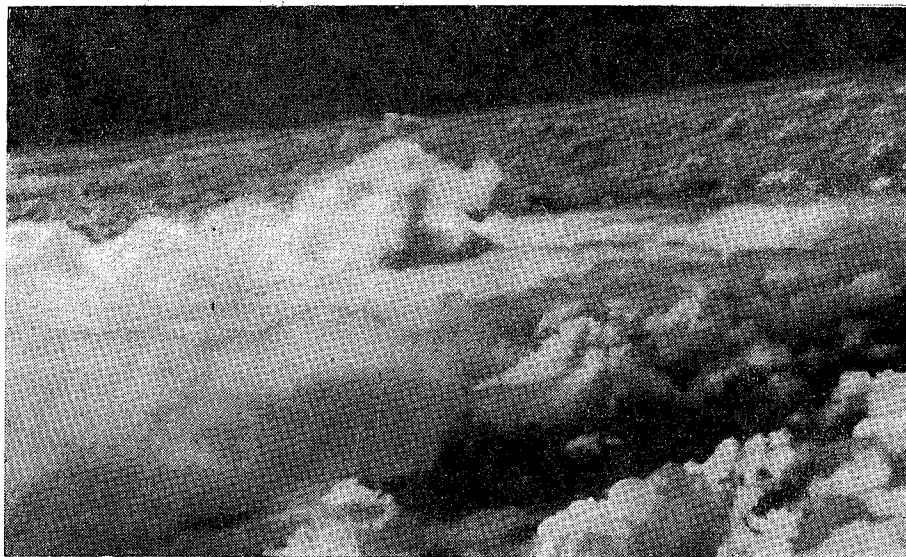


Рис. 17. Вид облаков через 10 мин. после начала воздействия.



Рис. 18. Начало естественного оледенения вершины в районе проведения опыта.

составляла 1 кг в 12—15 сек. (около 1 кг/км). Всего было выброшено не менее 17 кг твердой CO_2 . Уже через 5—7 мин. после начала сброса на пути введения реагента было отмечено появление волокнистости, а затем оседание облаков.

В 12 час. 43 мин. на высоте 4600 м прошли над центральной, наиболее развитой частью купола и произвели дополнительный сброс около 1 кг сухого льда.

Наблюдениями установлено, что уже после 12 час. 45 мин. в вершине этого купола появилась волокнистая структура. В зоне же введения реагента на периферийной части облака к этому времени волокнистость уже распространилась по всей его толще. Это состояние фиксировано серией фотографий, одна из которых приводится на рис. 17. Фотография четко показывает, что все окружающее поле облаков оставалось к этому времени «не нарушенным»: в виде однородных вершин, не достигших еще стадии оледенения и сохранявших вид «цветной капусты».

К 12 час. 50 мин. произошло почти полное оледенение подверженной воздействию центральной части купола и началось ее опускание. На периферии облака уже происходило его рассеяние (за счет вымывания). При проходе самолета вблизи оставшейся ледяной вершины, над разрушающейся периферией, было видно, что через остатки облака уже просвечивала земля, а внизу под самолетом четко вырисовывалось нижнее солнце, указывающее на кристаллическую природу этих остатков (по-видимому, в этом опыте было обеспечено «пересыщение» кристаллами). К 13 час. 20 мин. все облако практически было разрушено и от него остались лишь отдельные пятна или полосы мглы. Кристаллическая мгла, по-видимому, находилась несколько выше 3200 м, там, где располагался задерживающий слой, наличие которого было установлено по данным зондирований, производимых в Одессе около 14 час.

Интересно отметить, что сквозь зону кристаллической мглы местами пробивались отдельные вновь развившиеся купола. В центральной части этой зоны такие купола относительно быстро оледеневали и не получали значительного развития по вертикали.

На крайней периферии зоны купола получали относительно интенсивное развитие. Вне зоны воздействия отдельные купола мощных кучевых облаков развивались несравнимо быстрее и к этому времени их верхняя граница достигала высоты около 6000 м.

Однако естественное оледенение вершин облаков здесь обнаруживалось только тогда, когда они достигали уровня более 6200 м с температурой ниже -18° .

Начальный момент такого перехода Cu cong в Cb (появление оледенелостей в вершине) отдельного купола, энергично развивавшегося в районе полета, четко фиксирует фотография, выполненная в 13 час. 28 мин. на спуске с высоты 4300 м (рис. 18). Заметим, что к этому времени в поле зрения уже было видно много сильно развитых наковален, верхняя граница которых достигала высоты 8000—9000 м.

Таким образом, в результате воздействия, осуществленного в этот день, был приостановлен рост относительно быстро развивающегося и достаточно протяженного кучевого облака.

Аналогичные, близ расположенные мощные кучевые облака в это время продолжали интенсивно расти, а часть из них переросла в стадию Cb (приобрела наковальни).

В этот день, в часы интенсивного развития конвекции, в районе полета наблюдалось много гроз (см. данные кольцевой синоптической карты за 15 час. — рис. 19). Имеются основания полагать, что в зоне

воздействия было, по-видимому, предотвращено развитие грозовых явлений.

В зоне сохранения кристаллической мглы, оставшейся в результате избыточного создания кристаллов, вновь развившиеся купола не полу-

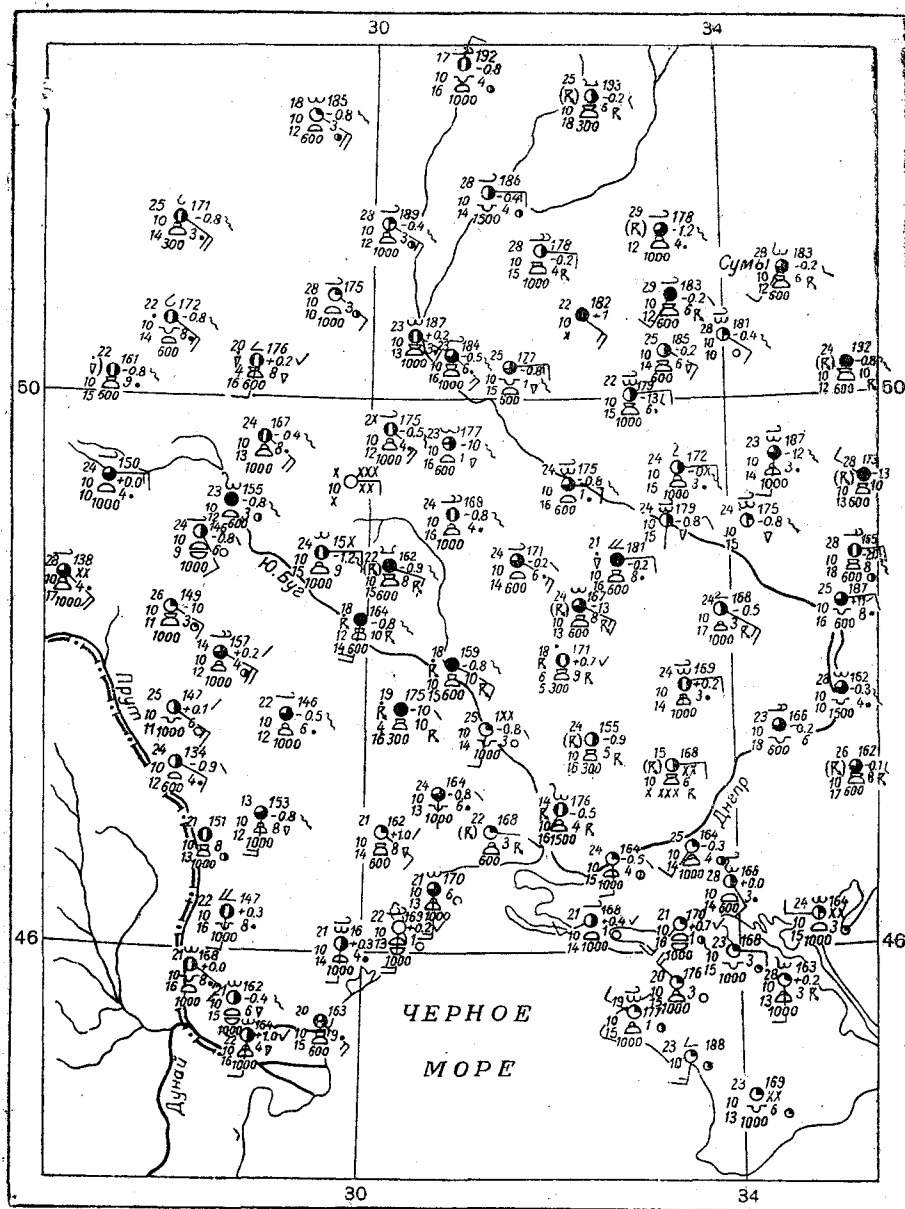


Рис. 19. Состояние погоды на 15 час. 9/VI 1956 г.

чали интенсивного роста, так как начали оледеневать на относительно ранней стадии жизни.

Результаты проведенного опыта, наконец, опровергают утверждение Шефера [7] о том, что в случае кучевых облаков «эффект избыточного засева» можно ожидать только при рассеивающемся облаке.

Опыты 15/VI 1956 г. (район Коростышев — Киев)

В течение дня 15/VI на востоке Украины удерживалась жаркая и сухая погода. В связи с прохождением фронтального раздела, связанного с циклоном, располагавшимся над Польшей, в западных районах Украины и, в частности, на трассе Львов — Киев наблюдались дожди и грозы.

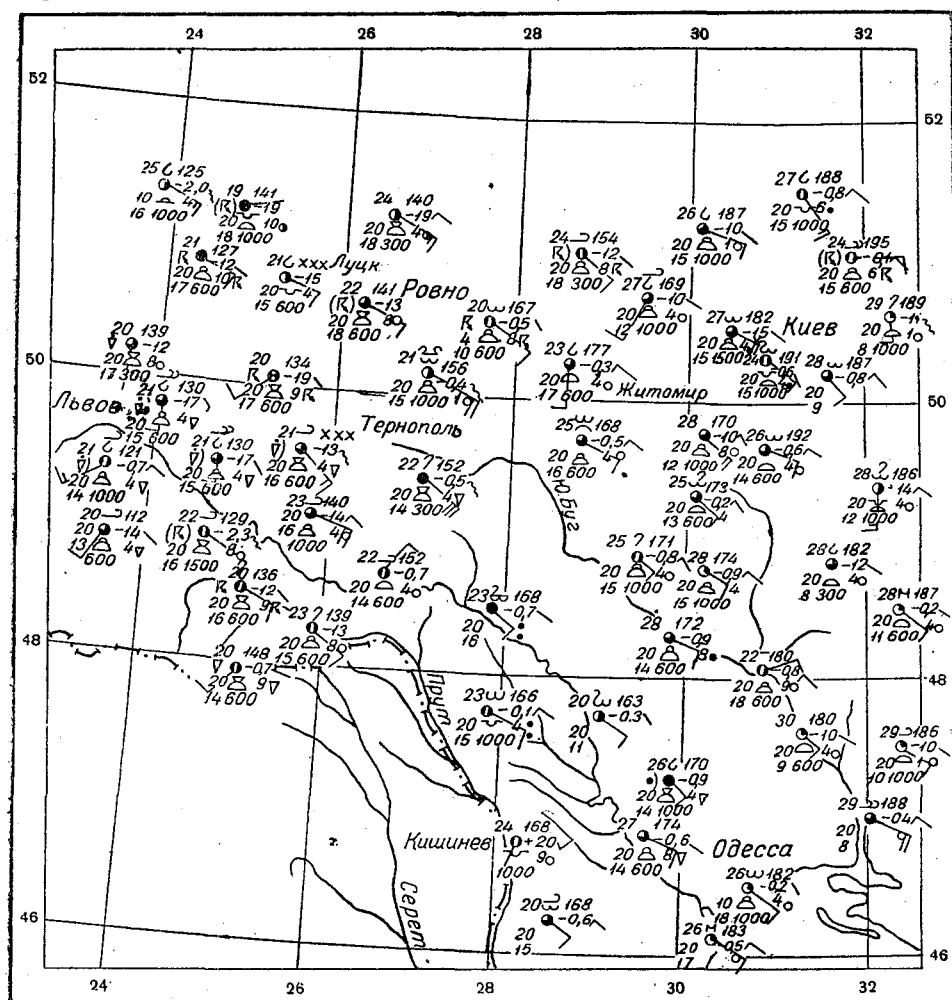


Рис. 20. Состояние погоды на 15 час. 15/VI 1956 г.

Ставилась задача: осуществить воздействие на развивающиеся мощные кучевые облака в зоне возможного возникновения гроз.

В районе несколько севернее линии Житомир — Киев после 14 час. наблюдалась значительная мощная кучевая облачность в сочетании с облаками среднего яруса и, кроме того, ожидалось приближение фронтального раздела.

Было решено войти в эти районы и провести здесь опыты.

Опыт № 8

После 14 час. 20 мин. в районе Черняхов (севернее Житомира) обнаружили значительные разрывы в поле облаков.

В эти разрывы были видны беспокойные башнеобразные Ас и вершины Си cong. Вид неба был «хаотический» (предгрозовый). Однако осадков в зоне досягаемости радиолокатора (и визуально) нигде не отмечалось. Как показывает кольцевая синоптическая карта за 15 час. (рис. 20), к этому времени грозовая деятельность, кроме крайних западных районов, отмечалась также станциями Первомайск, Нежин, Коростень, Новоград-Волынский и т. д.

Около 14 час. 25 мин. в районе восточнее г. Коростышева нижняя граница конвективных облаков располагалась на высоте 1300 м, далее на восток она была несколько выше и в районе Киева составляла 1600—1700 м. При подъеме на высотах 2300—3000 м встречались отдельные поля Ас. На уровне около 3000 м были четко выражены прослойки подынверсионной мглы с тонкими Ас.

Поднявшись к 15 час. 10 мин. на высоту 4000 м установили, что в районе подъема в радиусе 40—50 км наблюдались только неоледенелые купола и на экране локатора при развертке 40 км по-прежнему нигде не обнаруживалось очагов радиоэха. Однако в юго-западной части горизонта, в направлении приближающегося фронта, были видны сильно развитые наковальни.

К 15 час. 15 мин. вершины наиболее развитых куполов Си cong достигали высоты 4300—4500 м, однако основная их масса была ниже 4000 м.

Намеченные для осуществления воздействий облака находились в стадии роста.

В 15 час. 17 мин., поднявшись до высоты 4500—4600 м (несколько выше облаков), начали сброс дробленого сухого льда в периферийную область облаков. Сброс производился также и в зону между отдельными куполами. В 15 час. 18 мин. на высоте 4600 м, продолжая сброс, вошли на короткое время в периферийную часть облака и взяли пробы. Водность здесь составляла 1,92 г/м³, а напряженность электрического поля достигала 20 в/см. Заметим, что в 15 час. 20 мин., при случайном заходе в периферийную часть облака, напряженность поля уже составляла 40 в/см.

Всего в эти облака было сброшено около 5 кг твердой углекислоты относительно крупного дробления. Температура на уровне сброса —7°, —8°.

Наблюдениями было установлено, что подверженные воздействию облака, в зоне введения реагента, начали быстро оседать (особенно на крайней периферии). Как показывает фотография, выполненная в 15 час. 23 мин., по пути сброса сухого льда произошло разделение куполов. В дальнейшем наряду с быстрым разрушением их периферии началось постепенное оседание и центральных частей этих «разделенных» куполов.

В 15 час. 34 мин., находясь на высоте 4850 м, обнаружили на экране локатора, на удалении 15 км, слабое эхо от очагов искусственных осадков.

Как показали наблюдения за этим участком облаков, проведенные после следующего опыта (описанного ниже), здесь непрерывно происходило постепенное разрушение (вымывание и испарение) облаков, так что к 15 час. 40 мин. они практически уже исчезли.

Интересно отметить, что в этом районе только после 16 час. было отмечено начало естественного оледенения наиболее развитых куполов Си cong, верхняя граница которых находилась на уровне выше 5200 м с температурой ниже —13°.

Было решено провести в этих условиях еще один опыт с большей площадью активных воздействий.

К 15 час. 35 мин. на высоте около 5000 м вышли в район 40—50 км северо-западнее г. Киева и, отыскав подходящие купола, произвели их фотографирование (рис. 21). Вершины наиболее мощных достигали высоты порядка 5200 м.

В 15 час. 36 мин. — 15 час. 37 мин. произвели выброс 7—8 кг дробленой CO_2 . Температуры на уровне сброса были около -12° . Сброс осуществлялся в периферию облака преимущественно без захода в него и не вполне равномерно по всему пути сброса. Лишь на короткое время самолет попал в периферийную часть купола. Напряженность электрического поля при этом была в пределах 30, 40 в/см.

В 15 час. 39 мин. — 15 час. 40 мин. также на высоте 5000 м произвели сброс 5 кг дробленой CO_2 в периферийную часть другого купола.

После удаления от этих облаков сразу обнаружили полосы падения и резкое разрушение облаков на периферии по пути сброса.

Фотографии, выполненные в 15 час. 50 мин. ясно фиксируют волокнистые нити, сохранившиеся частично на уровне верхней части облаков в зоне воздействия. Они также указывают на резкое снижение этих облаков в зоне воздействия и на наличие волокнистой структуры уже по всей толще их периферийной части (рис. 22). Однако купол, расположенный вблизи зоны введения реагента, по-видимому, к этому времени еще претерпевал развитие, на что указывает наличие четковыраженной башни, зафиксированной на рис. 22 недалеко от упомянутых волокнистых нитей.

Однако, как показали дальнейшие наблюдения, с течением времени произошло распространение зоны кристаллизации и на центральную часть этого облака.

Фотографии, выполненные около 16 час. на высотах 4500—4000 м, показывают, что к этому времени произошло почти полное разрушение всей периферийной части облаков, подверженных воздействию. Указанный ранее энергично развившийся купол, будучи окружен вымывающейся волокнистой (кристаллической) зоной, не только прекратил рост, но также заметно убыл в размерах (рис. 23). Вне зоны воздействия в это время многие купола еще продолжали развиваться. Более того, как уже отмечалось ранее, около 16 час. произошло естественное оледенение вершин наиболее развитых куполов, верхняя граница которых достигла высоты порядка 5200 м. Развитые Сб в этом районе имели значительно более высокую верхнюю границу. Важно отметить, наконец, что до 16 час. 03 мин. в районе проведения опыта бортовой локатор не обнаруживал очага радиозха. Следовательно, подвергнутые воздействию купола, разрушаясь, не давали существенных осадков.

Включенный в 16 час. 15 мин. радиолокатор обнаружил небольшой очаг осадков от одного недалеко расположенного естественного оледенелого купола. Около 16 час. 30 мин. при заходе в зону осадков, дающую эхо, было выяснено, что напряженность поля достигала значений 40—54 в/см.

В результате опытов, проведенных в этот день, было остановлено развитие мощных кучевых облаков на высотах 4500—5000 м. Во втором случае облака до воздействия имели относительно высокое значение напряженности электрического поля и могли при дальнейшем развитии по вертикали перерасти в стадию «развитых Сб» и дать грозу [28, 29].

Опыты, проведенные в этот день, показали, что введение дробленого сухого льда даже в периферийную часть облаков мощной конвекции

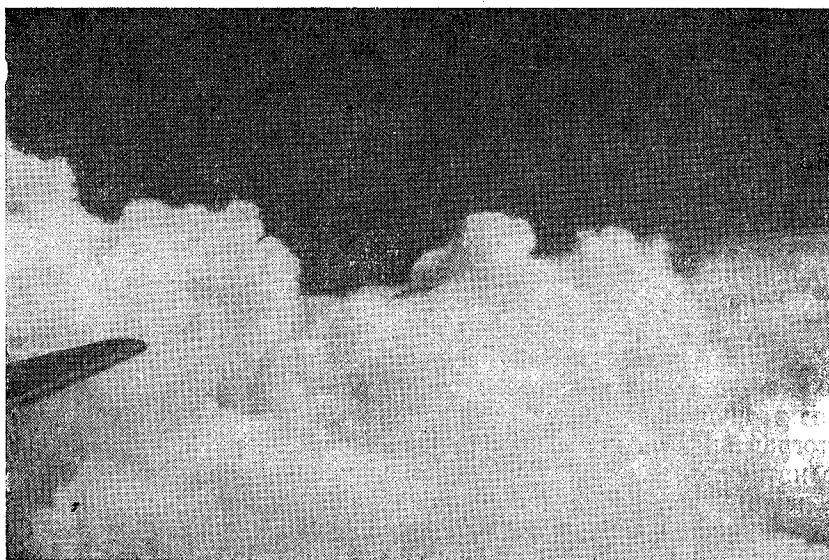


Рис. 21. Вид облака до воздействия.



Рис. 22. Волокнистый выброс и оседание периферийной части облаков в зоне воздействия.

может приводить к их разрушению, не вызывая, однако, существенных осадков.

Это подтверждает справедливость ранее сделанного вывода о том, что метод введения сухого льда в целях вызывания из облака осадков:

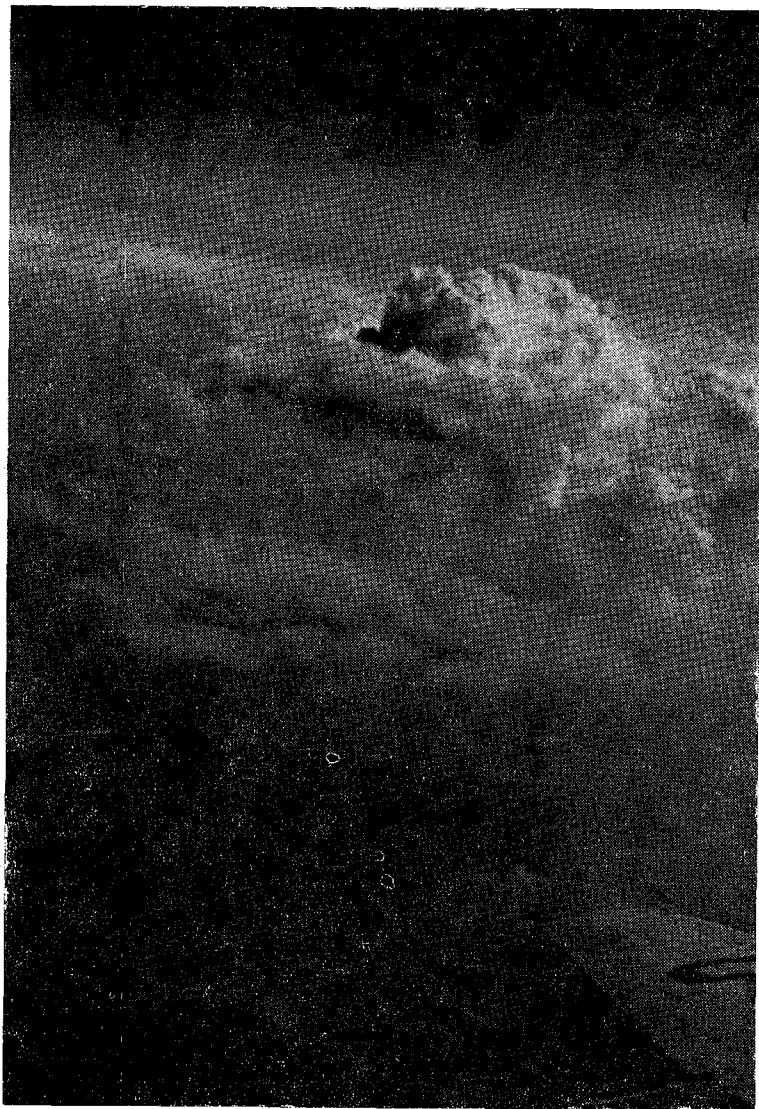


Рис. 23. Разрушение периферии и оседание центральной части купола после воздействий.

отличен от метода, когда воздействие осуществляется с целью разрушения облаков.

Подробнее этот вопрос рассмотрен в специальной статье, посвященной искусственному вызыванию осадков (см. сборник трудов ГГО, вып. 71).

В заключение этих описаний укажем, что 20/VI 1956 г. в тех же целях была предпринята попытка регулирования развития облаков мощной конвекции над значительной (15×40 км) площадью. Опыт проводился

в районе южнее Минска и дал положительные результаты. Его подробное описание дано в специальной статье коллектива сотрудников ГГО и НИИГВФ (см. сборник трудов ГГО, вып. 71). Как видно из ряда сообщений, за границей в последнее время уделяется все большее внимание вопросам активных воздействий на облака конвективной природы. Для этих целей широко используются известные методы введения в переохлажденные облака частиц иодистого серебра с помощью наземных генераторов.

Поскольку грозы являются основной причиной лесных пожаров в важнейшем лесном районе США — на западных склонах Скалистых гор, то особый интерес к этим работам был проявлен со стороны Службы леса США.

Как показывают статьи Шефера [15, 16], Форбса [17] и других специалистов, в США уже длительное время в соответствии с контрактом, носящим название «Project Skyfire», ведутся широкие работы по изучению гроз и установлению возможностей борьбы с ними. Интерес к этим испытаниям со стороны Службы леса США станет понятным, если учесть, что, например, только в августе 1953 г. на западном склоне Скалистых гор от гроз возникло более 400 пожаров, борьба с которыми обычными методами была малоэффективна. Предполагается, что, осуществляя с помощью наземных генераторов воздействия на мощные кучевые облака, удастся предотвращать их переход в грозовые и, таким образом, создать новый метод борьбы с лесными пожарами.

Уэттерер [18] в 1954 г. на специальной конференции в Канаде выступил с докладом, в котором так же обуславливал проект проведения опытов большого масштаба в целях борьбы с лесными пожарами. При этом он ставил вопрос об использовании методов активных воздействий на облака не только для предотвращения гроз, вызывающих лесные пожары, но и для борьбы с этими пожарами посредством искусственного воздействия или даже усиления осадков. Он указывал, что если в результате этих операций удалось бы уменьшить сгоревшую площадь и число человеко-часов, необходимых для борьбы с огнем, хотя бы на 25%, то затраты на проведение этих операций оправдались бы в несколько раз.

Позднее Крик [19] указывал на возможность и рентабельность работ по искусственному вызыванию осадков и предотвращению гроз для бумажной и целлюлозной промышленности, как с точки зрения борьбы с лесными пожарами, так и с точки зрения усиления мощности заводов, увеличения нагрузки гидросиловых сооружений, улучшения лесосплава и даже произрастания деревьев. При обсуждении возможностей использования современных методов воздействия на облака для борьбы с селевыми паводками [4] мы также указывали, что, например, над территорией Армении проведение операций по предотвращению селей в бассейне р. Чедар может одновременно обусловить искусственное увеличение осадков над районами засушливой Октембреной степи (здесь, по существу, мы уже сталкиваемся с проблемой искусственного «перераспределения» осадков над определенной территорией).

Сообщается также [20—25], что в ряде стран (Франция, Алжир и др.) предпринимаются аналогичные попытки по предотвращению градобитий. С одной стороны, для этих целей, как и в случае предотвращения гроз, используются наземные генераторы иодистого серебра. Такие опыты, как можно заключить из статьи Бризбуа [22] и Дессана [24], были начаты во Франции в 1951 г. По мнению Бризбуа, первые опыты по предотвращению града при «пиренейских» грозах дали обнадеживающие результаты. В 1952 г. эти работы проводились в более широких масштабах: вдоль Атлантического побережья и Пиренеев было установлено 19 генераторов.

В 1953 г. работало 40, а в 1954 г. уже 60 генераторов. Однако определенных выводов получить не удалось. Как указывает Дессан, в целях получения лучшего эффекта изменялось число действующих генераторов и интенсивность выпуска из них частиц иодистого серебра при неизменной «площади поражения». Однако, по мнению Дессана, все еще нельзя считать результат окончательно установленным.

С другой стороны, по предложению Рюби [20, 23], для введения частиц иодистого серебра в облака с 1951 г. (в Алжире и во Франции) используются ракетные стрельбы. Во время взрыва происходит взгонка иодистого серебра, примешанного в порошкообразном состоянии к взрывному веществу снаряда. При этом, кроме стационарных установок, рекомендуется также использование mortir на автомобилях. По мнению Рюби [23], этот метод является весьма эффективным, и с 1952 г. в районе применения mortir не отмечено ни одного случая градобития. Однако к такого рода заявлениям нужно относиться с осторожностью, так как к первой статье Рюби [20] редакция журнала сочла необходимым дать примечание, что ответственность за это сообщение несет сам автор.

Сирье указывает [21], что со стороны ведущих специалистов-метеорологов Франции (в том числе Дессана, Феси) вообще высказывается сомнение в эффективности таких мер борьбы с градобитиями и высказываются опасения о стимулировании градовых явлений, вместо их предотвращения.

Интересно отметить, что в США, как указывает Бранстон [26], в адрес Крика, являющегося вместе с Лэнгмюром основоположником и руководителем широких экспериментов по воздействиям на облака и создавшего в 1949 г. Коммерческую Компанию по искусственному вызыванию осадков, было выдвинуто обвинение в том, что результатом его опытов явилось увеличение количества градобитий. Доказательством тому, что эти опасения небезосновательны, может явиться случай, описанный Лэнгмюром в вышеупомянутом докладе, сделанном 17/XI 1947 г. в Национальной академии наук [6]: Лэнгмюр сам наблюдал град, находясь под облаком, на которое осуществлялось воздействие. Надежность такого рода «профилактических мероприятий», осуществляемых с помощью наземных генераторов, может не в меньшей мере вызвать сомнения и в случае предотвращения гроз.

Наиболее убедительный пример для обоснования таких сомнений можно найти также в одной из работ Лэнгмюра [8]. Описывая опыты, выполненные под его руководством по контракту, носившему название «Project Cirrus», Лэнгмюр, кроме вышеупомянутых двух случаев гроз, вызванных 14/X 1948 г. воздействием на облака сухим льдом, приводит также случай 21/VII 1949 г., когда в Нью-Мексико были вызваны грозы при воздействии, осуществленном с помощью наземного генератора иодистого серебра конструкции Воннегата [27]. Генератор в этот день работал в течение 13 час., начиная с 5 час. 30 мин. утра, и израсходовал около 300 г. иодистого серебра. Мы дадим здесь приведенные Лэнгмюром [8] характеристики подвергнутого воздействию облака, поскольку они представляют интерес не только с точки зрения обсуждаемого вопроса, но и как необычный фактический научный материал. Между 8 час. 30 мин. и 9 час. 57 мин. облако медленно росло вверх со скоростью 160 футов в минуту. В 9 час. 57 мин., когда вершина облака достигла высоты 26 000 футов (температура -23°C), вертикальная скорость роста вершины неожиданно увеличилась, и облако поднималось вверх со скоростью более 1 200 футов в минуту до тех пор, пока в 10 час. 12 мин. не достигло высоты 44 000 футов (температура -65°C). В 10 час. 06 мин., когда вершина облака была на высоте 36 000 футов (температура -49°C), от него были уловлены радиолокатором первые отраженные

сигналы, посылаемые с высоты 20 500 футов (температура -9°C). Через 6 мин. после появления первого радиоэха, «радарная зона» облака распространилась до высоты 34 000 футов, где температура была -43°C .

Заметим, что развитие аналогичных кучево-дождевых и даже мощных кучевых облаков не является исключением в условиях нашей территории. Так, например, в ночь с 16 на 17/VIII 1954 г. Н. Ф. Котов изучал с помощью радиолокаторной установки «Кобальт» в пос. Воейково (под Ленинградом) интенсивное развитие гроз, «радарная зона» которых достигала нижней границы стратосферы, располагавшейся на высоте около 12 км. В эту ночь по Ленинградской области, как показывают материалы наблюдений сети метеорологических станций, также наблюдалось выпадение града.

Н. А. Титов [31] при испытаниях реактивных самолетов на трассе Москва — Омск летом 1955 г. неоднократно отмечал, что верхняя граница кучево-дождевых облаков достигала высоты 12—13 км. Автор, участвуя 22—25/VIII 1956 г. в полетах самолета ТУ-104 по трассе Москва — Иркутск наблюдал, что не только кучево-дождевые (Cb), но и мощные кучевые облака (Cu cong) во многих случаях достигали в это время стратосферы (высота 9000—10000 м). Несомненно, что исследование возможностей и эффекта воздействий на конвективные облака при таких условиях представляет большой научный и производственный интерес.

Если согласиться с тем, что в случае, описанном Лэнгмюром, попадание частиц иодистого серебра в изучаемое облако не вызывало сомнений, то нужно предположить, что к моменту распространения частиц в зоне действенного для иодистого серебра переохлаждения (ниже -5° , см. напр. Мейсон [35]), их активность уже была потеряна или, наконец, что при наблюдаемой в этот день интенсивности процессов конвекции зарождение даже обильного числа ледяных частиц не могло приостановить дальнейший рост облака по вертикали и, следовательно, предотвратить развитие гроз.

При рассмотрении этого опыта Лэнгмюра удастся в концентрированном виде представить основные, связанные с этой проблемой и все еще ожидающие своего решения трудности, которые не могут быть преодолены только проведением даже весьма широких опытов с наземными генераторами.

Как известно, в настоящее время невозможно предвидеть и определять наличие или недостаток ядер замерзания в природных условиях. Поэтому невозможно заранее определить, при каких условиях и в каких количествах нужно вводить эти ядра в то или иное облако и какой при этом следует ожидать эффект воздействия.

Как указывает Мейсон [35], можно было бы сделать предположения о необходимой концентрации ядер кристаллизации и попытаться создать такую концентрацию частиц иодистого серебра в зоне его активности (-5° , -15°). Однако при работе с наземными генераторами возникает проблема переноса этих частиц в соответствующую область облаков. Возможность обеспечения гарантированного их попадания в каждое отдельное конвективное облако вызывает наибольшие сомнения.

По утверждению Дессана [24], воздействие с помощью AgI оказывается эффективным только в том случае, если дым AgI вводится в облака при температуре ниже -4° . При более высокой температуре основания облака частицы AgI теряют свою активность, не достигая его переохлажденной части.

Согласно опытам Пикка, как указывает Дессан, частицы AgI, на которых образовались капельки воды при положительной температуре, не вызывают замерзания этой капли до температур порядка -20° .

Опыты по воздействиям на облака в Австралии [36] показали также,

то при подаче дымов AgI с земли не получается определенных результатов, в то время как при введении твердой CO_2 и AgI непосредственно в переохлажденные облака с самолета в эффекте воздействий не оставалось сомнений.

Разумеется, мы не исключаем возможности и того, что в отдельных случаях, изучив особенности местных циркуляций и их роль в формировании облаков в том или ином районе, можно будет расположить генераторы AgI на больших высотах в зоне развития облаков (например, в горах) и, таким образом, обеспечить попадание частиц AgI непосредственно в переохлажденную часть облака. Однако этот идеализированный случай, по-видимому, является крайним исключением.

Наконец, при осуществлении воздействий с помощью наземных генераторов не может быть решен вопрос о том, при каких предельных значениях восходящих токов и вертикальной мощности переохлажденной части облаков еще можно ставить вопрос о предотвращении развития гроз и града.

По мнению Ладлама [37], например, крупномасштабные движения в облаках имеют большее значение в образовании осадков, чем изменения в количестве ядер замерзания. Возможно, что с определенного уровня интенсивности этих движений такое предположение остается справедливым. Для решения данных вопросов необходимы, однако, непосредственные наблюдения за характером изменения облаков в зоне введения реагента.

По-видимому, на современном этапе исследований такого рода операции целесообразно осуществлять с помощью высотных скоростных самолетов, оборудованных радиолокаторами, приборами для измерения напряженности электрического поля [33] и других физических характеристик облака и окружающей среды, специальными установками для введения в облака AgI [32], твердой CO_2 и других реагентов.

При наличии указанных летных средств, путем одновременного проведения сравнительных опытов по введению в облака AgI с самолета и наземными генераторами, можно будет окончательно решить вопрос о диапазоне эффективности частиц и о целесообразности использования в этих целях наземных генераторов AgI. По-видимому, только путем проведения таких опытов с использованием AgI, при непосредственной угрозе градовых явлений, может быть проверена справедливость выводов Дессана и Феси о том, что при воздействиях с помощью AgI, в противоположность сухому льду, невозможно обеспечить «пересыщение» кристаллами переохлажденной части облака.

Как уже указывалось ранее [12, 34], в связи с тем, что методика прогноза градовых положений еще не разработана, на практике, по-видимому, часто придется осуществлять воздействия при непосредственной угрозе градовых явлений [возможность предотвращения гроз в такой стадии развития облака нам кажется уже сомнительной (см. ниже)].

Поскольку в настоящее время не имеется возможности контролировать наличие ядер замерзания и другие естественные причины, приводящие к развитию градовых явлений, то будет справедливым считать, что всякое, в том числе и уже начавшее оледеневать, мощное кучевое облако несет угрозу града, если оно не остановилось в своем развитии на высотах 6500—7000 м. По-видимому, это положение находится в согласии с вышеприведенным утверждением Ладлама.

Строгие расчеты вероятности выпадения града при таких положениях могут быть выполнены по методу Н. С. Шишкина [38].

Насколько нам известно, до настоящего времени такого рода опытов еще нигде не проводилось. Для получения эффектов в этих условиях является принципиально правильным предложение, высказанное в ра-

боте автора [11], об одновременном введении кристаллических зародышей во всей переохлажденной толще облака. К сожалению, до сих пор не найдено практического и экономически целесообразного решения этой идеи. Решение данной задачи представляет большие технические трудности и требует привлечения специальных конструкторских сил. Можно с уверенностью сказать, что успех этих операций, наряду с правильным учетом метеорологической обстановки, будет целиком определяться техникой воздействия.

Остановимся на некоторых специфических моментах предотвращения гроз. Непосредственные эксперименты по исследованию изменения электрических характеристик мощных кучевых облаков при воздействии на них переохлажденные вершины твердой углекислотой и при естественном оледенении таких вершин, по-видимому, впервые были проведены в 1953—1954 гг. [28, 29] (если не считать опыта, проведенного 3/VIII 1950 г. [12]). Они показали, что электрические поля в мощных кучевых облаках резко возрастают при появлении в них переохлажденных вершинах ледяных частиц. В этом смысле являются справедливыми утверждения о том, что если предотвратить образование мощного переохлажденного слоя в конвективных облаках, то тем самым удастся предотвратить развитие гроз.

Учитывая, что методика прогноза грозового положения к настоящему времени является более или менее разработанной [39], не может быть сомнения в том, что после отработки техники осуществления воздействий «профилактические» операции по предотвращению гроз, обеспечивающие введение реагента в облака, в момент, когда последние немного превышают уровень нулевой изотермы, окажутся усиленными. Если, однако, реагент будет введен в облака на значительно более поздней стадии развития их жизни, то остается еще неясным, будет ли в этом случае исключено или ослаблено развитие грозовой деятельности.

В случаях исключительно бурного развития конвективных явлений, аналогичных тому, который описан Лэнгмюром и наблюдался Н. Ф. Котовым, если даже предположить, что технически удастся осуществить кристаллизацию почти одновременно всей огромной переохлажденной толще облака, по-видимому, все же не будет исключено генерирование гроз в зоне нулевой изотермы. Таким образом, «чудовище» по Бергерону [76] в этом смысле не будет «укрошенным».

Следует заметить, что к настоящему времени вопрос о доминирующем механизме развития грозовых явлений при различных условиях также еще далек от своего окончательного решения.

По воззрениям Н. С. Шишкина [30] наличие «смешанной» структуры облака не является обязательным условием для развития гроз.

Дальнейшее изучение изменений характеристик мощных кучевых и грозовых облаков при их естественном развитии и при осуществлении на них воздействий различными реагентами должно внести много нового в построение теории развития этих явлений, что в свою очередь даст возможность более строго решить вопрос об установлении средств и методов их предотвращения.

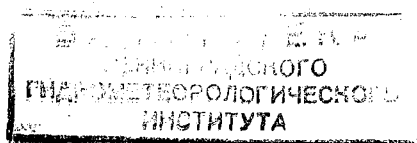
ЛИТЕРАТУРА

1. Shaw N. The artificial control of weather. *Monthly Weather Review* 49: 244—246, 1921.
2. World Meteorological Organisation. Technical Note, № 13. Artificial control of cloud and hydrometeors.
3. Чуваев А. П. Об условиях, благоприятных для искусственного вызывания осадков из мощных кучевых облаков. *Метеорол. и гидрол.* № 1, 1956.
4. Чуваев А. П. О новых возможностях предотвращения селевых паводков. *Труды ГГО*, вып. 020, 1953.
5. Findeisen W. Die Kolloidmeteorologischen Vorgänge bei Niederschlagsbildung. *Meteorol. Zeitschr.* 55, 121, 1938.
6. Langmuir I. The growth of particles in smokes and clouds and the production of snow supercooled clouds. *American Philosophical Society Proceedings*, 92 (3): 167—185, 1948 (Сокращенный перевод этой статьи см. *Успехи физич. наук*, том XXXVII, вып. 3, 1949).
- 7а. Шефер В. Образование ледяных кристаллов в лаборатории и атмосфере. В книге: *Физика образования осадков* (переводы), под редакцией Б. В. Дерягина и А. Х. Хргиана. М., 1951.
- 7б. Берджерон Т. Проблема регулирования осадков на земном шаре. См. в книге: *Физика образования осадков* (переводы), под редакцией Б. В. Дерягина и А. Х. Хргиана. М., 1951.
8. Langmuir I. Control of precipitation from cumulus clouds by various seeding techniques. *Science* 112, 2898. 1950.
9. King I., Halliday E., Hewitt F., Kingwill D. Artificial stimulation of rain *Nature* (London) 162: 921 Dec. II 1948.
10. Никандров В. Я., Чуваев А. П. Опыты по вызыванию осадков *Труды ГГО*, вып. 09, 1950.
11. Чуваев А. П. О возможностях борьбы с градобитиями. *Труды ГГО* вып. 09, 1950.
12. Чуваев А. П. Аэрологический анализ опытов по воздействиям на облака. *Труды ГГО*, вып. 020, 1953.
13. Никандров В. Я. и Чуваев А. П. Данные об опытах по воздействиям на облака и некоторые вопросы, связанные с этой проблемой. *Труды ГГО*, вып. 020, 1953.
14. Чуваев А. П. Предварительные данные об опытах по регулированию развития конвективных облаков. *Труды ГГО*, вып. 020, 1953.
15. Schaefer V. Thunderstorm and project skyfire. *Trans. N. Y. Acad.* 1955, 17, № 6, 470—475.
16. Schaefer V. Jet streams, thunderstorms and project skyfire. *Arch. Meteorol. geophys. and Bioklimatol.* 1955, A 8, № 3, 265—282.
17. Forbs R. Cloud sculpturing. *Brit. Columbia Lumberman* 1955, 39, № 8 37—38.
18. Wetterer Ch. Rainfall stimulation for forest fire prevention and control. *Pulp and paper Mag. Canada*, 55, № 7. 1954.
19. Krick Irving. The value of weather modification operation to the pulp. and paper industries. *Pulp and Paper Mag. Canada*, 56, № 3, 1955.
20. Ruby F. Les N nouvelles methodes de defence contre la grêle. *La meteorologie* ser. 4, № 29, 1953.
21. Siriez H. La lutte contre la grêle. *Caniers françaises inform.* № 231. 4—6, 1953.
22. Brisebois D. La lutte contre la grêle. *Agriculture* 1954, 17, № 157, 179—181.
23. Ruby F. La lutte contre la grêle par la provocation de la pluie. *Encycl. mens autre — mer.* 1955, 5, № 60—61, 341—345.
24. Dessens H. Quelques théories de l'ensemement, des nuages sounuses du controle experimental. *Arch. Meteorol. Geophys. und Bioklimatol.* A 8, № 3, 1955.
25. Beck F. Hagel — Abwehr. *Umschau*, 1955, 55, № 13, 404—406.
26. Branstons A. I. Rain on tap *Farmers Weekly*. 1954, 87, 14—15 17.
27. Vonnegut B. Techniques for generating silver iodide smoke. *Jorn. of colloid science*, 5, № 1. 1950.
28. Имянитов И. М. и Чуваев А. П. Об основном механизме электризации грозовых облаков. *Метеорология и гидрология*, № 4, 1955.
29. Имянитов И. М. и Чуваев А. П. К условиям перехода мощных кучевых облаков в грозовые. *Метеорология и гидрология*, № 2, 1956.
30. Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозное электричество. *Гос. издат. технико-теоретической литературы*, М., 1954.
31. Титов Н. А. Влияние метеоусловий на эксплуатацию реактивных транспортных самолетов. *Информационный бюллетень Гос. НИИТВФ*, вып. 6, 1956.
32. Красиков П. Н. К вопросу о способах введения в облако ядер кристаллизации. *Труды ГГО*, вып. 020, 1953.
33. Имянитов И. М. Приборы для измерения напряжения поля и их применение. *ЖТФ* № 9, 1949.

34. Гигинейшвили В. М., Сергеев О. Д., Чуваев А. П. К условиям выпадения града в восточной Грузии. Труды ГГО, вып. 020, М. — Л., 1953.
 35. Mason B. Design and evaluation of large-scale rain-making. Nature (London) 175, N 4454, 1955.
 36. Australian experiment in rain-making. Australias Engr. 1955.
 37. Ludlam F. H. Planning cloud seeding research. Arch. Meteorol. Geophys. und Bioklimatol. 1955, A 8, № 3.
 38. Шишкин Н. С. О механизме образования града (см. настоящий сборник).
 39. Методические указания ЦИП № 14.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
З. П. Пастух и Р. Ф. Сохрина. Град на территории СССР	3
Н. С. Шишкин. О механизме образования града	32
Е. П. Архипова. Карты географического распределения числа дней с грозой на территории СССР	41
Л. Н. Лебедев. Вероятность гроз на ограниченных участках территории . .	61
А. П. Чуваев. О современных возможностях предотвращения гроз и града .	71



Редактор *Т. В. Ушакова.*

Техн. редактор *М. Я. Флаум.*

Корректор *З. А. Белкина.*

Сдано в набор 12/VII 1957 г.

Подписано к печати 12/X 1957 г.

Бумага 70 × 108¹/₁₆. Бум. л. 3,25 + 1 вкл.

Печ. л. 9,25. Уч.-изд. л. 8,85.

Тираж 1450 экз.

М-37523.

Индекс МЛ-290.

Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В. О., 2-я линия, д. 23.

Заказ № 737.

Цена 6 руб. 20 коп.

Типография № 8, Управления полиграфической промышленности Ленсовнархоза
Ленинград, Прачечный пер., д. 6.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ОТДЕЛ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Ленинград, В-53, 2-ая линия, д. 23

ИМЕЮТСЯ НА СКЛАДЕ

Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова

- Вып. 16 (78) Вопросы атмосферной турбулентности. Под ред. Е. С. Ляпина и М. И. Юдина. Ц. 8 р. 80 к.
Вып. 20 (82) Физика приземного слоя воздуха. Под ред. Д. Л. Лайхтмана. Ц. 2 р. 50 к.
Вып. 35 (97) Вопросы атмосферного электричества. Под ред. П. Н. Тверского и И. М. Имянитова. Ц. 4 р. 40 к.
Вып. 37 (99) Физика приземного слоя атмосферы. Под ред. Д. Л. Лайхтмана. Ц. 4 р. 65 к.
Вып. 65 (127) Вопросы синоптической метеорологии. Под ред. Т. В. Покровской. 1956 г. Ц. 6 р. 80 к.
Вып. 66 (128) Вопросы атмосферной циркуляции и тепло- и влагооборота. Под ред. М. И. Будыко и М. Е. Швеца. 1956 г. Ц. 4 р. 30 к.
Вып. 67 (129) Вопросы исследования облаков мощной конвекции и зон грозовой деятельности. Под ред. В. В. Базилевича. 1957 г. Ц. 9 р.
Вып. 72 Вопросы физики атмосферы. Под ред. А. П. Чуваева. 1957 г. Ц. 10 р. 15 к.

Труды Центрального института прогнозов

- Вып. 10 (37) Небольсин С. И. Климатический очерк Подмосковья. Ц. 7 р. 20 к.
Вып. 11 (38) Вопросы долгосрочных прогнозов. Под ред. С. Т. Пагава. Ц. 12 р. 40 к.
Вып. 12 (39) Вопросы прогнозов стока. Под ред. В. Д. Комарова. Ц. 5 р. 60 к.
Вып. 13 (40) Засуха 1946 г. Под ред. В. В. Синельщикова. Ц. 5 р. 60 к.
Вып. 15 (42) Вопросы динамической метеорологии. Под ред. А. Ф. Дюбюка. Ц. 5 р. 60 к.
Вып. 19 (46) Вопросы долгосрочных прогнозов. Под ред. С. Т. Пагава. Ц. 9 р. 60 к.
Вып. 22 (49) Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. Е. Г. Попова и В. В. Пиотровича. Ц. 6 р.
Вып. 24 (51) Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. Е. Г. Попова. Ц. 4 р.
Вып. 27 (54) Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. В. Д. Комарова. Ц. 4 р. 40 к.
Вып. 29 (56) Сельскохозяйственная метеорология. Агрометеорологическая характеристика условий произрастания сельскохозяйственных культур на территории орошения Куйбышевского гидроузла. Под ред. А. В. Процера. Ц. 8 р. 30 к.
Вып. 30 (57) Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. Е. Г. Попова. Ц. 8 р. 95 к.
Вып. 43 (70) Вопросы динамической метеорологии. Под ред. И. А. Кибеля. Ц. 5 р.
Вып. 44 (71) Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. А. И. Субботина. Ц. 7 р. 50 к.
Вып. 47 (74) Вопросы сельскохозяйственной метеорологии. Под ред. М. С. Кулика. Ц. 6 р. 40 к.
Вып. 52 Вопросы синоптической метеорологии. Под ред. Л. В. Томашевича. Ц. 8 р. 85 к.
Вып. 54 Исследование процессов формирования стока. Под ред. А. И. Субботина. Ц. 6 р. 75 к.
Вып. 55 XX лет Центральному институту прогнозов. Под ред. К. И. Кашина. Ц. 4 р. 10 к.
Вып. 58 Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. Б. М. Гинзбург. Ц. 8 р. 50 к.

Заказы направлять в книжные магазины Книготоргов и отдел распространения Гидрометеоиздата.

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ

