

06
+78
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

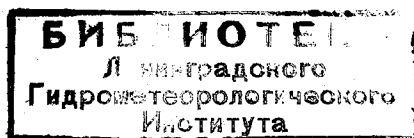
ГЛАВНАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ

ВЫПУСК 219

М. В. ЗАВАРИНА, В. М. МИХЕЛЬ

2107
КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАКОВ
В ЗОНЕ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1968

551.56(0)1 + 551.51(19,5)

УДК 551.576+551.582

В монографии даны всесторонние характеристики облаков нижнего яруса в зоне недостаточного увлажнения Европейской территории СССР, наблюдаемых преимущественно в холодный период. Рассматриваются водные ресурсы этих облаков и дается климатологическая оценка возможной эффективности активных воздействий на них.

Монография рассчитана на специалистов метеорологов и климатологов.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема активных воздействий на облака с целью вызывания из них дополнительных осадков является одной из важнейших проблем, которым за последние три десятилетия уделяется очень большое внимание и на разработку которых затрачиваются большие средства как у нас, так и за рубежом.

Большая актуальность этой проблемы для народного хозяйства нашей страны очевидна, если учесть, что большая часть хлебопроизводящих земель СССР расположена в зоне недостаточного увлажнения.

В Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) этой проблемой занимается уже ряд лет отдел физики облаков и активных воздействий.

На Украине, в Днепропетровской области, на полигоне УкрНИГМИ и в Казахстане на полигоне, созданном ГГО и КазНИГМИ, в течение ряда лет проводятся активные воздействия на облака. Здесь проводятся самолетные зондирования атмосферы, радиолокационные и другие виды наблюдений. Полигоны имеют густую сеть метеорологических станций. Количество выпадающих осадков измеряется на экспериментальных и контрольных площадях полигонов, в результате чего оценивается эффективность активных воздействий на облака.

Однако для оценки возможной эффективности воздействий на облака и целесообразности воздействий на облачность больших территорий, находящихся в различных физико-географических районах, необходимо широкое изучение водных ресурсов облачных систем путем всесторонних климатологических и синоптических исследований.

Зона недостаточного увлажнения, в которой необходимо проводить те или иные мероприятия с целью получения дополнительной влаги для растений, была определена нами с помощью индекса сухости М. И. Будыко и гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова.

Учитывая, что климатологические исследования облаков, которые могут быть объектами активных воздействий, проводятся в УкрНИГМИ и КазНИГМИ, авторы данной монографии уделили наибольшее внимание изучению облаков в Поволжье и прилегающих к нему районах.

В монографии даются основные климатические характеристики облаков, необходимые для оценки их водных ресурсов, а следовательно, целесообразности воздействий на эти облака с целью вызывания осадков и возможной их эффективности.

Таковыми характеристиками являются относительная и абсолютная повторяемость пасмурного неба (по нижней облачности), форм облаков, высот их оснований, простираемость облаков, продолжительность существования, вероятность выпадения из них осадков и др. Проводится

анализ этих характеристик и климатическая оценка количества возможных дополнительных осадков при систематических активных воздействиях на облака.

Основное внимание в монографии уделяется климатической характеристике и оценке влагозапасов слоистых, слоисто-кучевых и слоисто-дождевых облаков, которые наблюдаются в холодное время года. В главах II и III даются также некоторые климатические характеристики облаков теплого периода и проводится сравнение с характеристиками облаков незасушливых зон.

Существенное внимание уделено вопросу пространственно-временной изменчивости полей осадков в годы катастрофических засух и аномально больших осадков. Анализируются причины неблагоприятных условий для искусственного вызывания или интенсификации осадков.

Глава I написана М. В. Завариной, главы II, III и заключение — В. М. Михелем, § 5 и 7 в главе I — М. Л. Гауль. Расчеты произведены Л. П. Александровой, И. Д. Ваулиной и Г. А. Трус.

Глава I

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОИСТООБРАЗНЫХ ОБЛАКОВ В ЗОНЕ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Задача данного исследования заключалась в том, чтобы получить характеристики слоистообразных облаков, необходимые для определения содержащихся в них водозапасах, и дать климатологическую оценку возможной эффективности активных воздействий на эти облака с целью вызывания искусственных осадков.

Очевидно, что активные воздействия на облака с целью получения дополнительных осадков имеет смысл производить там, где не обеспечивается достаточное увлажнение почвы при естественном выпадении осадков, где часто наблюдаются суховеи, атмосферная и почвенная засухи. Однако в тех районах, где дефицит влаги очень большой и засушливые годы наблюдаются чаще незасушливых, где вообще мала повторяемость облаков, пригодных для активных воздействий, искусственные воздействия на облака не могут дать должного эффекта. Здесь для увлажнения почвы необходимы более радикальные меры — создание оросительных систем, искусственное дождевание и т. д., а также культивирование засухоустойчивых растений.

Зоны территории СССР, требующие дополнительного увлажнения, хорошо выявляются с помощью индекса сухости М. И. Будыко (Будыко, 1955, Будыко, Григорьев, 1959) и гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (1930).

Индекс сухости определяется как отношение годовой величины испаряемости к сумме осадков, причем испаряемость вычисляется комплексным методом с учетом влияния температуры и влажности воздуха и радиационного баланса подстилающей поверхности (Серякова, 1957).

Гидротермический коэффициент представляет собою удесятенное отношение суммы осадков к сумме температур за период вегетации растений.

Климатическое районирование территории СССР по индексу сухости Будыко проведено с учетом суммы температур подстилающей поверхности за вегетационный период, когда средняя суточная температура воздуха более 10° (Зубенок, Ефимова, Мухенберг, 1958). По индексу сухости и сумме температур теплого (вегетационного) периода выделены три зоны: влажная (индекс сухости < 1), недостаточного увлажнения (индекс сухости в пределах $1-3$), сухая (индекс сухости > 3). Эти зоны указаны на карте (рис. 1).

На эту же карту нанесены линии равной повторяемости засух, вычисленные В. А. Смирновым (1958) по методу Селянинова. Он считал год засушливым, если гидротермический коэффициент не превышал

0,5—0,7. Вариации коэффициента зависят от физико-географических условий и растительности (для лесной зоны коэффициент брался равным 0,7, для южной части степной зоны — равным 0,5).

На карте видно, что во влажной зоне повторяемость засух составляет менее 10%, а в зоне сухого климата (в пустынях) она превышает 50%. Таким образом, в зоне недостаточного увлажнения повторяемость засух изменяется от 10 до 50%. Нам представляется, что в этой зоне в первую очередь и необходимо оценить возможную эффективность

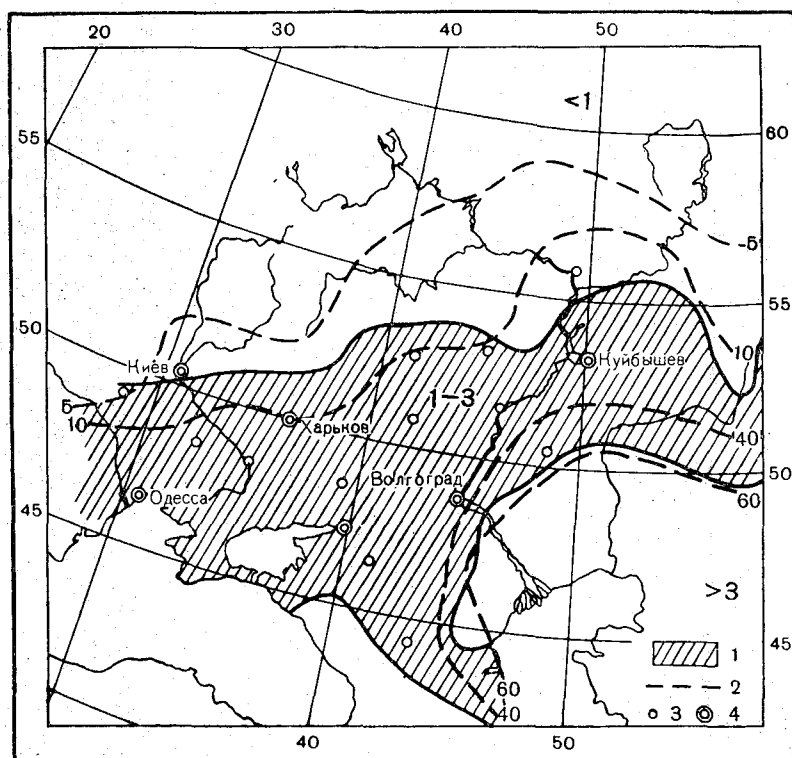


Рис. 1. Климатическое районирование части территории СССР по индексу сухости М. И. Будко и по гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова.

1 — зона недостаточного увлажнения (индекс сухости М. И. Будко 1—3), 2 — линии равной повторяемости засух по Г. Т. Селянинову, 3 — метеорологические станции, 4 — аэрологические станции.

активных воздействий на облака, т. е. рассчитать их влагозапасы и количество возможных осадков, которое может быть получено в результате активных воздействий на облака. Севернее этой территории находятся районы достаточного увлажнения, в них редко наблюдаются засухи, поэтому здесь нет необходимости производить активные воздействия на облака с целью вызывания осадков. Точно так же нецелесообразно активно воздействовать на облака в зоне сухого климата. В зоне недостаточного увлажнения, по крайней мере в ее северной части, даже небольшое дополнительное количество осадков может дать более значительный эффект, чем в зоне сухого климата.

Зона недостаточного увлажнения представлена на рис. 1. Облач-

ность Азиатской части засушливой зоны изучается в КазНИГМИ под руководством Н. Ф. Гельмгольца, поэтому наше внимание было обращено на зону недостаточного увлажнения ЕТС, которая охватывает часть Поволжья, Северный Кавказ и Украину. В этой зоне индекс сухости находится в пределах 1—3, сумма температур за теплый период составляет 2200—4400° и повторяемость засух колеблется от 10 до 50%.

Следует заметить, что облачность весенне-летнего периода на значительной части этой территории исследовалась в связи с проблемой активных воздействий в ряде работ, выполненных в УкрНИГМИ.

Некоторые характеристики фронтальной облачности для этих районов приводятся в работах В. М. Михеля (1965), Д. А. Мишутина (1952) и М. В. Завариной (1965), а также в главе II данной книги.

Слоистые и слоисто-кучевые облака чаще всего являются внутримассовыми (Физика облаков, 1961; Зак, 1937 и др.). Они могут возникать при незначительных восходящих потоках воздуха, если в нижнем слое атмосферы имеется слой инверсии температуры. Иногда же инверсия развивается над облаками при их образовании. Поэтому естественно, что над слоистыми и слоисто-кучевыми облаками в преобладающем большинстве случаев наблюдается инверсия температуры.

Причинами образования слоистообразных облаков (St и Sc) могут быть трансформация теплой и влажной воздушной массы, движущейся над холодной подстилающей поверхностью, или сильное турбулентное перемешивание воздуха в пограничном слое атмосферы при большой скорости ветра.

Поскольку условия, благоприятные для образования слоистообразных облаков, наблюдаются преимущественно в холодное время года, абсолютная повторяемость этих облаков летом невелика. Следует заметить, что летом эти облака, как правило, не пригодны для активных воздействий с целью вызывания из них осадков, так как они имеют небольшую толщину и, располагаясь в нижнем слое атмосферы, являются теплыми. При активных же воздействиях с помощью углекислоты можно получить искусственные осадки из облаков только при условии, что они являются переохлажденными.

Изучение водных запасов слоистообразных облаков холодного периода представляет интерес с точки зрения возможного увеличения высоты снежного покрова, задержки снеготаяния и, следовательно, повышения запасов влаги в почве в весенний период.

Для климатологической характеристики слоистообразных облаков были использованы материалы наблюдений шестнадцати метеорологических станций за семилетний период (с 1956 по 1962 г.). Расположение этих станций указано на карте (рис. 1). Аэроклиматологические характеристики облаков были получены по материалам самолетных зондирований Куйбышева, Волгограда. Ростова-на-Дону за 1957—1963 гг.

При выборе этих пунктов было учтено, что к началу наших разработок в УкрНИГМИ (Г. И. Перелетом, И. П. Половиной и др.) уже была начата обработка наблюдений украинских аэрологических станций, в результате которой предполагалось получить исчерпывающие характеристики слоистообразной облачности для определения ее влагозапасов. В настоящее время результаты исследований, проведенных в УкрНИГМИ, частично опубликованы. В данной работе используются некоторые из них, в частности результаты исследований, выполненных Половиной по наблюдениям трех станций (Киев, Одесса, Харьков).

Предварительные характеристики слоистообразных облаков засушливой территории ЕТС были получены М. В. Завариной и М. Л. Гауль

(1965). В данной работе дается более полный анализ полученных результатов и приводятся новые, дополнительные характеристики, позволяющие оценить средние запасы влаги в этих облаках. По таблицам ТМ-1 и ТАЭ-7 представлялось возможным получить следующие характеристики слоистообразных облаков холодного периода: относительную и абсолютную повторяемость по месяцам, суточный ход относительной и абсолютной повторяемости, продолжительность существования облаков, толщину облачных слоев, высоту нижней границы облаков, их водность, микроструктуру, температуру вблизи верхней границы облаков, повторяемость естественного выпадения осадков, средние и экстремальные суммы осадков, повторяемость облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий, влагогенерирующую способность слоистообразных облаков и их средний влагозапас.

Эти характеристики необходимы для расчета количества осадков, которое может быть получено в результате активных воздействий на облака, а следовательно, для оценки целесообразности и эффективности активных воздействий на них. Рассмотрим каждую из перечисленных характеристик.

§ 1. Относительная и абсолютная повторяемость

Под относительной повторяемостью облаков той или иной формы понимается отношение числа наблюдений облаков данной формы к общему числу наблюдений над облаками.

Абсолютная повторяемость вычисляется как отношение числа наблюдений облаков данной формы к общему числу метеорологических наблюдений за каждый срок, месяц или период, состоящий из нескольких месяцев.

При расчете повторяемостей к слоистым облакам были отнесены только St, а также St в сочетании с Sc при преобладании St. Аналогично рассчитывалась повторяемость слоисто-кучевых облаков.

Таблица 1

Повторяемости (%) пасмурного неба по нижней облачности (8—10 баллов) в холодный период (ноябрь—март), вычисленные за семилетний (А) и многолетний (Б) периоды

Станция	Повторяемость	
	А	Б
Урюпинск	57	56
Харьков	62	67
Винница	53	60
Кировоград	59	65
Днепропетровск	59	64
Луганск	63	60
Волгоград	59	53
Ростов-на-Дону	62	56
Минеральные Воды	56	59

В данной работе рассматриваются повторяемости той или иной формы облаков при условии полного покрытия ими неба, т. е. при отметке 10 баллов. При меньшем количестве слоистообразных облаков активные воздействия на них не производятся, так как известно, что

они не могут привести к достаточно эффективным результатам вследствие небольшой толщины и плотности таких облаков.

В целях оценки репрезентативности выбранного для характеристики облаков семилетнего периода в работе М. В. Завариной и М. Л. Гауль (1965) было проведено сравнение повторяемости пасмурного неба по нижней облачности, рассчитанной по этому периоду для каждого холодного месяца, с соответствующими повторяемостями, вычисленными по данным более длительных наблюдений. Последние могут рассматриваться как нормы. В табл. 1 приводятся те же данные, но обобщенные для всего холодного периода.

Из табл. 1 видно, что повторяемости пасмурного неба по нижней облачности, вычисленные по семилетнему периоду, отличаются от повторяемостей, принятых за нормы, не более чем на 6—7%. Такие отклонения от нормы не являются существенными, а поэтому период, при-

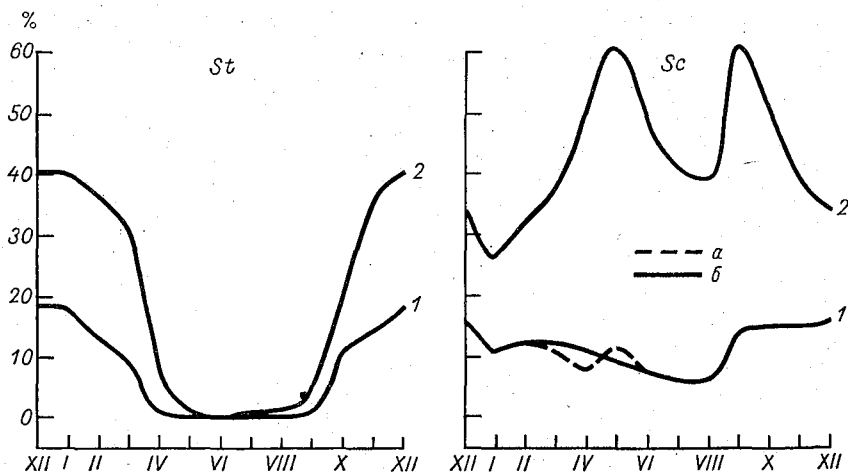


Рис. 2. Годовой ход абсолютной (1) и относительной (2) повторяемости слоистообразных облаков. Саратов.

a — вычисленные значения повторяемости, *b* — сглаженные кривые.

нятый нами для характеристики облачности холодного периода, можно считать достаточно репрезентативным.

В табл. 2 и на рис. 2—5 приводятся относительные и абсолютные повторяемости слоистообразных облаков для каждого месяца. Таблица и графики показывают, что в теплое время года повторяемости слоистых облаков очень незначительны, летом они составляют единичные случаи по всем приведенным станциям. Слоисто-кучевые облака в это время года наблюдаются несколько чаще, но как на станциях, указанных в табл. 2, так и на всех остальных, которые указаны на карте (рис. 1), абсолютная повторяемость их не превосходит 10%.

Суммарная абсолютная повторяемость всех слоистообразных облаков с апреля по сентябрь составляет менее 20% и только в октябре достигает 20% и более.

Учитывая, что повторяемость рассматриваемых облаков в теплое время года незначительна и что с апреля по октябрь эти облака по температурному режиму редко пригодны для активных воздействий, в дальнейшем будем приводить их характеристики только для холодного периода (ноябрь—март).

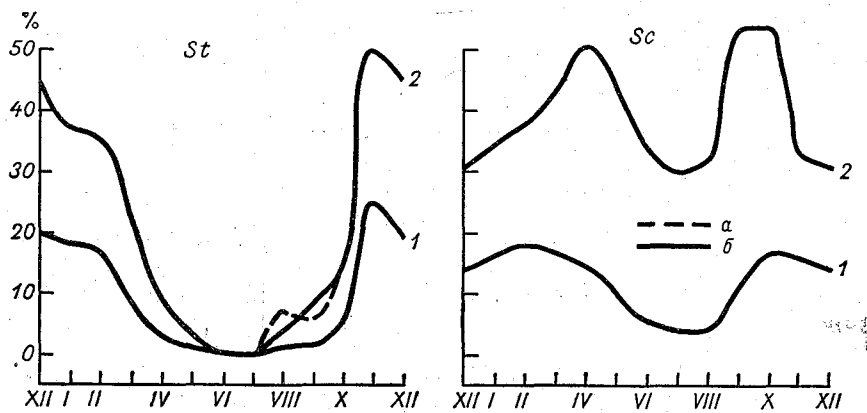


Рис. 3. Годовой ход абсолютной (1) и относительной (2) повторяемости слоистообразных облаков. Днепропетровск.
Усл. обозначения см. рис. 2.

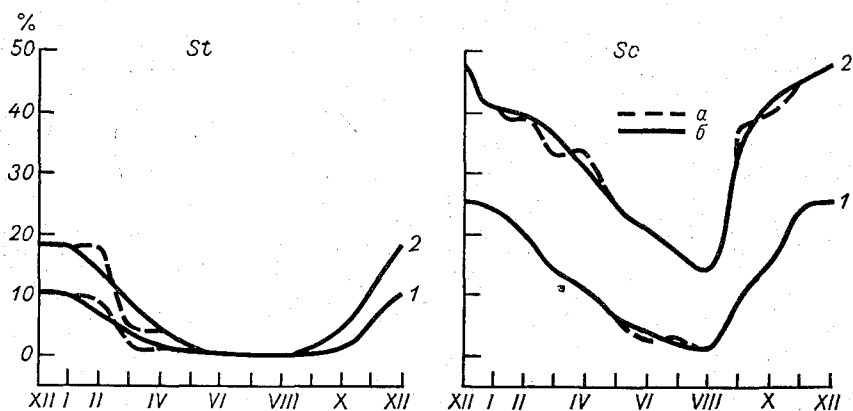


Рис. 4. Годовой ход абсолютной (1) и относительной (2) повторяемости слоистообразных облаков. Гигант.
Усл. обозначения см. рис. 2.

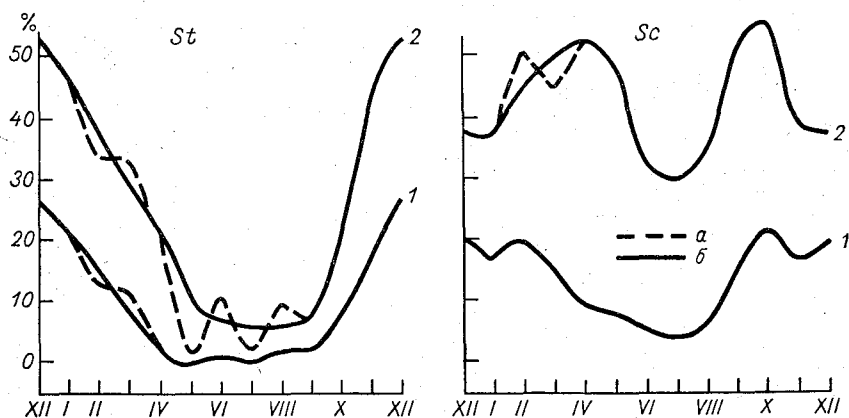


Рис. 5. Годовой ход абсолютной (1) и относительной (2) повторяемости слоистообразных облаков. Пенза.
Усл. обозначения см. рис. 2.

Таблица 2

Относительная (р) и абсолютная (а) повторяемости (%) 10 баллов St и Sc

Станция	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	р		а		р		а		р		а		р		а		р		а		р		а	
	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а	р	а
St																								
Куйбышев	30	14	18	7	23	8	6	1	2	0	1	0	3	1	0	0	1	0	3	9	23	9	30	15
Волгоград	50	23	41	16	32	13	12	2	8	1	8	1	3	0	3	0	13	2	20	7	35	16	47	21
Минеральные Воды	58	27	47	21	37	15	19	6	9	2	1	0	1	0	3	0	22	6	30	9	60	34	59	28
Харьков	35	20	24	12	15	7	12	3	3	1	3	1	3	1	4	1	8	2	13	4	41	24	44	27
Кировоград	42	21	36	17	21	7	9	3	6	1	2	0	0	0	3	0	6	1	11	3	44	23	43	18
Sc																								
Куйбышев	36	16	49	20	46	15	62	13	47	10	42	9	44	10	52	12	65	22	63	23	54	22	43	22
Волгоград	21	10	30	12	39	16	51	9	40	6	36	4	19	2	37	4	52	10	51	17	42	20	24	11
Минеральные Воды	19	9	20	9	27	11	36	11	31	7	20	2	19	3	21	2	38	10	39	12	21	12	17	8
Харьков	37	21	48	25	47	21	43	13	22	5	17	3	20	3	22	3	40	9	52	17	39	22	32	19
Кировоград	36	18	35	17	46	16	46	14	39	8	35	4	28	4	33	4	46	9	58	18	34	18	33	14
St и Sc																								
Куйбышев	66	30	67	27	69	23	68	14	49	10	43	9	47	11	52	12	66	22	72	26	77	31	73	37
Волгоград	71	33	71	28	71	29	63	11	48	7	44	5	22	2	40	4	65	12	71	24	77	36	71	32
Минеральные Воды	77	35	67	30	64	26	55	17	40	9	21	2	20	3	24	2	60	16	69	21	81	46	76	36
Харьков	72	41	72	37	63	28	55	16	25	6	20	4	24	4	26	4	48	11	65	21	80	46	76	46
Кировоград	77	39	71	34	67	23	55	17	45	9	37	4	28	4	36	4	52	10	69	21	78	41	76	32

В табл. 3 даны осредненные значения относительной и абсолютной повторяемости для всего холодного периода.

Таблица 3

Относительная (p) и абсолютная (a) повторяемости (%) слоистообразных облаков за холодный период

Станция	St		Sc		St, Sc		P_n
	p	a	p	a	p	a	
Казань	19	10	24	12	43	22	51
Пенза	42	18	42	18	84	36	43
Тамбов	24	14	43	25	67	39	58
Куйбышев	25	10	45	19	70	29	41
Саратов	37	13	34	12	71	25	35
Урюпинск	26	14	36	19	62	33	53
Харьков	32	18	40	22	72	40	56
Александров Гай	19	9	45	21	64	30	47
Винница	25	10	50	22	75	32	42
Кировоград	37	17	37	17	74	34	46
Днепропетровск	39	17	36	16	75	33	44
Луганск	37	21	27	15	64	36	56
Волгоград	41	18	32	14	73	32	44
Ростов-на-Дону	31	16	45	23	76	39	52
Гигант	14	7	42	22	56	29	51
Минеральные Воды	52	25	21	10	73	35	48

На основании данных табл. 2 и 3 можно характеризовать распределение слоистых и слоисто-кучевых облаков в засушливой части ЕТС.

Относительная повторяемость слоистых облаков, как правило, наибольшая в самые холодные месяцы — в декабре и январе и лишь на отдельных станциях она больше в ноябре. Относительная повторяемость слоисто-кучевых облаков наибольшая в ноябре или марте, она несколько меньше в самые холодные (зимние) месяцы. По относительной повторяемости слоистых и слоисто-кучевых облаков видно, что они преобладают над другими формами облаков в течение всего холодного периода. Наиболее очевидно их преобладающее значение в облачном покрове с ноября по январь, когда слоистообразные облака составляют более 70%, но по большинству станций оно достаточно хорошо выражено и в среднем за холодный период (табл. 3). Таким образом, по повторяемости эти формы облачности являются благоприятным объектом для активных воздействий.

Абсолютная повторяемость слоистых облаков в большинстве пунктов меньше, чем повторяемость слоисто-кучевых. Общая (суммарная) повторяемость тех и других облаков колеблется по всей территории в пределах 25—40% (если исключить самую северную станцию Казань, находящуюся за границей зоны недостаточного увлажнения по районированию М. И. Будыко и А. А. Григорьева). На значениях этих повторяемостей сказываются физико-географические особенности расположения отдельных станций, которые влияют на образование слоистых облаков; частично же расхождения между повторяемостями объясняются ошибкой расчета, обусловленной ошибками наблюдений, особенно в ночное время.

Характеризуя большие пространства, охватываемые слоистообразными облаками, можно с достаточной надежностью принять абсолютную повторяемость слоистообразных облаков над рассматриваемой засушли-

вой территорией равной ее среднему значению для всей территории, т. е. около 33—35%. Отклонение повторяемости, вычисленной для каждого пункта, от ее среднего значения по территории не превышает 7%.

Таким образом, около 10 дней каждого холодного месяца в зоне недостаточного увлажнения наблюдаются слоистообразные облака, причем число этих дней несколько больше в первую половину холодного периода (в ноябре, декабре) и меньше в конце периода. В марте абсолютная вероятность наличия слоистообразных облаков по данным некоторых станций менее 20%.

Пользуясь значениями абсолютной и относительной повторяемости слоистых и слоисто-кучевых облаков, можно рассчитать повторяемость всей нижней облачности в количестве 10 баллов.

Нетрудно показать, что эта повторяемость (p_n) равна абсолютной повторяемости слоистообразных облаков (или одной из этих форм), деленной на относительную повторяемость тех же облаков.

Действительно,

$$p_n = \frac{N_1}{N},$$

где N_1 — число наблюдений при пасмурном небе (10 баллов), N — общее число наблюдений.

Относительная повторяемость слоистообразных облаков

$$p = \frac{n_1}{N_1},$$

где n_1 — число наблюдений при наличии слоистообразных облаков.

Абсолютная повторяемость этих облаков

$$a = \frac{n_1}{N},$$

или

$$a = \frac{n_1}{N_1} \frac{N_1}{N} = p p_n.$$

Отсюда

$$p_n = \frac{a}{p}.$$

В последней графе табл. 3 приводятся повторяемости p_n . Они указывают, насколько увеличивается возможность активных воздействий при учете всех облаков нижнего яруса.

Эти повторяемости меньше, чем повторяемости пасмурного неба, получаемые по многолетним климатическим данным, так как последние рассчитываются при количестве облачности 8—10 баллов и включают в себя дни, когда облака не видны из-за туманов и метелей.

Среднее значение вероятности нижней облачности по всей рассматриваемой территории близко к 50%, т. е. половину дней всего холодного периода в какой-то из сроков наблюдений или в несколько сроков подряд наблюдаются облака нижнего яруса в количестве 10 баллов.

§ 2. Суточный ход повторяемости слоистообразных облаков

Одной из важных характеристик облачности является ее суточный ход. Применительно к изучаемой проблеме эта характеристика также является ценной, так как, зная особенности распределения облаков в различные сроки наблюдений, можно сделать выводы о том, в какую

Таблица 4
Суточный ход относительной повторяемости (%) слоистообразных облаков по месяцам и за холодный период (ноябрь—март)

Станция	Срок наблюдения (часы)												Среднее						
	XI			XII			I			II				III					
	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19		1	7	13	19	1	7

St																								
Казань	24	30	32	36	18	21	23	23	15	20	21	17	14	28	20	16	8	24	22	5	16	25	24	20
Пенза	35	47	48	42	46	52	69	47	45	43	54	43	34	36	42	24	22	47	35	32	36	45	50	38
Тамбов	26	30	33	21	32	27	30	33	23	25	25	23	17	19	20	24	14	17	14	13	23	24	24	23
Куйбышев	21	21	25	24	18	29	45	25	29	19	42	34	12	16	32	14	19	18	29	29	20	21	35	25
Саратов	34	36	38	36	39	36	38	45	30	40	46	41	38	34	39	36	34	30	35	26	35	35	39	37
Урюпинск	23	32	33	25	33	32	38	40	28	26	35	31	15	17	30	21	8	20	16	7	22	26	30	25
Харьков	42	46	39	38	41	44	44	45	34	34	43	29	22	28	25	20	19	23	9	10	31	35	32	29
Александров Гай	11	8	20	11	28	24	28	22	14	19	29	19	22	23	24	28	11	18	17	20	17	18	24	20
Винница	26	40	35	28	15	20	35	26	28	26	39	24	17	22	37	26	8	27	19	12	19	27	33	23
Кировград	41	44	49	41	41	41	46	46	42	35	52	38	39	42	35	28	18	27	25	14	36	38	42	33
Днепропетровск	44	54	55	48	41	47	54	39	30	40	46	32	37	40	36	33	25	28	23	23	35	42	43	35
Луганск	36	41	40	36	50	46	47	60	38	41	42	44	33	36	40	33	25	34	26	15	36	40	39	38
Волгоград	34	37	40	35	47	42	57	43	43	47	53	55	45	40	45	33	31	32	33	33	40	39	46	42
Ростов-на-Дону	30	32	34	22	37	34	44	34	37	46	49	37	26	31	31	25	20	24	21	13	30	33	36	26
Гигант	7	18	15	7	15	20	21	7	16	15	21	18	16	18	20	18	4	9	3	2	12	16	16	11
Минеральные Воды	64	66	60	49	60	57	59	62	58	60	54	57	46	49	51	43	32	39	43	34	52	54	53	49

Sc																								
Казань	36	25	21	23	32	20	15	20	26	22	14	19	30	10	21	23	40	31	17	34	33	22	18	25
Пенза	49	44	32	37	47	38	19	46	37	38	29	43	57	45	42	65	56	33	45	49	49	39	33	48
Тамбов	44	40	37	43	34	37	34	39	49	49	36	45	50	47	39	47	53	50	44	57	46	45	38	46
Куйбышев	50	57	41	58	49	43	30	51	33	44	24	41	55	43	42	56	48	52	38	44	49	48	35	50

Саратов	37	40	39	44	30	44	28	33	31	29	18	23	28	38	26	35	37	37	39	37	32	37	30	34
Урюпинск	43	36	37	40	31	30	25	28	37	34	23	33	42	37	34	37	52	39	34	44	41	35	31	36
Харьков	41	37	34	44	37	36	23	33	40	34	30	46	52	45	40	54	58	37	40	56	46	38	33	46
Александров Гай	63	62	49	67	45	52	34	44	47	49	34	50	49	46	31	41	55	46	22	33	52	51	34	46
Винница	58	44	40	57	66	63	37	52	54	49	42	48	55	53	26	46	60	43	39	60	59	50	36	53
Кировоград	31	30	30	45	34	32	28	37	33	37	24	45	35	31	33	42	58	43	35	56	38	36	30	45
Днепропетровский	38	29	28	38	26	30	35	33	45	30	33	32	39	38	34	42	50	43	37	50	39	34	33	39
Луганск	37	34	25	45	25	22	32	21	24	20	17	23	35	24	24	44	26	30	24	42	29	26	24	35
Волгоград	42	36	39	51	21	26	20	28	26	24	16	19	32	35	26	27	36	38	40	42	31	32	28	33
Ростов-на-Дону	48	49	52	59	39	37	32	44	43	29	28	40	48	40	48	50	52	42	51	57	46	39	42	50
Гигант	49	42	40	52	49	48	40	56	41	44	31	48	44	40	32	44	41	35	21	37	45	42	33	47
Минеральные Воды	20	14	20	30	17	20	18	12	23	14	15	22	22	25	17	19	33	24	25	27	23	19	19	22

St и Sc

Казань	60	55	53	59	50	41	38	53	41	42	35	36	44	38	41	39	48	55	39	39	49	47	42	45
Пенза	84	81	80	79	93	90	88	93	82	81	83	86	91	81	84	89	78	80	80	81	85	84	83	86
Тамбов	70	70	70	64	66	64	64	72	72	74	71	66	67	66	59	71	67	67	58	70	69	69	62	69
Куйбышев	81	78	66	82	67	72	75	76	62	63	66	75	67	59	74	70	67	70	67	73	67	69	70	75
Саратов	71	76	77	80	69	80	66	78	61	69	64	64	66	72	65	71	71	67	74	63	69	72	69	71
Урюпинск	66	68	70	65	64	62	63	68	65	60	58	64	57	54	64	58	60	59	50	51	63	61	61	61
Харьков	83	83	73	82	78	80	67	78	74	68	73	75	74	73	65	74	77	69	49	66	77	73	55	75
Александров Гай	74	70	69	72	73	76	62	66	61	68	63	69	71	69	55	69	66	64	39	53	69	69	58	66
Винница	84	84	75	85	81	83	72	78	82	75	81	72	72	75	63	72	68	70	58	72	78	77	69	76
Кировоград	72	74	79	86	75	73	74	83	75	72	76	83	74	73	68	70	76	70	60	70	74	74	72	78
Днепропетровский	82	83	83	86	67	77	89	72	75	70	79	64	76	78	70	75	75	71	60	73	74	76	76	74
Луганск	73	75	65	81	75	68	79	81	62	61	59	67	68	60	64	77	51	64	50	57	65	66	63	73
Волгоград	76	73	79	86	68	67	77	71	69	71	69	74	77	75	71	60	67	70	73	75	71	71	74	75
Ростов-на-Дону	78	81	86	81	76	71	76	78	80	75	77	77	74	71	79	75	72	66	72	70	76	72	78	76
Гигант	56	60	55	57	64	68	61	63	57	59	52	66	60	58	52	62	45	44	24	39	57	58	49	58
Минеральные Воды	84	80	80	79	77	77	77	74	81	74	69	79	68	74	68	62	65	63	68	61	75	73	72	71

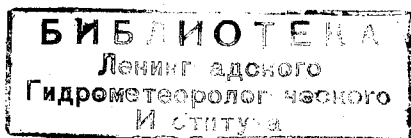
Таблица 5
Суточный ход абсолютной повторяемости (%) слоистообразных облаков по месяцам и за холодный период (ноябрь—март)

Станция	X				XI				XII				Срок наблюдения (часы)												III				Среднее			
	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19				
St																																
Казань	6	5	4	3	13	15	14	17	10	13	12	12	9	13	10	10	6	17	10	7	3	10	7	2	8	14	11	9				
Пенза	8	9	8	3	14	19	20	19	23	28	33	25	23	20	20	21	13	17	15	8	8	19	9	9	16	21	19	16				
Тамбов	5	5	3	5	15	17	17	11	23	19	20	23	15	17	16	15	10	11	11	12	7	9	6	6	14	15	14	13				
Куйбышев	3	4	4	2	9	9	9	9	10	14	24	12	14	9	17	15	5	7	12	6	7	7	8	8	9	9	14	10				
Саратов	5	7	6	6	12	15	15	13	18	17	18	21	17	19	18	18	15	14	11	13	11	10	9	7	15	15	14	14				
Урюпинск	0	3	4	0	12	18	15	12	24	23	24	25	17	17	17	18	8	10	14	11	4	10	4	2	13	16	15	14				
Харьков	4	6	5	2	23	26	24	23	23	26	29	28	19	22	23	15	12	15	12	10	8	9	4	5	17	19	18	16				
Александров Гай	1	1	1	2	5	4	7	5	17	15	15	12	7	11	15	9	9	11	9	11	5	7	6	7	8	9	10	9				
Винница	2	6	5	4	15	19	17	15	6	9	13	13	14	14	13	11	8	10	14	12	3	10	7	5	9	12	13	11				
Кировград	3	5	2	2	21	23	27	20	17	20	21	16	22	19	27	18	19	21	16	13	6	9	8	5	17	18	20	15				
Днепропетровск	4	6	6	3	18	25	29	25	20	22	23	17	13	18	21	16	16	21	18	15	7	10	10	9	15	19	20	16				
Луганск	6	7	6	4	19	23	23	19	35	27	25	32	23	25	25	24	19	20	21	16	10	15	11	6	21	22	21	18				
Волгоград	5	10	8	4	14	18	20	15	21	21	24	20	21	23	24	26	16	17	17	12	11	13	15	13	17	18	20	17				
Ростов-на-Дону	3	6	4	3	15	18	18	11	21	20	26	19	20	25	29	22	13	14	15	13	7	9	9	5	15	17	19	14				
Гигант	1	2	0	1	3	11	8	4	8	11	12	9	9	9	12	11	8	11	9	8	1	4	1	1	6	9	8	6				
Минеральные Воды	10	13	8	6	40	35	36	26	30	28	27	26	30	28	27	30	21	23	22	19	14	17	15	13	27	26	25	23				
Sc																																
Казань	25	20	13	21	20	13	9	10	18	12	8	11	16	15	7	11	13	6	11	11	16	13	6	12	17	12	8	11				
Пенза	22	19	24	23	19	18	13	17	23	21	9	25	19	18	11	21	22	21	15	22	20	13	12	15	21	18	12	21				
Тамбов	29	28	23	32	24	22	19	22	24	27	22	27	32	33	23	29	28	28	20	24	29	26	18	28	28	27	22	26				
Куйбышев	29	19	19	26	27	25	15	21	25	21	16	25	16	21	10	18	22	18	16	23	17	19	10	12	21	21	14	20				

Саратов	15	14	18	12	14	17	15	16	14	21	13	15	15	14	7	10	11	15	8	13	12	13	10	9	13	16	11	13
Урюпинск	24	22	19	28	23	21	17	20	22	21	16	18	22	22	12	20	22	21	16	19	24	18	9	14	23	21	16	20
Харьков	16	18	17	19	22	20	20	27	21	21	15	21	23	22	16	23	28	25	19	27	24	15	18	26	24	21	18	25
Александров Гай	22	22	17	22	27	29	18	24	27	31	18	24	27	28	17	24	21	21	12	16	24	18	8	11	25	26	15	20
Винница	27	16	18	26	32	21	19	29	28	29	14	25	26	26	14	23	26	25	10	21	24	16	15	22	27	23	14	24
Кировоград	21	15	16	18	16	16	13	15	20	12	14	15	14	19	13	15	16	17	15	19	17	14	12	21	17	16	13	20
Днепропетровск	15	20	16	19	16	13	15	20	12	14	15	14	19	13	15	16	17	20	17	19	14	16	16	19	16	15	16	18
Луганск	20	20	18	19	20	19	14	24	17	13	18	11	14	12	9	12	20	13	13	17	11	13	10	12	16	14	13	16
Волгоград	11	18	17	20	18	18	19	25	9	12	8	13	13	12	7	9	12	15	10	10	12	16	18	17	13	15	12	15
Ростов-на-Дону	14	18	22	18	23	28	29	30	22	21	19	24	24	16	17	23	24	17	23	25	18	17	23	22	22	20	22	25
Гигант	14	19	11	14	24	24	23	28	26	26	22	29	22	26	18	28	21	23	15	20	15	14	11	18	22	23	18	25
Минеральные Воды	11	11	14	12	12	8	12	17	8	10	8	6	11	7	6	10	10	12	7	8	15	11	9	11	11	9	9	10

St и Sc

Казань	31	25	22	24	33	28	23	27	28	25	20	23	25	28	17	21	19	23	21	18	19	23	13	14	25	26	19	20
Пенза	30	28	32	28	33	37	33	36	46	49	42	50	42	38	31	42	35	38	30	30	28	32	21	24	37	39	31	37
Тамбов	34	33	26	37	39	39	36	33	47	46	42	50	47	50	39	44	38	39	31	36	36	35	24	34	42	42	36	39
Куйбышев	32	23	23	28	36	34	24	30	35	35	40	37	30	30	27	33	27	25	28	29	24	26	18	20	30	30	28	30
Саратов	20	21	24	18	26	32	30	29	32	38	31	36	32	33	25	28	26	29	19	26	23	23	19	16	28	31	25	27
Урюпинск	24	25	23	28	35	39	32	32	46	44	40	43	39	39	29	38	30	31	30	30	28	28	13	16	36	37	31	34
Харьков	20	24	22	21	45	46	44	50	44	47	44	49	42	44	39	38	40	40	31	37	32	24	22	31	41	40	36	41
Александров Гай	23	23	18	24	32	33	25	29	44	46	33	36	34	39	32	33	30	32	21	27	29	25	14	18	33	35	25	29
Винница	29	22	23	30	47	40	36	44	34	38	27	38	40	40	27	34	34	35	24	33	27	26	22	27	36	35	27	35
Кировоград	24	20	18	20	37	39	43	43	31	36	33	31	40	39	39	39	36	36	31	32	23	23	20	26	34	34	33	35
Днепропетровск	19	26	22	22	34	38	44	45	32	36	38	31	32	31	36	32	33	41	35	34	21	26	26	28	31	34	36	34
Луганск	26	27	24	23	39	42	37	43	52	40	43	43	37	37	34	36	39	33	34	33	21	28	21	18	37	36	34	34
Волгоград	16	28	25	24	32	36	39	40	30	33	32	33	34	35	31	35	28	32	27	22	23	29	33	30	30	33	32	32
Ростов-на-Дону	17	24	26	21	38	46	47	41	43	41	45	43	44	41	46	45	37	31	38	38	25	26	32	27	37	37	41	39
Гигант	15	21	11	15	27	35	31	32	34	37	34	38	31	35	30	39	29	34	24	28	16	18	12	19	28	32	26	31
Минеральные Воды	21	24	22	18	52	43	48	43	38	38	35	32	41	35	33	40	31	35	29	27	29	28	24	24	38	35	34	33



часть суток чаще наблюдаются условия, благоприятные для активных воздействий на облака.

Суточный ход повторяемости пасмурного неба в зоне недостаточного увлажнения ЕТС изучался по данным наблюдений всех 16 метеорологических станций, указанных на карте (см. рис. 1).

Рассчитана как относительная, так и абсолютная повторяемость пасмурного неба (10 баллов) за каждый срок при наличии или преобладании слоистых облаков и при наличии или преобладании слоисто-кучевых облаков отдельно. Результаты этих расчетов приведены в табл. 4 и 5.

В табл. 5 абсолютные повторяемости приводятся с октября по март, но осредненные повторяемости, так же как и в табл. 4, даны для периода ноябрь — март, так как в октябре над рассматриваемой нами территорией слоистообразные облака редко бывают переохлажденными, а поэтому малопригодны для вызывания из них осадков.

На рис. 6—8 для нескольких станций приводится годовой ход абсолютной повторяемости St и Sc по срокам.

Из табл. 4 видно, что максимум относительной повторяемости слоистых облаков в среднем за холодный период почти на всех станциях приходится на дневные часы, но он выражен слабо. В некоторых пунктах в отдельные месяцы наблюдался сдвиг максимума повторяемости на другие сроки (на вечерний срок, преимущественно в декабре, на утренний — в марте). Эти максимальные значения повторяемости отличаются от значений повторяемости в дневные часы, как правило, незначительно. Хотя отличие максимальной повторяемости в один из сроков за весь холодный период от повторяемостей в другие ближайшие сроки не является существенным (особенно оно мало в районе Тамбова и Саратова), но в отдельных пунктах максимальная повторяемость отличается от минимальной на 10—15%.

Максимум относительной повторяемости слоисто-кучевых облаков, как правило, наблюдается в ночные или вечерние часы, что характерно для каждого месяца, а поэтому и для всего холодного периода в целом по каждой из рассматриваемых станций. Различие между повторяемостями в ночные и вечерние часы по данным отдельных станций небольшое (не более 7%), а на некоторых станциях эти повторяемости равны. В суточном ходе различия между максимальной и минимальной повторяемостями колеблются от 4—5% (Минеральные Воды, Волгоград) до 23% (Винница).

Суммарная относительная повторяемость слоистообразных облаков (St, Sc) за весь холодный период указывает на абсолютное преобладание их на всех станциях и во все сроки наблюдений. Исключение составляет самый северный район засушливой зоны (метеорологическая станция Казань), где наибольшая повторяемость слоистообразных облаков (в ночные часы) не превышает 50%. Здесь только в ноябре St, Sc преобладают над другими формами облаков и в дневные часы в марте.

Суточный ход относительной повторяемости в отдельные месяцы по наблюдениям почти всех станций выражен слабо. Разница в величине повторяемостей за различные сроки, как правило, не превышает 10% (исключение составляют Волгоград, февраль; Гигант, март). Суточный ход за весь холодный период еще более сглажен. Однако можно отметить, что повторяемость этих облаков, по данным большинства станций, наименьшая в дневные часы.

Из табл. 5 видно, что в каждом из рассматриваемых месяцев по всей территории (по данным всех станций) величина абсолютной повторяемости пасмурного неба по слоистой облачности мало меняется в зависимости от времени суток. Некоторое увеличение повторяемости этих

облаков наблюдается в утренние часы, а на некоторых станциях в дневные часы и только в Минеральных Водах с ноября по январь — ночью.

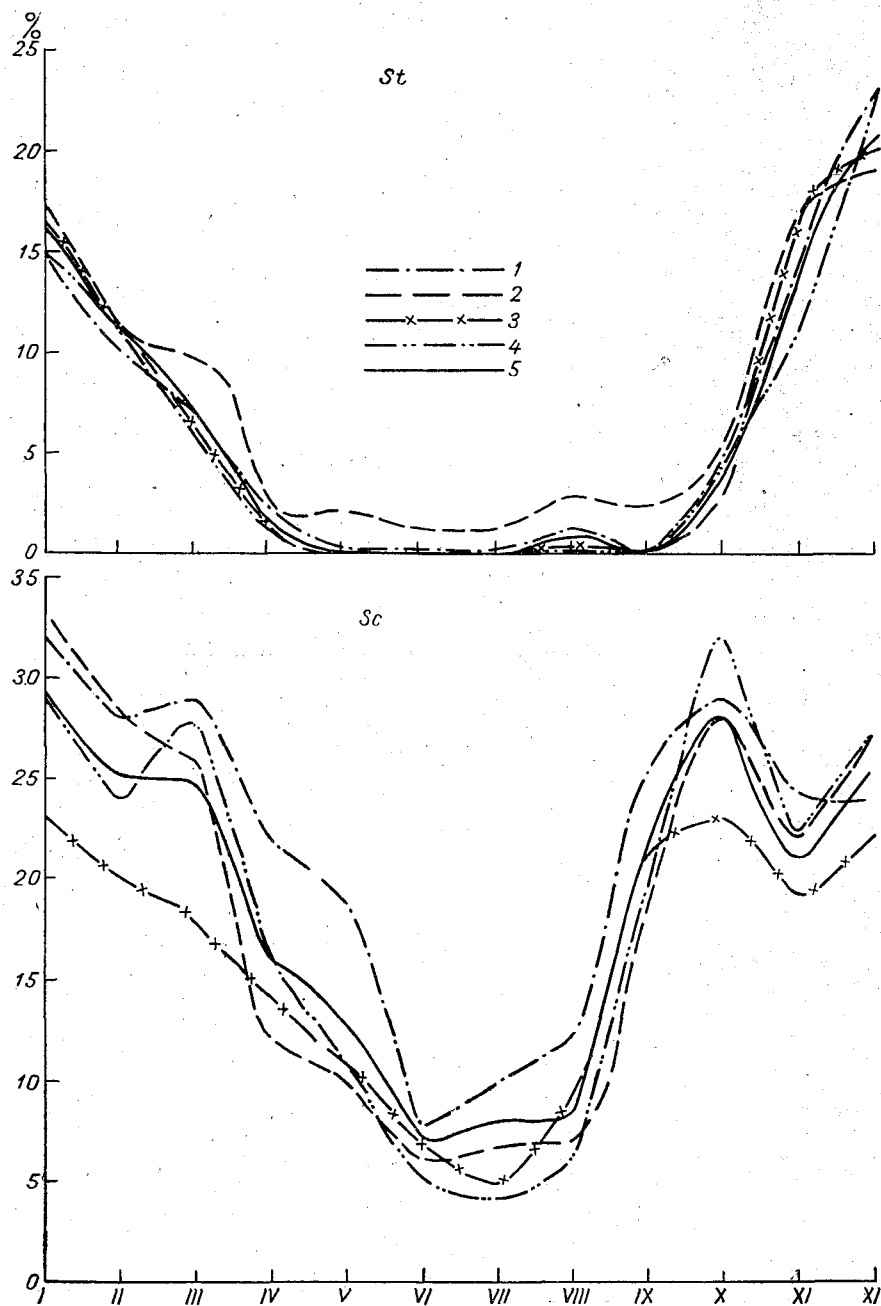


Рис. 6. Годовой ход абсолютной повторяемости слоистообразных облаков в различные часы суток. Тамбов.

1 — 1 час, 2 — 7 час., 3 — 13 час., 4 — 19 час., 5 — средняя из четырех сроков.

Однако различие в повторяемостях в разные сроки наблюдений не превосходит 5—6%. Амплитуда суточных колебаний повторяемости за весь холодный период в целом еще меньше.

Слоисто-кучевые облака над большинством станций чаще наблюдаются ночью или утром, а над некоторыми станциями Украины и Се-

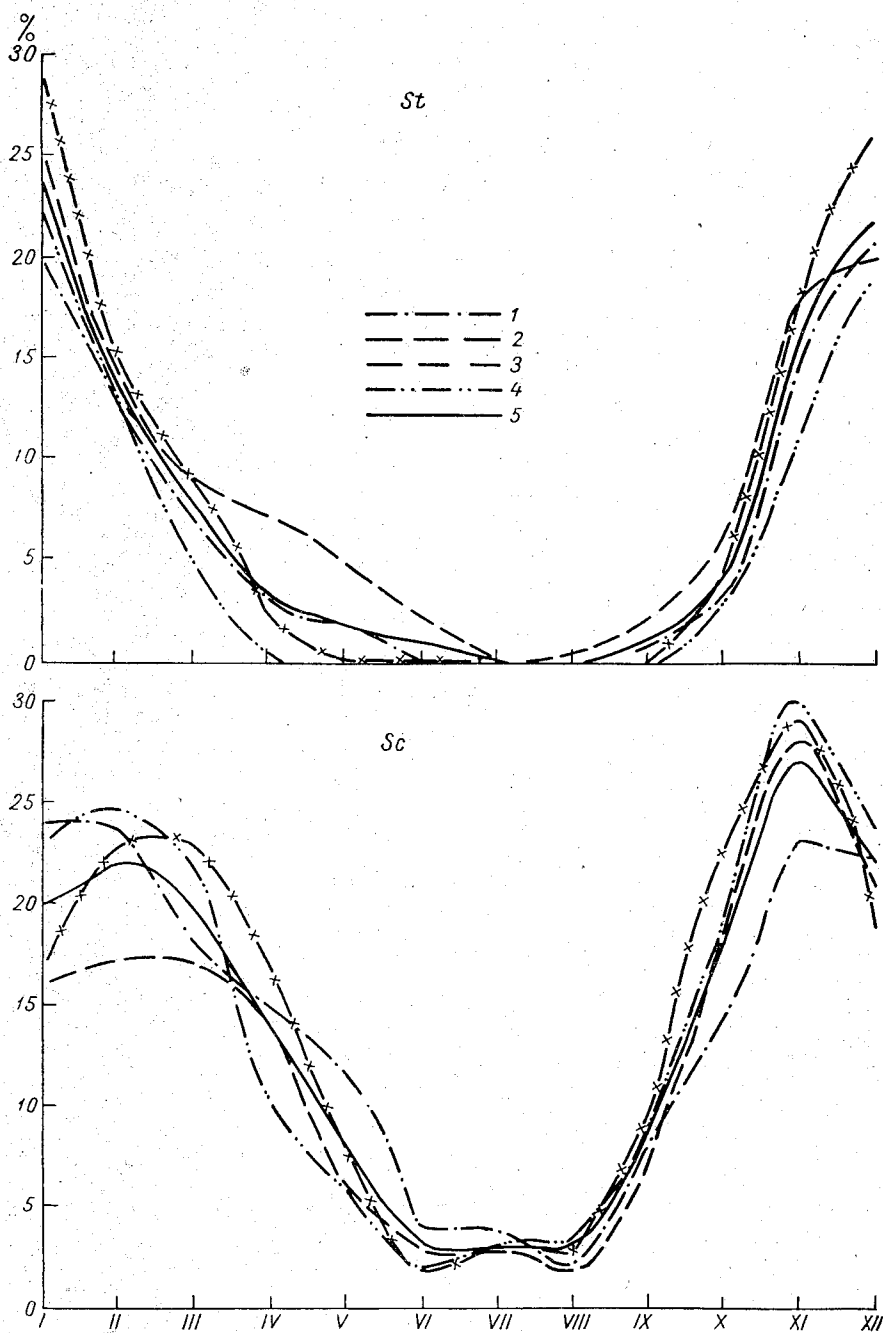


Рис. 7. Годовой ход абсолютной повторяемости слоистообразных облаков в различные часы суток. Ростов.
Усл. обозначения см. рис. 6.

верного Кавказа — вечером. Наименее четко увеличение абсолютной повторяемости слоисто-кучевых облаков в вечерние часы выражено

в ноябре, однако это увеличение составляет не более 6—7% по сравнению с другими сроками наблюдений. Величины повторяемости в разные

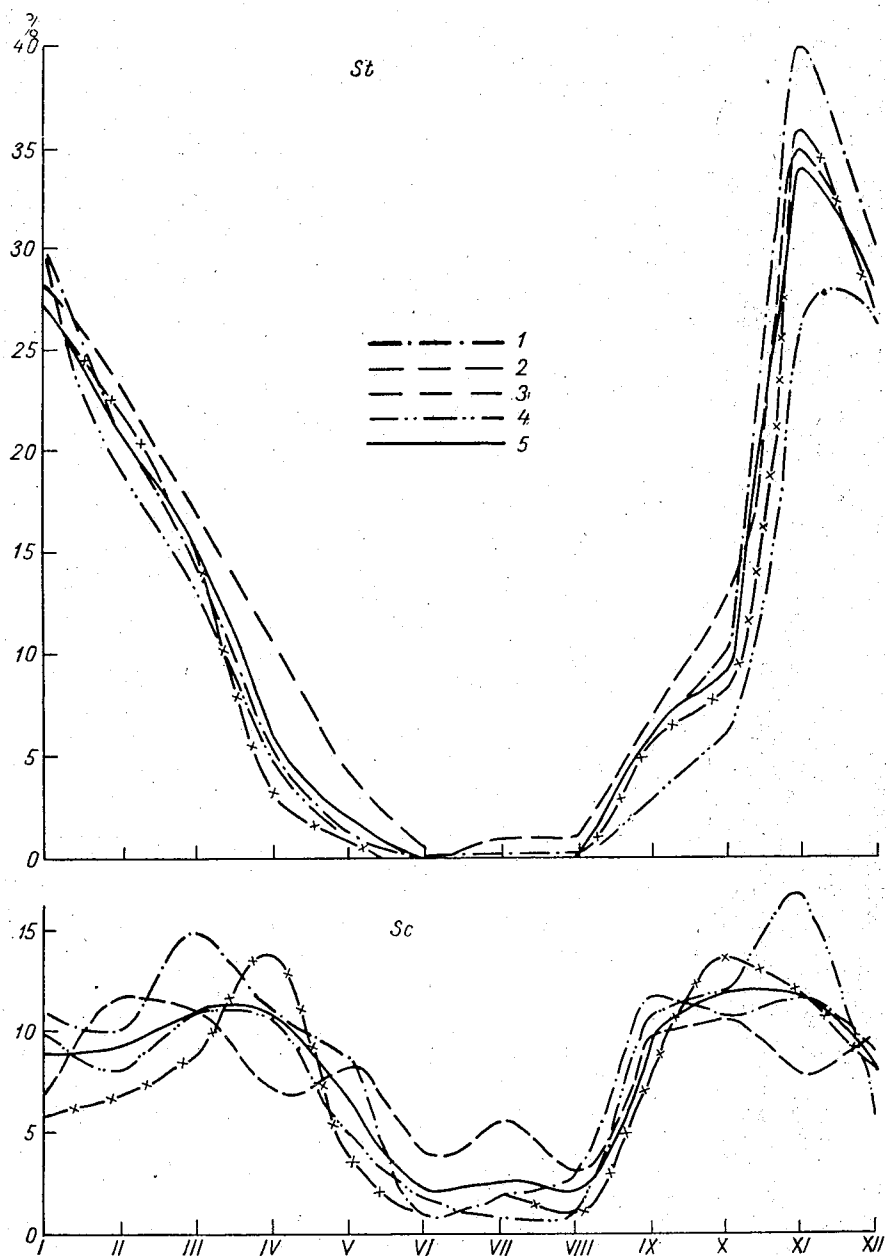


Рис. 8. Годовой ход абсолютной повторяемости слоистообразных облаков в различные часы суток. Минеральные Воды.

Уел. обозначения см. рис. 6.

сроки наблюдений за весь холодный период различаются мало, но максимум повторяемости довольно отчетливо выявляется преимущественно в ночные часы, а иногда и в вечерние.

Наиболее существенно различаются абсолютные повторяемости в каждый из сроков наблюдений в пунктах, расположенных в различных географических условиях. Метеорологические станции Казань, Куйбышев, Винница, Александров Гай и Гигант редко отмечали слоистые облака ночью — в 6—9% случаев, т. е. не более чем 2—3 раза в месяц, а в районе Минеральных Вод они наблюдались в 27% случаев, т. е. не менее чем 8 раз в месяц. Слоисто-кучевые облака, наоборот, в Минеральных Водах ночью наблюдались редко, а максимальная их повторяемость отмечалась на станциях Александров Гай и Тамбов.

Суммарная абсолютная повторяемость слоистообразных облаков в большинстве пунктов наблюдалась в утренние часы. Значения ее находятся в пределах 26—42%, а минимальная повторяемость составляет 20—35%. Разности между максимальной и минимальной повторяемостью колеблются от 3 до 10%, но на большинстве станций они не превосходят 5—6%. Примерно такого порядка разности отмечаются и в каждом месяце.

§ 3. Продолжительность непрерывного существования облаков

Многочисленные опыты по активным воздействиям на облака, проводившиеся ГГО и УкрНИГМИ, а также расчеты, основанные на тщательном изучении облаков, показали, что из слоистообразных облаков, наблюдавшихся над какой-то территорией непродолжительное время, нельзя получить существенного количества осадков. Так, например, И. П. Половина (1965) при обработке материалов наблюдений по активным воздействиям исключает случаи, когда облака наблюдались менее 6 час., считая что они непригодны для воздействий.

Ю. П. Сумин (1967), рассчитывая влагозапасы и возможное количество осадков из облаков, наблюдавшихся в холодный период над северной частью Казахстана, пришел к выводу, что активно воздействовать на облака, существующие менее 12—13 час., нецелесообразно, так как они, как правило, характеризуются небольшой водностью и имеют меньшую мощность, чем облака, существующие более продолжительное время.

Отсюда следует, что продолжительность существования облаков той или иной формы является очень ценной характеристикой при оценке эффективности активных воздействий на них с целью вызывания осадков. Она может быть полезной и при оценке эффективности активных воздействий на облака с целью их рассеивания. Весьма существенную помощь эта характеристика облачности может оказать при обеспечении метеорологическими данными гражданской авиации.

Повторяемость различной продолжительности существования облаков. Расчет продолжительности существования облаков отдельных форм по данным четырехсрочных метеорологических наблюдений затруднителен, так как в ряде случаев между сроками наблюдений облака одной формы сменяются облаками другой формы. Кроме того, нередко наблюдаются облака нескольких форм одновременно. Поэтому проще рассчитать повторяемость различной продолжительности существования облаков нижнего яруса без выделения форм. Эти данные представлены в табл. 6 для каждого холодного месяца, а в табл. 7 для всего холодного периода (ноябрь — март).

Таблицы рассчитаны по наблюдениям 14 станций, достаточно хорошо характеризующих рассматриваемую территорию. Продолжительность существования облаков выражена числом сроков наблюдений,

Таблица 6

Повторяемость (%) продолжительности непрерывного существования облаков
нижнего яруса 10 баллов

Месяц	Продолжительность существования облаков					Общее число слу- чаев
	1 срок	2 срока	3 срока	4 срока	> 4 сроков	
Казань						
Ноябрь	37	17	13	7	26	93
Декабрь	29	18	10	8	35	63
Январь	35	15	4	14	32	83
Февраль	43	13	8	7	29	73
Март	57	21	8	5	9	100
Пенза						
Ноябрь	40	16	15	4	25	97
Декабрь	37	13	11	8	31	95
Январь	39	19	8	8	26	107
Февраль	46	21	7	2	24	95
Март	42	22	11	7	18	85
Тамбов						
Ноябрь	27	20	14	5	34	87
Декабрь	26	6	15	11	42	84
Январь	26	20	11	3	40	115
Февраль	30	18	12	10	30	73
Март	36	19	8	8	29	104
Куйбышев						
Ноябрь	35	22	16	7	20	86
Декабрь	32	18	10	12	29	106
Январь	38	22	8	8	24	102
Февраль	41	23	11	5	20	94
Март	38	17	19	5	21	84
Саратов						
Ноябрь	29	26	9	7	29	86
Декабрь	29	18	10	8	35	77
Январь	37	14	9	7	33	98
Февраль	32	18	14	2	34	85
Март	27	21	14	11	27	79
Урюпинск						
Ноябрь	41	9	7	5	38	77
Декабрь	12	11	11	10	56	71
Январь	29	19	9	6	37	85
Февраль	43	7	10	6	34	72
Март	36	17	14	8	25	82
Харьков						
Ноябрь	27	10	6	7	50	69
Декабрь	30	11	6	8	45	66
Январь	33	12	10	9	36	92
Февраль	36	13	8	6	37	82
Март	32	15	8	14	31	82

Месяц	Продолжительность существования облаков					Общее число слу- чаев
	1 срок	2 срока	3 срока	4 срока	> 4 сроков	

Александров Гай

Ноябрь	33	22	14	5	26	96
Декабрь	35	12	6	7	40	84
Январь	31	23	9	4	33	100
Февраль	35	17	19	1	28	79
Март	39	26	14	7	14	83

Кировоград

Ноябрь	33	13	5	13	36	74
Декабрь	42	11	7	7	33	82
Январь	35	10	14	11	30	86
Февраль	36	17	12	7	28	76
Март	44	22	10	8	16	77

Днепропетровск

Ноябрь	38	19	6	3	34	77
Декабрь	34	14	8	8	36	77
Январь	31	13	13	9	34	88
Февраль	38	12	14	6	30	84
Март	47	16	9	4	24	92

Луганск

Ноябрь	22	19	14	12	33	85
Декабрь	25	12	11	12	40	75
Январь	27	15	10	12	36	104
Февраль	26	24	13	4	33	82
Март	37	20	7	8	28	84

Волгоград

Ноябрь	39	8	16	4	33	83
Декабрь	32	12	9	3	44	68
Январь	32	15	5	4	43	88
Февраль	42	14	4	9	31	77
Март	54	12	5	7	22	82

Ростов-на-Дону

Ноябрь	32	19	13	9	27	96
Декабрь	23	9	9	10	48	77
Январь	27	9	8	8	48	87
Февраль	43	10	6	14	27	71
Март	41	15	13	6	25	92

Минеральные Воды

Ноябрь	22	22	16	5	35	69
Декабрь	22	12	8	3	55	65
Январь	34	15	10	3	38	70
Февраль	33	17	10	3	37	65
Март	40	14	12	3	31	76

Таблица 7

Повторяемость (%) различной продолжительности существования облаков нижнего яруса за холодный период

Станция	Продолжительность существования облачности										Общее ч. с.
	1 срок		2 срока		3 срока		4 срока		> 4 сроков		
	ч. с.	%	ч. с.	%	ч. с.	%	ч. с.	%	ч. с.	%	
Казань	168	41	69	17	35	9	32	7	108	26	412
Тамбов	136	30	78	16	54	12	31	7	164	35	463
Куйбышев	172	36	97	21	58	12	36	8	109	23	472
Саратов	131	31	82	19	49	11	29	7	134	32	425
Урюпинск	125	32	50	13	39	10	26	7	147	38	387
Харьков	156	33	61	13	38	8	44	10	168	36	467
Александров Гай	151	34	88	20	53	12	21	5	129	29	442
Кировоград	151	38	56	14	38	10	35	9	115	29	395
Днепропетровск	158	37	61	14	42	10	25	6	143	33	429
Луганск	118	27	78	18	47	11	42	10	145	34	430
Волгоград	157	39	48	12	31	7	22	5	140	37	398
Ростов-на-Дону	140	33	54	13	42	10	39	9	148	35	423
Гигант	196	41	86	18	48	10	29	6	120	25	479
Минеральные Воды	104	30	56	16	39	11	11	4	135	39	345

Примечание. ч. с. — число случаев.

в которые последовательно отмечались облака нижнего яруса в количестве 10 баллов.

Облака нижнего яруса в холодное время года обычно распространяются на обширные пространства, протяженность которых составляет сотни километров, вследствие этого маловероятно, чтобы между сроками наблюдений происходило прояснение. Следовательно, можно полагать, что оценка продолжительности существования облаков по четырехсрочным наблюдениям производится с точностью ± 3 часа. Учитывая природу этих облаков, можно заключить, что в первую градацию продолжительности (один срок) входит большое число случаев облачности, существовавшей более 6 час.

Для определения непрерывной продолжительности существования облаков различных форм целесообразно было бы использовать данные ежечасных наблюдений.

Попытка использовать эти наблюдения была сделана И. П. Половиной (1965). Среднюю продолжительность существования слоистых и слоисто-кучевых облаков он вычислил по шестилетнему периоду ежечасных наблюдений (1955—1960 гг.), проводившихся в аэропортах Львов, Одесса, Киев, Харьков. Предварительный анализ этих наблюдений показал, что использовать их без дополнительного контроля невозможно вследствие того, что в них содержится много ошибок, связанных с определением форм облаков, особенно в ночное время.

Контроль и исправление ошибочных данных были произведены с помощью синоптических карт и данных самолетного зондирования атмосферы, т. е. в результате весьма трудоемкой работы.

Результаты этих расчетов, выполненных Половиной, приведены в табл. 8 и 8а.

Таблица 8а составлена для слоистообразных облаков, имевших температуру у верхней границы ниже -4° (первая строка), и облаков, удов-

летворяющих критерию целесообразности активных воздействий, т. е. переохлажденных ($t < -4^\circ$), имевших толщину более 300 м и высоты нижней границы менее 1000 м (вторая строка).

Таблица 8

Повторяемость (%) различной продолжительности существования St—Sc в холодный период над Украиной

Станция	Продолжительность (часы)							Общее число периодов
	6—12	13—24	25—36	37—48	49—60	>60	максимальная	
Одесса	44	26	12	6	5	7	186	260
Киев	44	26	11	4	5	10	153	310
Харьков	45	26	13	6	4	6	297	323

Поскольку данные ежечасных наблюдений над облачностью отличаются неточностью, для расчета продолжительности существования слоистых и слоисто-кучевых облаков нами были использованы материалы четырехсрочных наблюдений, имеющиеся в таблицах ТМ-1.

Таблица 8а

Повторяемость (%) различной продолжительности существования переохлажденных слоистообразных облаков и облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий

Станция	Продолжительность (часы)						максимальная	Общее число периодов
	6—12	13—24	25—36	37—48	49—60	>60		
Одесса	45	33	12	6	2	2	71	119
	63	24	10	2	—	1	71	79
Киев	55	25	9	5	2	4	96	198
	62	26	8	2	1	1	80	142
Харьков	51	29	11	5	2	2	98	195
	60	29	8	2	—	1	87	149

В табл. 9 приводится средняя повторяемость различной продолжительности существования облаков нижнего яруса за холодный период (ноябрь — март). В ней указана повторяемость различной продолжительности существования St и Sc (первые две строки), когда они наблюдались при отсутствии и облаков других форм. В третьей строке указана повторяемость различной продолжительности существования облаков, когда St и Sc отмечались одновременно или облака одной формы сменялись облаками другой формы. В четвертой строке приводится повторяемость продолжительности существования слоистообразных облаков любой формы, а в последних строках — повторяемость продолжительности существования их в сочетании с другими формами облаков нижнего яруса.

Как И. П. Половиной, так и авторами произведены расчеты по данным наблюдений в Харькове; сравнение полученных результатов позволяет заключить, что первая градация продолжительности существования слоистообразных облаков (один срок), указанная в табл. 9, соот-

Таблица 9

Повторяемость (%) периодов различной продолжительности существования облаков нижнего яруса 10 баллов

Облака	Число сроков					Общее число периодов	Число сроков					Общее число периодов	Число сроков					Общее число периодов
	Число сроков						Число сроков						Число сроков					
	1	2	3	4	>4		1	2	3	4	>4		1	2	3	4	>4	
Казань																		
St	67	17	5	5	6	63	74	11	7	4	4	27	46	10	4	9	22	75
Sc	65	19	6	4	6	193	48	23	12	7	10	243	50	25	15	4	6	275
St, Sc	0	20	20	24	36	39	0	7	28	7	58	57	0	9	6	20	65	54
St-Sc	57	20	7	6	10	295	42	19	14	7	18	327	43	22	11	7	17	404
St, Ns, Frnb	0	0	7	0	93	14	0	0	0	36	64	14	0	0	8	0	92	12
St, Sc, Ns	0	0	4	15	81	67	0	0	12	0	88	80	0	0	6	6	88	17
Ns, Frnb, Ns, *, Frnb	0	36	25	8	31	36	0	33	14	10	43	42	0	26	23	11	40	43
Урюпинск																		
St	75	7	4	1	14	28	66	17	7	7	3	29	51	21	8	6	14	71
Sc	59	19	13	4	5	175	58	21	10	3	8	223	63	20	7	4	6	193
St, Sc	0	18	18	17	47	34	0	20	18	2	60	40	0	8	14	8	70	64
St-Sc	53	17	12	5	13	237	51	20	11	3	15	292	48	18	8	5	21	328
St, Ns, Frnb	0	11	13	8	68	47	0	10	19	10	61	31	0	0	14	14	72	22
St, Sc, Ns	0	0	3	9	88	93	0	0	3	3	94	62	0	0	2	4	94	48
Ns, Frnb, Ns, *, Frnb	0	40	10	10	40	10	5	43	24	12	10	58	0	6	59	18	17	17
Харьков																		
St	54	17	2	17	10	41	58	15	12	6	9	66	60	16	7	2	15	45
Sc	56	19	9	8	6	239	62	18	10	6	4	163	61	18	9	5	7	263
St, Sc	0	14	12	16	58	64	0	15	13	22	50	72	0	22	13	7	58	40
St-Sc	45	18	9	10	18	344	46	17	11	10	16	301	54	18	9	5	14	348
St, Ns, Frnb	0	7	13	33	47	15	0	0	15	20	65	20	0	13	20	14	53	55
St, Sc, Ns	0	0	3	2	25	104	0	1	6	1	92	91	0	0	5	5	90	41
Ns, Frnb, Ns, *, Frnb	0	0	50	50	0	4	0	43	7	29	21	14	29	43	11	6	11	95
Саратов																		
St	31	26	15	10	18	62	31	26	15	10	18	62	31	26	15	10	18	62
Sc	78	12	3	2	5	172	78	12	3	2	5	172	78	12	3	2	5	172
St, Sc	0	16	26	10	48	50	0	16	26	10	48	50	0	16	26	10	48	50
St-Sc	54	16	10	5	15	283	54	16	10	5	15	283	54	16	10	5	15	283
St, Ns, Frnb	0	13	10	12	65	52	0	13	10	12	65	52	0	13	10	12	65	52
St, Sc, Ns	0	6	16	8	10	73	0	6	16	8	10	73	0	6	16	8	10	73
Ns, Frnb, Ns, *, Frnb	0	60	13	9	18	45	0	60	13	9	18	45	0	60	13	9	18	45
Луганск																		
St	53	22	9	4	12	76	53	22	9	4	12	76	53	22	9	4	12	76
Sc	55	36	4	5	31	97	55	36	4	5	31	97	55	36	4	5	31	97
St, Sc	0	29	22	18	45	218	43	30	10	7	10	218	43	30	10	7	10	218
St-Sc	0	11	23	19	47	79	0	11	23	19	47	79	0	11	23	19	47	79
St, Ns, Frnb	0	1	1	1	89	91	0	1	1	1	89	91	0	1	1	1	89	91
St, Sc, Ns	57	11	16	7	9	44	57	11	16	7	9	44	57	11	16	7	9	44
Днепропетровск																		
St	71	6	6	14	17	17	71	6	6	14	17	17	71	6	6	14	17	17
Sc	193	6	6	6	6	193	193	6	6	6	6	193	193	6	6	6	6	193
St, Sc	0	29	22	18	45	218	43	30	10	7	10	218	43	30	10	7	10	218
St-Sc	0	11	23	19	47	79	0	11	23	19	47	79	0	11	23	19	47	79
St, Ns, Frnb	0	1	1	1	89	91	0	1	1	1	89	91	0	1	1	1	89	91
St, Sc, Ns	57	11	16	7	9	44	57	11	16	7	9	44	57	11	16	7	9	44
Гигант																		
St	45	15	2	15	15	45	45	15	2	15	15	45	45	15	2	15	15	45
Sc	263	24	10	4	9	123	263	24	10	4	9	123	263	24	10	4	9	123
St, Sc	0	10	14	7	69	42	0	10	14	7	69	42	0	10	14	7	69	42
St-Sc	36	19	12	3	30	293	36	19	12	3	30	293	36	19	12	3	30	293
St, Ns, Frnb	0	0	0	0	100	5	0	0	0	0	100	5	0	0	0	0	100	5
St, Sc, Ns	0	0	2	2	96	42	0	0	2	2	96	42	0	0	2	2	96	42
Ns, Frnb, Ns, *, Frnb	0	0	50	17	33	6	0	0	50	17	33	6	0	0	50	17	33	6

ветствует первой градации в табл. 8 (6—12 час.), так как повторяемости этих градаций совпали. Как в табл. 8, так и в табл. 9 (четвертая строка) для Харькова они оказались равными 45%. Близкие значения повторяемости этой градации получились на станциях Тамбов, Луганск, Волгоград, Ростов-на-Дону. По-видимому, в преобладающем числе случаев облака, отмеченные в один из сроков, существовали более чем 3 часа до срока наблюдений и более чем 3 часа — после срока. Возможно также, что в первую градацию, по данным И. П. Половины, вошло значительное число случаев, когда облака существовали около 6 час.

На основании табл. 6—9 можно сделать следующие выводы:

1. Из табл. 6 и 7 видно, что довольно часто облака нижнего яруса отмечаются только в один из сроков наблюдений, т. е. существуют над данной станцией заведомо менее 12 час., а иногда и менее 6 час. В среднем за холодный период такие облака наблюдаются в 30—40% случаев, причем большинство станций кратковременно существующие облака отмечают в марте, по-видимому, во вторую половину этого месяца. Вместе с тем повторяемость длительно существующих облаков нижнего яруса (более четырех сроков наблюдений) тоже значительна.

На семи станциях из четырнадцати средняя повторяемость длительного существования облаков за весь холодный период года даже превосходит повторяемость кратковременного (один срок) существования облаков.

Преобладание облаков с наименьшей и наибольшей продолжительностью существования, по-видимому, объясняется тем, что облака, существующие непродолжительное время, связаны с прохождением фронтов, в то время как облака внутримассовые, наблюдаемые при небольшой скорости ветра, существуют длительное время (более суток). Из таблиц видно, что повторяемость продолжительности существования облаков нижнего яруса, малопригодных для активных воздействий (продолжительность существования менее 12 час.), значительна.

2. Наибольшая продолжительность существования облаков нижнего яруса почти на всей рассматриваемой территории наблюдается в декабре (только в Харькове и Кировограде — в ноябре). В этом месяце на всех станциях чаще, чем в другие месяцы, наблюдались облака, сохранявшиеся в течение четырех сроков и более. Повторяемость облаков, отмечавшихся только в один срок (следовательно, существовавших заведомо менее 12 час.), на большинстве станций оказалась минимальной также в декабре. На некоторых станциях она получилась минимальной в январе и на одной станции — в ноябре, но лишь на 3—4% ниже декабрьской. По данным И. П. Половины, над Украиной продолжительность существования слоистых и слоисто-кучевых облаков является наибольшей в ноябре и декабре.

Таким образом, наиболее часто благоприятные условия для активных воздействий на облака наблюдаются с ноября по январь.

3. Продолжительность существования облаков мало изменяется на больших пространствах зоны недостаточного увлажнения. Так, повторяемость облачности, существующей более суток (более четырех сроков), меньше 30% в районе Казани, Куйбышева, Александрова Гая, Кировограда и Гиганта; на остальных станциях повторяемость составляет 33—39%, т. е. также незначительно изменяется по территории. Это наглядно видно и из табл. 7, в которой повторяемости отдельных градаций продолжительности, вычисленные для различных станций, в большинстве случаев отличаются друг от друга не более чем на 4%.

4. Продолжительность существования одних слоистых или одних слоисто-кучевых облаков значительно меньше, чем продолжительность существования всех слоистообразных облаков. Так, из табл. 9 видно, что кратковременное существование (менее 12 час.) только слоистых или только слоисто-кучевых облаков отмечается на большинстве станций более чем в 50% случаев, повторяемость той же продолжительности существования облаков двух слоистообразных форм одновременно или при смене (от срока к сроку) одной формы другою на всех станциях равна нулю. Продолжительность существования облаков обеих форм более суток в большинстве пунктов составляет более 40%.

5. Поскольку слоистые и слоисто-кучевые облака, как видно из табл. 9, чаще наблюдаются раздельно, то значительная часть их мало-пригодна для активных воздействий. При учете всех форм облаков нижнего яруса общая продолжительность их непрерывного существования увеличивается.

6. Следует иметь в виду, что в приведенных выше таблицах указаны повторяемости различной продолжительности существования облаков независимо от их температурного режима. Однако температура воздуха вблизи верхней границы облаков входит в критерий, определяющий целесообразность активных воздействий на облака. Для обеспечения эффективности активных воздействий существенное значение имеет также толщина облаков и высота их нижней границы.

Сравнивая табл. 8 и 8а, можно видеть, что при наложении дополнительных условий, обеспечивающих эффективность активных воздействий, повторяемость облачности, существующей более 12 час., уменьшается. Уменьшение этой повторяемости более значительно, если при ее расчете принимаются во внимание только облака, удовлетворяющие критерию целесообразности активных воздействий. Такие облака уже в 60% случаев существуют не более 12 час.

Средняя продолжительность непрерывного существования облаков. Для определения среднего водозапаса облаков необходимы данные о средней продолжительности их существования.

Средняя за холодный период (ноябрь — март) продолжительность существования слоистообразных облаков для нескольких станций Украины была подсчитана И. П. Половиной (1965). В табл. 10 приводятся эти данные для трех пунктов.

Среднюю непрерывную продолжительность существования облаков можно рассчитать как среднее взвешенное с помощью таблицы повторяемостей, рассчитанных для отдельных градаций, т. е. по формуле

$$\tau = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n P_i \tau_i, \quad (1)$$

где τ_i — среднее значение каждой градации продолжительности, P_i — повторяемость градаций в процентах, n — число градаций продолжительности.

По данным, имеющимся в указанной работе И. П. Половиной, среднюю непрерывную продолжительность периода существования слоистообразных облаков можно рассчитать двумя способами: по формуле (1) и путем деления средней суммарной продолжительности существования этих облаков за весь холодный сезон, которая приведена в табл. 10, на среднее число периодов с облаками за данный сезон. Среднее число периодов в году можно определить по табл. 8, в которой указано общее число их за 6 лет. Второй метод расчета более точный и может служить для контроля результатов, полученных по формуле (1).

Таблица 10

Средняя продолжительность существования St и Sc
с различными характеристиками за весь холодный период
(часы)

Станция	Все облака	$t < -4^{\circ}$	$t < -4^{\circ},$ $\Delta H > 300 \text{ м},$ $h < 1000 \text{ м}$
Одесса	1059	398	188
Киев	1235	610	329
Харьков	1239	610	361

В табл. 10 приводятся данные о продолжительности существования всех слоистообразных облаков, слоистообразных облаков, имеющих температуру у их верхней границы ниже -4° , и слоистообразных облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий.

Таблица 11

Средняя непрерывная продолжительность существования облаков (часы)

Станция	Все облака		Облака с $t < -4^{\circ}$		Облака с $t < -4^{\circ},$ $\Delta H > 300 \text{ м}, h < 1000 \text{ м}$	
Одесса	24,6	22,7	19,8	18,0	14,4	13,8
Киев	24,0	22,6	18,6	17,6	13,8	14,4
Харьков	22,8	21,7	18,6	17,4	14,4	14,0

В соответствии с имеющимися данными рассчитана и средняя продолжительность одного периода. Результаты расчетов приведены в табл. 11. В первой графе для каждой группы облаков указана средняя продолжительность периода, полученная по табл. 8 и 10, во второй — средняя взвешенная продолжительность, рассчитанная по формуле (1). При втором способе расчета средние значения интервалов времени, указанные в табл. 8, были приняты соответственно равными 9, 18, 30, 42, 54 и 72 час.

Из табл. 11 можно видеть, что средние взвешенные значения продолжительности периода отличаются от средних значений для первой группы облаков не более чем на 2 часа, для второй — около одного часа и для третьей менее чем на один час. Таким образом, средняя продолжительность одного периода может быть достаточно надежно определена по таблицам повторяемости (с точностью 7—9%).

Такой расчет произведен по данным всех 12 пунктов, указанных в табл. 9. Для этих расчетов были использованы значения повторяемости, приведенные в четвертой строке табл. 9. При определении середины интервала времени для первой градации (1 срок) продолжительности было принято во внимание, что повторяемость этой градации в табл. 9 близка к повторяемости градации 6—12 час. в табл. 8. (Для метеорологической и аэрологической станций, расположенных вблизи Харькова, они совпали.)

На основании этого средняя продолжительность первой градации считалась равной 9 час. Средние значения следующих градаций были приняты соответственно равными 12, 18, 24 и 60 час. Повторяемость облаков, существующих более 60 час., невелика (не более 10%), однако

в отдельных случаях слоистообразные облака сохраняются над Украиной более 6 суток, поэтому последняя градация продолжительности была принята равной 60 час. При этом условии средняя продолжительность одного периода для Харькова, по нашим данным, получается равной 21 часу, по данным Половины — 21,7 часа. Близкие значения этих величин позволяют считать, что середина каждого интервала продолжительности выбрана нами правильно.

Полученные таким образом средние значения продолжительности одного периода существования τ приводятся в табл. 12. По нашим расчетам, наименьший средний период существования облаков оказался в Казани (на северной границе рассматриваемой зоны) 16 час., наибольший — в Минеральных Водах — 26 час.

Таблица 12

Средняя непрерывная продолжительность существования слоистообразных облаков

Станция	τ	τ_k	n	Станция	τ	τ_k	n
Казань	16,2	10	42	Днепропетровск	21,7	13	47
Тамбов	21,1	13	47	Луганск	17,0	10	31
Куйбышев	20,4	12	58	Волгоград	20,2	12	43
Саратов	18,8	11	40	Гигант	18,2	11	50
Урюпинск	19,0	11	34	Минеральные Во-			
Александров Гай	18,7	11	42	ды	26,4	16	42
				Харьков	21,0	13	49

Из табл. 11 видно, что облака, удовлетворяющие критерию целесообразности активных воздействий, существуют менее продолжительное время, чем все облака слоистообразных форм. Средняя продолжительность периода существования облаков, удовлетворяющих этому критерию, рассчитанная любым из указанных способов, составляет около 14 час., тогда как средний период существования всех слоистообразных облаков равен приблизительно 23 час. Отношение продолжительности первого периода ко второму равно 0,6. Воспользовавшись этим отношением можно по данным всех 12 станций определить продолжительность существования облаков τ_k , удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий (табл. 12). В этой таблице n — среднее число всех периодов за год. Из таблицы видно, что число облачных периодов оказалось наибольшим в районе Куйбышева и наименьшим в Луганске. Максимальная продолжительность существования облаков наблюдается в районе Минеральных Вод. Здесь средняя продолжительность существования облаков, пригодных для активных воздействий, составляет 16 час., во всех остальных районах она равна 10—13 час.

Любопытно, что по данным тщательных наблюдений, которые проводились при опытных полетах над территорией Казахстана над каждой системой облаков, пригодных для активных воздействий, среднее значение продолжительности существования этих облаков оказалось равным 12 час. (Сумин, 1967).

Число периодов с облаками, удовлетворяющими критерию целесообразности воздействий, меньше, чем число n , указанное в табл. 12. Оно может быть приближенно определено, как произведение числа n на относительную повторяемость облаков, пригодных для активных воздействий. Эта повторяемость, например, для Куйбышева равна 54%,

для Волгограда — 41% (см. табл. 30). Следовательно, число периодов составляет соответственно 31 и 18.

§ 4. Естественное выпадение осадков из слоистообразных облаков

Поскольку слоистообразные облака отличаются от облаков других форм нижнего яруса небольшой толщиной и незначительными вертикальными движениями, то нельзя ожидать интенсивного выпадения осадков из них. Однако с точки зрения эффективности активных воздействий на облака вероятность выпадения даже слабых, морозящих осадков представляет несомненный интерес. Дело в том, что интенсифицировать уже начавшееся выпадение осадков, по-видимому, легче, чем вызвать осадки из облаков, не дающих осадков.

Очевидно также, что облака, дающие осадки, состоят из более крупных капель, чем облака, не сопровождающиеся осадками. Следовательно, при активном воздействии на них можно получить больше дополнительных осадков, воздействие на них будет более эффективным, чем на облака, не дающие осадков. Вследствие этого представляется целесообразным рассчитать вероятности (повторяемости) выпадения осадков из слоистых и слоисто-кучевых облаков.

Повторяемость. В табл. 13 приводится повторяемость выпадения осадков, вычисленная по материалам таблицы ТМ-1 за каждый срок для каждого месяца холодного периода и для всего холодного периода в целом.

При расчете этих повторяемостей учтены сведения о выпадении осадков в течение 6-часового интервала времени вблизи каждого срока наблюдений — три часа до и три часа после срока наблюдений.

При расчете повторяемости по данным метеорологических наблюдений, имеющихся в таблицах ТМ-1, не было возможности учесть наличие облаков той или иной формы над слоистообразными облаками, которые, безусловно, могли оказать существенное влияние на образование осадков. Возможно, вследствие этого вероятности выпадения осадков из слоистообразных облаков оказались довольно значительными, однако при общей оценке эффективности активных воздействий на эти облака знание их представляется полезным. Поэтому мы считали необходимым привести эти данные.

Вместе с тем была сделана попытка рассчитать повторяемости выпадения осадков из слоистообразных облаков путем использования данных самолетных зондирований атмосферы. Результаты этих расчетов приводятся в табл. 14. В этой таблице указана повторяемость выпадения осадков, достигающих поверхности земли, а в скобках — повторяемость выпадения осадков, достигающих и не достигающих поверхности земли.

При составлении табл. 14 учтены случаи выпадения осадков из облаков указанной формы только в момент зондирования без учета того, что в ряде случаев осадки могли выпасть в ближайшее к сроку зондирования время. Следовательно, в этой таблице вероятности выпадения осадков несколько занижены. Занижены они, по-видимому, еще и потому, что при выпадении осадков из очень низкой облачности зондирование атмосферы могло быть отменено. Некоторая выборочность данных самолетного зондирования, безусловно, могла понизить рассчитываемые вероятности. Это подтверждается приводимыми для сравнения значениями вероятности выпадения осадков из слоисто-дождевых облаков. Если по данным метеорологических наблюдений станции Волгоград эта вероятность равна 100%, то по данным самолетного

зондирования этой же станции она составляет только 55%. Последняя, безусловно, занижена по сравнению с действительной вследствие того, что осадки в ряде случаев отсутствовали во время зондирования атмосферы. Однако они могли наблюдаться несколько раньше или позже.

Вызывает сомнение надежность исходных данных об осадках во время самолетных зондирований еще и потому, что слишком велико различие повторяемости выпадения осадков из облаков одной и той же формы на различных станциях. Так, например, вероятность выпадения осадков из слоисто-кучевых облаков в районе Куйбышева составляет 9%, а в районе Ростова — 30%.

Вообще вероятности, приведенные в табл. 14, должны были бы быть выше, чем вероятности в табл. 13, так как они рассчитаны для случаев, когда температура у верхней границы облаков ниже -4° и нижняя граница их ниже 1000 м, т. е. для условий, благоприятных для выпадения осадков, достигающих поверхности земли. Трудно также объяснить, почему вероятность выпадения осадков в Куйбышеве при толщине облаков более 300 м оказалась меньше, чем при более тонких облаках. В результате проведенных сравнений кажутся более надежными вероятности, рассчитанные по таблице ТМ-1 и указанные в табл. 13.

Допуская, что в этой таблице вероятности выпадения осадков из облаков рассматриваемых форм несколько завышены по сравнению с действительными, так как над ними могли быть облака других форм, дающие осадки, все же можно проследить изменение этих вероятностей от срока к сроку, от месяца к месяцу и в зависимости от расположения метеорологической станции.

Из табл. 13 видно, что в большинстве пунктов в холодную часть года как из слоистых, так и из слоисто-кучевых облаков осадки наиболее часто выпадают в утренние или ночные часы.

Особенно велика повторяемость выпадения осадков из слоистых облаков ночью в ноябре и декабре (в районе Куйбышева, Харькова более 70%). В Куйбышеве очень большая повторяемость выпадения осадков отмечается в дневные и вечерние сроки в январе и во все сроки, кроме вечернего, в феврале.

Из слоисто-кучевых облаков осадки выпадают реже, чем из слоистых. Максимальная вероятность выпадения осадков наблюдается преимущественно в те же часы, что и для слоистых облаков, но величина ее редко превосходит 60%. В среднем за период только в двух пунктах (Куйбышев и Харьков) она достигает 50%.

Амплитуда суточного хода вероятности выпадения осадков из слоистых и слоисто-кучевых облаков в отдельных пунктах достигает значительной величины. Так, например, в Казани вероятность выпадения осадков из слоистых облаков утром равна 19%, а вечером — 44%; на той же станции вероятность выпадения осадков из слоисто-кучевых облаков утром равна 12%, а ночью — 35%. В районе Гиганта, наоборот, наименьшая вероятность выпадения осадков из слоистых и слоисто-кучевых облаков оказалась ночью (30 и 14%); значительна вероятность выпадения осадков из St днем (52%), из Sc утром (34%). По большинству других станций эта амплитуда не превышает 20%.

Изменение вероятности выпадения осадков из слоистых облаков от месяца к месяцу, как правило, незначительно; оно лишь на отдельных станциях (Куйбышев, Кировоград, Волгоград, Минеральные Воды) достигает 20% и более. На преобладающем большинстве пунктов несколько чаще выпадают осадки из слоистых облаков с декабря по январь и реже в ноябре и марте. Осадки из слоисто-кучевых облаков реже наблюдаются также в ноябре и марте. Максимум вероятности их

Суточный ход повторяемости (%) выпадения осадков из слоистооб

Станция	XI					XII					I				
	Срок наблю														
	1	7	13	19	среднее	1	7	13	19	среднее	1	7	13	19	среднее

St

Казань	43	12	24	34	28	45	21	37	30	33	35	25	36	50	36
Пенза	62	32	31	24	37	61	51	52	49	53	45	50	53	47	48
Тамбов	65	53	55	45	55	52	52	54	32	47	51	58	60	36	52
Куйбышев	79	42	42	42	51	86	63	65	76	72	73	50	78	70	68
Саратов	50	55	32	44	45	44	35	44	24	36	57	44	59	51	53
Урюпинск	31	46	52	46	44	54	63	56	47	55	43	50	42	59	48
Харьков	75	55	54	49	58	72	75	49	50	61	67	68	62	66	66
Александров Гай	70	30	53	55	52	33	69	54	35	48	39	47	56	50	48
Винница	48	40	54	65	51	43	70	41	61	54	30	33	32	44	34
Кировоград	50	54	41	31	44	43	47	49	27	42	38	58	53	33	46
Днепропетровск	26	35	39	30	33	33	33	31	22	30	32	26	30	26	29
Луганск	35	44	47	26	38	24	46	42	21	33	37	42	41	29	37
Волгоград	56	54	63	64	60	56	64	58	56	58	41	43	31	32	36
Ростов-на-Дону	56	34	48	44	45	45	47	40	50	45	23	26	40	42	33
Гигант	40	48	30	25	36	50	46	48	42	47	32	40	52	57	46
Минеральные Воды	63	80	69	69	70	46	47	48	42	46	40	61	40	43	47

Sc

Казань	31	14	21	14	20	37	0	28	26	23	35	17	20	29	25
Пенза	46	42	29	31	37	58	47	50	44	50	55	43	62	41	50
Тамбов	29	47	40	28	36	49	58	59	46	53	41	44	56	30	42
Куйбышев	56	33	25	30	36	63	61	70	55	62	53	62	52	62	57
Саратов	44	13	11	20	22	43	40	48	27	39	45	23	17	24	26
Урюпинск	25	36	22	17	25	32	56	47	21	39	25	49	44	21	36
Харьков	38	44	40	35	39	45	76	55	51	57	56	58	53	50	54
Александров Гай	11	30	27	27	24	19	35	44	25	30	19	45	40	33	34
Винница	21	18	12	31	21	15	37	26	42	30	14	23	30	20	21
Кировоград	30	43	20	14	26	26	33	26	15	25	32	45	35	36	37
Днепропетровск	21	36	25	22	25	18	39	24	23	26	19	32	33	9	23
Луганск	31	35	43	26	34	37	54	33	41	41	29	33	54	33	37
Волгоград	43	35	46	38	41	53	30	37	25	36	25	20	27	45	30
Ростов-на-Дону	37	25	22	16	25	47	35	24	24	32	39	35	38	31	36
Гигант	10	20	23	15	17	23	33	31	22	27	17	33	38	18	26
Минеральные Воды	24	23	23	43	29	5	38	17	38	24	42	40	43	48	43

разных облаков по месяцам и за холодный период (ноябрь—март)

Таблица 13

II					III					XI—III				
дений (часы)														
1	7	13	19	среднее	1	7	13	19	среднее	1	7	13	19	среднее
St														
42	18	32	57	37	32	18	37	50	35	39	19	33	44	34
79	50	67	61	64	70	50	52	43	53	63	46	51	45	51
52	45	28	46	43	36	74	38	43	48	51	56	47	40	39
70	77	87	46	70	40	40	35	33	37	69	54	51	53	55
60	52	45	46	51	64	54	42	35	49	55	48	44	40	47
62	59	43	38	50	25	33	52	40	37	43	50	49	46	47
54	67	58	60	60	44	65	36	45	48	62	66	52	54	58
55	48	39	32	43	54	60	50	47	53	50	51	50	44	49
37	80	54	54	57	45	44	42	52	46	41	53	45	55	48
58	68	75	52	64	66	70	52	30	55	51	59	54	35	50
16	39	48	30	34	36	36	38	42	38	29	28	36	30	31
32	45	49	34	40	46	53	46	38	46	35	46	45	29	39
44	32	38	46	40	39	34	28	14	28	47	45	44	42	45
73	33	62	27	49	29	24	30	45	32	45	33	44	41	42
20	28	61	50	40	10	38	67	10	31	30	40	52	37	40
54	60	63	53	57	63	72	67	63	66	53	64	57	54	57
Sc														
44	10	24	25	26	26	17	12	23	20	35	12	21	23	23
56	35	46	33	42	44	41	47	22	38	52	42	47	34	44
31	54	52	36	43	25	43	60	32	40	35	49	53	34	43
56	66	76	66	66	57	43	36	30	42	57	53	52	49	53
36	32	33	32	33	31	18	32	13	23	40	25	28	23	29
41	50	48	35	43	23	40	50	30	33	29	46	42	25	36
55	63	53	53	56	46	49	49	43	46	48	58	50	46	51
22	43	35	28	32	21	43	33	16	28	18	39	36	26	30
23	37	30	48	34	21	31	22	31	26	19	29	24	34	26
32	67	40	38	44	47	55	50	33	46	33	49	34	27	36
24	51	34	34	36	13	23	32	17	22	19	36	29	21	26
32	50	44	36	40	38	57	54	20	42	33	46	46	31	39
30	23	42	40	33	41	23	18	17	24	39	26	34	33	33
34	26	38	32	33	33	25	43	38	35	38	29	33	28	32
9	42	24	13	22	12	42	46	32	33	14	34	32	20	25
30	39	43	25	34	31	43	35	43	38	26	37	32	39	34

Таблица 14

Повторяемость P выпадения осадков при различной толщине облаков ΔH при высоте их нижней границы < 1000 м и температуре у верхней границы $t \leq -4^\circ$

Облака	$\Delta H \leq 300$ м		$\Delta H > 300$ м		$\bar{P}_0$	P_0 по ТМ-1 за 1956— 1962 гг.
	P_0	ч. с.	P_0	ч. с.		
Куйбышев						
St	25 (29)	28	19 (22)	72	21 (24)	68
Sc	19 (25)	80	28 (33)	90	24 (29)	59
Ns	86 (86)	7	78 (85)	51	79 (85)	86
Волгоград						
St	9 (9)	44	7 (9)	43	8 (9)	36
Sc	6 (10)	52	3 (10)	38	4 (10)	30
Ns	100 (100)	3	48 (55)	29	53 (66)	100
Ростов-на-Дону						
St	5 (5)	37	19 (23)	48	13 (15)	33
Sc	11 (11)	88	14 (17)	77	13 (14)	36
Ns	100 (100)	1	84 (88)	32	84 (88)	86

выпадения, как правило, приходится на декабрь, январь или февраль.

В зависимости от физико-географических и циркуляционных факторов средняя вероятность выпадения осадков при наличии слоистых облаков изменяется от 30 до 60 %, а при наличии слоисто-кучевых — от 25 до 50 %.

Количество осадков. При оценке водных ресурсов облаков существенной характеристикой является количество выпадающих из них осадков, удельный вес этого количества в общей сумме осадков.

Очевидно, что количество осадков, выпадающих из каких-либо облаков, не всегда определяется частотой их выпадения, так как интенсивность их может быть весьма различной. Поэтому мы попытались хотя бы ориентировочно подсчитать сумму осадков, которые выпадают из слоистых и слоисто-кучевых облаков.

Для оценки репрезентативности данных за семилетний период, использованных для расчетов, были подсчитаны средние суммы осадков, выпадающих из всех облаков в течение рассматриваемого холодного периода. Они сравнивались с многолетними средними суммами осадков за тот же холодный период, вычисленными по многолетним месячным средним суммам. Такое сопоставление можно было провести по 15 метеорологическим станциям. Эти данные приводятся в табл. 15.

В графе А этой таблицы даны средние суммы осадков, полученные из семилетнего периода, в графе С — многолетние данные, т. е. полученные по более длительному периоду наблюдений. На большинстве указанных в таблице станций использованы данные за период наблюдений 1891—1935 гг. Ряды наблюдений за этот период разрываются в Пензе, Тамбове, Куйбышеве, Саратове и частично в Урюпинске, Александровом Гае, Виннице. В Минеральных Водах использованы наблюдения с 1925 по 1935 г.

Из табл. 15 видно, что на большинстве станций сумма осадков за семилетний период превышает норму, причем положительное откло-

Таблица 15

Среднее месячное количество осадков (мм) за семилетний период (А)
и многолетний период (С)

Станция	XI		XII		I		II		III		Среднее		$\Delta = A - C$	Отклонения от многолет- ней нормы (%)
	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C		
Казань	22	33	31	28	27	24	23	21	23	24	126	130	-4	-3
Пенза	35	42	48	39	56	30	20	28	50	28	209	167	42	25
Тамбов	25	40	36	36	33	31	30	34	30	28	156	169	-13	-8
Куйбышев	24	33	48	27	44	22	32	17	37	20	185	119	66	55
Саратов	21	37	34	32	43	25	31	30	30	24	159	148	11	7
Урюпинск	36	36	22	26	37	22	32	19	20	17	145	120	25	21
Харьков	26	40	34	38	36	34	26	26	28	32	150	170	-20	-12
Александров Гай	18	26	26	20	29	18	21	16	20	15	114	95	19	20
Винница	61	32	41	27	29	21	30	21	26	22	187	123	64	52
Кировоград	30	30	26	32	33	28	25	22	24	27	138	139	-1	-1
Днепропетровск	27	37	43	37	40	28	28	24	28	26	166	152	14	9
Луганск	26	38	33	34	36	23	22	26	31	30	148	151	-3	-2
Волгоград	28	25	32	23	31	17	17	15	21	13	129	93	36	39
Ростов-на-Дону	49	40	63	41	55	30	40	30	40	33	247	174	73	40
Минеральные Воды	32	28	24	20	20	14	22	15	28	22	126	99	27	27

нение от нормы на восьми станциях превышает 20%. На трех станциях отклонения от нормы отрицательные и не превосходят 4%; следовательно, можно считать, что количество осадков здесь совпадает с нормой. Только по данным наблюдений двух станций (Тамбов и Харьков) за холодный период выпало осадков меньше нормы, однако отклонение от нормы в Тамбове составляет всего лишь 8%, а в Харькове 12%. Эти отклонения в основном связаны со значительными осадками в ноябре, а в остальные месяцы количество осадков за семилетний период совпало с нормой с точностью до 4%.

В среднем на рассматриваемой территории в холодные месяцы за семилетний период выпало осадков несколько больше многолетней нормы; следовательно, данный период является более влажным по сравнению с «нормальным».

Как известно, количество осадков измеряется два раза в сутки, и за двенадцатичасовой промежуток времени нередко наблюдается смена облаков одной формы облаками другой формы. В этих случаях не всегда удается определить, из облаков какой формы выпали осадки, поэтому сумма осадков, выпадающих из слоистых и слоисто-кучевых облаков, по таблицам ТМ-1 может быть определена лишь ориентировочно. Нами было рассчитано суммарное количество осадков, выпавших только из слоистообразных облаков, и количество осадков в тех случаях, когда в 12-часовом интервале времени, кроме облаков указанных форм, наблюдались еще другие облака (N_s , $F_{rn}b$), из которых могли выпасть осадки.

В табл. 16 первая сумма осадков указана в строке Б, вторая — в строке А. В этой же таблице приводятся максимальные и минимальные суммы осадков за весь рассматриваемый период с указанием года, на который приходятся экстремумы. В графе 9 табл. 16 средняя сумма осадков за холодный период выражена в процентах к среднему общему

Средние и экстремальные суммы осадков (мм)

Станция	1	2	XI	XII	I	II	III	Холодный период			
								сумма		минимум	максимум
								мм	‰		
			3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пенза *	А	А	10,4	15,0	15,2	11,4	11,8	63,8	31	42,1 (1962)	95,4 (1957)
	Б	Б	4,4	4,6	4,8	3,8	2,8	20,4	10	13,3 (1962, 63)	33,7 (1961)
Тамбов	А	А	6,6	10,3	10,0	13,2	7,5	47,6	31	30,1 (1962)	78,0 (1957)
	Б	Б	1,8	2,1	1,4	1,7	1,6	8,6	6	4,6 (1956)	19,0 (1960)
Куйбышев *	А	А	11,7	15,5	16,0	8,4	8,0	59,6	32	32,1 (1959)	80,1 (1963)
	Б	Б	2,2	6,2	4,0	1,6	0,7	14,7	8	4,8 (1956)	23,3 (1962)
Саратов *	А	А	9,8	11,0	13,9	7,1	10,9	52,7	33	18,4 (1959)	94,9 (1961)
	Б	Б	2,9	3,6	2,3	0,8	2,6	12,2	8	1,3 (1959)	29,2 (1961)
Урюпинск	А	А	6,4	7,6	7,0	3,1	9,0	33,1	23	24,8 (1958)	56,0 (1961)
	Б	Б	0,6	1,1	1,0	0,9	1,2	4,8	3	2,8 (1960)	7,2 (1961)
Харьков *	А	А	11,9	14,1	10,1	11,2	8,0	55,3	37	21,7 (1956)	81,9 (1963)
	Б	Б	3,3	2,4	2,7	2,7	2,4	13,5	9	3,8 (1960)	29,3 (1963)
Александров Гай	А	А	6,0	9,7	7,6	6,7	5,9	36,5	32	19,6 (1960)	49,1 (1961)
	Б	Б	2,0	2,7	4,1	1,9	0,7	11,4	10	6,5 (1959)	15,4 (1961)
Винница	А	А	13,7	10,5	8,9	10,2	7,6	50,9	27	37,7 (1961)	63,8 (1962)
	Б	Б	1,9	1,9	1,0	2,7	0,8	8,3	4	4,9 (1959)	24,5 (1961)
Кировград *	А	А	11,7	5,6	7,3	8,1	6,0	38,7	28	21,4 (1956)	69,1 (1960)
	Б	Б	1,4	2,1	1,4	1,7	0,4	7,0	5	2,6 (1963)	10,7 (1958)
Днепропетровский *	А	А	9,5	9,2	7,4	12,0	8,7	46,8	28	23,8 (1956)	69,9 (1959)
	Б	Б	2,7	2,9	2,2	4,1	2,9	14,8	9	2,7 (1962)	31,3 (1963)
Луганск	А	А	13,9	10,1	7,6	6,7	9,1	47,4	32	20,0 (1959)	81,7 (1962)
	Б	Б	3,0	2,8	1,5	1,9	1,1	10,3	7	7,4 (1959)	14,1 (1962)
Волгоград *	А	А	10,1	12,3	10,1	4,0	6,3	42,8	33	23,0 (1959)	61,6 (1956)
	Б	Б	1,2	3,4	1,6	1,2	0,9	8,3	6	3,4 (1963)	10,3 (1961)
Ростов-на-Дону *	А	А	11,6	19,7	11,1	11,3	12,5	66,2	27	29,2 (1962)	98,6 (1957)
	Б	Б	2,5	2,5	1,9	3,2	3,5	13,6	6	3,6 (1956)	32,0 (1961)
Гигант	А	А	9,6	17,9	6,9	4,3	11,4	50,1		18,9 (1959)	98,6 (1957)
	Б	Б	1,8	1,6	0,7	0,9	0,9	5,9		3,6 (1956)	32,0 (1961)

количеству осадков за те же месяцы. При расчете этой таблицы по ряду станций дополнительно были использованы наблюдения за 1963 г., т. е. сумма осадков рассчитана по восьмилетнему периоду. Эти станции в таблице отмечены звездочками (*).

За весь холодный период (ноябрь — март) среднее количество осадков, выпавших из слоистых и слоисто-кучевых облаков, оказалось максимальным в Пензе (20,4 мм), минимальным в Урюпинске (4,8 мм). По остальной территории это количество изменяется от станции к станции в пределах 6—15 мм. Средняя месячная сумма осадков по всем станциям за каждый из холодных месяцев меньше 5 мм. Оказалось, что осадки, выпадающие из слоистых и слоисто-кучевых облаков, по отношению ко всей сумме осадков только в Пензе и Александровом Гае составили 10%, в остальных пунктах их удельный вес в общей сумме осадков меньше 10%. В отдельные годы максимум количества этих осадков достигал 32 мм, а минимум — менее 1 мм. По отношению к норме эти суммы осадков в отдельных пунктах изменяются от 1 до 18%.

Сумма осадков из слоистообразных облаков за холодные месяцы, иногда сменявшихся облаками других форм, равна 40—60 мм, что составляет около 30% среднего количества всех осадков, подсчитанного по 7—8-летнему периоду.

§ 5. Высота нижней границы и толщина облачных слоев

Из ряда работ (Шишкин, 1964, Леонов, 1965 и др.) известно, что одним из показателей критерия целесообразности активных воздействий на слоистообразные облака (St и Sc) с целью интенсификации осадков является мощность облаков: она должна быть не менее 250—300 м. Известно также, что искусственные осадки достигают поверхности земли при условии, что высота нижней границы облаков не превышает 1000 м.

В работах по исследованию слоистообразных облаков приводятся различные характеристики, полученные на основании данных наблюдений, проводившихся различными методами и в различные по продолжительности периоды.

Здесь проводится некоторое обобщение результатов исследований различных авторов и даются сведения о высоте и мощности слоистообразных облаков, полученные по наблюдениям трех пунктов самолетного зондирования и трех метеорологических станций (Куйбышев, Волгоград, Ростов-на-Дону). По этим станциям обработаны материалы наблюдений над высотой облаков, содержащиеся в ТМ-1 за 1956—1962 гг., и данные самолетного зондирования за 1957—1963 гг.

Следует заметить, что метеорологические наблюдения над высотой облаков проводятся весьма регулярно, но результаты их записываются в ТМ-1 с округлением до 100 м. На недоброкачественность этих наблюдений указывал И. Е. Воробьев (1956). При самолетном зондировании высота нижней границы облаков измеряется более точно, но эти наблюдения менее регулярны. Поэтому нами для определения средней высоты нижней границы облаков были использованы те и другие данные.

В связи с тем что активные воздействия на слоистообразные облака с целью увеличения осадков проводятся при сплошной облачности, в обработке использованы только такие случаи, когда они наблюдались в количестве 10 баллов.

Указанные характеристики облаков приводятся только для холодного периода (ноябрь — март).

Средняя высота нижней границы. В опубликованных работах в основном имеются данные средней высоты нижней границы

слоистообразных облаков по северо-западной территории ЕТС (Накоренко и Токарь, 1946; Боровиков, 1947; Заварина, Курбатова, 1961), по территории Украины (Прихотько, 1958; Половина, 1962 г.; Пономаренко, Заболоцкая, 1965) и Арктики (Заварина, Ромашева, 1957, 1959). Эти данные позволили установить некоторые особенности распределения средней высоты нижней границы слоистых и слоисто-кучевых облаков на территории СССР в зависимости от физико-географических условий. Высоты слоистых облаков заметно меньше высот слоисто-кучевых облаков. Так, в районе Москвы (Боровиков, 1947) зимой средняя высота нижней границы слоистых облаков составляет около 400 м, а слоисто-кучевых — около 900 м; в районе Ленинграда (Заварина, Курбатова, 1961) высота слоисто-кучевых облаков также около 900 м, а высоты слоистых облаков в среднем составляет около 500 м. По данным, имеющимся в последней работе, можно заключить, что слоисто-кучевые облака на юге Украины располагаются несколько выше, чем на северо-западе ЕТС, а слоистые, наоборот, несколько ниже. По данным 20 полярных и дрейфующих станций, высота нижней границы слоистых облаков изменяется за холодный период от 200 до 500 м, слоисто-кучевых от 500 до 1000 м (Заварина, Ромашева, 1959).

В табл. 17 приводится средняя высота слоистообразных облаков, полученная по данным метеорологических наблюдений (М) и самолетного зондирования (С). Отмечаются большие расхождения значений средних высот слоистообразных облаков, полученных по данным самолетного зондирования и по метеорологическим данным. Это не удивительно, так как в течение сравнительно небольших промежутков времени (порядка нескольких минут и десятков минут) высота облаков

Таблица 17

Средняя высота (м) нижней границы слоистообразных облаков

Станция	XI		XII		I		II		III		Среднее	
	С	М	С	М	С	М	С	М	С	М	С	М
St												
Куйбышев	200	220	210	200	240	240	190	270	210	250	210	240
Волгоград	410	370	390	370	340	370	310	370	320	380	350	370
Ростов-на-Дону	310	300	250	290	230	350	250	290	220	330	250	310
Sc												
Куйбышев	810	830	620	780	780	810	660	860	760	860	710	820
Волгоград	860	690	840	680	820	740	640	680	780	680	810	710
Ростов-на-Дону	830	730	690	810	910	960	660	870	730	1120	770	870

в одной и той же точке может уменьшаться или увеличиваться на десятки и сотни метров (Матвеев, 1959). В работе Е. Г. Зак и О. В. Марфенко (1952) проводилось сравнение различных методов наблюдений. Они обнаружили, что высота облаков, определенная по шару-пилоту, на 90 м больше, чем высота потери видимости горизонта с самолета.

В табл. 17 средняя высота нижней границы облаков, по метеорологическим данным, также преимущественно выше, чем по данным самолетного зондирования. Только в Волгограде высота слоисто-кучевых облаков по самолету больше, чем по метеорологическим данным. При

этом следует отметить, что средняя высота нижней границы слоисто-кучевых облаков в Волгограде наибольшая из трех пунктов по данным самолетного зондирования и наименьшая по метеорологическим данным. По данным В. М. Михеля, средняя высота нижней границы слоистых и слоисто-кучевых облаков за утренний срок зимой получилась также наибольшей в Волгограде по сравнению с Ростовом-на-Дону и Саратовом, что хорошо согласуется с данными табл. 17 и показывает, что высота слоисто-кучевых облаков в Волгограде, полученная по данным самолетного зондирования (810 м), ближе к истинной, чем высота, полученная из ТМ-1 (710 м).

Итак, средние высоты слоистых облаков в рассматриваемом районе за холодный период изменяются от 200 до 400 м, слоисто-кучевых — от 700 до 900 м. Как уже отмечалось выше, наибольшие высоты слоистообразных облаков наблюдаются в Волгограде; в Ростове-на-Дону они несколько выше, чем в Куйбышеве.

Повторяемость высоты нижней границы облаков. В ряде работ приводится повторяемость высот слоистообразных облаков по ЕТС. Г. Ф. Прихотью (1958) дает повторяемость низкой облачности (до 600 м) над степной частью Украины, отмечая резкое преобладание облачности в нижнем 300-метровом слое в холодную часть года. В. Я. Лобанова, М. В. Соколова (1958) исследовали повторяемость низкой облачности в зоне атмосферных фронтов и отметили, что высота нижней границы слоисто-кучевых облаков 300—600 м в зоне холодных фронтов имеет наибольшую повторяемость. В Арктике (Заварина, Ромашева, 1957) слоистые облака ниже 600 м наблюдаются примерно в 90% случаев, а слоисто-кучевые — в 40% случаев.

В табл. 18 дана повторяемость нижней границы слоистообразных облаков по градациям. Число случаев по каждой станции, по данным самолетного зондирования, в 2—4 раза меньше, чем по метеорологическим данным.

Из табл. 18 видно, что слоистые облака всегда ниже 1000 м, причем в 80—90% случаев они ниже 400 м как по данным самолетного зондирования, так и по метеорологическим данным. В Волгограде по сравнению с Куйбышевом и Ростовом-на-Дону слоистые облака выше 400 м наблюдаются несколько чаще (примерно в 20—25% случаев).

По данным самолетного зондирования (С), повторяемость каждой градации высоты слоисто-кучевых облаков более 200 м составляет в среднем 15—20%. По метеорологическим данным (М), повторяемость каждой градации от 600 до 1000 м значительно меньше, чем по данным самолетного зондирования, и только в Ростове-на-Дону повторяемость высоты S_c по тем и другим данным имеет близкие значения.

Таким образом, все слоистые облака в рассматриваемом районе по высоте нижней границы пригодны для активных воздействий, так как они располагаются ниже 1000 м, а слоисто-кучевые — только в 70—80% случаев.

Данные табл. 18 показывают, что, по-видимому, в результате обработки метеорологических наблюдений несколько завышена высота низких слоисто-кучевых облаков (занижена повторяемость градации 201—400 м) и занижена высота высоких облаков (занижена повторяемость градации более 1000 м), особенно в Волгограде и Куйбышеве.

Толщина облачных слоев. В работах А. М. Боровикова (1947), М. В. Завариной, А. Н. Курбатовой (1961) и других толщина слоистообразных облаков приводится преимущественно по ЕТС. Эти данные показывают, что толщина слоистых облаков несколько больше толщины слоисто-кучевых облаков. И. Н. Пономаренко, А. М. Кошенко,

Таблица 18

Повторяемость (%) высоты нижней границы слоистообразных облаков за холодный период

Станция	Высота нижней границы (м)												Число случаев	
	0—200		201—400		401—600		601—800		801—1000		>1000			
	С	М	С	М	С	М	С	М	С	М	С	М	С	М

St

Куйбышев	54	44	39	53	6	3	1	0	—	—	—	—	160	434
Волгоград	11	10	62	72	22	17	4	1	1	0	—	—	147	582
Ростов-на-Дону	43	35	49	57	8	7	0	1	—	—	—	—	209	696

Sc

Куйбышев	2	0	23	0	24	30	19	41	12	22	20	7	237	690
Волгоград	0	0	13	5	27	44	15	29	15	21	30	1	156	881
Ростов-на-Дону	0	0	14	5	27	15	18	39	16	22	25	19	282	625

Т. Н. Заболоцкая (1965) для степной зоны Украины получили среднюю толщину фронтальных слоистых облаков за холодную половину года 620 м и слоисто-кучевых облаков 380 м.

По данным, приведенным в работе Завариной и Курбатовой (1961), можно заключить, что толщина слоистообразных облаков зимой и в переходные сезоны в южных районах несколько меньше, чем в северных: в Ленинграде она составляет 400—500 м, в Одессе 330—370 м.

Таблица 19

Средняя толщина (м) слоистообразных облаков

Станция	XI	XII	I	II	III	Среднее
---------	----	-----	---	----	-----	---------

St

Куйбышев	610	520	480	490	570	520
Волгоград	560	330	350	380	460	410
Ростов-на-Дону	340	310	390	470	580	370

Sc

Куйбышев	400	410	350	440	440	410
Волгоград	310	310	370	610	400	370
Ростов-на-Дону	390	400	390	390	380	390

St и Sc

Куйбышев	460	460	390	450	470	450
Волгоград	380	320	360	480	420	380
Ростов-на-Дону	380	360	390	420	410	390

На рассматриваемой нами засушливой территории толщина слоистых облаков по месяцам и за холодный период также в основном больше толщины слоисто-кучевых облаков (табл. 19). Наименьшая толщина облачных слоев отмечается в середине холодного периода (декабрь—январь).

Толщина слоистых и слоисто-кучевых облаков уменьшается к югу, правда, в Волгограде толщина слоисто-кучевых облаков несколько больше, чем в Ростове-на-Дону. Причем, если толщина слоистых облаков в рассматриваемом районе изменяется существенно, то изменение толщины слоисто-кучевых облаков менее значительно. Такое изменение толщины слоистообразных облаков хорошо согласуется с выводами, сделанными в работе Завариной и Курбатовой (1961).

В этой же таблице приводится средняя толщина слоистообразных облаков. Использование осредненной толщины слоистых и слоисто-кучевых облаков оправдано тем, что часто наблюдатели смешивают эти формы облаков. Изменение толщины слоистообразных облаков по месяцам, как это и следовало ожидать, получилось более сглаженным. Толщина слоистообразных облаков в общем уменьшается к югу, иногда незначительно увеличивается к Ростову-на-Дону (в декабре и январе и за весь холодный период). Наименьшая толщина слоистообразных облаков отмечается в середине холодного периода.

Повторяемость толщины облачных слоев. Выше уже отмечалось, что согласно критерию целесообразности активных воздействий на облака их мощность должна быть не менее 250—300 м. В связи с этим в табл. 20 и 21 приводятся повторяемости толщины облачных слоев менее 300 м и более 300 м за холодный период (с октября по март).

Таблица 20

Относительная повторяемость различной толщины слоистообразных облаков при температуре на верхней границе $\leq -4^\circ$ (первая строка) и при любой температуре (вторая строка)

Станция	Толщина облаков (м)				Число случаев
	<300	300—600	> 600	> 300	
St					
Куйбышев	30	33	37	70	105
	28	40	32	72	165
Волгоград	48	38	14	52	79
	44	41	15	56	137
Ростов-на-Дону	42	38	20	58	71
	46	41	13	54	199
Sc					
Куйбышев	46	35	19	54	280
	47	34	19	53	361
Волгоград	46	38	16	54	161
	46	40	14	54	228
Ростов-на-Дону	46	33	21	54	267
	47	34	19	53	416

Из табл. 20 видно, что слоистые и слоисто-кучевые облака толщиной более 300 м наблюдаются в рассматриваемом районе в 50—60%, а в Куйбышеве даже в 70%.

В табл. 21 дана повторяемость температур на верхней границе облачного слоя $\leq -4^\circ$ и $> 4^\circ$, причем при вычислении повторяемости число случаев каждой градации толщины облачного слоя принято за 100%.

Из таблицы видно, что в северной части рассматриваемой засушливой зоны чаще, чем в южной, наблюдаются слоистообразные облака с температурой на верхней границе ниже -4° .

Таблица 21

Повторяемость (%) температур $\leq -4^{\circ}$ (первая строка) и $> -4^{\circ}$ (вторая строка) на верхней границе облаков при различных значениях их толщины за холодный период

Станция	Толщина облаков (м)			
	< 300	300—600	> 600	> 300
St				
Куйбышев	67	53	73	62
	33	47	27	38
Волгоград	62	54	55	54
	38	46	45	46
Ростов-на-Дону	33	33	54	38
	67	67	46	62
Sc				
Куйбышев	76	79	78	79
	24	21	22	21
Волгоград	70	69	78	71
	30	31	22	29
Ростов-на-Дону	63	61	73	65
	37	39	27	35

Наибольший интерес представляет повторяемость градации более 300 м при температуре на верхней границе облака ниже -4° , так как при этих условиях наиболее целесообразны активные воздействия. Повторяемость этого комплекса, как видно из табл. 21, уменьшается от Куйбышева к Ростову-на-Дону для слоистых облаков от 62 до 38% и для слоисто-кучевых от 79 до 65%.

§ 6. Водность, микроструктурные характеристики и температура облаков

По существующим представлениям (Никандров, 1959, Физика облаков, 1961, Шишкин, 1964 и др.) на рассматриваемой нами территории осадки выпадают преимущественно из смешанных облаков. Если кристаллы льда в облаках отсутствуют, то их можно образовать искусственным путем, вводя хладореагенты, и создать условия, приводящие к выпадению осадков.

Из опытов известно, что искусственные воздействия на облака при температуре выше -4° не дают положительных результатов. Неудовлетворительными получаются результаты воздействий и в том случае, если толщина облаков и их водность малы.

Поэтому при оценке эффективности активных воздействий на те или иные облака, кроме данных о повторяемости этих облаков, их мощности и высоте нижней границы необходимы сведения о их фазовом строении, водности и температуре.

Водность. В многочисленных работах, посвященных изучению облачности, имеются данные о водности слоистообразных облаков. Приведем некоторые из них, характеризующие водность облаков над засушливой зоной ЕТС.

В табл. 22 представлены данные о средней водности слоисто-кучевых облаков, заимствованные из работы В. Е. Минервина (1961). Они получены по материалам сетевых самолетных зондирований атмосферы. В графе n указано общее число измерений водности. Поскольку в ряде случаев водность $\overline{W}$ одного облачного слоя измерялась более одного раза, то число облачных слоев, в которых измерялась водность, меньше n . Средние значения водности $\overline{W}$ для всего холодного периода подсчитаны как средние взвешенные по данным каждого месяца.

Таблица 22
Средние значения водности S_c (г/м³)

Станция	XI		XII		I		II		III		Среднее	
	$\overline{W}$	n	$\overline{W}$	n	$\overline{W}$	n	$\overline{W}$	n	$\overline{W}$	n	$\overline{W}$	n
Казань	0,10	27	0,16	39	0,11	26	0,08	13	0,08	15	0,12	120
Киев	0,20	58	0,18	39	0,23	25	0,42	4	0,19	10	0,21	136
Одесса	0,36	22	0,14	12	0,15	13	0,11	8	0,14	11	0,21	66
Минеральные Во- ды	0,33	14	0,25	8	0,26	7	0,17	2	0,28	8	0,28	39
Волгоград	0,16	24	—	—	0,38	3	0,19	10	0,11	8	0,17	45
Куйбышев	0,18	12	0,15	14	0,08	4	—	—	—	—	0,15	30

Для оценки эффективности активных воздействий на облака более ценными являются данные о водности облаков, приведенные в работах научных сотрудников УкрНИГМИ. Так, в работе И. П. Половины (1965) средние значения водности всех слоистообразных облаков рассчитаны в зависимости от высоты над их нижней границей, от температуры и толщины облаков; в работе И. Н. Пономаренко, А. М. Кошенко, Т. Н. Заболоцкой (1965) рассматривается водность фронтальных облаков, и в частности слоистообразных, в зависимости от их толщины и температуры. В обеих работах используются материалы наблюдений, проводившихся при экспериментальных полетах над Украиной, поэтому можно предполагать, что эти наблюдения достаточно надежны.

Таблица 23
Средние значения водности (г/м³) в St—Sc в зависимости от их толщины и температуры

Мощность облака (м)	Интервал температуры (град.)					n
	от —15,0 до —10,1	от —10,0 до —5,1	от —5,0 до —0,1	от 0,0 до 4,9	от 5,0 до 9,9	
100	0,02	0,03	0,05	0,08	0,10	1200
150	0,04	0,06	0,09	0,13	0,17	
200	0,06	0,08	0,12	0,18	0,22	1609
250	0,08	0,10	0,16	0,22	0,26	
300	0,09	0,12	0,18	0,25	0,30	1218
350	0,10	0,14	0,20	0,28	0,33	
400	0,12	0,16	0,23	0,31	0,36	725
450	0,13	0,17	0,25	0,33	0,39	
500	0,14	0,19	0,27	0,36	0,41	376
550	0,16	0,20	0,28	0,38	0,43	
600	0,17	0,22	0,30	0,40	0,45	162

В табл. 23 приводятся средние значения водности слоистообразных облаков при различной толщине их и различной температуре, расчи-

таинные И. П. Половиной. В табл. 24 приводятся значения водности фронтальных слоистых и слоисто-кучевых облаков, наблюдавшихся в холодную половину года. Эти данные заимствованы из работы Пономаренко, Кошенко, Заболоцкой. В последней графе табл. 23 указано число измерений водности в облаках, имевших толщину менее 100 м (1200), от 100 до 200 (1609) и т. д. Как видно из таблицы, число этих измерений значительно. При составлении табл. 24 было использовано значительно меньшее число наблюдений, что вполне естественно, так как слоистообразные облака редко бывают фронтальными. Кроме средних значений, в этой таблице содержатся весьма полезные данные о наибольшей и наименьшей водности слоистообразных облаков.

Таблица 24

**Водность и средняя температура фронтальных слоистообразных облаков
(холодное полугодие)**

Форма облаков	Водность (г/м ³)			Средняя температура	Число	
	средняя	наибольшая	наименьшая		зондирований	измерений
St . . .	0,23	0,33	0,07	—1,2	8	36
Sc . . .	0,16	0,32	0,03	—3,4	11	40

В табл. 25 представлены данные о водности облаков, полученные нами по самолетным зондированиям в трех пунктах. Средняя водность рассчитана для холодного периода (ноябрь — март). Для этих расчетов использованы данные наблюдений за 1960—1962 гг. в Куйбышеве, за 1962—1963 гг. в Вологограде и за 1958—1962 гг. в Ростове-на-Дону. Расчеты произведены как для облаков, пригодных для активных воздействий (температура ниже -4° , толщина не менее 300 м), так и для облаков, неудовлетворяющих условиям пригодности для активных воздействий. В последней графе таблицы приводятся средние значения водности облаков каждой формы. Для того чтобы по материалам УкрНИГМИ получить водность облаков, удовлетворяющих требованиям пригодности их для активных воздействий, по данным табл. 23 и по числу наблюдений каждой градации облаков была рассчитана средняя водность облаков при температуре ниже -5° и толщине облачных слоев более 300 м. Результаты этих расчетов приводятся в табл. 26.

Из табл. 26 можно видеть, что водность облаков тем выше, чем выше температура воздуха. Поэтому естественно, что в южных районах рассматриваемой территории (Одесса, Минеральные Воды) в ноябре водность слоисто-кучевых облаков получилась наиболее высокой (см. табл. 22). Вместе с тем очевидно, что эти высокие значения водности связаны с преобладанием облаков, непригодных для активных воздействий по их температурным характеристикам.

Средние значения водности слоисто-кучевых облаков за холодный период во всех районах засушливой зоны ниже 0,3 г/м³.

Из табл. 24 видно, что водность слоистых облаков вблизи фронта несколько больше водности слоисто-кучевых облаков. По данным табл. 25, средние значения водности слоистых, слоисто-кучевых облаков различаются незначительно.

Средняя водность облаков, пригодных для активных воздействий, ниже, чем облаков, не удовлетворяющих требованиям пригодности. В среднем по данным всех трех станций, наблюдения которых обработаны нами, она получилась равной 0,17 г/м³ (см. табл. 25).

Таблица 25

Средняя водность облаков W , непригодных (А) и пригодных (Б)
для активных воздействий (г/м^3)

Форма облаков	А		Б		$\bar{W}$
	W	n	W	n	
Куйбышев					
St	0,20	42	0,16	28	0,19
Sc	0,17	27	0,13	35	0,15
St—Sc	0,19	69	0,14	63	0,17
Волгоград					
St	0,22	13	0,20	8	0,21
Sc	0,23	13	0,22	14	0,22
St—Sc	0,23	26	0,21	22	0,22
Ростов-на-Дону					
St	0,22	38	0,18	25	0,21
Sc	0,22	43	0,17	27	0,20
St—Sc	0,22	81	0,18	52	0,21
Среднее					
St	0,21	93	0,17	61	0,20
Sc	0,21	83	0,16	76	0,19
St—Sc	0,21	176	0,17	137	0,20

Таблица 26

Средние значения водности слоистообразных облаков
над Украиной при толщине слоя ΔH более 300 м и температуре
ниже -5°

ΔH м	Температура (град.)			n
	—15, —10	—10, —5	—5	
300—400	0,11	0,15	0,14	173
400—500	0,14	0,18	0,17	96
500—600	0,16	0,21	0,19	58
Средняя . .	0,14	0,18	0,17	327

Для территории Украины средняя водность таких облаков получилась равной $0,16 \text{ г/м}^3$. Если учесть, что для Украины была рассчитана водность облаков при температуре ниже -5° , а наши расчеты проводились для случаев, когда температура у верхней границы облака была ниже -4° , то можно принять, что и над Украиной средняя водность облаков, пригодных для активных воздействий, равна $0,17 \text{ г/м}^3$.

Фазовое состояние. Для оценки эффективности активных воздействий на облака с целью вызывания осадков важно знать вероятность наличия облаков смешанной и капельно-жидкой фазы. Многочисленные обработки материалов наблюдений ряда аэрологических

станций над микроструктурой облаков, выполненные сотрудниками ЦАО, ГГО, УкрНИГМИ, доказывают, что слоистообразные облака кристаллической фазы наблюдаются чрезвычайно редко. Аналогичные выводы получены нами и по материалам наблюдений трех аэрологических станций. Они приводятся в табл. 27.

Таблица 27

Повторяемость различного фазового состояния облаков (%)				
Облака	Фазовое состояние			Число наблюдений
	капли	смесь	кристаллы	
Куйбышев				
St . . .	36	64	0	396
Sc . . .	35	65	0	721
Волгоград				
St . . .	95	2	3	113
Sc . . .	94	4	2	202
Ростов-на-Дону				
St . . .	94	5	1	304
Sc . . .	84	14	2	596

Из табл. 27 видно, что не более 2—3% слоистых и слоисто-кучевых облаков находятся в кристаллической фазе. Можно полагать, что и эти облака не были чисто кристаллическими, но в них кристаллы преобладали над каплями. Таким образом, по фазовому состоянию почти все слоистообразные облака пригодны для активных воздействий.

В табл. 28 приведена повторяемость микроструктурных характеристик капельно-жидких слоистых и слоисто-кучевых облаков. Согласно методике записи результатов измерений над микроструктурой облаков, в таблице выделены случаи наличия мелких, средних и крупных капель; по количеству капель облака также разбиты на три группы.

Из таблицы видно, что как в слоистых, так и в слоисто-кучевых облаках чаще наблюдаются мелкие капли. Повторяемость таких облаков в районе Волгограда оказалась несколько больше, чем в районе Ростова-на-Дону и Куйбышева, поэтому средняя водность слоисто-кучевых облаков в районе Волгограда не может быть выше, чем в Ростове-на-Дону и Куйбышеве. В табл. 25 водность этих облаков, по данным Волгограда, по-видимому, несколько завышена вследствие малого количества наблюдений и, возможно, более частых измерений водности в облаках, имевших более крупные капли. По микроструктурным характеристикам нет оснований считать водность облаков в районе Волгограда повышенной по сравнению с водностью в других пунктах.

Температура облачных слоев. В работах по активным воздействиям на облака можно встретить указания на то, что облака являются более благоприятными для активных воздействий, если летящий в них самолет обледеневает (Леонов, Неробеева, 1965). Как известно, обледенение самолета возможно в облаках, находящихся в капельно-жидком состоянии при температуре ниже 0°.

Таблица 28

Повторяемость капельно-жидких облаков с различными микроструктурными характеристиками (%)

Размеры капель	Количество капель в St			Сумма	Число наблю- дений	Количество капель в Sc			Сумма	Число наблю- дений	
	мало	среднее	много			мало	среднее	много			
Куйбышев											
Мелкие	22	13	30	65	93	26	11	28	65	165	
Средние	6	8	10	24	34	8	10	11	29	72	
Крупные	1	2	8	11	17	2	1	3	6	16	
Сумма	29	23	48	100	144	36	22	42	100	253	
Волгоград											
Мелкие	53	18	15	86	93	47	19	14	80	153	
Средние	6	2	3	11	12	4	11	3	18	34	
Крупные	2	1	0	3	3	0	0	2	2	3	
Сумма	61	21	18	100	108	51	30	19	100	190	
Ростов-на-Дону											
Мелкие	17	8	44	69	200	18	14	34	66	334	
Средние	2	8	8	18	50	4	6	10	20	99	
Крупные	2	2	9	13	38	3	3	8	14	70	
Сумма	21	18	61	100	288	25	23	52	100	503	

Приведенные выше данные о фазовом строении слоистообразных облаков свидетельствуют, что эти облака очень редко находятся в твердой фазе. Следовательно, решающим фактором, определяющим возможность обледенения самолетов в этих облаках, а также и эффективность активных воздействий является их температурный режим. В этой связи представляет интерес повторяемость пасмурного неба (8—10 баллов) по нижней облачности при отрицательной температуре в облаках, представленная в табл. 29. Она рассчитана по данным радиозондовых наблюдений ряда станций рассматриваемой зоны для каждого холодного месяца (в процентах от числа всех случаев радиозондирований атмосферы). Фактически это абсолютная повторяемость облаков, но только в утренние и вечерние часы, так как расчеты производились по двухразовым наблюдениям. Следует иметь в виду, что в таблицу вошли данные обо всех облаках нижнего яруса и, в частности, учтено наличие слоисто-дождевых облаков, у верхней границы которых температура воздуха обычно отрицательная. Поэтому для более северных широт повторяемости в табл. 29 более близки к общей повторяемости пасмурного неба, чем к повторяемости только слоистообразных облаков.

Оказалось, что в ряде пунктов вероятность существования переохлажденных облаков в холодное полугодие невелика. Особенно она мала в южных районах засушливой зоны (Баку, Тбилиси, Кустанай, Семипалатинск). Повторяемость слоистообразных облаков, имеющих температуру у верхней границы облака ниже -4° и толщину более

Таблица 29

Повторяемость (%) пасмурного неба по нижней облачности
при отрицательной температуре в облаках

Станция	XI	XII	I	II	III	Среднее
Киев	54	70	67	64	39	59
Тамбов	50	65	68	60	41	57
Куйбышев	58	60	60	55	42	55
Кишинев	45	55	58	52	35	49
Саратов	62	56	53	44	34	50
Каменная Степь	50	68	65	58	38	56
Харьков	55	72	70	62	43	60
Волгоград	44	60	—	59	49	53
Ростов-на-Дону	32	51	65	65	44	51
Минеральные Воды	35	50	49	39	30	41
Одесса	27	45	58	50	40	44
Севастополь	43	56	43	34	36	42
Уральск	54	56	42	33	23	42
Кустанай	35	30	27	22	15	26
Актюбинск	40	38	42	27	20	33
Омск	40	51	33	28	25	35
Семипалатинск	40	34	24	20	22	28
Тбилиси	18	35	35	22	19	26
Баку	18	25	44	36	20	29

300 м, рассчитана по данным наблюдений трех аэрологических станций.
Она приводится в табл. 30.

Таблица 30

Относительная и абсолютная повторяемость (%) St—Sc при температуре
у верхней границы облака ниже -4° и толщине облаков более 300 м

	XI			XII			I		
	<i>p</i>	<i>a</i>	ч. с.	<i>p</i>	<i>a</i>	ч. с.	<i>p</i>	<i>a</i>	ч. с.
Куйбышев	57	18	58	52	19	134	53	16	75
Волгоград	42	16	55	43	14	54	40	13	65
Ростов-на-Дону	36	15	94	36	16	98	46	22	112

	II			III			XI—III		
	<i>p</i>	<i>a</i>	ч. с.	<i>p</i>	<i>a</i>	ч. с.	<i>p</i>	<i>a</i>	ч. с.
Куйбышев	59	16	64	49	11	57	54	16	388
Волгоград	49	14	41	35	10	54	41	12	269
Ростов-на-Дону	51	18	101	45	13	64	43	17	469

В графе *p* этой таблицы дана относительная повторяемость слоистообразных облаков, благоприятных для активных воздействий, в процентах от общего числа радиозондирований этих облаков (ч. с.). Кроме того, в этой таблице приводится абсолютная повторяемость *a* слоистообразных облаков, пригодных для эффективного воздействия. Она получена путем умножения относительной повторяемости этих облаков на абсолютную повторяемость данной формы облаков, вычисленную по данным метеорологических наблюдений.

Сравнивая табл. 29 и 30, можно видеть, что относительные повторяемости, указанные в табл. 30, несколько меньше повторяемостей, содержащихся в табл. 29.

Еще меньше абсолютная повторяемость переохлажденных слоистообразных облаков, имеющих толщину более 300 м. В среднем за весь холодный период, по данным всех трех пунктов, она меньше 20%. Сравнивая результаты этих расчетов с данными табл. 29, можно заключить, что по всей засушливой зоне ЕТС повторяемость слоистообразных облаков, пригодных для активных воздействий составляет не более 20%. И. Н. Пономаренко, А. М. Кошенко и Т. Н. Заболоцкая (1965) по наблюдениям четырех аэрологических станций Украины (Львов, Киев, Одесса, Харьков) рассчитали повторяемость фронтальных слоисто-кучевых облаков, пригодных для активных воздействий (имеющих толщину не менее 250 м и температуру у верхней границы ниже -4°). Для холодного периода она оказалась равной 28%. Эта повторяемость получена по отношению к общему числу наблюдений над данными облаками, т. е. фактически соответствует относительной повторяемости, указанной в табл. 30. Абсолютная же повторяемость фронтальных облаков будет, безусловно, значительно меньше 20%, что и позволяет считать возможным распространить наши выводы о малой вероятности слоистообразных облаков, пригодных для активных воздействий, на всю засушливую зону ЕТС. Это заключение вполне закономерно еще и потому, что западная часть ЕТС отличается от восточной более высокими температурами воздуха в нижнем слое атмосферы в холодную часть года. Следовательно, на части ЕТС, расположенной западнее Куйбышева и Волгограда, на уровне облаков нижнего яруса чаще, чем в этих пунктах может наблюдаться температура воздуха выше -4° .

Итак, если принять среднюю повторяемость равной 17—20%, то активные воздействия на облака могут быть эффективными в течение 5—6 дней в месяц, причем по всем вышеприведенным характеристикам можно заключить, что эти условия будут наблюдаться с такой частотой лишь в северных районах засушливой зоны — севернее Волгограда и Харькова, несколько реже — в южных районах.

Повторяемость наличия этих условий в самые холодные месяцы (декабрь—январь) несколько больше, чем в ноябре и марте.

§ 7. Влагогенерирующая способность облаков

Многообразие физических процессов, формирующих облака и определяющих распределение влаги в них, до настоящего времени изучено мало. Сложность этих процессов затрудняет построение количественной теории, отражающей баланс и динамику влаги в облаке в зависимости от условий формирования облачности и термодинамического состояния атмосферы.

Е. Ф. Мамина, Е. К. Федоров (1957) отметили две существенные особенности в развитии отдельного облака: облако — определенное звено в некотором местном процессе циркуляции влаги; облако — некоторое пространство, в котором вследствие тех или иных причин конденсируется поступающий извне водяной пар. Во втором случае облако является следствием действия внешних по отношению к нему факторов. Так, например, его расположение, мощность, скорость развития и другие важнейшие параметры определяются характером восходящих потоков и концентрацией водяного пара в окружающем пространстве. Однако это лишь одна сторона процесса.

Возникшее и развивающееся облако становится физическим телом, в котором появляются новые специфические процессы, накладывающиеся на действие внешних факторов и в некоторых случаях приобретающие основное значение в дальнейшей жизни облака.

Важным параметром облака или облачной системы является водный баланс. Четкое представление о водном балансе, а также о балансе энергии необходимы при разработке количественной теории развития облаков и образования осадков, на базе которой возможны как расчеты процесса естественного развития, так и оценка возможности и эффективности активного вмешательства.

Исследования баланса влаги в облаке сопряжены с большими трудностями. Полное определение водного баланса должно включать измерение потоков водяного пара, входящих в облачную систему и выходящих из нее, а также потока выпадающих осадков (Мамина, Федоров, 1957).

В настоящее время рассчитать водный баланс облака довольно трудно. Однако существенный интерес представляет определение соотношения между влагосодержанием облака и количеством выпавших из него осадков, характеризующего влагонерирующую способность облачной системы.

В ряде работ (Мамина, Федоров, 1957; Леонов, 1965 и др.) отмечено, что обычно количество осадков, выпадающих из облачной системы, смещающейся вместе с фронтом, за все время ее существования значительно превосходит первоначальные влагозапасы, т. е. за время существования облаков они непрерывно и многократно обновляются.

Значения влагонерирующей способности K (отношение количества выпавших осадков r к влагозапасу q облачной системы), полученные различными авторами, приводятся в табл. 31.

Т а б л и ц а 31

Влагонерирующая способность облаков по данным различных авторов

Автор	Тип облаков	K	$\frac{K}{\tau}$
Мамина, Федоров	Фронтальные	7—40	0,3—2,7
Леонов	Фронтальные	4—30	0,9—1,7
	Внутримассовые	2—9	0,2—1,1

В работе Мамина, Федорова эти значения вычислялись для облачных систем теплового фронта и оказались в пределах от 3,8 до 9,4, когда влагозапасы определялись по средним данным о толщине и водности, и от 7 до 40, когда для определения влагозапасов использовались данные вертикального самолетного зондирования. Авторы указывают, что вторые соотношения ближе к реальным, так как первые вычислены с использованием завышенного среднего значения влагосодержания (из-за отсутствия экспериментальных данных средняя водность вычислена для слоя 2,5 км). Из таблицы видно, что близкие к этим значения K для фронтальных облаков получены М. П. Леоновым.

Для лучшей сравнимости полученных результатов в последней графе таблицы дана влагонерирующая способность, отнесенная к единице времени (часу).

Ниже будет рассмотрена влагонерирующая способность внутримассовых слоистообразных облаков в зоне недостаточного увлажнения ЕТС в январе и феврале. Именно в эти месяцы отмечается наибольшая повторяемость условий, благоприятных для активных воздействий на слоистообразные облака как по температуре, так и по другим характеристикам, к тому же максимальное количество влаги в слоистообразных облаках, пригодных для вызывания осадков, над Украиной переносится в январе.

По синоптическим картам — кольцовкам — за январь и февраль 1962 г. было отобрано 8 случаев с внутримассовой слоистообразной облачностью и в каждом из этих случаев проанализированы зоны осадков. По таблицам ТМ-1 были определены суммы осадков за соответствующие сроки по всем станциям, расположенным в зоне осадков. Затем для каждого случая подсчитаны суммы осадков по площади и вычислено среднее количество осадков r , которое приводится в табл. 31а. В этой таблице τ — продолжительность выпадения осадков. Она определена по синоптическим картам.

Таблица 31а

Влагонерирующая способность внутримассовых слоистообразных облаков

Дата	τ час.	r мм	K_1	K_2	$\frac{K_1}{\tau}$	$\frac{K_2}{\tau}$
28 I }	6	0,6	6	4,2	1,3	0,7
28 II }						
29 I }	6	1,0	10	7,0	1,7	1,2
6 II }	6	0,4	4	2,8	0,7	0,4
17 II }						
8 II }	6	0,5	5	3,5	0,8	0,6
12 II }	12	0,8	8	5,6	0,7	0,5
21 II }	18	2,0	20	14,0	1,2	0,8
Среднее значение	8	0,9	9	6,2	1,0	0,7

Гораздо сложнее обстоит дело с определением водозапаса рассматриваемых облаков. Как известно, водозапасы облачной системы определяются количеством воды в капельно-жидком состоянии, заключенной в столбе воздуха, имеющем на границах облаков основание площадью 1 м^2 . На протяжении всего времени выпадения осадков над пунктом или некоторой областью меняются интенсивность осадков и параметры дающих осадки облаков. В первом приближении можно допустить неизменность параметров облаков, тогда водозапас облачной системы q может быть определен как произведение средних значений ее толщины ΔH и водности.

По данным И. Н. Пономаренко, А. М. Кошенко и Т. Н. Заболоцкой (1965), в степной части Украины средняя толщина слоистых облаков равна 620 м, а слоисто-кучевых 380 м. Средняя водность этих облаков равна 0,23 и 0,16 г/м³ соответственно. Следует заметить, что эти характеристики получены для фронтальных облаков, однако средние значения водности, полученные нами для всех слоистообразных облаков (см. табл. 25) позволяют заключить, что различия характеристик внутримассовых и фронтальных слоистообразных облаков не являются существенными.

Если на основании имеющихся данных принять толщину слоисто-образных облаков равной 500 м, а водность $W=0,20$ г/м³, то водозапас этих облаков $q=100$ г/м²=0,1 мм. Если же учесть, что в рассматриваемых случаях преобладали слоистые облака, то водозапас их следует принять равным 0,143 мм. Значения K_1 и K_2 , определяющие влагогенерирующую способность облаков при двух указанных значениях водозапаса, приводятся в табл. 32. В последних графах этой таблицы указаны значения этих коэффициентов, отнесенные к единице времени (часу).

Из таблицы видно, что значения K , рассчитанные по среднему водозапасу слоистых облаков ($q=0,143$ мм) колеблются в пределах от 2,8 до 14. Последние близки к значениям K , полученным М. П. Леоновым (1965), за исключением одного облачного периода, который наблюдался 21 февраля 1962 г.

Все выполненные расчеты являются весьма приближенными, однако они позволяют заключить, что влагогенерирующая способность внутримассовых облаков меньше, чем облаков фронтальных. В конкретных условиях образования осадков возможности, заключенные в большом влагосодержании осадкообразующей массы, могут быть реализованы весьма различно в зависимости от ряда причин (Жаков, 1965). Из них особенно важны интенсивность восхождения воздуха, обусловленная степенью его неустойчивости, турбулентностью, высотой уровня конденсации, зависящей от относительной влажности.

§ 8. Климатологическая оценка возможной эффективности активных воздействий на слоистообразные облака

Расчет количества осадков, которое могло бы выпасть из слоистообразных облаков (St и Sc), наблюдавшихся в течение холодного периода над Украиной, проводился в УкрНИГМИ И. П. Половиной (1965). Он рассчитал возможное количество осадков при осаждении всей капельно-жидкой влаги, переносимой слоистыми и слоисто-кучевыми облаками, а также при условии, что активные воздействия на указанные облака будут проводиться только в тех случаях, когда эффективность воздействия обеспечена и получаемые осадки будут достигать поверхности земли. Это условие выражено выше упоминавшимся критерием целесообразности активных воздействий (толщина облака должна быть не менее 300 м, температура у верхней границы облака не выше -4° и высота нижней границы облачного слоя не выше 1000 м). При расчетах возможного количества осадков были использованы климатические данные о мощности и водности облаков, о скорости их переноса и продолжительности нахождения над каждым из четырех пунктов: Киев, Харьков, Одесса, Львов. Оказалось, что если осадить всю влагу, переносимую слоистообразными облаками за холодный период (ноябрь—март), при условии равномерного распределения ее на расстоянии 50 км от места воздействия, то можно получить количество осадков в районе Харькова — 48 мм, в районе Одессы — 36 мм и в районе Киева — 55 мм.

Из слоистообразных облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности воздействий, можно получить следующие суммы осадков: в Одессе 8 мм, в Харькове 22 мм, в Киеве 20 мм, что составляет по отношению к многолетней норме соответственно 7, 9 и 13%.

Эти расчеты произведены при допущении, что в результате воздействий вся капельно-жидкая влага будет осаждена полностью. Однако расчеты и опыты, проведенные сотрудниками ГГО, показали, что в случае кристаллических осадков можно искусственно осадить не более 60% влаги, содержащейся в облаках. Следовательно, возможная сумма

искусственных осадков из слоистых и слоисто-кучевых облаков на юге Украины будет менее 5 мм, на севере и востоке составит 12—13 мм, т. е. ненамного больше, чем выпадает из этих облаков без активных воздействий (см. табл. 16).

Ю. П. Сумин (1967) производил также расчеты возможного количества искусственных осадков из облаков, наблюдавшихся над Казахстаном. Они произведены более тщательно, однако на ограниченном материале наблюдений, проводившихся с декабря 1963 г. по март 1964 г. и с ноября по декабрь 1964 г. С помощью самолетного зондирования всех облачных систем, наблюдавшихся за указанный период, были получены все характеристики, необходимые для расчета возможного количества искусственных осадков.

Из всех наблюдаемых облаков автором была выделена так называемая ресурсная группа, в которую вошли 27 случаев наличия облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий.

Ю. П. Сумин считал, что облака пригодны для активных воздействий, если толщина облачного слоя не менее 200 м и температура у верхней границы облака не выше -4° . Высота нижней границы облачного слоя им не учитывалась.

Для каждого из 27 случаев было рассчитано количество осадков, которое возможно получить в результате активных воздействий на эти облака.

Следует заметить, что Сумин производил расчеты при наличии любой облачности, удовлетворяющей принятому им критерию, а за рассматриваемый им период преобладали фронтальные облака. Следовательно, среди них значительный процент могли составлять слоисто-дождевые облака. Расчеты показали, что за весь указанный период на площади около 1000 км² можно получить искусственно 11,2 мм осадков. Если исключить сумму осадков, полученную в декабре 1964 г. (1,13 мм), то оказывается, что за один холодный период — с ноября по март — возможное количество осадков составляет около 10 мм. Это немного меньше количества осадков, полученного в результате средних климатологических расчетов для северных и восточных районов Украины.

Сопоставляя полученные нами характеристики облачности для северной и южной частей засушливой зоны, а также многолетние суммы осадков по ряду станций с многолетней суммой осадков на ст. Одесса, можно предположить, что примерно таким, как в Одессе, или несколько меньше может быть возможное количество искусственных осадков на территории расположения метеорологических станций Александров Гай, Минеральные Воды, Волгоград.

Ниже приводится способ расчета возможного количества осадков по данным ст. Куйбышев, расположенной в северной части рассматриваемой засушливой территории.

Возможное количество искусственных осадков при равномерном их распределении по площади равно

$$R = \frac{Q}{S}, \quad (1)$$

где Q — количество влаги, которая может быть превращена в осадки в результате активных воздействий на облака; S — площадь, на которую выпадают осадки. Она определяется как площадь трапеции с основаниями l и $l + \Delta l$ по формуле

$$S = \frac{2l + \Delta l}{2} v \tau$$

при условии, что воздействие осуществляется по линии, перпендикулярной направлению ветра; l — длина линии воздействия; Δl — увеличение длины зоны кристаллизации за счет распространения кристаллов при турбулентном перемешивании, v — скорость ветра; τ — продолжительность выпадения осадков.

Из аэрологических наблюдений известно, что скорость ветра на уровне облаков нижнего яруса составляет около 8 м/сек. Расчеты, проведенные И. П. Половиной (1965), показали, что скорость переноса слоистообразных облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий, составляет 8,1 м/сек. (29 км/час). В наших расчетах была принята скорость переноса равной 30 км/час.

На основании экспедиционных данных по активным воздействиям на облака можно принять $t=20$ км, $\Delta l=4$ км и $\tau=1$ часу. Тогда получим $S=660$ км². При экспериментальных полетах, проводимых ГГО, S изменялось от 400 до 1700 км², а в среднем получилось равным около 1000 км², т. е. больше полученной нами. Объясняется это тем, что в большинстве случаев во время полетов облака (преимущественно фронтальные) переносились над Казахстаном со скоростью более 30 км/час.

Количество влаги, превращаемой в осадки, зависит от влагозапаса (вернее водозапаса) облака q_0 (г/м²) и его площади, подвергающейся воздействию, т. е.

$$Q = q_0 S_1 N,$$

$$q_0 = \Delta H W,$$

где ΔH — толщина облачного слоя (м); W — средняя водность облака (г/м³); S_1 — площадь слоя облаков (км²), из которого можно вызвать осадки при одной линии воздействия (при одном засеве); N — число засевов.

Подставив в формулу (1) выражение для Q , получим

$$R = q_0 \frac{S_1}{S} N. \quad (2)$$

Средняя толщина слоистых облаков в районе Куйбышева, по нашим данным, равна 520 м, слоисто-кучевых 410 (см. табл. 19).

С ноября по март средняя абсолютная повторяемость слоистых облаков составляет 11%, а слоисто-кучевых 19%. Следовательно, повторяемость слоистых облаков составляет около 35%, а слоисто-кучевых 65% общей повторяемости этих облаков. В соответствии с этим распределением облачности среднюю толщину слоистообразных облаков можно принять равной 450 м.

При условиях, благоприятных для активных воздействий, среднее значение водности слоистых и слоисто-кучевых облаков равно 0,14 г/м³. Используя эти данные, получаем средний влагозапас рассматриваемых облаков

$$q_0 = 450 \cdot 0,14 = 63 \text{ г/м}^2 = 0,063 \text{ мм.}$$

Полагая, согласно Н. С. Шишкину (1964) и Ю. П. Сумину (1967), что искусственно можно осадить только 0,6 водозапаса, получаем $q = 0,0378$ мм.

Средняя площадь слоя облаков, из которого можно вызвать осадки при одном засеве реагентами (зона кристаллизации облачных капель)

$$S_1 = (l + \Delta l) \Delta l.$$

Если положить $l=20$ км и $\Delta l=4$ км, то $S_1=96$ км².

Заметим, что среднее значение S_1 из 27 случаев воздействий, обработанных Суминым, получилось равным 90 км².

Если учесть время, затрачиваемое на развороты самолета при переходе от одной линии воздействия к другой (около 1 мин.), и положить скорость самолета равной 300 км/час, то на одну линию засева длиной около 20 км тратится около 5 мин., т. е. за один час может быть произведено 12 засевов. Подставив эти значения в формулу (2) и умножив на 0,6, получим, что в результате одного засева облаков выпадает 0,0054 мм осадков, а за 1 час 0,066 м.

По нашим данным, средняя продолжительность существования облаков в районе Куйбышева τ_k составляет около 12 час. Следовательно, за один период существования облаков можно произвести 144 засева. При экспериментальных полетах действительное число засевов за один период существования несколько меньше. Так, по данным ГГО, среднее число линий воздействия за один период оказалось равным 118. В опытах по интенсификации осадков, проводившихся УкрНИГМИ зимой 1963-64 г. число линий воздействия за каждый период не превышало 82. Таким образом, принятое нами среднее число линий воздействия за один период несколько превышает число воздействий, производившихся при экспериментальных полетах над Украиной и Казахстаном.

При этом условии количество возможных осадков за один период существования облаков составляет 0,79 мм. При опытных полетах, проводившихся в ГГО и УкрНИГМИ, среднее дополнительное количество осадков за один период существования облаков оказалось равным около 0,4 мм.

При сравнении результатов этих расчетов следует иметь в виду, что оценка эффективности активных воздействий на облака при опытных полетах производится по сумме осадков, из которой исключено количество естественно выпавших осадков. Возможно также, что засева облаков производились не всегда за весь период их существования.

Если принять во внимание, что среднее число периодов существования слоистообразных облаков в районе расположения Куйбышева равно 58, а относительная повторяемость этих облаков при условии пригодности их для активных воздействий составляет 54%, что число периодов, в которые можно ожидать эффекта воздействий, равно 31. За все эти периоды можно произвести более 4000 засевов и на площади около 700 км² получить 24,5 мм осадков.

Аналогичные расчеты возможного количества осадков были произведены по характеристикам облаков в районе Ростова-на-Дону и Волгограда. Полученные результаты и некоторые исходные параметры, по которым производились расчеты, представлены в табл. 32. В этой таблице ΔH — средняя толщина облачного слоя, W — водность, q_0 — водозапас единичного столба воздуха, τ_k — средняя продолжительность одного периода существования облаков, пригодных для активных воздействий, n — число облачных периодов с ноября по март, p — относительная повторяемость облаков, пригодных для активных воздействий, n_k — число периодов, в которые возможны эффективные воздействия на облака, $R_{\text{и}}$ — возможное количество искусственных осадков при условии, что будет осаждено 60% всей содержащейся в облаках влаги, $R_{\text{е}}$ — количество естественно выпадающих осадков, ΔR — возможное среднее дополнительное количество осадков, получаемое в результате активных воздействий.

Из таблицы видно, что дополнительное количество осадков, получаемое в результате активных воздействий на облака, не превышает

Некоторые характеристики слоистообразных облаков и возможное количество осадков из них

Станция	$\Delta H, \text{ м}$	$W, \text{ г/м}^3$	$q_0, \text{ г/м}^2$	τ_k	n	$p\%$	n_k	Осадки (мм)		
								R_n	R_e	ΔR
Куйбышев	450	0,14	63	12	58	54	31	24,5	14,7	9,8
Волгоград	380	0,21	80	12	43	41	18	18,0	8,3	9,7
Ростов-на-Дону	390	0,18	70	11	50	43	22	17,8	13,6	4,2

10 мм. В южной части исследуемой нами территории, по нашим данным и по данным УкрНИГМИ, сумма дополнительных осадков менее 5 мм.

Таким образом, активные воздействия на облака с целью вызывания осадков могут дать положительный эффект лишь в северной части рассматриваемой нами засушливой зоны Европейской территории Советского Союза.

Возникает вопрос, насколько целесообразно получать осадки путем активных воздействий на облака. Не касаясь затрат, связанных со стоимостью полетов самолетов (возможно, в дальнейшем будет введен другой, более дешевый способ воздействия на облака), представляется необходимым обратить внимание на следующие обстоятельства.

Выше указывалось, что наши расчеты относятся к периоду более влажному по сравнению с нормальным. В частности, по данным ст. Куйбышев, за рассматриваемый 7-летний период в течение 5 холодных месяцев выпало осадков на 55% больше нормы, а в Волгограде и Ростове-на-Дону на 40% больше нормы (см. табл. 15). Средняя сумма осадков за период с ноября по март в Куйбышеве составляет 185 мм, а из слоистых и слоисто-кучевых облаков в среднем выпадает 15 мм. Если же превратить в осадки всю влагу, переносимую слоистообразными облаками, пригодными для воздействий, то можно получить около 24 мм, т. е. добавка будет равна около 10 мм и составляет примерно 5% общей нормы за этот период.

Однако исследования облачности над Украиной (Прихотько, 1958; Половина, 1962 и др.) показали, что в ее северных и восточных районах за отдельные годы совершенно не наблюдались слоистообразные облака, пригодные для активных воздействий, или наблюдались так редко, что могли дать дополнительное количество осадков не более 1—2% по отношению к норме. В работах по исследованию засух можно встретить утверждения, что засушливым весенне-летним периодам предшествуют малоснежные и, можно полагать, малооблачные зимы. Таким образом, как раз в те зимы, в которые наиболее необходимо искусственно увеличить количество выпадающих осадков, условия для активных воздействий на облака малоблагоприятны. По-видимому, в результате увлажнения почвы осадками, полученными искусственным путем из слоистообразных облаков, можно ожидать некоторого увеличения урожая только в незасушливые годы.

Увеличение количества осадков на 10—15 мм, что составляет около 20—30 см снега, было бы весьма эффективным при условии, если этот снежный покров образуется в результате небольшого числа воздействий.

В действительности же он складывается из осадков, получаемых в результате многочисленных воздействий на облака в течение всего холодного периода.

Средняя высота снежного покрова, получаемая в результате воздействий в течение одного периода существования облаков, составляет не более 0,5 см. Возможно, добавка осадков и такими небольшими дозами была бы эффективна, если бы после активных воздействий облака, давшие осадки, снова восстанавливались. Однако, как указывалось, слоистообразные облака являются преимущественно внутримассовыми, толщина их невелика, скорости вертикальных движений и турбулентность в них значительно меньше, чем в облаках фронтального типа, поэтому их влагонегенерирующая способность не может быть значительной.

Коэффициенты K , определяющие влагонегенерирующую способность этих облаков, в § 7, по-видимому, несколько завышены, так как они определены с учетом средней водности их. Перед выпадением же осадков водность облаков, а следовательно, и водозапасы их больше средних значений. Следовательно, внутримассовые слоистообразные облака не могут так быстро восстанавливаться, как фронтальные. Опыты также показывают, что активное воздействие на слоистообразные облака приводит к их рассеиванию. А в этом случае повысится испарение и часть выпавшего снега превратится в водяной пар. Поэтому действительный эффект активных воздействий на облака будет значительно меньше ожидаемого.

Следует заметить, что в отдельные годы слоистообразные облака, пригодные для воздействий, существовали 80 час. и более. Непрерывно воздействуя на облака в течение такого длительного периода, можно получить до 5 мм осадков.

При планировании активных воздействий на облака с целью вызывания осадков и при оценке их эффективности следует принимать во внимание направление переноса влаги. Если поток влажного воздуха направлен в сторону засушливого района, то вряд ли целесообразно путем активных воздействий на облака задерживать влагу, т. е. не допускать переноса ее в еще более засушливый район, чем район активных воздействий.

Выводы

1. Слоистые и слоисто-кучевые облака в засушливой зоне ЕТС в холодный период наблюдаются чаще, чем слоисто-дождевые. Таким образом, по относительной повторяемости они являются наиболее благоприятным объектом для активных воздействий.

2. Суточный ход повторяемости слоистообразных облаков указывает, что условия, благоприятные для активных воздействий на эти облака, несколько чаще наблюдаются в утренние часы.

3. Условия, благоприятные для интенсификации выпадающих осадков, чаще отмечаются утром или ночью. В утренние и ночные часы несколько больше вероятность выпадения осадков из слоистообразных облаков.

4. Абсолютная повторяемость слоистых и слоисто-кучевых облаков на исследуемой территории с ноября по март колеблется от 16 до 45%, т. е. примерно от 5 до 14 дней в месяц наблюдаются слоистые и слоисто-кучевые облака, причем в марте их повторяемость меньше, чем в другие месяцы холодного полугодия; максимальные повторяемости приходятся на декабрь и январь.

5. По продолжительности существования слоистообразные облака не всегда пригодны для активных воздействий. Оказалось, что на большей части рассматриваемой территории около 50% этих облаков отмечалось только в один из сроков наблюдений, т. е. они существовали

заведомо менее 12 час. Более продолжительное время существует облачность, образуемая облаками трех форм: St, Sc и Ns.

6. Облака, благоприятные для активных воздействий по их толщине и температурному режиму, составляют 40% общего числа случаев слоистообразных облаков в районе Волгограда и около 50% в более северных районах. Абсолютная повторяемость таких облаков на Северном Кавказе, в Поволжье и на Украине менее 20%. Однако не все эти облака пригодны для активных воздействий вследствие малой продолжительности их существования.

7. Сумма естественных осадков, выпадающих из слоистых и слоисто-кучевых облаков, в среднем по территории за весь холодный период (ноябрь—март) составляет не более 15 мм. Максимальное среднее количество осадков из слоистых и слоисто-кучевых облаков наблюдалось в Куйбышеве и Днепропетровске (14,7 и 14,8 мм соответственно). В отдельные годы максимум осадков достигал 32 мм.

8. Климатологические расчеты показывают, что в средней части Поволжья в результате активных воздействий на слоистообразные облака за холодный период можно в среднем получить до 10 мм дополнительных осадков. Однако в малоснежные и малооблачные зимы дополнительное количество осадков будет в 2—3 раза меньше.

Эти расчеты произведены при условии, что активные воздействия на облака производятся с помощью твердой углекислоты. При использовании других реагентов, способных вызвать осадки из более теплых облачных слоев, можно достигнуть большего эффекта, т. е. получить дополнительное количество осадков более 10 мм.

Глава II

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОИСТО-ДОЖДЕВЫХ И КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКОВ

§ 1. Повторяемость облаков Ns , $Frnб$, Cu и Cb

Для оценки климатических ресурсов слоисто-дождевых (Ns), кучево-дождевых (Cb) и кучевых (Cu) облаков в зоне недостаточного увлажнения ЕТС приведем табл. 33 абсолютной повторяемости этих облаков нижнего яруса по месяцам, срокам наблюдений, формам облаков при нижней облачности 8—10 баллов по станциям Днепропетровск (1925—1928 гг.), Воронеж (1926—1929 гг.), Волгоград (1925—1929 гг.) и Гурьев (1927—1929 гг.) приблизительно для одного и того же периода, в который не наблюдались большие засухи.

Исходными материалами для расчета этой таблицы послужили полученные под руководством С. И. Троицкого данные по относительной повторяемости облаков различных форм и абсолютной повторяемости пасмурного неба (по нижней облачности).

Таблица 33 позволяет выявить годовой и суточный ход абсолютной повторяемости основных (ресурсных для искусственного вызывания осадков) форм облаков нижнего яруса: в холодное время года Ns , в теплое время года Cb и Cu *cong.* Заметим при этом, что, хотя в таблице приводится повторяемость Cu без разделения по степени их вертикального развития (Cu *cong.* и Cu *hum.*), кучевые облака при пасмурном небе (по нижней облачности), стоящие в графе для записи облаков в книжке наблюдений на первом месте по их количеству, являются в подавляющем большинстве случаев мощными кучевыми облаками (Cu *cong.*).

Как видно из таблицы, годовой ход абсолютной повторяемости слоисто-дождевых облаков весьма резко выражен в западной половине зоны (Днепропетровск, Воронеж) и слабо — в ее восточной (Волгоград) и особенно в юго-восточной части (Гурьев). Это в большой степени связано с общим уменьшением повторяемости облаков нижнего яруса с западо-северо-запада на востоко-юго-восток.

Дополнительные данные по годовому ходу абсолютной повторяемости облаков нижнего яруса $Frnб$, Ns или Ns по семи станциям зоны недостаточного увлажнения ЕТС можно найти в работе В. М. Михеля (1966). Годовой ход получен для средних суточных величин абсолютной повторяемости (табл. 34).

В холодное время года максимальная абсолютная повторяемость нижней облачности 8—10 баллов отмечается на западе (Днепропетровск) в декабре и январе (до 70—80%) и на юго-востоке (Гурьев), в декабре (до 55—60%).

На западе рассматриваемой зоны повышенная повторяемость пасмурного неба обусловлена значительной повторяемостью Ns . Повторяемость Ns вместе с $Frnб$ в декабре составляет около 25%, в январе 20%

Таблица 33

Абсолютная повторяемость (%) облаков Ns, Frnb; Cu, Cu fr. и Cb при нижней облачности 8—10 баллов

Облака	Срок (часы)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Днепропетровск													
Ns, Frnb	7	24	14	11	11	5	10	6	7	12	14	13	23
	13	16	14	10	16	7	11	6	6	14	16	16	27
	19	19	16	15	12	17	9	6	14	17	13	12	24
Cu, Cu fr.	7	—	—	1	3	4	2	—	1	—	2	1	—
	13	—	—	6	7	5	5	6	7	6	7	2	—
	19	—	—	3	—	1	—	2	1	1	3	1	1
Cb	7	—	—	—	11	2	6	4	2	2	1	1	1
	13	—	—	3	12	6	12	10	10	8	6	1	2
	19	—	—	1	5	5	6	6	5	3	5	3	—
Повторяемость нижней облач- ности 8—10 бал- лов	7	81	73	63	49	24	25	18	22	32	43	67	77
	13	79	68	69	51	21	32	26	26	36	44	55	69
	19	79	57	66	37	27	18	17	25	27	43	55	69
Воронеж													
Ns, Frnb	7	24	21	13	10	14	12	3	13	15	17	(20)	(25)
	13	22	16	12	10	7	11	2	7	11	9	12	21
	19	19	12	10	13	9	5	3	8	3	18	12	17
Cu, Cu fr.	7	1	—	—	1	3	1	—	1	—	2	—	—
	13	—	—	3	4	7	4	7	4	4	9	—	—
	19	—	—	—	1	2	—	2	3	2	3	1	—
Cb	7	—	—	—	1	3	4	5	2	5	2	—	—
	13	—	1	—	4	8	14	5	10	9	6	—	—
	19	—	—	—	—	7	6	6	6	10	2	—	—
Повторяемость нижней облач- ности 8—10 бал- лов	7	70	54	57	51	30	24	13	33	39	64	71	80
	13	64	43	54	47	30	34	18	32	33	57	69	67
	19	67	50	52	56	29	17	15	27	32	57	69	71
Волгоград													
Ns, Frnb	7	10	10	12	4	7	5	9	7	5	6	7	10
	13	14	11	12	8	7	7	7	6	6	8	9	16
	19	16	12	14	8	7	7	7	4	6	8	9	18
Cu, Cu fr.	7	—	—	—	—	1	2	1	1	—	—	—	—
	13	—	—	1	2	4	7	8	7	2	—	1	—
	19	—	—	—	—	1	—	—	1	1	—	—	—
Cb	7	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—
	13	—	—	—	—	1	3	4	4	1	—	—	—
	19	—	—	—	2	1	2	4	1	1	—	—	—
Повторяемость нижней облач- ности 8—10 бал- лов	7	65	62	64	37	26	20	24	28	21	47	68	78
	13	51	47	59	38	24	31	30	30	23	37	62	66
	19	55	53	52	33	19	24	22	14	19	39	62	69

Облака	Срок (часы)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Гурьев													
Ns, Frnb	7	1	6	4	3	2	6	—	2	2	4	2	—
	13	2	3	3	—	1	1	—	1	2	5	2	—
	19	2	3	5	1	—	2	—	3	1	3	2	—
Cu, Cu fr.	7	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—
	13	—	—	—	—	1	1	2	1	2	2	1	—
	19	—	—	—	—	—	2	1	1	—	—	—	—
Cb	7	—	—	—	9	2	6	8	3	7	1	2	—
	13	—	—	—	2	2	4	6	1	6	2	2	—
	19	—	—	—	4	1	7	8	4	6	4	—	—
Повторяемость нижней облач- ности 8—10 бал- лов	7	47	49	55	31	15	17	17	10	21	27	40	56
	13	42	42	39	22	15	9	11	12	18	22	37	58
	19	40	48	36	27	5	14	18	16	24	22	37	61

Примечание. Относительная повторяемость p данной формы облаков при нижней облачности 8—10 баллов легко находится из данной таблицы по абсолютной повторяемости a путем деления ее на повторяемость m нижней облачности 8—10 баллов, т. е. $p = \frac{a}{m}$.

(Днепропетровск). На юго-востоке (Гурьев) повторяемость Ns в течение всего года весьма мала и составляет лишь 3—4%, что связано зимой с влиянием азиатского антициклона, а летом — с общим ослаблением переноса водяного пара с океана и пониженной относительной влажностью.

Таблица 34

Абсолютная повторяемость (%) облаков нижнего яруса Ns; Frnb, Ns или Ns, Frnb по месяцам (1956—1962 гг.)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Куйбышев	17	13	12	4	0	1	2	2	6	9	9	15
Тамбов	18	17	13	5	4	3	2	4	7	12	14	21
Саратов	15	10	9	4	2	1	0	1	4	7	9	12
Харьков	14	11	11	5	4	2	1	1	5	7	11	12
Гумрак	19	14	13	6	2	0	0	0	4	7	12	14
Ростов-на-Дону	17	14	20	7	2	1	0	1	3	6	10	13
Минеральные Воды . .	10	13	11	8	4	1	1	—	4	3	8	9

К лету повторяемость Ns повсюду уменьшается, а повторяемость Cb в связи с усилением конвекции увеличивается, особенно в дневные часы.

Суточный ход абсолютной повторяемости Ns выражен слабо и неустойчив как в холодное, так и в теплое время года во всей рассматриваемой зоне.

Годовой ход абсолютной повторяемости ресурсов для активных воздействий Cb и Cu при нижней облачности 8—10 баллов выражен весьма отчетливо. В соответствии с развитием конвекции к летнему сезону растет от января к июлю и абсолютная повторяемость Cu и Cb при нижней облачности 8—10 баллов. Хорошо выражен и суточный их

ход летом. Наибольшая абсолютная повторяемость Сb и Сu наблюдается в 13 час. Однако в Гурьеве в силу влияния моря суточный ход Сu и Сb выражен слабо, а повторяемость Сb даже несколько уменьшается в дневные часы (т. е. суточный ход имеет обратный знак).

Большое уменьшение абсолютной повторяемости в зоне недостаточного увлажнения ЕТС по направлению с запада и северо-запада на восток и юго-восток должно, несомненно, говорить и о большом уменьшении в том же направлении толщины Ns и других форм облаков нижнего яруса. При этом следует, однако, учитывать влияние возвышенностей, которые существенно изменяют эту картину. Так, при общем уменьшении повторяемости ресурсных облаков Frnb, Ns в холодное время года и Сb и Сu song. в теплое время года с запада на восток при пересечении, например, южной части Среднерусской возвышенности повторяемость Frnb, Ns; Сb и Сu song. с приближением к оси возвышенности сначала возрастает, а затем уменьшается (см. табл. 33 и карты-диаграммы рис. 12, 13). То же явление имеет место и при пересечении Урала.

Об уменьшении с запада на восток повторяемости ресурсной группы облаков в теплое время года (группа Сu song. в количестве 7 и более баллов при наличии в данном районе Сb) свидетельствуют и данные А. П. Чуваева и других авторов (1956, 1957, 1964).

Увеличение повторяемости Frnb; Ns и Сb над возвышенностями по сравнению с окружающими районами сопровождается увеличением толщины облаков и их переохлажденной части, а также некоторым уменьшением высоты их нижней границы. Все это должно способствовать большей эффективности активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков над возвышенностями, чем над окружающей равнинной местностью. Правда, и обеспеченность выпадения естественных осадков над возвышенностью будет больше, чем над окружающей равнинной местностью, что затруднит оценку эффекта активных воздействий.

Таблица 35 характеризует абсолютную повторяемость 10 баллов Ns; Ns, Frnb или Frnb, Ns для пяти станций зоны недостаточного увлажнения ЕТС в срок 19 час. Как видно из сравнения данных этой таблицы с данными табл. 33, повторяемость Frnb, Ns или Ns в Днепропетровске в холодный период 1956—1962 гг. оказалась значительно меньше, чем в тот же период 1925—1928 гг.

Таблица 35

Абсолютная повторяемость (%) Ns; Ns, Frnb или Frnb, Ns в 19 час.

Станция, период (годы)	Облака	X	XI	XII	I	II	III	X—III
Тамбов, 1946— 1962	10/10 Ns, Frnb или Frnb, Ns	11	15	15	13	11	10	12
	10/10 Ns	2	3	5	10	10	5	6
Харьков, 1951— 1962	10/10 Ns, Frnb или Frnb, Ns	6	10	11	14	10	11	10
	10/10 Ns	0	0	0	0	1	0	0
Днепропетровск, 1956—1962	10/10 Ns, Frnb или Frnb, Ns	4	7	8	10	7	4	7
	10/10 Ns	2	0	4	3	5	3	3
Кировоград, 1951—1962	10/10 Ns, Frnb или Frnb, Ns	5	10	7	8	10	6	8
	10/10 Ns	0	—	1	1	2	—	1
Волгоград, 1956— 1962 (за 7 час.)	10/10 Ns, Frnb или Frnb, Ns	4	4	3	2	1	1	3
	10/10 Ns	3	10	8	15	12	11	10

Если же сравнить повторяемость (вероятность) N_s в «центре засухи» в Волгограде в период 1925—1929 гг. с достаточно большим количеством осадков и в период 1956—1962 гг. с меньшим их количеством, то можно отметить следующее: в то время как в холодное полугодие средняя месячная повторяемость N_s ; $Frnb$, N_s или N_s , $Frnb$ в период 1925—1929 гг. в среднем лишь на 2% меньше, чем в 1956—1962 гг., в теплое полугодие она оказывается больше уже на 4,5%. В этом явно проявилась относительная засушливость теплого периода 1956—1962 гг. (табл. 36).

Таблица 36

Средняя суточная абсолютная повторяемость (%) N_s ; $Frnb$, N_s ; $Frnb$ в разные периоды при пасмурном небе. Волгоград

Период (годы)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1925—1929	13	11	13	7	7	6	6	6	6	7	8	15
1956—1962	19	14	13	6	2	0	0	0	4	7	12	14
Разность	—6	—3	0	1	5	6	6	6	2	0	—4	1

Таблица 37 показывает, что разности абсолютных вероятностей слоисто-дождевых облаков (N_s ; N_s , $Frnb$; $Frnb$, N_s) в 7 час. в Волгограде за периоды 1925—1929 и 1956—1962 гг. близки по величине и совпадают по знаку с вышеуказанными разностями, представленными в табл. 36 для средних суточных вероятностей. Однако эти разности в 19 час. оказываются значительно больше и имеют другой знак. Поскольку повторяемость слоисто-дождевых облаков 8—10 баллов и 10 баллов почти одинакова, различия разностей повторяемости их в Волгограде и Днепропетровске свидетельствуют о значительном пространственном изменении повторяемости N_s в зоне недостаточного увлажнения ЕТС.

Таблица 37

Абсолютная повторяемость (%) N_s ; $Frnb$, N_s ; N_s , $Frnb$ в данный срок наблюдений при пасмурном небе

Станция	Срок (часы)	Период (годы)	X	XI	XII	I	II	III
Волгоград	7	1925—1929	6	7	10	10	10	12
Разность	7	1956—1962	7	14	11	17	13	12
			—1	—7	—1	—7	—3	0
Днепропетровск	19	1925—1928	13	12	24	19	16	15
Разность	19	1956—1962	6	7	12	13	12	7
			7	5	12	6	4	8

Что касается различий повторяемости нижней облачности 8—10 баллов независимо от форм облаков, то они, естественно, оказываются значительно меньше, чем различия повторяемости облаков отдельных форм, что видно из табл. 34. Однако если сравнивать повторяемость нижней облачности 8—10 баллов не с многолетней нормой, а с повторяемостью, полученной из сравнительно небольших периодов 1925—1929 гг. и 1956—1962 гг., то эти различия также оказываются существенно большими, хотя и уступающими таковым для отдельных форм облаков (табл. 36, 37).

§ 2. Продолжительность существования, толщина облаков и осадки

В § 1 рассматривалась характеристика ресурсов облаков различных форм — величина их повторяемости. Не меньший интерес и практическую значимость имеет и другая характеристика ресурсов облаков — продолжительность их существования.

В табл. 38 приведена подсчитанная за период 1946—1960 гг. повторяемость непрерывной продолжительности существования облаков Frnb, Ns; Ns, Frnb или Ns на станциях Белгород и Ново-Миргород по данным четырехсрочных наблюдений. При этом если, например Frnb, Ns перешли за ближайший срок в Ns, Frnb или Ns или, наоборот, Ns перешли в Frnb, Ns или в Ns, Frnb, а затем в третий срок наблюдались облака Sc, то непрерывная продолжительность Frnb, Ns для данного случая считалась равной двум срокам наблюдений и т. д.

Таблица 38

Относительная повторяемость (%) непрерывной продолжительности существования 10/10 Frnb, Ns; Ns, Frnb

Число сроков	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Белгород												
1	44	42	48	55	57	35	78	65	53	43	44	46
2	31	25	19	28	23	32	17	25	29	20	25	25
3	9	11	18	13	8	17		5	7	21	16	12
≥ 4	16	22	15	4	12	16	5	5	11	16	15	17
Ново-Миргород												
1	40	67	70	32	60	60	63	62	(84)	63	44	76
2	36	33	30	27	24	30	13	31		25	27	20
3	18			14	12	10	24	7	16	8	21	4
≥ 4	6			27	4					4	8	

Из этой таблицы видно, что на северо-западной окраине зоны недостаточного увлажнения в течение всего года облака Frnb, Ns (или Ns, Frnb, или Ns) чаще всего отмечаются лишь в один срок наблюдений (из четырех суточных сроков), реже в течение двух, еще реже в течение трех и четырех наблюдений. При этом летом повторяемость продолжительности существования Frnb, Ns один срок больше, чем во все другие сезоны и составляет 60—65%, а к холодному времени года она несколько уменьшается и составляет осенью 50%, зимой 45%, весной 55%.

Уменьшение к зиме повторяемости продолжительности существования Frnb, Ns один срок объясняется резче выраженным зимой различием температуры по горизонтали и связанными с ним интенсивной циклонической деятельностью, атмосферными фронтами и облачными системами. Повторяемость непрерывной продолжительности существования Frnb, Ns два срока наблюдений изменяется уже в меньших пределах: от 20 до 30%. Данные табл. 38 могут быть использованы также для получения обеспеченности (т. е. суммарной повторяемости) той или иной продолжительности существования облаков данной формы.

Так, нетрудно видеть, что в Белгороде повторяемость непрерывной продолжительности существования Frnb, Ns; Ns, Frnb; Ns не более чем три срока наблюдений подряд составляет в январе 84%, в апреле 96%, в июле 95%, в октябре 84% и т. д.

В Ново-Миргороде так же, как и в Белгороде, преобладают Ns, Frnb, наблюдавшиеся лишь в один срок. С увеличением числа сроков, как и в Белгороде, повторяемость непрерывно наблюдавшихся в течение этих сроков слоисто-дождевых облаков уменьшается. Годовой ход продолжительности наблюдения слоисто-дождевой облачности также в общем незначителен.

Выше рассматривалась лишь относительная повторяемость различной продолжительности существования облаков в течение одних суток. Иными словами, существование слоисто-дождевой облачности над данным пунктом прослеживалось лишь в течение четырех сроков наблюдений.

Представляет интерес выявить повторяемость более редких случаев, когда облака 10/10 Frnb, Ns; 10/10 Ns, Frnb или 10/10 Ns наблюдались подряд пять или более сроков наблюдений. Из табл. 39 видно, что в Белгороде относительная повторяемость таких случаев составляет зимой 10%, осенью 8%, летом 6% и весной 4%.

Таблица 39

Относительная повторяемость (%) непрерывной продолжительности существования 10/10 Frnb, Ns; Ns, Frnb; Ns. Белгород

Продолжительность (число сроков наблюдений)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	44	42	48	55	57	35	78	65	53	43	44	46
2	31	25	19	28	23	32	17	25	29	20	25	25
3	9	11	18	13	8	17		5	7	21	16	12
4	7	9	8	3	8	8				8	8	8
5	6	7	4		4	8	5		7	2	4	3
6	3	2		1				5	4	1	1	4
7		2	1							2		1
8		1	1							1	2	1
9		1										
10			1							2		

По данным таблиц 38, 39 и табл. 34 нетрудно приближенно подсчитать относительную и абсолютную среднюю продолжительность существования облаков Frnb, Ns; Ns, Frnb или Ns в количестве 8—10 баллов.

По данным самолетных зондирований, в годовом ходе толщины облаков в зоне недостаточного увлажнения ЕТС можно заметить следующие закономерности: наибольшая толщина Ns отмечается на континентальных станциях весной (март); летом повторяемость Ns невелика. На прибрежных станциях (Ростов-на-Дону) четко выраженного годового хода толщины Ns не обнаруживается (табл. 40).

В зоне недостаточного увлажнения Сб вследствие недостатка водяного пара так же, как и Ns, имеют в общем значительно уменьшенную по сравнению с зоной нормального увлажнения толщину. Их толщина здесь около 2 км (в умеренно увлажненной зоне ЕТС в среднем около 3 км), поэтому при высокой еще температуре у земной поверхности мала будет у них и толщина переохлажденной части. Это является неблагоприятным фактором для получения достаточно больших дополнительных осадков с помощью активных воздействий на такие облака.

В табл. 41 приводится повторяемость толщины Ns, Frnb, Cu и Сб по данным самолетных зондирований в Куйбышеве. Из нее видно, что

Таблица 40

Годовой ход толщины (км) Ns и Cb в зоне недостаточного увлажнения ЕТС													
Станция	Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ns													
Куйбышев	1957—1961	1,19	—	2,01	1,95	—	—	—	—	1,43	1,13	1,07	1,30
Ростов-на-Дону		1,00	1,04	1,42	0,91	—	—	—	—	1,48	1,53	0,84	0,96
		2,25	2,92	2,03	2,61	—	—	—	—	—	1,85	2,28	2,60
Cb													
Куйбышев		—	—	—	—	1,99	—	—	—	—	—	—	—
Ростов-на-Дону		—	—	—	0,93	2,12	1,48	—	—	—	—	—	—

повторяемость толщины, удовлетворяющей критерию целесообразности искусственных воздействий (> 400 м), у Ns составляет 83%, у Cb 72%, у Frnb — 48%, а у Cu лишь 33%. Толщина наиболее тонких в среднем облаков Ac только в 27% случаев будет более 400 м, однако и в этих случаях вследствие большой высоты их нижней границы, значительно превышающей 1 км, осадки, как правило, не будут достигать земной поверхности (полосы падения осадков).

Таблица 41

Повторяемость (%) различной толщины слоисто-дождевых и кучевых форм облаков. Куйбышев, январь—декабрь 1957—1961 гг.

Толщина (м)	Ns	Frnb	Ns, Frnb	Cu	Cb
0—200	9	14	10	25	10
200—400	8	38	13	42	18
400—600	13	9	13	13	14
600—800	12	5	10	8	18
800—1000	14	—	12	8	7
1000—1500	24	24	24	—	25
1500—2000	7	10	7	—	4
>2000	13	—	11	4	4
Число случаев	113	21	134	24	28

Вследствие того что при самолетных зондированиях верхняя граница мощных облаков (особенно это относится к опасным для полетов Cb) часто не достигается, средняя толщина облаков существенно занижена. Но по той же причине занижена она будет и в других районах. Однако несомненно, что в зоне недостаточного увлажнения толщина облаков будет значительно меньше, чем в западной части ЕТС, где влажность выше и осадков выпадает больше.

Если к тому же в качестве критерия целесообразности активных воздействий на наиболее мощные и ресурсные облака нижнего яруса Ns и Cb использовать не предлагаемый автором критерий $\Delta H \geq 400$ м, а применявшийся ранее критерий $\Delta H \geq 300$ м, то будет допущена двойная ошибка. Во-первых, вместо облаков Ns для активных воздействий часто будут использованы менее пригодные для этой цели St, а вместо Cb —

Си. Во-вторых, при таком подходе активные воздействия для получения дополнительных осадков часто будут применяться для облаков, находящихся уже в стадии распада, т. е. непригодных для этой цели.

Результаты обработки объединенных по трем пунктам данных самолетных зондирований, приведенные в табл. 42, показывают, что повторяемость облаков с $\Delta H > 400$ м оказывается существенно меньше, чем в Куйбышеве и составляет не 83, а 73%. Это вполне понятно и обуславливается значительно меньшей толщиной N_s в Гумраке (близ Волгограда), т. е. в центре зоны недостаточного увлажнения, чем в Куйбышеве, находящемся на севере рассматриваемой зоны, т. е. в условиях сравнительно большего увлажнения.

Таблица 42

Повторяемость (%) различной толщины ΔH м слоисто-дождевых облаков при разных значениях высоты H км их нижней границы над земной поверхностью. Куйбышев, Гумрак, Ростов-на-Дону. Октябрь—март 1957—1962 гг.

ΔH м	H км			Всего %	Число случаев
	$<0,5$	$0,5-1,0$	$>1,0$		
<400	14	7	6	27	80
400—800	8	6	6	20	62
800—1200	10	2	9	21	59
1200—1600	4	5	3	12	37
1600—2000	1	3	3	7	18
>2000	6	3	4	13	39
Всего (%) . . .	43	26	31	100	
Число случаев . .	126	77	92		295

Что касается Ростова-на-Дону, то он находится уже на южной окраине зоны недостаточного увлажнения и толщина N_s здесь значительно больше не только по сравнению с Гумраком, но и по сравнению с Куйбышевым (табл. 40). Здесь, очевидно, сказывается влияние моря, в результате чего в холодный период создаются более благоприятные условия для развития мощной облачности (влияние повышенной адвекции влаги и большой влажностеустойчивости).

Таблица 42 позволяет сделать заключение и об относительной повторяемости условий, необходимых для успешности активных воздействий ($\Delta H > 400$ и $H < 1$ км) и достаточно большой вероятности выпадения естественных осадков из слоисто-дождевых облаков. Относительная повторяемость таких условий, согласно табл. 42, составляет около 20%.

В работе В. М. Михеля (1966) приводится таблица вероятности (в процентах) различной продолжительности (в часах) осадков после наблюдения в 19 час. слоисто-дождевых облаков при разном направлении ветра (по флюгеру) в холодный период (октябрь—март). Такие данные за период 1956—1962 гг. приводятся для Винницы и Харькова. Из анализа этой таблицы следует, что наибольшая вероятность продолжительных осадков после наблюдения в 19 час. слоисто-дождевых облаков отмечается в Виннице и Харькове при западных ветрах. После наблюдения N_s вероятность (повторяемость) выпадения осадков, продолжавшихся не менее 4 час., составляет 65%. Общая вероятность выпадения осадков любой продолжительности после наблюдения N_s при западных ветрах составляет около 90%.

Если учесть, что высота нижней границы Сб из-за сухости воздуха часто значительно превышает 1 км (в среднем их высота около 2 км), то станет понятной большая повторяемость Сб в зоне недостаточного увлажнения, не сопровождающихся осадками у земли, и «сухих» атмосферных фронтов.

Таблица 43

Средняя продолжительность τ час. одного сеанса и вероятность $P\%$ выпадения осадков в течение 24 час. после наблюдения облаков Frnb, Ns; Ns, Frnb или Ns в 19 час. Октябрь—март

Станция	τ час., $P\%$	Начало выпадения осадков (часы)		Годы наблюдений	Срок наблюдения облаков (часы)
		19—22	22—19		
Тамбов	τ P	5,8 58	5,5 62	1946—1962	19
Кировоград	τ P	3,8 86	5,1 80	1951—1962	19
Харьков	τ P	3,8 94	5,2 65	1951—1962	19
Волгоград	τ P	5,7 81	8,2 96	1956—1962	7
Днепропетровск	τ P	4,3 89	2,8 96	1956—1962	19
Винница	τ P	7,0 80	5,4 94	1956—1959	19

Наконец, в табл. 43 дается средняя продолжительность τ одного сеанса, т. е. отдельной фазы выпадения осадков, связанных с прохождением мезофронтов или неоднородностями поля осадков и вероятность P выпадения осадков в течение 24 час. Эти характеристики даны отдельно для осадков, наблюдавшихся в промежутке между 19 и 22 час. и от 19 час. данных суток до 22 час. следующих суток. Из нее видно, что средняя продолжительность одного сеанса осадков из слоисто-дождевых облаков в холодное время года в рассматриваемой зоне составляет около 5 час., а вероятность их выпадения в ближайшие часы — около 80—90%, т. е. достаточно велика.

§ 3. Сравнительная климатическая характеристика форм облаков нижнего яруса

В главе I и в данной главе рассматривались различные климатические характеристики St, Sc, Ns, Cu и Cb. Произведем сравнительную оценку этих облаков с точки зрения их связи с осадками.

На рисунках 9, 10, 11 приводится сравнительный годовой ход относительной повторяемости основных облаков нижнего яруса St, Sc, Ns, Cu и Cb, а также тумана ($\equiv$) в 7, 13 и 19 час., наблюдаемых при нижней облачности 8—10 баллов, для части Европейской территории СССР, расположенной южнее 50° с. ш. Как видно из рис. 1, приведенного в главе I, и карт-диаграмм (рис. 12 и 13), эта часть ЕТС полностью располагается в зоне недостаточного увлажнения.

Кривые годового хода на рис. 9 получены путем осреднения данных наблюдений за период 1925—1929 гг. по 15 метеорологическим стан-

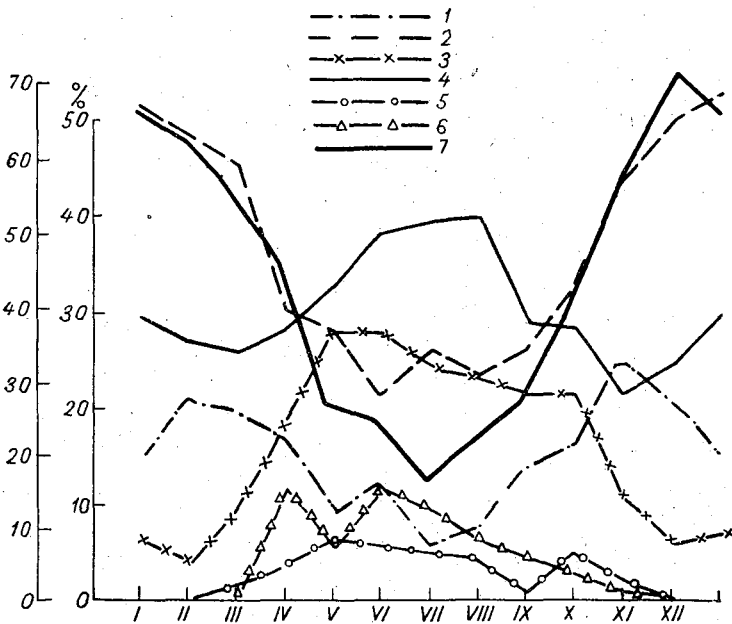


Рис. 9. Годовой ход абсолютной повторяемости нижней облачности 8—10 баллов (левая шкала) и относительной повторяемости форм облаков нижнего яруса (правая шкала). Утро (7 час.).
1 — туман, 2 — St, 3 — Sc, 4 — Ns, 5 — Cu, 6 — Cb, 7 — нижняя облачность 8—10 баллов.

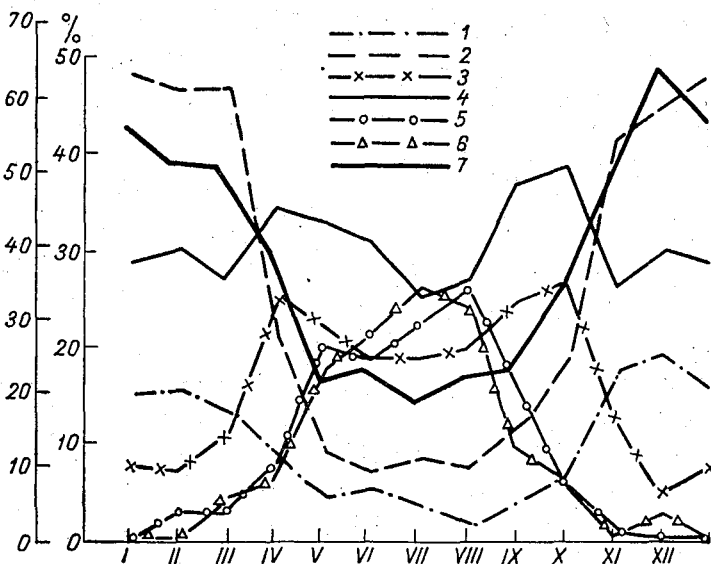


Рис. 10. Годовой ход абсолютной повторяемости нижней облачности 8—10 баллов (левая шкала) и относительной повторяемости форм облаков нижнего яруса (правая шкала). День (13 час.).

Усл. обозначения см. рис. 9.

циями, расположенным на ЕТС южнее 50° с. ш. Часть материалов этих наблюдений приведена в указанной выше табл. 35, но не для относительной (p), а для абсолютной (a) повторяемости форм облаков. Напомним, что $a = pt$, где t — повторяемость (в процентах) нижней облачности 8—10 баллов.

Умножая снятое с графика (рис. 9, 10, 11) значение относительной повторяемости p облаков данной формы на абсолютную повторяемость нижней облачности 8—10 баллов для данного месяца, легко получить и абсолютную повторяемость облаков данной формы при нижней облачности 8—10 баллов. Полагая, что относительная повторяемость различных облаков достаточно устойчива, можно найти их абсолютную повторяемость и для многолетнего периода, умножая относительную повторяемость облаков нижнего яруса данной формы на

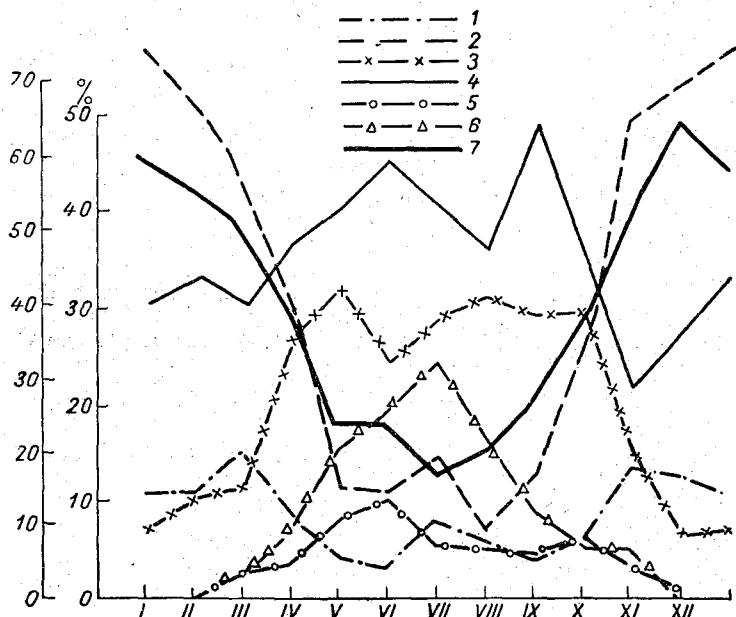


Рис. 11. Годовой ход абсолютной повторяемости нижней облачности 8—10 баллов (левая шкала) и относительной повторяемости форм облаков нижнего яруса (правая шкала). Вечер (19 час.).

Усл. обозначения см. рис. 9.

абсолютную повторяемость нижней облачности 8—10 баллов, полученную по многолетним данным.

На рисунках, кроме годового хода относительной повторяемости облаков различных форм при пасмурном (по нижней облачности) небе, приводится еще годовой ход абсолютной повторяемости нижней облачности 8—10 баллов. Отсчет значений повторяемости для того или иного месяца производится для повторяемости отдельных форм облаков по левой шкале, для повторяемости нижней облачности 8—10 баллов в целом по правой шкале. Для сравнения аналогичные графики (осредненные по ряду станций) годового хода относительной повторяемости облаков нижнего яруса различных форм при пасмурном небе были построены для северной ($\varphi > 60^{\circ}$ с. ш.) и средней (60° с. ш. $> \varphi > 50^{\circ}$ с. ш.) зон ЕТС, которые здесь не приводятся.

Анализ годового хода относительной повторяемости облаков различных форм (левая шкала) при нижней облачности 8—10 баллов и абсо-

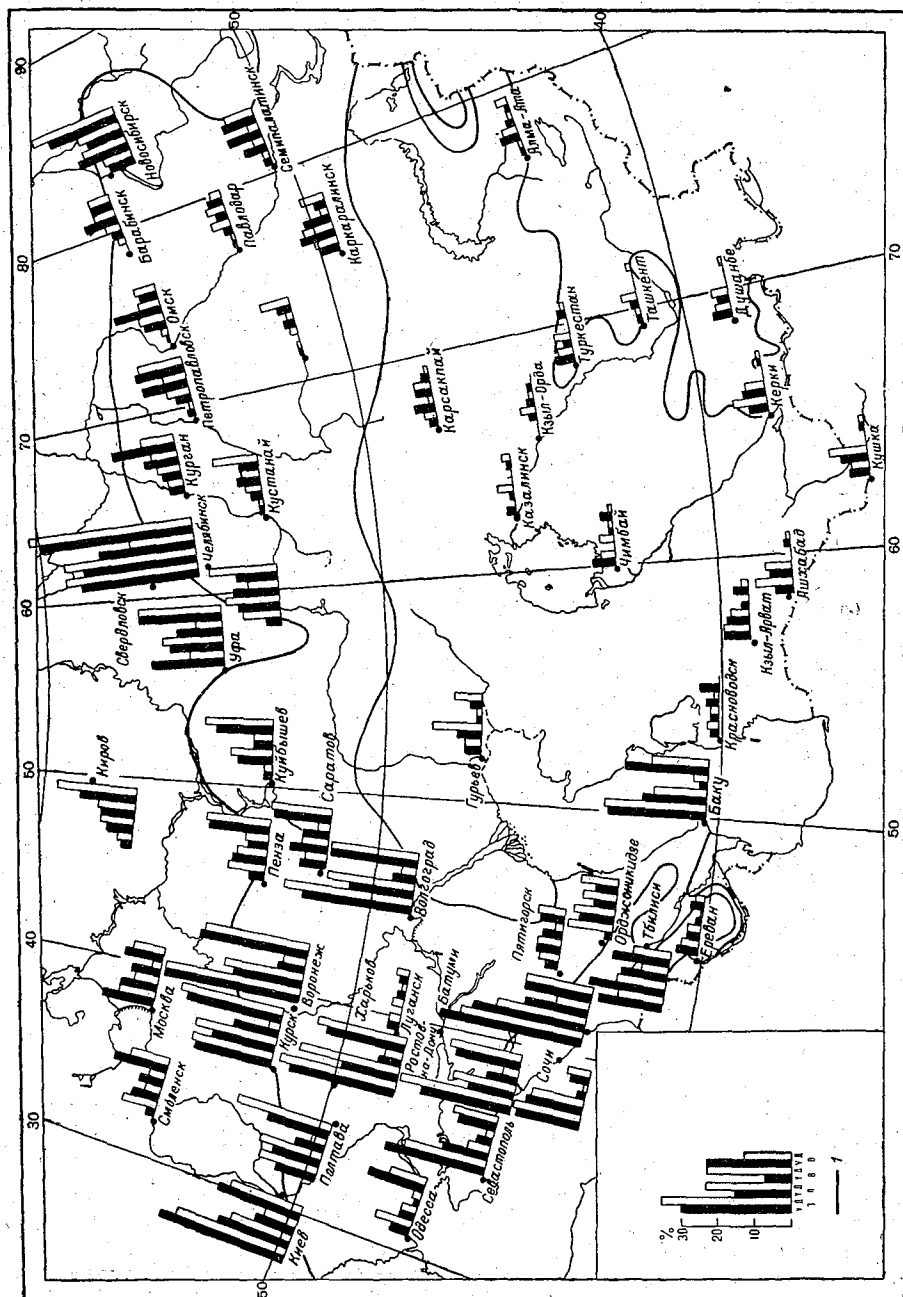


Рис. 12. Абсолютная повторяемость Гг/м³, №. 1936—1938 гг.
З — зима, В — весна, Л — лето, О — осень; У — утро (7 час.), Д — день (13 час.), В — вечер (7 час.). 1 — границы зоны недостаточного увлажнения.

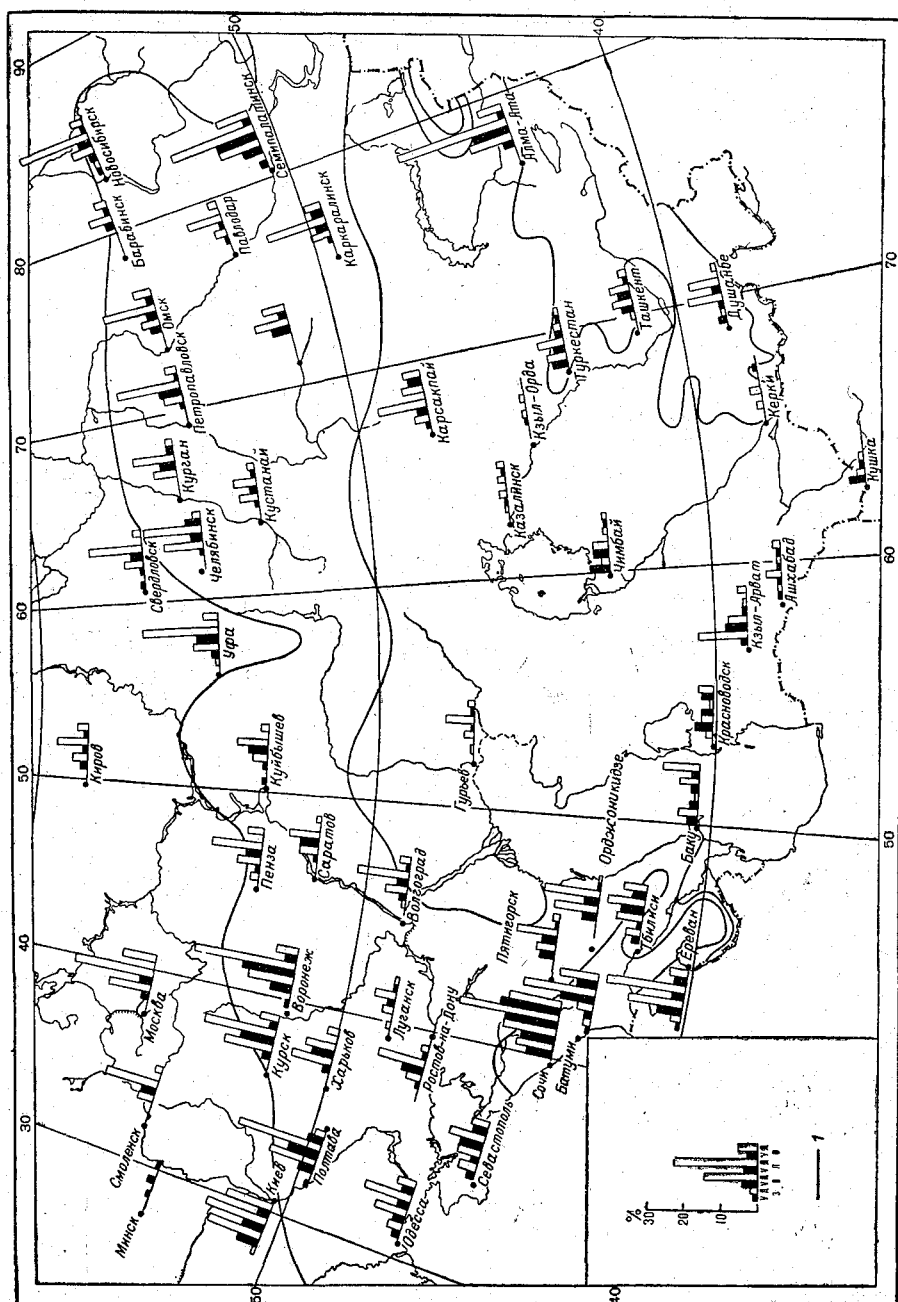


Рис. 13. Абсолютная повторяемость (%) Св 1936—1938 гг.
Усл. обозначения см. рис. 12.

лютной повторяемости нижней облачности 8—10 баллов (правая шкала) позволяет сделать ряд выводов о ресурсах облаков этих форм для активных воздействий на них с целью получения дополнительных осадков. Наибольшую относительную и абсолютную повторяемость во всех зонах (в северной зоне почти круглый год, кроме июня) имеют St (максимум в ноябре—феврале). Однако осадков они дают мало. В теплое время года максимальную относительную повторяемость имеют Ns. Они дают более значительное, чем St, количество осадков и на них выгоднее производить активные воздействия.

Если рассматривать годовой ход повторяемости облаков нижнего яруса так, чтобы все время следовать по самой верхней на данном участке кривой, то будет видно следующее (рис. 9, 10). От главного максимума относительной повторяемости St в январе (около 50—55%) начинается сначала медленное, а затем более быстрое ее уменьшение. Правее точки пересечения кривых повторяемости St и Ns в апреле, на участке кривой от апреля до ноября, максимальную относительную повторяемость имеют уже Ns, а с ноября до апреля максимум относительной повторяемости снова приходится на St.

Рассмотренная выше картина распределения ресурсов облаков, дающих осадки в южной зоне ЕТС южнее 50° с. ш. (в основном, особенно на востоке, являющейся зоной недостаточного увлажнения) требует, однако, существенного уточнения. Как видно из рис. 10, в дневные часы в июле и августе максимум повторяемости приходится на облака трех форм, имеющих очень близкую повторяемость: Ns, Cb и Cu. Суммарная повторяемость Cb и Cu в июле и августе уже намного превышает повторяемость Ns. Это говорит о том, что в дневные часы летом наиболее целесообразно проводить активные воздействия на конвективные облака (Cb и Cu cong.) в количестве 8—10 баллов с целью вызывания из них осадков или интенсификации уже выпадающих осадков. Большое значение именно этих облаков для активных воздействий на них с целью вызывания осадков определяется не только их большой повторяемостью, но и тем, что эти облака чаще других удовлетворяют критерию целесообразности активных воздействий, т. е. имеют переохлажденную часть ($t_{в.г} < -4^\circ$) и обладают при большой мощности (> 400 м) высоким влагосодержанием.

Обращает на себя внимание особенность годового хода, связанная отчасти с некоторым уменьшением относительной повторяемости (особенно в дневные часы в июле, рис. 10) Ns. Она заключается в наличии двух максимумов повторяемости Ns: в апреле (около 35%) и в октябре (около 40%).

Заметим, что летом уменьшение относительной повторяемости Ns к дневным часам хорошо заметно не только в южной, но и в средней зоне ЕТС.

Для всех зон характерно резкое повышение повторяемости Cb в 19 час. по сравнению с повторяемостью их в 7 час. Это указывает на то, что максимум повторяемости Cb на ЕТС приходится на промежуток времени между 13 и 19 час., когда, очевидно, и выгоднее всего производить активные воздействия на мощные конвективные облака с целью вызывания осадков.

Отметим, наконец, что графики годового хода повторяемости облаков нижнего яруса различных форм по трем широтным зонам ЕТС за 1925—1929 гг. за три срока 7, 13 и 19 час. (рис. 9, 10, 11) позволяют получить ряд дополнительных сравнительных характеристик. Так, наложив кривые годового хода для одной и той же формы облаков для разных сроков наблюдений на один график, можно проанализировать характер

не только годового, но и суточного хода данной формы облаков, сравнить годовой и суточный ход той же формы облаков в разных широтных зонах и т. д. Однако подробнее останавливаться на этом мы здесь не будем.

Такое сравнение показывает, например, что суточный ход Cu , Cb с увеличением повторяемости Cb в дневные часы в южной зоне (зоне недостаточного увлажнения) выражен значительно лучше, чем в средней, а тем более в северной зоне и т. д.

Поскольку, наконец, суммарная повторяемость облаков нижнего яруса всех форм, т. е. повторяемость нижней облачности 8—10 баллов в период 1925—1929 гг., как показывает сравнение, достаточно близка к средней многолетней повторяемости облачности нижнего яруса, то с большим основанием можно полагать, что приведенные здесь характеристики повторяемости облаков нижнего яруса по зонам и отдельным станциям в общем достаточно хорошо (по этим показателям) отражают действительные климатические условия.

В теплое время года особенно важно сравнить значения абсолютной повторяемости осадков после наблюдения слоисто-дождевых облаков и кучево-дождевых, имеющих наибольшую относительную повторяемость осадков. Результаты соответствующих подсчетов представлены в табл. 44. Эта таблица наглядно показывает, что как в Саратове, так и в Волгограде в летние месяцы абсолютная повторяемость осадков, выпадающих после наблюдения Cb , оказывается существенно больше, чем после наблюдения Ns .

Таблица 44

Абсолютная повторяемость (%) осадков в течение 6 час. после наблюдения облаков Ns и Cb

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Саратов												
$a_{Ns \rightarrow oc}$	10	7	6	2	1	0,5	0	1	2	4	5	7
$a_{Cb \rightarrow oc}$	0	0,5	0	1	2	3	2	2	1	1	0	0
Волгоград												
$a_{Ns \rightarrow oc}$	14	11	10	4	3	1	0,5	0	4	9	11	13
$a_{Cb \rightarrow oc}$	0	0	0	1	3	2	3	3	2	1	0	0

Это же наблюдается и в Куйбышеве, где $a_{Cb \rightarrow oc}$ с мая по август значительно больше, чем в Саратове и Волгограде, и составляет в среднем 6%.

Заметим, что значительная повторяемость осадков в течение 6 час. после наблюдения Sc , несмотря на их малую толщину, объясняется в значительной мере тем, что они часто переходят в Ns или вслед за Sc в облачной системе надвигаются Ns . (Перед Ns в 30% случаев в предыдущий срок наблюдений, т. е. на 6 час. ранее, отмечаются Sc и, наоборот, через 6 час. после наблюдения Ns в 60% случаев отмечаются те же Ns , а в 25—30% случаев через 6 час. наблюдаются Sc .)

При сравнении повторяемости облаков различных форм, как характеристики ресурсов осадков, возникает следующий вопрос. Поскольку в холодное время года повторяемость St больше повторяемости Ns , а повторяемость осадков из Ns значительно больше, чем из St , то после

наблюдения каких облаков внутри 6-часового интервала чаще отмечаются осадки? Очевидно, это можно решить для данной станции, вычислив и сравнив величины

$$a_{Ns \rightarrow oc} = a_{Ns} p_{Ns \rightarrow oc},$$

$$a_{St \rightarrow oc} = a_{St} p_{St \rightarrow oc},$$

где $a_{Ns \rightarrow oc}$, $a_{St \rightarrow oc}$ — абсолютная, а $p_{Ns \rightarrow oc}$, $p_{St \rightarrow oc}$ — относительная повторяемости осадков, наблюдавшихся в течение некоторого промежутка времени в 6-часовом интервале после наблюдения соответственно Ns, St; a_{Ns} , a_{St} — абсолютные повторяемости форм облаков Ns, St соответственно. Такие расчеты, произведенные по данным наблюдений холодного времени года (октябрь—март) для ст. Куйбышев за период 1956—1962 гг., представлены в табл. 45.

Таблица 45

Абсолютная повторяемость (%) осадков в интервале 6 час.
после наблюдения Ns и St. Куйбышев

	X	XI	XII	I	II	III
$a_{Ns \rightarrow oc}$	6	8	11	13	11	8
$a_{St \rightarrow oc}$	2	5	11	9	5	3

Отсюда видно, что несмотря на то, что в холодное время года $a_{St} > a_{Ns}$, так как $p_{Ns \rightarrow oc} \gg p_{St \rightarrow oc}$, в конечном счете $a_{Ns \rightarrow oc} > a_{St \rightarrow oc}$. При этом следует, конечно, иметь в виду еще и то, что интенсивность осадков, выпадающих из Ns, много больше, чем из St. Все это свидетельствует о значительно больших ресурсах осадков из Ns по сравнению с ресурсами осадков из St.

Такое превосходство $a_{Ns \rightarrow oc}$ над $a_{St \rightarrow oc}$ объясняется более низкой температурой у верхней границы Ns, большей их толщиной по сравнению со St.

§ 4. Климатологическая оценка вероятной эффективности искусственного увеличения осадков из Ns в холодное время года

Как показали широко поставленные опыты на экспериментальном метеорологическом полигоне (ЭМП) на Украине, при систематическом воздействии на слоистообразные облака в холодное время года твердой CO_2 приращение осадков в среднем составляет 15% по сравнению с тем количеством осадков, которое выпадает при отсутствии активных воздействий (Леонов, 1965). Это означает, что при многолетнем среднем количестве осадков в районе ЭМП, составляющем за холодное время года около 150 мм, при регулярных и интенсивных активных воздействиях на все облака холодного времени года можно будет получить еще около $150 \times 0,15 \approx 23$ мм дополнительных осадков. Это явно недостаточное количество, особенно, если учесть, что большая его часть не дойдет до сельскохозяйственных культур в виде продуктивной влаги, так как будет в течение зимы развеяна ветром по оврагам и другим углублениям рельефа, испарится в воздухе при частых метелях (Дюнин, 1963) и т. д.

Вышеуказанная оценка М. П. Леонова дополнительного количества осадков, которое возможно получить путем активных воздействий на облака в холодный период на Украине, является к тому же несколько завышенной. Действительно, автор сравнивает количество осадков, выпавших на площади ЭМП, над которой перемещается данное облако, подвергнутое активному воздействию, с осадками на соседних контрольных площадях. Он считает, что разность $d = b - a$ между количеством осадков b , выпавших на экспериментальной площади 1 (полосе) за время после воздействия, и осадков a , выпавших на такой же площади 2, расположенной с наветренной стороны опытной площадки, откуда перемещалось облако до воздействия, может служить мерой эффективности активных воздействий на облака.

Далее Леонов делает аналогичное сравнение количества осадков, выпавших на площади 1, с количеством осадков c и e на равновеликих боковых площадях 3 и 4, примыкающих к данной площади 1, по которой перемещалось подвергнутое активному воздействию облако. Иными словами, он вычисляет еще разности количества осадков $d_1 = b - c$ и $d_2 = b - e$.

Очевидно, что при таком подходе мерой эффективности активных воздействий может служить величина

$$d = \frac{2(b-a) + (b-c) + (b-e)}{4},$$

или

$$d = b - \frac{2a + c + e}{4}.$$

Однако в силу очень больших ошибок измерений осадков, особенно твердых, которые, по исследованиям Л. Р. Струзера (1967), могут достигать в ряде случаев более 50% в результате влияния выдувания (иногда надувания) осадков из осадкомера под действием ветра, влияния смачивания стенок, а также большой пространственно-временной изменчивости осадков, проявляющейся в явлении так называемой пятнистости осадков (Покровская, 1957), их флюктуации и др., в каждом отдельном случае разность d не может служить мерой эффективности активных воздействий на облака. Поэтому правильнее вычислять полезный эффект как осредненную по большому числу случаев n воздействий на облака величину d_c , что и выполнялось на опытах, проводившихся на ЭМП.

$$d_c = \frac{1}{n} \left[\left(b_1 - \frac{2a_1 + c_1 + e_1}{4} \right) + \left(b_2 - \frac{2a_2 + c_2 + e_2}{4} \right) + \dots + \left(b_n - \frac{2a_n + c_n + e_n}{4} \right) \right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(b_i - \frac{2a_i + c_i + e_i}{4} \right).$$

Следует, однако, указать, что и при таком осреднении полученная величина эффективности воздействия будет несколько завышена. Действительно, при выборе полос 1, 2, 3 и 4 на опытной площади активные воздействия производились лишь в том случае, если по данным самолетных подъемов или радиозондирований толщина ΔH подвергаемого воздействию облака была не менее 400 м, температура $t_{в.г}$ на его верхней границе — не выше -4° и высота $H_{п.г}$ нижней границы — не более 1 км (критерий целесообразности активных воздействий на облака). Но поскольку проверка того, будет ли облако удовлетворять критерию целесообразности, и на контрольных площадях 2, 3 и 4 обычно не про-

изводилась, то вполне вероятно, что толщина облака, достаточно большая на опытной площади 1, может оказаться менее 400 м на одной или обеих боковых контрольных площадях 3 и 4. Температура на верхней границе облака над площадями 2, 3 и 4 может в ряде случаев оказаться выше -4° , а высота нижней границы облака — выше 1 км. Несоблюдение условий $\Delta H \geq 400$ м, $t_{в.г} \leq -4^{\circ}$, $H_{н.г} \leq 1$ км поведет к тому, что количество осадков на боковых контрольных площадях 3 и 4 и на площади 2 будет естественно меньше, чем на опытной площади 1.

Совершенно неясным остается и вопрос о том, не будет ли за зоной повышенных осадков (в направлении переноса облака) вне контрольной площади наблюдаться зона «тени осадков», т. е. зона их дефицита по сравнению с количеством осадков в той же зоне при подобных же синоптических и метеорологических условиях, но без активных воздействий на облака.

На этот вопрос, т. е. на возможность не столько получения дополнительных осадков в результате активных воздействий, сколько их перераспределения по площади, указывает А. П. Чуваев (Чуваев и [др.], 1964). Добавим, что аналогичное перераспределение осадков может быть и во времени, т. е. те осадки, которые выпали через 10—15 мин. после введения в облака реагента, могли бы выпасть из них немного позднее. Он же совершенно правильно подчеркивает необходимость предварительного всестороннего исследования климатических ресурсов осадков в данном районе с тем, чтобы лучше оценить возможность и перспективность активных воздействий на облака в целях получения из них дополнительного количества осадков (Чуваев и [др.], 1964).

Именно эти и многие другие трудности привели к тому, что, несмотря на обилие различных методов оценки эффективности активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков и большое количество значительных по масштабам опытов по искусственному вызыванию осадков, достаточно надежных данных о величине и рентабельности таких искусственно вызванных дополнительных осадков из облаков до сих пор в мировой литературе нет. Нет уверенности в экономической эффективности активных воздействий на облака в холодное время года и по имеющимся данным по Украине, так как полученный добавок осадков 15% нормы лежит в пределах возможных естественных колебаний сезонного количества осадков от года к году и неточности их измерений.

Таким образом, здесь мы видим новое подтверждение того, что эффективность современных активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков имеющимися в настоящее время статистическими методами по существу не доказана.

К такому выводу на основании статистической оценки результатов опытов по искусственному вызыванию осадков над равнинными территориями пришли И. Спар (1955), Ф. Берри (1958 г.) и др. О том, что эффективность воздействия на облака в больших масштабах еще окончательно не установлена, пишет и Б. Дж. Мейсон (1957 г., 1961).

Среди различных статистических и, можно сказать, климатологических методов оценки эффективности искусственного вызывания осадков следует отметить следующие.

1. Оценка количества искусственных осадков в процентах от климатической нормы с учетом вероятных отклонений от нее за тот или иной период.

2. Оценка эффективности воздействий на основе статистической обработки массового экспериментального материала опытной и

контрольных площадях экспериментального полигона с учетом корреляционных соотношений естественных осадков на той и другой площадях.

3. Оценка при выборе осуществления и неосуществления воздействия по принципу случайности и т. д.

Подытоживая и обобщая результаты многочисленных опытов по искусственному осаждению осадков, Н. С. Шишкин (1964) пишет: «Таким образом, в настоящее время еще нельзя составить надежного заключения о количественном эффекте искусственного вызывания осадков». С этим выводом нельзя не согласиться.

Еще одним доводом в пользу недостаточной эффективности активных воздействий для вызывания осадков может служить следующее. Как указывает ряд авторов, в зимних условиях осадки начинают выпадать в среднем через 13—15 мин. после воздействия, а продолжительность их выпадения обычно составляет 20—50 мин.

Между тем, как видно из табл. 43, на всех станциях зоны недостаточного увлажнения ЕТС средняя продолжительность одного сеанса осадков из Ns в холодное полугодие составляет не менее 3,8 часа (в среднем от 3,8 до 5,8 часа), т. е. в 5—10 раз больше той продолжительности, которая соответствует искусственному выпадению осадков.

Если в среднем считать, что все осадки, выпавшие через 15 мин. после воздействия, являются искусственными, то отношение продолжительности их выпадения (20—50 мин.) к продолжительности выпадения естественных осадков зимой в засушливых районах ЕТС (4,6 часа) составляет $\frac{35}{4,6 \cdot 60} = 13\%$, т. е. очень близко к оценке эффективности актив-

ных воздействий на слоистообразные облака (Ns, St) в холодное время года на Украине, полученной М. П. Леоновым. Но такое малое добавочное количество осадков в холодное время года (порядка 15% нормы), даже если оно реально, не может считаться достаточным, поскольку, как уже указывалось выше, реализуемая его часть будет еще меньше. Еще нагляднее недостаточность этого дополнительного количества осадков будет видна, если эти 15% нормы осадков пересчитать в миллиметры осадков для соответствующего района недостаточного увлажнения, а тем более для засушливого района.

Помимо вышеуказанных данных можно привести простые соображения в пользу того, что при активных воздействиях на облака современными методами количество осадков существенно не может увеличиться, а на большой площади оно даже уменьшится. Действительно, по данным академика Е. К. Федорова (Научные проблемы управления погодой, 1965), рассеяние переохлажденных облаков осуществляется практически безотказно в интервале температур от -3° до -20° . Успешные опытные работы по рассеянию облаков и туманов производятся в нескольких аэропортах Советского Союза.

Как указывается в докладе проблемной комиссии по управлению погодой и климатом, устойчивые переохлажденные слои Sc и, особенно, St легко рассеиваются с помощью сухого льда или иодистого серебра, тогда как воздействие на конвективные облака Sc приводит только к появлению отдельных просветов. В результате воздействия могут возникнуть снежинки и даже снежные ливни, достигающие земли, причем прояснение обычно начинается через 30 мин. после воздействия. Просветы в облаках обычно затягиваются через час. Таким образом, физический механизм активных воздействий практически одинаков как для вызывания дополнительных осадков, так и для рассеивания облаков.

Проблемная комиссия считает, что будут или не будут рассеивать переохлажденные туманы для обеспечения регулярной работы гражданской авиации — это вопрос рентабельности. Она считает также очень важными результаты опытов Баттана в штате Аризона и Брэна в штате Миссури. Кратко их заключение сводится к следующему: «в изучаемых нами районах коагуляция играет основную роль в образовании осадков, поэтому интенсивное замерзание переохлажденной воды в результате воздействия реагентом не может увеличить, а, наоборот, может уменьшить их».

Проблемная комиссия указывает, что этот новый результат подчеркивает важность коагуляции по сравнению с действием ледяных кристаллов, или механизма Бержерона — Финдейзена.¹

Опыты по предотвращению градобитий производятся в СССР большой группой ученых в Высокотомном геофизическом институте под руководством Г. К. Сулаквелидзе. Такие опыты, проведенные в ряде районов на территории Армянской, Узбекской, Таджикской и Молдавской ССР, позволяют утверждать, что количество градобитий на защищенной территории значительно уменьшается. Но это значит, что и количество осадков на большой площади также будет уменьшено, поскольку осадки вызывались преждевременно, до завершения естественного развития облака, и часто вместо ожидаемого выпадения осадков облака рассеивались (реагенты CO_2 , AgJ засеивались не в ту часть облака, через полчаса происходило разложение AgJ на солнце, бралась не та норма засева и т. д.).

Следует, однако, подчеркнуть, что поскольку большая часть территории США находится значительно южнее Украины, Поволжья и Казахстана, то основной механизм образования осадков может быть различен в зонах недостаточного увлажнения СССР и США. Иными словами, в СССР это может быть механизм Бержерона — Финдейзена, тогда как в США — коагуляция.

Однако и в зонах недостаточного увлажнения СССР можно указать на некоторые факты, не подтверждающие ведущей роли сублимации пара на кристаллах льда в образовании осадков.

Во-первых, как показывает проведенная нами статистическая обработка данных радиозондовых наблюдений в Куйбышеве, Волгограде (Гумрак) и Ростове-на-Дону за холодное полугодие (октябрь — март) 1957—1962 гг., между вероятностью выпадения значительного количества осадков за 12 час. после наблюдения 8—10 баллов N_s или F_{rnb} , N_s и понижением температуры на верхней границе N_s четкой связи не обнаруживается. Зато удовлетворительная в общем связь обнаруживается между толщиной N_s и вероятностью выпадения из них значительных осадков: с ростом толщины растет и вероятность выпадения значительных осадков за последующие 12 час. (табл. 46).

Во-вторых, и это главное, при почти одной и той же заданной толщине N_s с увеличением удельной влажности на их верхней границе вероятность выпадения значительного количества осадков из этих облаков за последующие 12 час. явно возрастает (табл. 47). При этом, несмотря на небольшое число случаев, эта вероятность с увеличением $q_{\text{в.г}}$ растет примерно одинаково при всех градациях толщины N_s (Михель, 1966, таблицы). Очевидно, это обстоятельство указывает на весьма

¹ Следует отметить, что большая роль коагуляции в механизме образования осадков подчеркивалась в исследованиях советского метеоролога Н. С. Шишкина (1950, 1951, 1964).

Т а б л и ц а 46

Вероятность (%) осадков (мм) за последующие 12 час. при различной толщине ΔH и высоте нижней границы $H_{н.г}$ облаков Ns ; $Frnb$, Ns .

Куйбышев, Гумрак, Ростов-на-Дону, холодное полугодие, 1957—1962 гг.

ΔH м	Количество осадков (мм)	$H_{н.г}$ км		
		< 0,5	0,5—1,0	> 1,0
< 400	—	27	10	11
	0—0,1	22	33	28
	> 0,1	51	57	61
	ч. с.	41	21	18
400—800	—	21	11	16
	0—0,1	29	26	10
	> 0,1	50	63	74
	ч. с.	24	19	19
800—1200	—	7	0	20
	0—0,1	29	0	8
	> 0,1	64	(100)	72
	ч. с.	28	6	25
1200—1600	—	25	13	0
	0—0,1	17	20	20
	> 0,1	58	67	80
	ч. с.	12	15	10
1600—2000	—	0	14	25
	0—0,1	0	0	0
	> 0,1	(100)	86	75
	ч. с.	3	7	8
> 2000	—	0	11	16
	0—0,1	11	22	17
	> 0,1	89	67	67
	ч. с.	18	9	12

Примечание. ч. с. — число случаев.

значительную роль водности облаков и размеров капель на их верхней границе (роль коагуляции) в естественном разрешении осадков. Поскольку нет достаточно точного представления о преобладающем механизме образования значительных осадков в естественных условиях, то остается не очень ясным и механизм активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков.

В статьях М. В. Завариной (1965) были приведены таблицы вероятности осуществления комплексов погодных условий (температура $t_{в.г}$ на верхней границе облаков $St-Sc$ ниже -4° , толщина облаков ΔH более 300 м, высота нижней границы $H_{н.г}$ менее 1 км), обеспечивающих рациональность активных воздействий на эти облака с целью вызывания из них осадков. Поскольку, однако, при выборе слоисто-дождевых облаков в холодное время года в громадном большинстве случаев удовлетворяются основные условия ($t_{в.г} < -4^\circ$, $\Delta H > 300$ м), то при наличии Ns можно с достаточно высокой вероятностью ожидать выпадения естественных осадков. Как показывают данные нашей обработки, именно так и получается: вероятность выпадения естественных, а следовательно, и вероятность выпадения искусственных осадков в течение ближайших часов после появления Ns оказывается достаточно большой, близкой к 90% (Михель, 1966).

Таблица 47

Среднее количество осадков (мм) за последующие 12 час. из облаков Ns; Frnb, Ns при различных толщине ΔH облаков Ns, удельной влажности $q_{в.г}$ на их верхней границе и высоте $H_{н.г}$ нижней границы. Ростов-на-Дону, Куйбышев, Гумрак, холодное полугодие 1957—1962 гг.

ΔH м	$H_{н.г}$ км	$q_{в.г}$ г/кг						
		0—1	1—2	2—3	3—4	4—6	6—8	> 8
< 400	< 0,5 ч. с.	2,0 2	1,3 5	1,5 15	2,1 10	5,7 7	7,0 3	
	0,5—1 ч. с.	0,4 3	0,7 6	1,5 3	6,0 2	3,5 7	(6,1) 1	
	> 1 ч. с.		1,5 5	1,6 6	0,3 3	2,3 2	(6,6) 1	(0,0) 1
400—800	< 0,5 ч. с.	(0,0) 1	0,8 3	1,6 9	3,4 6	3,1 3		
	0,5—1 ч. с.		1,1 8	0,9 4	(2,0) 1	2,6 2		
	> 1 ч. с.	0,9 2	1,6 2	1,7 7	4,6 6	(4,0) 1		
800—1200	< 0,5 ч. с.	(0,5) 1	0,0 2	1,6 11	2,3 11		4,1 2	
	0,5—1 ч. с.			0,4 2	3,0 2	2,2 2		
	> 1 ч. с.	(0,7) 1	1,8 5	1,8 7	1,8 2	3,4 6		
1200—1600	< 0,5 ч. с.		0,8 2	3,1 2	3,5 3	4,2 2		
	0,5—1 ч. с.		1,1 5	2,5 7	(0,0) 1	(14,0) 1		
	> 1 ч. с.		2,4 4	(2,0) 2	5,1 3	(5,3) 1		
1600—2000	< 0,5 ч. с.		(1,5) 1	1,7 2				
	0,5—1 ч. с.		1,9 4	4,2 2				
	> 1 ч. с.	(0,6) 1	(1,3) 1	1,9 3	(3,2) 1			
> 2000	< 0,5 ч. с.	0,9 3	1,9 6	1,6 3	(3,6) 1	2,3 2		
	0,5—1 ч. с.	0,7 3	1,2 3	1,2 2				
	> 1 ч. с.	0,3 3	1,4 5	1,6 3		(5,5) 1		

При этом следует заметить, что, хотя один из показателей благоприятных условий для активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков ($H_{н.г} < 1000$ м) часто не удовлетворяется, однако это не имеет в данном случае существенного значения. Происходит это потому, что слоисто-дождевые (разорванно-дождевые) облака чаще всего наблюдаются в холодное время года, когда вероятность испарения осадков, выпадающих даже с большой высоты, сравнительно невелика. К этому следует добавить, что громадное большинство Ns, Frnb являются фронтальными, а на фронтах, как известно, развиваются восходящие движения, способствующие образованию осадков. Наконец, обычно наблюдающиеся под слоем Ns, из которых выпадают осадки, низкие разорванные облака Frnb также способствуют достижению осадками земной поверхности без больших потерь на испарение.

Так как толщина Ns больше, чем St и Sc , а их $t_{в.г}$ ниже, чем $t_{в.г}$ St и Sc , то для Ns необходим более жесткий критерий целесообразности активных воздействий на них с целью вызывания значительного количества осадков. В качестве такого критерия на основании данных табл. 47 можно предложить следующий комплекс: толщина Ns $\Delta H > 1200$ м, высота нижней границы $H_{н.г} < 1$ км и температура на их верхней границе $t_{в.г} < -8^\circ$.

В табл. 48 приведены повторяемости (вероятности) выпадения различного количества осадков в течение 12 час. после срока наблюдения в холодное время года, полученные по данным самолетного зондирования в Куйбышеве, Волгограде и Ростове-на-Дону. Повторяемость осадков подсчитана для различных критериев целесообразности активных воздействий с целью вызывания осадков, т. е. для различных сочетаний ΔH , $t_{в.г}$, $H_{н.г}$ облаков Ns .

Таблица 48

Повторяемость (%) выпадения различного количества осадков в пункте зондирования в течение 12 час. после зондирования атмосферы при отметке в срок зондирования Ns , $Frnb$; $Frnb$, Ns или Ns в количестве 8—10 баллов. Куйбышев, Ростов-на-Дону, Волгоград, холодное полугодие (октябрь—март). 1957—1962 гг.

Количество осадков (мм)	$\Delta H > 1200$ м $t_{в.г} < -8^\circ$ $H_{н.г} < 1$ км	$\Delta H > 1200$ м $t_{в.г} > -8^\circ$ $H_{н.г} < 1$ км	$\Delta H \geq 1200$ $H_{н.г} < 1$ км
$\geq 0,0$	95	65	87
$\geq 0,1$	88	45	76
$\geq 0,1$	80	—	—
$> 1,0$	62	—	—
Без осадков	5	35	18
Число случаев	40 (74%)	14 (26%)	54 (100%)

В градацию осадков $\geq 0,0$ мм включены все случаи, когда в книжке наблюдений было отмечено выпадение осадков независимо от того, были ли они измерены осадкомером или лишь смочили его стенки и дно.

Эта таблица показывает, что при $\Delta H > 1200$ м и $H_{н.г} < 1$ км вероятность осадков $\geq 0,1$ мм при $t_{в.г} < -8^\circ$ превышает вероятность осадков $\geq 0,1$ мм при $t_{в.г} > -8^\circ$ примерно на 40%.

Иными словами, вероятность выпадения естественных осадков в течение 12 час. после срока зондирования, когда наблюдались облака Ns , $Frnb$; $Frnb$, Ns или Ns в количестве 8—10 баллов с $\Delta H > 1200$ м, $t_{в.г} < -8^\circ$ и $H_{н.г} < 1$ км, так велика (около 90%), что активное воздействие на эти облака должно не столько увеличивать вероятность выпадения осадков $\geq 0,1$ мм до величины более 90%, сколько увеличить вероятность выпадения осадков, превышающих 0,1 мм до значения более 80% и вероятность осадков > 1 мм до значения более 62%. Это означает, что показателем большей или меньшей эффективности активных воздействий на слоисто-дождевые облака в холодное полугодие в зоне недостаточного увлажнения может служить то, насколько удастся интенсифицировать эти осадки.

Слоисто-дождевые облака, удовлетворяющие критерию $\Delta H > 1,2$ км, $t_{в.г} < -8^\circ$, $H_{н.г} < 1$ км, наблюдаются в холодное время года в Поволжье в $\frac{40}{295} = 14\%$ случаев всех Ns (табл. 42 и 48). Из табл. 48 видно, что в хо-

лодное время года в районе Поволжья 74% общего числа N_s , удовлетворяющих критерию $\Delta H > 1,2$ и $H_{н.г} < 1$ км, удовлетворяют и более жесткому критерию целесообразности активных воздействий: $\Delta H > 1,2$ км, $t_{в.г} < 8^\circ$ и $H_{н.г} > 1$ км.

Пользуясь данными таблиц 37, 42, 48, нетрудно подсчитать и абсолютную повторяемость $a_{к.ц}$ критерия целесообразности активных воздействий на N_s ($\Delta H > 1,2$ км, $t_{в.г} < -8^\circ$, $H_{н.г} < 1$ км). Средняя абсолютная повторяемость a_{N_s} облаков N_s при пасмурном небе в холодный период в Волгограде в срок 7 час. составляет примерно 11%, относительная повторяемость $p_{к.ц}$ критерия целесообразности активных воздействий на N_s (отношение числа случаев с облаками Frnb, N_s ; N_s , Frnb или N_s при $\Delta H > 1,2$ км, $t_{в.г} < -8^\circ$, $H_{н.г} < 1$ км к общему числу случаев с облаками Frnb, N_s ; N_s , Frnb или N_s) составляет 14% (табл. 42 и 48).

Таким образом, абсолютная повторяемость $a_{к.ц}$ критерия целесообразности активных воздействий на слоисто-дождевые облака равна

$$a_{к.ц} = a_{N_s} p_{к.ц},$$

$$a_{к.ц} = 0,11 \cdot 0,14 = 0,16.$$

Отсюда видно, что абсолютная повторяемость (вероятность) критерия целесообразности активных воздействий на достаточно мощную облачность N_s , Frnb; Frnb, N_s или N_s в количестве 8—10 баллов с $\Delta H > 1,2$ км, $t_{в.г} < -8^\circ$ и $H_{н.г} < 1$ км в холодный период в зоне недостаточного увлажнения составляет около 2%.

В табл. 49 приведено среднее количество осадков в Харькове за 12 час. (от 19 до 7 час.) после наблюдения того или иного комплекса начальных метеорологических условий у земной поверхности за период октябрь—март при наличии еще N_s .

Данные этой таблицы наглядно показывают, что с ростом давления количество осадков в общем сначала растет до значения давления 980—1000 мб (влияние увеличения площадей циклона и осадков), а затем уменьшается (переход к антициклоническому режиму); увеличиваются также (вследствие увеличения влагосодержания воздушной массы) осадки и с ростом относительной влажности и температуры. Поскольку с ростом температуры обычно растет и влагосодержание в среднем, большее количество осадков наблюдается (по той же причине) при южных ветрах и меньшее при северных ветрах (по флюгеру). Связь со скоростью ветра у земной поверхности (флюгер) менее четкая.

Насколько успешно можно оценить вероятность выпадения естественных осадков по наблюдениям за эволюцией облаков можно судить по данным табл. 50, полученным автором по личным наблюдениям.

Под эволюцией облаков и облачных систем следует понимать увеличение или уменьшение количества облачности (т. е. степени покрытия неба облаками в баллах), изменение толщины облаков, их высоты, появления или исчезновения просветов, изменение цвета и оттенка облаков, связанное с изменением их толщины, появление полос падения осадков и т. д. Сюда же следует отнести и другие многочисленные проявления эволюции облачных систем: продвижение за грядой фронтальных облаков, на которых еще нет признаков наковальни, второй гряды облаков (второго мезофронта) с развивающейся наковальной (признак ливня и часто грозы) (Михель, 1965); появление на темно-сером фоне предночного облачного неба почти черных, растущих по площади участков (быстро развивающихся Cb) перед ночным ливнем и грозой; оседание вершин облаков, появление просветов, распад облачного покрова и т. д.

Таблица 49

Среднее количество осадков (мм) за 12 час. после наблюдения Frnb, Ns или Ns.
Харьков, 1951—1962 гг.

Направле- ние ветра (румбы)		Давление (мб)						Среднее
		980 √	981—989	990—999	1000—1009	1010—1019	1020—1029	
С	Осадки	1,8	3,3	1,8	1,3	0,1		2,0
	ч. с.	4	13	18	9	3		47
З	Осадки	0,9	0,05	0,9	1,0	—		0,7
	ч. с.	3	6	10	6	2		28
Ю	Осадки	5,0	3,0	2,1	1,5	—		2,7
	ч. с.	10	22	32	14			78
В	Осадки	1,8	3,6	3,5	2,0	—		2,7
	ч. с.	3	8	23	20	4		57
Штиль	Осадки	—	—	3,0	0,8	0,2		1,9
	ч. с.	—	—	12	11	2		25

Направле- ние ветра (румбы)		Относительная влажность (%)					
		61—70	71—80	81—85	86—90	91—95	96—100
С	Осадки	1,1	1,0	1,4	0,9	2,8	2,0
	ч. с.	1	2	6	8	20	10
З	Осадки	—	0,0	0,7	0,3	0,7	1,6
	ч. с.	—	3	5	6	8	6
Ю	Осадки	(3,1)	(2,8)	3,5	1,5	2,2	3,2
	ч. с.	1	1	5	12	31	28
В	Осадки		2,2	1,6	3,5	2,1	3,9
	ч. с.		5	6	15	17	14
Штиль	Осадки		0,1	1,8	0,2	2,0	2,4
	ч. с.		1	4	2	9	9

Направле- ние ветра (румбы)		Температура воздуха (град.)						
		от -15 до -10	от -10 до -5	от -5 до 0	от 0 до 5	от 5 до 10	от 10 до 15	от 15 до 20
С	Осадки	2,0	0,7	1,6	2,3	4,5	2,8	
	ч. с.	3		19	11	5	2	
З	Осадки		0,2	0,9	0,8	0,7		
	ч. с.		4	9	10	5		
Ю	Осадки		3,3	2,0	2,7	3,8	5,4	
	ч. с.		7	22	39	9	1	
В	Осадки	1,4	2,1	2,8	3,2	6,1	(1,2)	
	ч. с.	6	10	15	18	7	1	
Штиль	Осадки	0,2	0,1	1,8	2,0	3,3	0,4	
	ч. с.	2	1	12	4	5	1	

Направление ветра (румбы)		Скорость ветра (м/сек.)			
		0—5	6—10	11—15	16—20
С	Осадки	1,6	2,4	2,6	—
	ч. с.	25	17	5	—
З	Осадки	0,6	0,8	—	—
	ч. с.	11	16	—	1
Ю	Осадки	2,3	2,9	8,4	—
	ч. с.	42	33	2	—
В	Осадки	3,1	2,7	1,2	1,0
	ч. с.	32	22	2	(1)
Штиль	Осадки	1,8	—	—	—
	ч. с.	25	—	—	—

Таблица 50

Результаты опытных прогнозов на 12 час. по наблюдению за эволюцией облачных систем. Воейково (лето), Ленинград (осень)

	Число прогно- зов		В процентах		Число прогно- зов		В процентах		Общая успеш- ность (%)
	общее	оправ- давших- ся	успеш- ность	неудача	общее	оправ- давших- ся	успеш- ность	неудача	
Осадки прогнозировались					Осадки не прогнозировались				
1963 г.					1963 г.				
Лето	17	14	82	18	79	74	94	6	93
Осень	25	22	88	12	32	27	84	16	86
1964 г.					1964 г.				
Лето	2	1	50	50	21	20	95	5	91
Осень	5	4	80	20	20	20	100	0	96
1963, 1964 г.					1963, 1964 гг.				
Лето	19	15	79	21	100	94	94	6	92
Осень	30	26	87	13	52	47	90	10	89
Всего	49	41	84	16	152	141	93	7	91

Другие типы эволюции облачности можно видеть на зарисовках эволюции облаков в работах В. М. Михеля (1939, 1959, 1965).

Важной задачей наблюдений за эволюцией облаков является установление типов эволюции облаков, классификации (Михель, 1939) и повторяемости этих типов и создание на их базе соответствующего атласа эволюции облаков и облачных систем, связанного еще с комплексом аэрологических и метеорологических наблюдений (Михель, 1939).

Таблицы 49 и 50 показывают также, какие ожидаемые величины среднего количества осадков и их вероятности необходимо превзойти

при искусственном осаждении осадков, если мы хотим доказать эффективность активных воздействий на облака.

Огромные трудности решения задачи правильного определения эффективности активных воздействий на облака с целью осаждения из них осадков заставляют обратить внимание в первую очередь на достаточно глубокое исследование целого ряда вопросов метеорологии и климатологии, которые несомненно помогут в дальнейшем успешно решить и эту задачу.

К числу таких направлений относятся исследования всех климатических ресурсов и, в частности, ресурсов осадков, исследования закономерностей общей циркуляции атмосферы и ее особенностей, а также исследования закономерностей влагооборота в атмосфере.

Глава III

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ В ЗАСУШЛИВЫЕ ПЕРИОДЫ

§ 1. Пространственно-временное распределение форм облаков Frnb, Ns и Cb

Большая по сравнению со слоистыми и слоисто-кучевыми облаками толщина ΔH слоисто-дождевых облаков и связанная с ней температура $t_{в.г}$ на высоте их верхней границы (обычно ниже 0°) ведут к тому, что относительная повторяемость p_{Ns} слоисто-дождевых облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий с целью осаджения из них осадков, будет больше. К тому же облака Ns в холодное время года имеют обычно достаточно большую абсолютную повторяемость a_{Ns} . Поэтому абсолютная повторяемость критерия целесообразности активных воздействий на облака для вызывания осадков из слоисто-дождевых облаков $a_{к.ц} = p_{к.ц} a_{Ns}$ будет относительно большой.

Насколько часто в холодное полугодие удовлетворяется комплекс $\Delta H > 400$ м и $t_{в.г} < -4^\circ$, видно уже из того, что в холодное время года вероятность выпадения осадков в течение ближайших 6 час. после наблюдения Ns составляет около 90% (Михель, 1965). В силу указанных свойств Ns наряду с Cb могут рассматриваться несомненно как один из главных ресурсов осадков.

На рис. 12 представлена карта-диаграмма повторяемости разорванных низких серых облаков плохой погоды Frnb, наблюдающихся чаще всего с расположенными выше них Ns, а на рис. 13 — карта-диаграмма повторяемости Cb. Эти карты составлены по календарным сезонам и двум срокам наблюдений (7 и 13 час.). Поскольку в период 1936—1938 гг., 1936 и 1938 г. были засушливыми, то полученная повторяемость Cb, Frnb, Ns за это трехлетие будет в основном характеризовать достаточно хорошо именно те климатические условия, которые создаются в засушливые (но не слишком засушливые) периоды. На карте повторяемость Ns без Frnb не дана, и, следовательно, приведенная карта-диаграмма (рис. 12) дает несколько преуменьшенные значения повторяемости Ns. Анализ карты-диаграммы позволяет сделать ряд существенных выводов. Так, прежде всего видно, что абсолютная повторяемость Ns оказывается наибольшей в западной части Европейской территории СССР. Это хорошо согласуется с известным фактом преобладания здесь пасмурного по нижней облачности неба.

Повсеместно хорошо видно влияние возвышенностей на повторяемость слоисто-дождевых облаков. В частности, на наветренных склонах возвышенностей повторяемость Frnb, Ns значительно больше (так же

как и Cb, рис. 13), чем на подветренной стороне и на окружающих равнинах (влияние постоянно действующего фактора — рельефа).

В зоне недостаточного увлажнения (Восточная Украина, Среднее и Нижнее Поволжье, Казахстан) повторяемость Frnb, Ns, особенно в летнее время года, мала, при этом повторяемость Frnb быстрее всего уменьшается в направлении на юго-восток и, например, в Гурьеве составляет летом всего 1%, зимой 4%, осенью 5% и лишь весной около 10%. При этом следует учесть еще и то, что толщина переохлажденной части ресурсных облаков как Ns, так и Cb вследствие высокого расположения изотермы 0° и сухости воздуха оказывается в среднем недостаточно большой. Все сказанное хорошо объясняет, почему здесь повторяемость условий, благоприятных для активных воздействий на облака для вызывания из них осадков, достаточно мала.

Следует подчеркнуть, что карты-диаграммы и таблицы повторяемости Cb и Ns имеют большое значение не только для оценки ресурсов осадков и эффективности активных воздействий на облака, но и для других целей. Так, в частности, большая повторяемость облаков тех и других форм свидетельствует о повышенной вероятности связанных с ними сложных условий полетов, и особенно взлета и посадки самолетов (плохая видимость вследствие осадков, дымки, шквалы, грозы, болтанка самолетов, опасность обледенения и пр.).

Здесь мы хотим еще только указать, что поскольку Frnb, Ns и Cb наблюдаются в подавляющем большинстве случаев при нижней облачности 8—10 баллов и являются наиболее мощными для данного времени года облаками нижнего яруса, то большая повторяемость этих облаков говорит о большой вероятности пониженной по сравнению с нормой (при безоблачном небе) освещенностью, соответствующей данному времени года, суток, широте и высоте над уровнем моря.

Выше были приведены осредненные по 15 станциям южной зоны ЕТС данные по относительной повторяемости облаков нижнего яруса различных форм (рис. 9—11). Они хорошо согласуются с данными карт-диаграмм и также свидетельствуют о малоблагоприятных условиях для активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков в рассматриваемом районе.

Хорошо согласуются с этими картами и между собой данные об абсолютной повторяемости слоисто-дождевых облаков за периоды 1926—1929 гг. и 1956—1962 гг. (см. табл. 37).

Исследование связи последующих осадков с начальными условиями (форма и толщина облаков, давление, температура, влажность, ветер и др.) показывает, что дальнейшее увеличение вероятности осадков при учете, кроме начальных условий (наличие Frnb, Ns или Cb), еще добавочных условий сравнительно невелико (см. табл. 49).

Выше рассматривалась повторяемость ресурсной для активных воздействий группы слоисто-дождевых облаков, точнее группы Frnb, Ns в холодное время года. Представляется, однако, интересным сравнить повторяемость ресурсной группы облаков Frnb, Ns с группой Cb.

Учитывая реальные физические возможности активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков, А. П. Чуваев (Чуваев и др., 1964) выделяет так называемую ресурсную группу конвективных облаков, включающую Cu cong. и Cb. Основанием для такого выделения ресурсной группы Чуваев считает то, что при наблюдении в некотором районе Cu cong. наличие даже единичных Cb свидетельствует о возможности развития Cb из Cu cong., а следовательно, существуют и благоприятные условия для активных воздействий на облака с целью вызывания осадков.

К этому следует добавить, что ресурсная конвективная облачность должна быть в количестве не менее 7—8 баллов, что в большинстве случаев и наблюдается в действительности. С этой точки зрения представляет большой интерес выявить повторяемость состояний неба, при которых были либо Сb, либо Сu cong., либо те и другие облака вместе (или в сочетании с другими облаками, например с Fmnb). Карта-диаграмма (рис. 13) дает суммарную абсолютную повторяемость (в процентах) Сb и Сu cong. по сезонам за 1936—1938 гг. (суммарная повторяемость состояний облачного неба, шифруемая цифрами кода того времени 3, 8 и 9) за сроки наблюдений 7, 13 час. Цифра кода 3 означает, что наблюдались Сb, цифра кода 8 — Сb или Сu cong. вместе с Sc, а цифра кода 9 — Сb или Сu cong. вместе с Fmnb.

Отсюда видно, что представленная на карте-диаграмме (рис. 13) повторяемость цифр кода 3+8+9 по существу дает повторяемость ресурсной группы облаков в некотором районе вокруг данной станции. При этом, поскольку карта-диаграмма построена по данным трехлетнего ряда наблюдений 1936—1938 гг., из которых два года (1936 и 1938) были засушливыми, то она, вероятно, будет достаточно удовлетворительно характеризовать распределение природных климатических ресурсов конвективных облаков для возможных активных воздействий с целью вызывания осадков в годы с количеством осадков в данный сезон существенно меньше нормы.

Карта-диаграмма показывает, что в такие годы эти ресурсы в общем невелики, в среднем даже в утренние часы летних месяцев повторяемость указанной ресурсной группы облаков составляет на юго-востоке ЕТС лишь около 3—5%, а в дневные часы — порядка 8—12%. Весной повторяемость Сb составляет здесь утром около 1—2% и днем 4—6%, а осенью утром 0—1%, днем 2—3%.

Весьма характерно значительное увеличение повторяемости кучево-дождевых облаков в районах возвышенностей, которым соответствует и известное увеличение грозовой деятельности. Так, при движении с запада на восток примерно по 52° с. ш. можно видеть, что летом повторяемость Сb в 13 час. увеличивается в южной части Среднерусской возвышенности до 16%, затем уменьшается до 5—8% над равниной и снова возрастает до 16% в южной части Урала; над Западно-Сибирской низменностью повторяемость Сb уменьшается до 2—6%, а над Алтаем и Саянами резко возрастает до 20—28%. В соответствии с этим изменением повторяемости Сb изменяется и повторяемость гроз.

Здесь наглядно видна роль постоянно действующего фактора — рельефа — на распределение мощной конвективной облачности, ливней и гроз. Характерно, что климатический грозовой фронт (фронт кучево-дождевых облаков) — линия, соединяющая станции с максимальной повторяемостью Сb — располагается значительно западнее, в той части ЕТС, где увлажненность больше.

На карте-диаграмме ясно видно увеличение повторяемости от весны к лету и уменьшение ее от лета к осени, а также хорошо выраженный суточный ход с большим увеличением повторяемости Сb от утренних к дневным часам, особенно в летний сезон (результат возрастания внутримассовой конвекции при увеличении неустойчивости воздушных масс в дневные часы и увеличения конвекции на фронтах).

Обращает на себя внимание значительная величина абсолютной повторяемости Сb в зимнее время года на арктическом побережье: Югорский Шар — утром 9%, днем 8%, мыс Желания — утром 4%, днем 6%, Мурманск — утром 3%, днем 5%.

Такое положение не случайно и вполне объясняется влиянием океа-

нов, над которыми, как известно, в зимнее время наблюдается повышенная повторяемость кучево-дождевой облачности и гроз (действие неустойчивости воздушных масс над относительно теплой поверхностью океанов в зимнее время). Подтверждением этого могут служить и данные южных приморских городов. Так, в Сочи зимой утром повторяемость C_b составляет 7%, а днем 10%, в Севастополе и Одессе утром 2%, днем 4—5%. Таким образом, это свидетельствует о благоприятных условиях для активных воздействий на C_b зимой в указанных районах (если эти воздействия представляются необходимыми).

Из сравнения рис. 12 и 13 видно, что в зимнее время в утренние и вечерние часы повторяемость C_b и $C_{i\text{ сог.}}$ на северном побережье ЕТС и Новой Земле оказывается довольно близкой к повторяемости $F_{гнб}$, N_s . Так, по данным наблюдений станций Мурманск, Мыс Желания и Югорский Шар в среднем повторяемость $F_{гнб}$ утром 7%, днем 10%, а повторяемость C_b утром 5% и днем 6%, повторяемость $F_{гнб}$ утром 5% и днем — 6%.

В Кировске, расположенном в горном районе и далеко от моря, повторяемость C_b (14%) зимой даже значительно превышает повторяемость $F_{гнб}$ (8%). Это указывает на важную роль в формировании C_b рельефа местности. Подтверждением этого могут, например, служить также данные станций Тбилиси, Ереван, Теберда, Дзауджикау и других, где повторяемость C_b зимой в дневные часы составляет около 3—4%. Это, конечно, не так много и составляет сравнительно небольшую долю от повторяемости $F_{гнб}$; N_s на тех же станциях зимой.

Однако по сравнению с ничтожной, близкой к нулю повторяемостью C_b зимой на подавляющем большинстве равнинных станций СССР 3—4% оказываются весьма ощутимыми и говорят о заметных дополнительных зимних ресурсах облаков, пригодных для активных воздействий с целью вызывания из них осадков.

На картах-диаграммах (рис. 12 и 13) хорошо также видно, что повторяемость $F_{гнб}$, N_s как ресурсной для активных воздействий на облака группы, почти повсеместно оказывается значительно больше повторяемости C_b не только в холодное, но и в теплое время года. Это станет понятным, если учесть, что к повторяемости $F_{гнб}$, N_s надо добавить еще повторяемость слоисто-дождевых облаков, не сопровождающихся значительным количеством $F_{гнб}$ (N_s , $F_{гнб}$).

§ 2. Пространственно-временная изменчивость полей осадков в годы катастрофических засух и аномально больших осадков

Выше рассматривалась изменчивость средних месячных и сезонных количеств осадков по отдельным станциям и было показано, как сильно колеблется даже многолетнее среднее количество осадков.

Представляет интерес выявить пространственно-временную изменчивость осадков в засушливых районах СССР отдельно для годов с катастрофическими засухами и для годов с аномально большим количеством осадков. Специальных исследований в этом направлении не производилось, однако из литературы известно, что в ряде лет с катастрофическими засухами наряду с периодом засух обнаруживались небольшие периоды, когда проходили атмосферные фронты, сопровождавшиеся обильными ливневыми осадками, грозами и шквалами. Таковы, например, были засушливые 1893, 1906, 1946 г. на Европейской территории СССР (Адамов и др., 1933; Лебедев, 1958). Добавим, что и последний катастрофически засушливый 1963 г. отличался необычайно боль-

шой пространственно-временной изменчивостью осадков. Так, наряду с очень сильной, необычной для Ленинградской области засушливостью, проявлявшейся особенно резко в мае и июне, в конце августа — начале сентября 1963 г. наступил период обильных ливневых осадков и гроз с рекордными по продолжительности и интенсивности грозой и ливнем в районе Ленинграда 28—29 августа 1963 г. (Михель, 1965). Конец августа и начало сентября 1963 г. и в южной части Швеции ознаменовались исключительно обильными осадками, погубившими там около половины урожая хлебов.

Пестрая картина распределения среднего месячного количества осадков отмечалась в 1963 г. и в наших главных хлеботорговых районах Украины (табл. 51), Среднего и Нижнего Поволжья (табл. 52), Западной Сибири и Казахстана (табл. 53).

Из таблиц 51—53 видно, что наиболее засушливыми в 1963 г. были апрель и май. Однако и в эти месяцы наряду с районами, где в течение апреля осадков совершенно не наблюдалось (в Караганде, Кокчетаве, Кустанае, Целинограде) отмечаются и довольно близкие районы, где в апреле осадков выпало много больше нормы (Гурьев 158%, Талды-Курган 170% нормы).

Аналогичная картина наблюдалась и в другие месяцы теплого полугодия засушливого 1963 г.

Весьма большие колебания среднего месячного количества осадков наблюдались и от месяца к месяцу в одном и том же пункте или районе (табл. 51—53). Так, например, при переходе от апреля к маю для указанных выше пунктов изменение среднего количества осадков составляет соответственно 40%, 62%, 30%, 52% и —93%, —68% от нормы. Заметим, что в засушливом в целом апреле 1963 г. в Петропавловске наблюдалось осадков 670% нормы, а в мае (также засушливом по району) даже 840% нормы, т. е. при аномально больших (не по макро-режиму) осадках количество их от апреля к маю возросло в Петропавловске на 170% нормы (табл. 51—53). Такие резкие колебания жидких осадков, конечно, не могут объясняться лишь ошибками измерения осадков, которые будут сравнительно небольшими при слабых ветрах в этом районе. Они связаны в основном с пространственно-временной изменчивостью поля осадков, обусловленной чередованием областей высокого и низкого давления, неоднородностями пространственной структуры фронтов, полей вертикальных токов, а следовательно, и с неоднородностью облачных полей, их эволюцией, влиянием неоднородностей подстилающей поверхности на развитие неустойчивости атмосферы и т. д.

На фоне этой большой пространственно-временной изменчивости поля осадков те 10% от нормы осадков, которые, по подсчетам Г. Ф. Прихотько, основанным на данных многочисленных экспериментальных воздействий на облака «сухим льдом», можно дополнительно получить в теплое время года для района Украины, вряд ли могут сколько-нибудь существенно увеличить недостаточное для урожая количество осадков в годы сильных засух. К тому же и эти 10% возможного дополнительного количества осадков оказываются значительно меньше величин пространственно-временной изменчивости осадков и поэтому не могут считаться установленными достаточно надежно.

Одной из причин большой изменчивости поля осадков является достаточно быстрая пространственно-временная эволюция поля давления. Рассматривая совместно средние месячные поля давления и температуры на уровне моря в северном полушарии, совмещенные средние месячные карты изогипс и изотерм AT_{500} , изогипс и изотерм AT_{300}

Осадки за период март—август 1963 г. по сравнению с нормой

Станция	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август								
	Q мм	n мм	Q—n мм	Q мм	n мм	Q—n мм	Q мм	n мм	Q—n мм	Q мм	n мм	Q—n мм	Q мм	n мм	Q—n мм	Q мм	n мм	Q—n мм						
																			$\frac{Q}{n} \%$	$\frac{Q}{n} \%$	$\frac{Q}{n} \%$	$\frac{Q}{n} \%$	$\frac{Q}{n} \%$	$\frac{Q}{n} \%$
Киев	32	43	—10	76	22	49	—27	44	23	56	—33	40	100	80	20	126	31	76	—45	40	74	61	13	121
Сумы	26	28	—2	91	27	35	—8	78	34	46	—12	75	82	67	15	122	57	67	—10	86	43	53	—10	81
Харьков	47	32	15	147	60	39	22	155	14	49	—35	28	51	69	—18	74	3	62	—59	5	68	55	13	124
Полтава	21	31	—10	67	48	36	12	134	28	46	—18	60	60	72	—12	84	14	66	—52	20	75	54	21	139
Запорожье	29	23	6	126	39	35	4	110	46	40	6	114	45	62	—17	73	8	58	—50	13	12	51	—39	24
Тирасполь	35	23	12	150	31	24	7	128	18	47	—29	38	102	59	42	172	41	56	—15	74	38	47	—9	80
Одесса	34	20	14	172	24	26	—2	91	10	32	—22	30	34	50	—16	68	25	35	—10	72	13	31	—18	43
Херсон	24	19	5	124	11	25	—14	42	6	38	—32	17	30	42	—12	71	1	39	—38	26	40	34	6	117
Евпатория	29	20	9	145	31	24	7	128	7	25	—18	29	16	30	—14	54	2	31	—28	8	13	35	—22	37

Примечание. Здесь и в табл. 52, 53 Q — количество осадков, выпавших в 1963 г., n — норма.

Осадки за период март—август 1963 г. по сравнению с нормой

Станция	Март				Апрель				Май				Июнь				Июль				Август			
	Q мм	n мм	(Q—n) мм	$\frac{Q}{n} \%$	Q мм	n мм	(Q—n) мм	$\frac{Q}{n} \%$	Q мм	n мм	(Q—n) мм	$\frac{Q}{n} \%$	Q мм	n мм	(Q—n) мм	$\frac{Q}{n} \%$	Q мм	n мм	(Q—n) мм	$\frac{Q}{n} \%$	Q мм	n мм	(Q—n) мм	$\frac{Q}{n} \%$
Тула	33	29	4	111	22	33	—11	66	15	48	—33	31	63	63	0	100	65	78	—13	84	23	55	—32	43
Рязань	20	28	—8	73	15	28	—13	21	16	37	—21	43	66	52	14	126	45	64	—19	70	13	59	—36	22
Саранск	18	21	—3	86	13	27	—14	48	0	43	—43	0	98	54	44	181	62	70	—8	89	26	54	—28	49
Орел	28	32	—4	86	6	39	—33	15	18	56	—38	32	63	73	—10	86	29	77	—48	38	19	52	—33	37
Пенза	41	28	13	146	40	29	11	136	6	47	—42	12	77	58	19	132	38	62	—24	61	96	56	40	172
Куйбышев	57	20	37	286	1	23	—22	45	25	29	—4	88	51	39	12	131	10	38	—28	24	75	36	39	208
Саратов	39	24	15	162	8	20	—12	38	41	33	8	124	33	51	—18	65	16	43	—27	37	60	35	24	170
Волгоград	54	18	36	297	29	19	10	156	12	27	—16	43	9	40	—31	23	20	33	—13	59	50	23	27	216
Астрахань	21	9	12	234	35	15	20	234	22	21	1	103	16	21	—5	76	3	17	—14	18	67	13	54	514
Ставрополь	61	37	24	166	47	60	—13	78	38	73	—35	52	50	98	—48	51	76	86	—10	89	18	51	—34	34
Краснодар	64	40	24	159	182	45	137	405	32	56	—24	58	56	64	—8	88	11	67	—56	16	14	49	—30	38
Ростов-на-Дону	28	31	—3	91	50	35	15	143	22	45	—23	48	35	66	—31	53	4	56	52	63	78	36	42	216

Осадки за период март—август 1963 г. по сравнению с нормой

Станция	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август								
	Q мм	n мм	Q $\frac{\%}{n}$ (u—Q) мм	Q мм	n мм	Q $\frac{\%}{n}$ (u—Q) мм	Q мм	n мм	Q $\frac{\%}{n}$ (u—Q) мм	Q мм	n мм	Q $\frac{\%}{n}$ (u—Q) мм	Q мм	n мм	Q $\frac{\%}{n}$ (u—Q) мм	Q мм	n мм	Q $\frac{\%}{n}$ (u—Q) мм						
Гурьев	16	10	6	159	24	15	9	158	11	17	—6	65	24	20	4	119	21	14	7	150	7	11	—4	63
Оренбург	34	21	14	164	4	21	—18	17	20	36	—16	56	49	45	4	109	36	37	—1	98	48	32	6	148
Актюбинск	28	16	12	176	7	19	—11	37	44	27	17	164	31	31	—0	99	33	33	—0	100	17	32	—15	53
Кустанай	26	6	20	442	0	14	—14	0	8	26	—18	30	8	38	—30	20	56	46	9	121	37	34	3	110
Кокчетав	6	6	—0	98	0	13	—13	0	18	28	—10	62	7	47	—40	14	149	44	105	338	66	39	27	169
Целиноград	11	21	—10	53	0	18	—18	0	13	26	—13	52	10	43	—34	22	52	46	6	112	61	35	26	175
Караганда	25	24	—4	82	0	16	—16	0	11	28	—17	40	46	40	6	113	57	38	19	148	34	33	1	100
Павлодар	11	15	—4	74	1	8	—7	10	6	15	—11	37	3	45	—42	60	24	44	—20	39	28	34	—6	82
Семипалатинск	3	17	—14	16	3	14	—11	19	14	24	—10	58	23	35	—12	65	19	35	—16	54	38	24	14	157
Барнаул	20	24	—4	82	6	22	—16	28	33	37	—3	90	15	50	—35	30	54	64	—1	84	92	51	41	180
Петропавловск	237	9	228	263	139	18	121	670	251	30	221	840	58	51	7	114	57	55	2	100	17	47	—30	36
Кемерово	11	19	—8	58	7	18	—11	36	20	36	—6	56	16	45	—29	35	57	60	—3	95	104	60	44	174
Талды-Курган	43	28	15	154	58	34	24	170	39	37	2	102	45	23	22	195	12	20	—8	62	23	13	10	179

за март, апрель, май и июнь 1963 г., можно видеть следующую картину. Центральная область высокого давления смещается в апреле к западу, в район, где в марте располагалась зона сходимости ветров, изотерм и изотерм на AT_{500} и AT_{300} (рис. 14). Четкая сходимость ветров на высотах, как известно, является одним из главных факторов антициклогенеза и развития засухи.

К маю центральная часть поля высокого давления смещается еще дальше на запад и располагается над центральной частью ЕТС опять там, где в апреле наблюдалась зона сходимости ветров и изотерм (термического ветра) на AT_{500} (рис. 15). В соответствии с этим в Саранске наблюдалось 0% нормы осадков, в Пензе — 12% и т. д. (табл. 52). От мая к июню и далее к июлю слабоградиентное поле высокого давления с плохо выраженными элементами сходимости высотных изотерм и засуха на ЕТС начинают ослабевать.

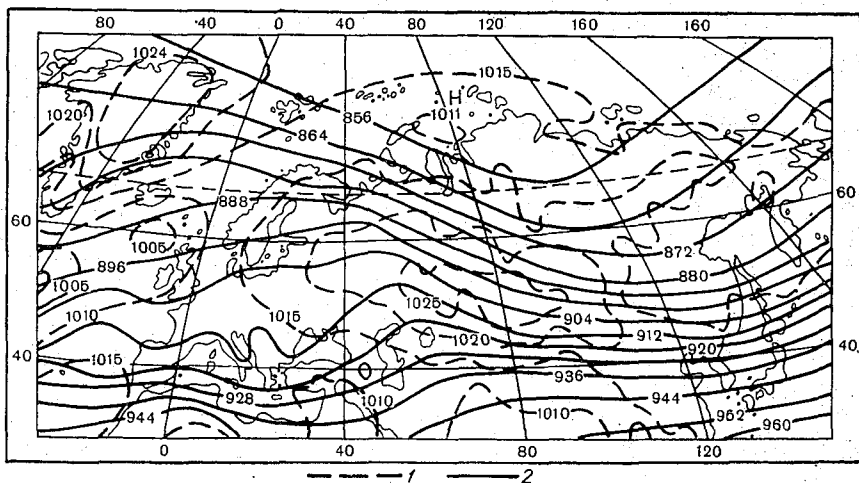


Рис. 14. Среднее месячное давление на уровне моря и абсолютная топография поверхности 300 мб. Апрель 1963 г.
1 — давление, 2 — абсолютная топография.

Как видно из табл. 51—53 и характеристики весны и начала лета, в связи с устойчивым расположением центральной части антициклона над центром ЕТС засуха в мае 1963 г. охватила почти всю Европейскую территорию СССР, в том числе и северо-западную.

Вместе с тем температура воздуха в мае на большей части ЕТС была значительно выше нормы. На юго-востоке ЕТС, по данным И. С. Слесаренко (1965), это превышение достигало в мае 2—3°.

Такая аномалия температуры явилась несомненно результатом интенсивного радиационного прогрева нижних слоев атмосферы при антициклоническом малооблачном режиме и развитии нисходящих движений в атмосфере, ведущих к трансформации питающих антициклон приходящих с севера (СЗ—СВ) и конвергирующих холодных воздушных масс.

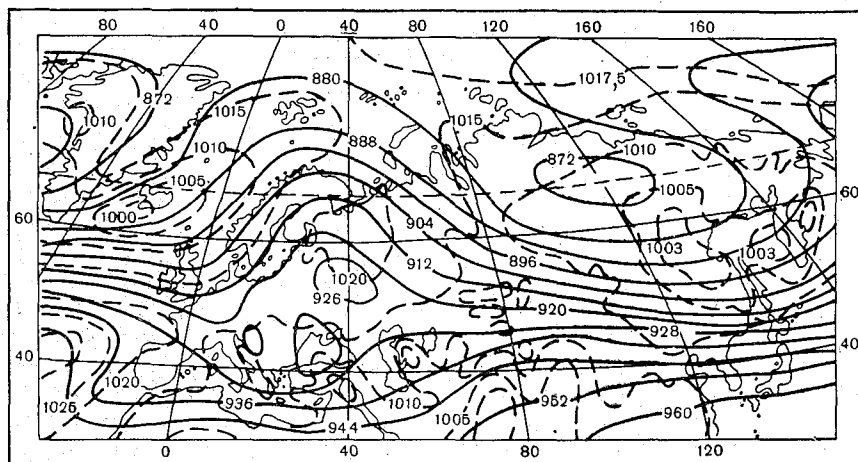
К этому следует добавить, что в мае засуха продолжалась, хотя в ослабленном виде, и в Казахстане (см. табл. 53).

Если учесть, что норма осадков в мае составляет в Волгоградской, Саратовской областях и хлебопроизводящей части Казахстана около 30 мм, то дополнительное количество осадков 10—15% нормы, на которое можно было бы рассчитывать при регулярных активных

воздействиях на облака даже в нормальные для данного района годы, могло бы составить лишь 3—5 мм. Это, конечно, очень мало, особенно, если принять во внимание, что значительная (если не большая) часть этих осадков испарится, стечет в реки и т. д., не перейдя в запасы продуктивной влаги в почве.

В засушливые годы, когда ресурсы влаги в атмосфере значительно уменьшаются, экономическая эффективность активных воздействий на облака для сельскохозяйственных нужд становится еще меньше.

Если иметь в виду радикальную борьбу с засухой, то невозможно представить себе, как при современном уровне знаний и технических средств можно было бы, например, надолго изменить направление вызывающих засуху северных холодных и сухих тропосферных потоков, питающих обширный антициклон, или же ликвидировать сходимость



Однако, как показывает синоптико-климатическая карта 1961 г., когда в засушливых районах наблюдалось наибольшее за период 1950—1964 гг. количество осадков в районах недостаточного увлажнения, дело и здесь обстоит не так просто. На рис. 16—19 видно, что на близких расстояниях находятся как районы со средним месячным количеством

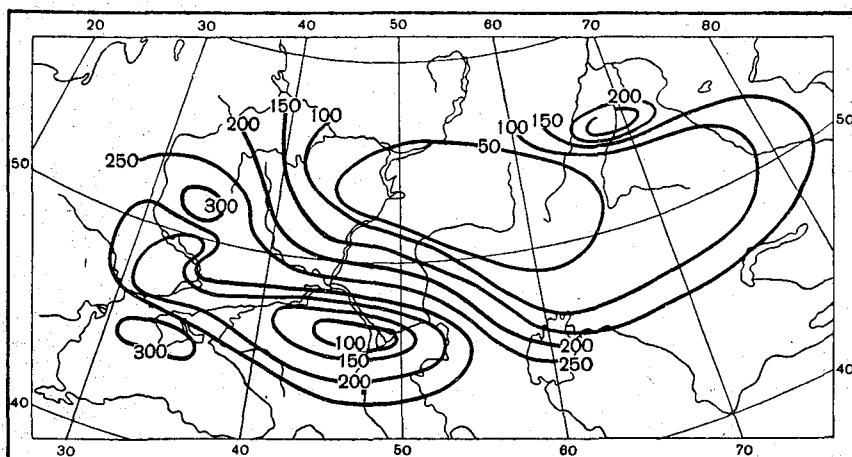


Рис. 16. Среднее месячное количество осадков в процентах от их многолетней нормы. Май 1961 г.

осадков более 250% нормы для данного района, так и районы со средним месячным количеством осадков менее 50% нормы.

Иными словами, и в годы с аномально большим количеством осадков в засушливых районах СССР в вегетационный период простран-

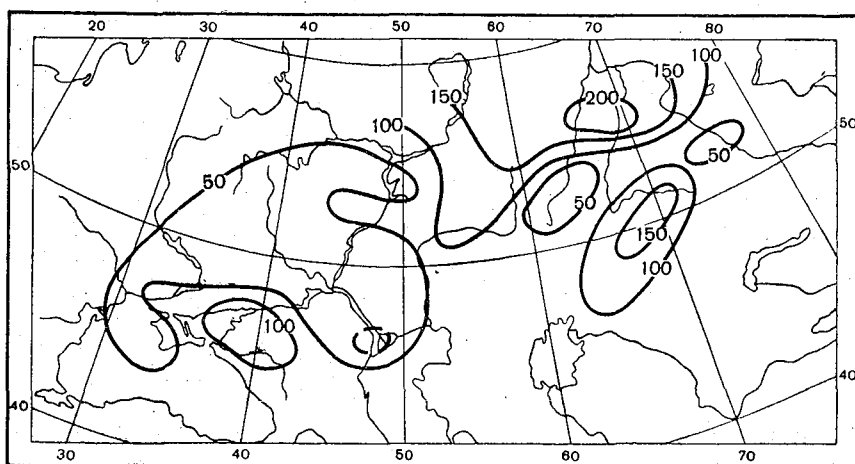


Рис. 17. Среднее месячное количество осадков в процентах от их многолетней нормы. Июнь 1961 г.

ственная изменчивость осредненного за месяц поля осадков оказывается еще достаточно большой, значительно больше 10% нормы осадков, полученных Г. Ф. Прихотько. То же наблюдается и во временном разрезе, т. е. для изменчивости среднего месячного количества осадков от месяца к месяцу.

Указывая на недостаточную определенность и противоречивость результатов, полученных Маккреди, Брайером и Энгером, Смитом, Боионом, Дугласом по статистической оценке эффективности ряда коммерческих опытов по воздействию на облака с целью получения дополнительных сумм осадков, Мейсон (1961) пишет: «Эти примеры приведены

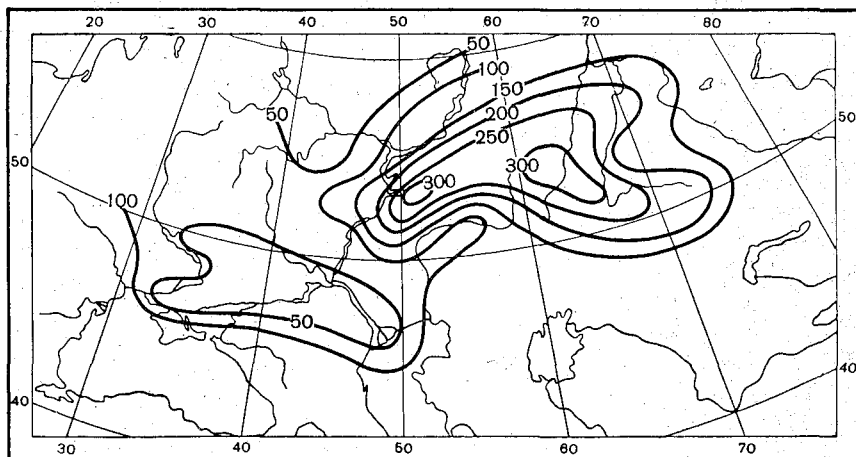


Рис. 18. Среднее месячное количество осадков в процентах от их многолетней нормы. Июль 1961 г.

вовсе не с целью отрицания возможности искусственного увеличения суммы осадков при воздействиях, а чтобы проиллюстрировать тот факт, что статистически значимые результаты нельзя получить за кратко-

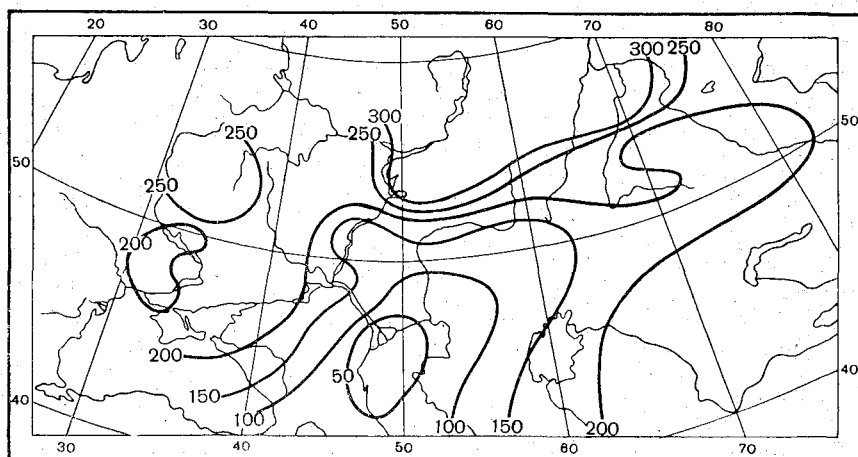


Рис. 19. Среднее количество осадков за период март—июль 1961 г. в процентах от их многолетней нормы.

временный период опытов, если вызванное увеличение суммы осадков не превышает обычные флуктуации суммы естественных осадков».

К этому замечанию Мейсона можно добавить вопрос: а как быть в том случае, когда после активного воздействия на облака получаются иногда очень большие количества осадков? Можно ли их как сильно выходящих за пределы обычной флуктуации осадков отнести за счет эффекта активного воздействия?

В самом деле, представим себе, что за полчаса до начала исключительно сильного и продолжительного ливня с грозой, который наблюдался в Воейково ночью 28—29 августа 1963 г. (Михель, 1965) было бы проведено активное воздействие на облака с целью вызывания из них осадков. Очевидно, был бы реальный соблазн отнести последующий исключительный по интенсивности и продолжительности ливень за счет активных воздействий (путем сработки механизма развязывания больших процессов малыми воздействиями), что, конечно, могло бы ввести в заблуждение (бержероновская идея «спускового курка», т. е. срабатывания механизма, когда малые дополнительные факторы при неустойчивом состоянии атмосферы могут привести к большим последствиям). Здесь лишний раз подчеркивается исключительная сложность всей проблемы эффективности активных воздействий.

Одной из основных причин сложности проблемы правильной оценки эффективности активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков заключается в том, что эти воздействия производятся лишь в условиях, когда и без вмешательства человека, вероятно, могло бы выпасть не меньшее количество осадков, но лишь позднее на несколько часов. Только многочисленные опыты по активным воздействиям на облака, хотя и удовлетворяющие критерию $\Delta H \geq 400$ м и $t_{в.г} \leq -4^\circ$, но перешедшие уже из стадии роста в стадию распада, помогут лучше оценить эффективность активных воздействий по вызыванию или интенсификации осадков. Разумеется, опыты по искусственному вызыванию осадков современными средствами из облаков, находящихся в стадии далеко зашедшего распада, вряд ли смогут дать сколько-нибудь благоприятные результаты. Здесь нужны более эффективные методы.

Опасность приписывания интенсификации уже выпадающих осадков активному воздействию на облачную систему определяется еще тем, что, согласно нашему анализу, 42 случая интенсивных осадков, превышающих 10 мм за один дождь или снегопад, фаза наибольшей интенсивности дождя (снегопада) наблюдается чаще не сразу после начала осадков, а спустя некоторое время (порядка 0,5 часа) после него. Выпадение осадков после введения в облако сухого льда начинается в среднем через 10—15 мин. Отсюда становится понятно, что, произведя активное воздействие на облако в самом начале выпадения естественных осадков, легко попасть в заблуждение, приняв естественное усиление интенсивности осадков, последовавшее после 10—30-минутного промежутка времени, за вызванное искусственным путем. Производя такие опыты по активным воздействиям многократно, естественно экспериментатор получит значительное мнимое количество дополнительных осадков.

§ 3. Причины неблагоприятных условий для искусственного вызывания или интенсификации осадков в засушливые периоды

Выше уже указывалось, что в катастрофически засушливый вегетационный период 1963 г. на юго-востоке Европейской территории СССР и в Казахстане в средней и верхней тропосфере наблюдалась хорошо выраженная сходимость главным образом северо-западных и западных ветров, обуславливавшая устойчивый антициклонический режим на громадной территории.

Аналогичные условия наблюдались почти при всех остальных катастрофических засухах на ЕТС и в Западной Сибири. Для катастрофических засух 1936, 1938, 1946, 1950 и 1952 гг. сходимость северо-западных

и западных ветров на высотах видна на средних месячных картах барической топографии и из данных шаропилотных и радиопилотных наблюдений. Для катастрофических засух 1890, 1891, 1892, 1893, 1900, 1901, 1906 и 1911 г. сходимость северо-западных и западных ветров, по крайней мере в средней тропосфере, можно установить по косвенным признакам.

Известно, что направление движения барических систем определяется направлением мощного потока в средней тропосфере (правило ведущего потока). Отсюда следует и обратное положение, а именно, направление траекторий циклонов и антициклонов в общем достаточно хорошо должно указывать на направление основных результирующих потоков (ведущих потоков) в средней тропосфере. Такая сходимость траекторий циклонов и антициклонов, ядер высокого давления и волн холода, а следовательно, и управляющих их движением потоков в средней тропосфере наблюдается почти во все указанные засушливые периоды.

Анализ синоптико-климатологических материалов по катастрофической весенне-летней засухе 1963 г., охватившей одновременно огромную площадь, выявляет ряд отчетливо выраженных закономерностей. Если наложить одну на другую карты средних месячных изогипс AT_{500} и изотерм AT_{500} , то можно отчетливо видеть, что обе они указывают на хорошо выраженную сходимость изогипс и изотерм над районом недостаточного увлажнения.

Сходимость изогипс AT_{500} говорит о том, что над данным районом преобладает сходимость ветров в средней тропосфере. Сходимость изогипс и изотерм наблюдается, однако, и на вышележащей изобарической поверхности 300 мб. Отсюда следует, что конвергентное поле ветра, наблюдаемое как в средней, так и в верхней тропосфере, должно обуславливать большой положительный баланс притоко-оттока воздушных масс, рост давления и отток воздушных масс в нижележащие слои. Преобладание нисходящих движений и обусловленная ими сухость воздуха создают такие препятствия для достижения эффективности активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков, которые при современных методах активных воздействий оказываются пока не преодоленными. (Если же имеются восходящие движения и достаточное влагосодержание, то облака и осадки образуются и без активных воздействий.)

К этому следует добавить, что если облака при этих условиях сначала еще наблюдаются, то при сохранении конвергентного поля ветра на высоте атмосферные фронты и связанные с ними облачные системы начинают размываться. Именно поэтому в зоне недостаточного увлажнения размывание атмосферных фронтов в мае—июне наблюдается в несколько раз чаще, чем обострение фронтов. (Михель, 1965) (табл. 54).

Следует отметить, что указанная выше сходимость ветра на высоте является вообще весьма часто наблюдаемым явлением в засушливой зоне СССР. Достаточно проанализировать средние месячные карты преобладающих и результирующих ветров в средней тропосфере, чтобы убедиться в том, что в течение всего года в районе Украины, Нижнего Поволжья и Казахстана, т. е. в засушливой зоне, имеется определенная тенденция к сходимости преобладающих (результирующих) северо-западных и западных ветров.

Именно это обстоятельство и объясняет в значительной мере указанное выше резко выраженное преобладание процесса размывания атмосферных фронтов над процессами их обострения.

Таблица 54

Количество (число случаев) и повторяемость (%) атмосферных фронтов в Куйбышевской области в мае—июне (за 8 лет 1956—1963 гг.), находившихся в разных стадиях развития и прошедших с осадками или без осадков

	Стадия эволюции атмосферного фронта									Общее число фронтов
	обострялся			размывался			без существенных изменений			
	с осад-ками	без осадков	всего	с осад-ками	без осадков	всего	с осад-ками	без осадков	всего	
За 8 лет	7	2	9	41	30	71	14	10	24	104
За 1 год	0,9	0,2		5,1	3,8		1,8	1,2		
Относительная повторяемость (%)	78	22	100	58	42	100	58	42	100	
Процент от всех фронтов	7	2		41	30		14	10		100

К этому следует добавить, что преобладание антициклогенеза и связанных с ним нисходящих движений в атмосфере ведет к интенсивному прогреванию и иссушению стационарирующих в этом районе воздушных масс в процессе их трансформации. На большую роль трансформации воздушных масс, обуславливающих засушливость рассматриваемой зоны, указывает М. В. Заварина в работах, посвященных этому вопросу (1953, 1965 г.).

Резкое преобладание в вегетационный период в зоне недостаточного увлажнения процесса размывания атмосферных фронтов и полей осадков определяет весьма неблагоприятные в отношении искусственного вызывания или интенсификации осадков условия и недостаточную эффективность методов активных воздействий на облака.

В статье В. М. Михеля (1965) указывается на то, что относительная повторяемость осадков в течение 6 или 12 час. после наблюдения в 19 час. облаков Frnb, Ns или Ns оказывается на большинстве станций существенно меньше, чем после наблюдения их в другие сроки. Это в то же время свидетельствует и о том, что условия для искусственного вызывания осадков после срока наблюдений 19 час. становятся обычно хуже.

Очевидно, что наилучшие условия для активных воздействий на облака будут около 13—15 час., когда и в естественных условиях, как показывают климатические данные, наблюдается большое развитие конвективной облачности и развитие конвекции на фронтах. Однако и здесь остается нерешенной проблема оценки эффективности активных воздействий на облака с целью вызывания или интенсификации осадков, поскольку при хорошей тенденции облачности к развитию они с большой вероятностью могут выпасть в ближайшие часы и без вмешательства человека.

ВЫВОДЫ К ГЛАВАМ II И III

1. Несмотря на относительно большую повторяемость нижней облачности 8—10 баллов зимой (около 60%) в зоне недостаточного увлажнения ЕТС ресурсные для активных воздействий с целью осажде-ния до-полнительного количества осадков облака 10/10 Frnb, Ns наблюдаются

значительно реже (в среднем их повторяемость около 10—20%). К тому же *Ns* имеют сравнительно малый период непрерывного существования (около 6 час.) и большую пространственно-временную изменчивость их толщины (при средней их толщине немного более 1 км), а следовательно, и повышенную изменчивость осадков.

2. Хотя слоисто-дождевые облака в рассматриваемой зоне в холодное полугодие наблюдаются в 2—3 раза реже, чем слоистые и слоисто-кучевые облака вместе взятые, но они значительно чаще удовлетворяют критерию целесообразности активных воздействий с целью получения дополнительных осадков. Поэтому абсолютная повторяемость случаев целесообразности активных воздействий на *Ns* будет близка к суммарной абсолютной повторяемости случаев целесообразности активных воздействий на *St* и *Sc*, а в теплое время года (когда *St* очень мало) даже превышает ее.

3. Недостаточно эффективными в смысле получения из них добавочного количества осадков с помощью активных воздействий являются здесь летом и ресурсные облака *Cb*, *Cu cong.* и *Ns*. Причина этого лежит не только в недостаточно большой их повторяемости (результат сухости воздуха), но и в том, что вследствие высокого расположения изотермы 0° толщина переохлажденной части облаков будет недостаточно большой.

4. Весьма неблагоприятные условия для активных воздействий в зоне недостаточного увлажнения ЕТС определяются часто наблюдаемой антициклонической погодой с ясным небом (когда воздействия исключены) или тонкой облачностью, конвергентным полем ветра на высотах и связанными с ним разрывающими нижнюю облачность нисходящими движениями, а также сухостью воздуха. К сухости воздуха летом ведет еще усиленное прогревание земной поверхности и трансформация воздушных масс. В холодный период большая часть осадков на Украине выпадает из облаков не фронтального, а внутримассового происхождения, которые малоблагоприятны для активных воздействий.

5. Одной из главных причин малой эффективности современных методов активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков является то, что эти воздействия требуют тех же благоприятных условий, при которых образуются естественные осадки, а количество искусственных осадков, особенно зимой, даже из облаков, удовлетворяющих критерию целесообразности активных воздействий, мало.

6. Задача интенсификации осадков малыми энергетическими затратами, приводящими в движение механизм срабатывания осадков, хотя и заманчива, но на практике (в отношении доказательности роли вмешательства человека в атмосферные процессы и др.) здесь придется столкнуться с очень большими трудностями, пути преодоления которых еще не ясны.

7. Если искать решение проблемы получения дополнительного количества осадков, достаточного для практических нужд (прежде всего сельского хозяйства), то ограничиться лишь местными активными воздействиями на облака без основательного вмешательства в развитие атмосферных процессов, т. е. без весьма крупных энергетических затрат, по порядку величины сравнимых с таковыми в атмосферных процессах, управляющих осадками, будет невозможно.

8. В качестве климатологического показателя эффективности активных воздействий на облака может служить отношение $\frac{\tau}{t}$, где τ — продолжительность выпадения искусственных осадков, t — продолжительность одного сеанса выпадения естественных осадков.

Приближенная средняя величина отношения составляет $\frac{35}{288} \approx 0,12$, т. е. около 12%.

Если допустить, что средняя интенсивность искусственных осадков равна средней интенсивности естественных осадков, то полученные 12% будут приблизительно соответствовать добавочному количеству осадков, (полученному в результате активных воздействий) по отношению к нормальному их количеству за тот же период.

9. Весьма большая вероятность (около 90%) естественного выпадения осадков в течение 3 час., а тем более 6 час. после наблюдения Frnb, Ns или Ns (Михель, 1965) свидетельствует о том, что активные воздействия на облака Frnb, Ns или Ns должны повести не столько к увеличению и без того большой вероятности выпадения из них осадков, сколько к увеличению их интенсивности и продолжительности их выпадения. При этом выбор места, времени, масштаба и способа активных воздействий на облака должен быть сделан с тщательным учетом синоптической обстановки, стадии развития облаков и на основе учета комплексного краткосрочного прогноза осадков для района предполагаемых активных воздействий.

10. Задача интенсификации осадков из Ns путем активных воздействий вытекает также из того, что при выпадении осадков из Ns, нижняя граница которых находится в среднем на высоте около 1 км, происходит значительное испарение не только жидких, но и мелких твердых осадков.

11. При прочих равных условиях активные воздействия на облака будут много эффективнее, если облака еще до воздействия находились в стадии роста, а не распада. Поэтому активные воздействия на облака с целью вызывания осадков в случае их быстрого распада нецелесообразны. Более выгодным является воздействие в дневные часы, чем в поздние вечерние, когда заканчивается обычно естественный цикл роста облаков (это наблюдается не только у внутримассовых, но и у фронтальных облаков).

12. С точки зрения требуемого масштаба энергетических затрат трудно ожидать успешных и экономически выгодных активных воздействий на облака с целью вызывания из них осадков, если облака находятся на подветренной стороне возвышенности и испытывают на себе действие разрушающего нисходящего потока. В то же время эффект активного воздействия на облака, приближающиеся к возвышенности, легко переоценить, поскольку трудно различить вклад искусственного воздействия с целью интенсификации осадков от вклада влияния орграфии в увеличение интенсификации осадков.

13. Одна из важнейших причин, создающих наибольшие затруднения для успешных и эффективных воздействий на облака в районе недостаточного увлажнения юго-востока и юга в мае—июне, связана с тем, что проходящие в это время атмосферные фронты в подавляющем большинстве случаев находятся уже в стадии размывания, а их облачная система — в стадии распада. При этом, что особенно неблагоприятно, в 42% случаев размывание атмосферных фронтов связано с отсутствием фронтальных осадков и, следовательно, здесь приходится ставить задачу не интенсификации, а искусственного вызывания осадков.

14. Для оценки эффективности активных воздействий на облака необходимо предварительно дать тщательно продуманный количественный краткосрочный (на 6 час.) прогноз естественных осадков в районе предполагаемого активного воздействия на облака с целью вызывания из них осадков. Этот прогноз должен даваться на основе комплексного

учета данных наземных синоптических карт, кольцевых карт, данных высотных синоптических карт, аэрограмм, сборных карт и пр. и учета инструментальных и визуальных наблюдений за эволюцией облаков.

Полученные в дни с активными воздействиями осадки в среднем должны значительно превышать (если активные воздействия достаточно эффективны) осадки, выпавшие в дни без воздействий при аналогичных ситуациях.

15. Получаемые в результате многочисленных опытов по активным воздействиям на облака дополнительные количества осадков порядка 10—15% нормы не могут считаться установленными достаточно надежно, так как они не выходят за пределы естественных колебаний среднего количества осадков за периоды опытов и величины нормы осадков. К тому же практическая значимость такого добавка осадков, даже если он реален, сравнительно мала, поскольку большая часть этих дополнительных осадков не перейдет в продуктивную влагу почвы, а испарится, стечет в реки, зимой будет снесена ветром в овраги и т. п.

Активные воздействия на облака с целью получения дополнительных осадков и оценка эффективности этих воздействий представляет бесспорно очень сложную проблему.

Имеющиеся к настоящему времени уже довольно многочисленные попытки оценить результаты этих воздействий, несмотря на различия методов этих оценок, сходятся на том, что дополнительные осадки, получаемые за счет активных воздействий, составляют как в теплое, так и в холодное время года всего около 10% от сумм осадков, выпадающих естественным путем.

Небезынтересно напомнить, что и один из других путей воздействия человека на атмосферу оказался также менее эффективным, чем предполагалось до его более обстоятельной проверки. Мы имеем здесь в виду влияние насаждения лесных массивов в лесостепной зоне ЕТС на изменение среднего количества осадков, указанное еще А. И. Воейковым (1894 г.), и других комплексных мероприятий по преобразованию природы (создание искусственных водоемов, искусственное орошение, задержание снега на полях и др.).

По расчетам А. Р. Константинова и Л. Р. Струзера (1965), общее увеличение осадков на территории степных и лесостепных районов Европейской территории СССР (т. е. в основном в зоне недостаточного увлажнения ЕТС) после проведения полного комплекса агролесомелиоративных мероприятий в этих районах составит около 30 мм, или примерно 6% начального их годового количества (около 470 мм). Это явно малое дополнительное количество осадков. К тому же следует иметь в виду, что в восточной, т. е. в более засушливой зоне, количество дополнительных осадков будет еще значительно меньше и составит, согласно данным тех же авторов, лишь около 10 мм (из них около 70% приходится на наиболее важный в сельскохозяйственном отношении период — май—август).

Сравнительно близкую к этим значениям величину, но исходя из несколько иных соображений, дает и О. А. Дроздов (1950). Для северо-восточной части района, подлежащего полосному облесению, он получил возможное увеличение осадков в среднем 20—40 мм, причем к югу эта величина уменьшается.

Сравнивая величины дополнительных осадков в зоне недостаточного увлажнения ЕТС, ожидаемых от широкого и систематического применения активных воздействий на облака (в среднем около 12%) и от комплекса мероприятий по преобразованию природы (в среднем около 6%), мы видим, что применение метода активных воздействий на облака,

по-видимому, может дать добавочное количество осадков приблизительно вдвое больше, чем от комплекса агролесомелиоративных мероприятий.

Однако надо еще раз подчеркнуть, что и те и другие расчетные величины весьма ориентировочны и малы. Совместное же применение всех этих мероприятий обещает дать, хотя также небольшое, все же более ощутимое дополнительное количество осадков. Однако здесь необходимо будет считаться и с экономической стороной этих мероприятий: с учетом их рентабельности и всех других последствий.

Вышеуказанные средние величины ожидаемых дополнительных осадков позволяют сделать заключение и об относительно возможных дополнительных осадках от активных воздействий на облака в зоне недостаточного увлажнения в засушливые годы.

Это количество осадков несомненно будет значительно меньше тех небольших величин дополнительных осадков, которые указаны выше.

Такое положение естественно и очевидно. Действительно, как указано выше, расчеты О. А. Дроздова, А. Р. Константинова и Л. Р. Струзера показывают, что абсолютное количество дополнительных осадков в зоне недостаточного увлажнения значительно уменьшается с запада на восток и, особенно, на юго-восток по мере приближения к полупустынным районам.

Перейдя от пространственной закономерности распределения дополнительных осадков к связанной с ней временной закономерности, можно определенно сказать, что меньшее количество дополнительных осадков, которое в нормальные годы можно было получить в результате комплекса агролесомелиоративных мероприятий на восточных и юго-восточных окраинах зоны недостаточного увлажнения, в засушливые годы можно будет получать обычно только в центральной или даже западной части этой зоны.

Такое же положение будет иметь место и для активных воздействий на облака.

Причины этого будут заключаться в том, что в засушливые годы будет чаще наблюдаться уже в центральных частях зоны ясное небо, когда возможность активных воздействий на облака исключена, или недостаточные по количеству и по толщине облака с высотой более 2 км.

Одна из основных причин большой ограниченности возможностей активных воздействий на облака заключается в том, что площадь, на которой производятся эти воздействия, так же как и площадь агролесомелиоративных мероприятий, недостаточно велика.

Проведение активных воздействий не может ограничиться лишь отдельными облаками или частью облачных систем, поскольку существование и эволюция последних тесно связаны с атмосферными процессами, облачными и водными ресурсами, имеющимися на весьма большой территории.

Это означает, что при развитии работ по активным воздействиям на облака необходимо тщательно изучать и целый ряд смежных областей климатологии, физики атмосферы и синоптической метеорологии.

Успешное развитие активных воздействий возможно лишь на базе не только разработки вопросов микро- и макрофизики этих воздействий, но и комплексного изучения климатических (в первую очередь облачных) ресурсов на больших территориях, широких микро-, мезо- и макроклиматических исследований и исследований закономерностей общей и региональной циркуляции атмосферы.

В данной книге не представляется возможным привести достаточно большое количество монографий по указанным направлениям. В списке литературы приведены лишь некоторые из них.

В этих монографиях можно найти также достаточно полные библиографические указания на обширную литературу по ряду вышеуказанных разделов метеорологии, прямо или косвенно связанных с кругом вопросов, относящихся к проблеме активных воздействий на облака с целью получения дополнительного количества осадков, с вопросами оценки эффективности этих воздействий и т. д.

Ряд наиболее новых указаний по рассматриваемому здесь кругу вопросов, которые не могли быть отражены в библиографических данных, приложенных к вышеуказанным монографиям, можно найти в реферативном журнале АН СССР (особенно в разделе «Воздействие человека на атмосферу») и в других справочных изданиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя положение вопроса на сегодняшний день, можно сказать следующее.

Многочисленные данные экспериментов и статистическая обработка материалов наблюдений указывают на всю сложность проблемы активных воздействий на облака с целью осаждения из них осадков.

При регулярном воздействии на переохлажденные облака реагентами, применяющимися в настоящее время («сухой лед» и иодистое серебро) можно получить дополнительное количество осадков. Это количество осадков, по оценкам, произведенным в данном исследовании, довольно хорошо согласуется с оценками других авторов и составляет около 10% нормы. Оно не может существенно увеличить эффективные запасы влаги в почве.

Частичное решение проблемы обеспечения водой зоны недостаточного увлажнения и засушливых земель может быть достигнуто в плане развития комплексных исследований и широких мероприятий по искусственному орошению, мелиорации, задержанию снега на полях, а также в результате усовершенствования методов воздействия на облака.

В международном масштабе эта проблема может быть решена в результате искусственного опреснения океанической и морской воды.

ЛИТЕРАТУРА

- Адамов П. Н. [и др.]. Опыт предварительного синоптического анализа основных восьми катастрофических засух за последнее сорокалетие (1891, 1893, 1901, 1906, 1911, 1921, 1929, 1931 г.), Л. ГГО, 1933.
- Алпатьев А. М. Характеристика засух. В кн. «Климатологические ресурсы центральных областей Европейской части СССР и использование их в сельскохозяйственном производстве». Гидрометеиздат, Л., 1956.
- Андрианова Л. В., Дегтярева Г. В. Некоторые особенности метеорологических условий летнего сезона 1963 г. в Саратовской и Волгоградской областях. Сб. «Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья», вып. 1. Изд-во Саратовского университета, 1965.
- Архангельский В. П. Метеорологические условия весенне-летнего периода 1962 г. в Нижнем Поволжье. Там же.
- Бабиченко В. М. Распределение на Украине осадков, дающих за сутки не менее 100 мм. Тр. УкрНИГМИ, вып. 18, 1959.
- Богомазова З. П., Петрова З. П. Исследование выдающихся дождей на территории УССР, их хода и распределения по площадям. Тр. ГГИ, вып. 6 (60), 1948.

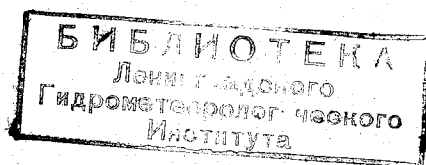
- Боровиков А. М. Характеристика облачных слоев над Москвой по данным самолетных подъемов. Тр. ЦАО, вып. 2, 1947.
- Будыко М. И. Климатические условия увлажнения на материках. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 2, 4, 1955.
- Будыко М. И., Дроздов О. А. Закономерности влагооборота в атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 4, 1953.
- Будыко М. И., Григорьев А. А. Классификация климатов СССР. Изв. АН СССР, сер. геогр. № 3, 1959.
- Воробьев И. Е. К вопросу о высотах облаков. Тр. ГГО, вып. 61 (123), 1956.
- Гауль М. Л. К расчету водного баланса облаков. Тр. ГГО, вып. 176, 1965.
- Гельмгольц Н. Ф. Облачные ресурсы северного Казахстана применительно к проблеме искусственного вызывания осадков. Тр. КазНИГМИ, вып. 25, 1965.
- Гирс А. А. Основы методов долгосрочных прогнозов погоды. Гидрометеиздат, Л., 1961.
- Дроздов О. А. Влагооборот и проблемы изменения количества осадков. Вопросы географии. Сб. статей для XVIII Международного географического конгресса. Изд. АН СССР, М.-Л., 1956.
- Дроздов О. А. К вопросу об изменении осадков в связи с системой полезитных мероприятий в степных и лесостепных районах ЕТС. Вопросы гидрометеорологической эффективности полезитного лесоразведения. Гидрометеиздат, Л., 1950.
- Дюнин А. К. Механика метелей. Изд. Сибирского отд. АН СССР, Новосибирск, 1963.
- Жаков С. И. Зависимость суммы осадков от их происхождения и циркуляции атмосферы. Изв. ВГО, т. 97, вып. 2, 1965.
- Заварина М. В. Об эволюции облачности холодных фронтов в теплое время года. Тр. ГГО, вып. 176, 1965.
- Заварина М. В. Определение верхней границы слоистообразных облаков по данным радиозондовых наблюдений. Тр. ГГО, вып. 200, 1965.
- Заварина М. В., Ромашева М. К. Мощность облаков над арктическими морями и центральной Арктикой. Проблемы Арктики, вып. 2, 1957.
- Заварина М. В., Ромашева М. К. Высота нижней границы облаков над Арктикой. Тр. ААНИИ, т. 217. Сб. статей по метеорологии, Л., 1959.
- Заварина М. В., Курбатова А. В. Аэрологические характеристики верхней границы облаков. Тр. НИИАК, вып. 14, 1961.
- Заварина М. В., Гауль М. Л. Некоторые характеристики слоистообразных облаков в засушливых районах Европейской территории СССР. Тр. ГГО, вып. 200, 1965.
- Зак Е. Г. Характеристика фронтальной облачности по данным самолетных подъемов. Метеорология и гидрология, № 8, 1937.
- Зак Е. Г., Марфенко О. В. Структура нижней кромки облачного покрова. Тр. ЦАО, вып. 7, 1952.
- Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Гидрометеиздат, Л., 1957.
- Зубенок Л. И., Ефимова Н. А., Мухенберг В. В. Материалы к климатическому районированию СССР. Тр. ГГО, вып. 76, 1958.
- Касаткин И. И. Влагооборот бассейна реки Волги. Метеорол. вестник, № 3—4, 1933.
- Кожарин В. С. Баланс влаги. Метеорология и гидрология, № 6, 1960.
- Константинов А. Р., Струзер Л. Р. Лесные полосы и урожай. Гидрометеиздат, Л., 1965.
- Лебедев А. Н. Климат СССР, вып. 1. Европейская территория СССР. Гидрометеиздат, Л., 1958.
- Лебедев А. Н. Продолжительность дождей на территории СССР. Гидрометеиздат, Л., 1964.
- Ленщин В. Т., Осипова Г. И., Шишкин Н. С. О прогнозе количества внутри-массовых ливневых осадков. Тр. ГГО, вып. 126, 1962.
- Леонов М. П. О водном балансе некоторых дающих осадки облаков. Изв. АН СССР, сер. физ. атмосферы и океана, т. I, № 5, 1965.
- Леонов М. П. Опыты искусственного регулирования осадков. Природа, № 7, 1965.
- Леонов М. П., Неробеева Т. Д. Интенсификация осадков над экспериментальным метеорологическим полигоном зимой 1963-64 г. Тр. УкрНИГМИ, вып. 47, 1965.
- Леонов М. П. Методика и оценка интенсификации осадков холодного полугодия в Украинской степи. Изв. АН СССР, физ. атмосферы и океана, т. 11, № 4, 1966.
- Лобанова В. Я., Соколова М. В. Характеристика низкой облачности в зоне атмосферных фронтов. Тр. НИИАК, вып. 5, 1958.
- Мамина Е. Ф., Федоров Е. К. О водном балансе облачной системы. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 5, 1957.
- Матвеев Л. Т. Некоторые вопросы теории образования и эволюции слоистообразной облачности. Тр. ААНИИ, т. 228, вып. 1, 1959.

- Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеиздат, Л., 1965.
- Матвеев Л. Т., Кожарин Л. С. Роль турбулентного перемешивания в формировании структуры слоистообразных облаков. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 11, 1956.
- Мейсон Б. Дж. Физика облаков. Перевод с английского. Гидрометеиздат, Л., 1961.
- Минервин В. Е. Сезонные изменения водности облаков. Тр. ЦАО, вып. 36, 1961.
- Минервин В. Е. Водозапасы облаков. Тр. ЦАО, вып. 64, 1965.
- Минервин В. Е., Мазин Е. П., Бурковская С. Н. Некоторые новые данные о водности облаков. Тр. ЦАО, вып. 19, 1958.
- Михель В. М. Использование наблюдений за облаками для краткосрочных прогнозов погоды. Тр. ГГО, вып. 26, 1939.
- Михель В. М. Вопросы методики шаропилотных наблюдений, их обработка и практическое применение. Гидрометеиздат, Л., 1959.
- Михель В. М. Климатологическая характеристика атмосферных фронтов и их эволюции в связи с облачностью и осадками в некоторых районах Европейской территории СССР. Тр. ГГО, вып. 176, 1965.
- Михель В. М. Исключительные по продолжительности и интенсивности грозы и ливни в районе Ленинграда. Тр. ГГО, вып. 176, 1965.
- Михель В. М. Изменчивость высоты нижней границы облаков нижнего яруса. Тр. ГГО, вып. 88, 1961.
- Михель В. М. Пространственно-временные характеристики слоисто-дождевой облачности в районах недостаточного увлажнения Европейской территории СССР. Тр. ГГО, вып. 200, 1966.
- Мишутин Д. А. Сухие атмосферные фронты в южных степях Украины. Метеорология и гидрология, № 6, 1952.
- Мишутин Д. А. Некоторые данные об атмосферных фронтах степной части Украины. Тр. УкрНИГМИ, вып. 5, 1956.
- Научные проблемы управления погодой. Перевод с англ. Под редакцией акад. Е. К. Федорова. Гидрометеиздат, Л., 1965.
- Накоренко Н. Ф., Токарь Ф. Г. Распределение температуры и влажности в облаках. Тр. НИУ ГУГМС, сер. 1, вып. 21, 1946.
- Никандров В. Я. Искусственные воздействия на облака и туманы. Гидрометеиздат, Л., 1959.
- Пагава С. Т. [и др.]. Основы синоптического метода долгосрочных сезонных прогнозов погоды. Гидрометеиздат, Л., 1966.
- Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы. Гидрометеиздат, Л., 1959.
- Покровская Т. В. К вопросу о пятнистости осадков. Тр. ГГО, вып. 75, 1957.
- Половина И. П. Некоторые характеристики облаков, дающих осадки. Тр. УкрНИГМИ, вып. 31, 1962.
- Половина И. П. Водозапасы слоистых и слоисто-кучевых облаков в холодное полугодие над Украиной. Тр. УкрНИГМИ, вып. 47, 1965.
- Пономаренко И. Н., Кошенко А. М., Заболоцкая Т. Н. Водность фронтальных облаков над степной частью Украины по экспериментальным данным. Тр. УкрНИГМИ, вып. 48, 1965.
- Прихотько Г. Ф. Некоторые черты низкой облачности на Украине. Тр. УкрНИГМИ, вып. 13, 1958.
- Розова Е. С. Бездождные периоды на Украине. Киев, 1961.
- Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, ч. I, ч. II, ч. III, вып. 3. Гидрометеиздат, Л., 1964, 1965, 1966.
- Селезнева Е. С. О границах и вертикальной мощности конвективных облаков. Тр. ГГО, вып. 93, 1959.
- Селянинов Г. Т. Гидротермический коэффициент в методике сельскохозяйственной климатографии. Тр. по с/х метеорологии, вып. 22, 1930.
- Серякова Л. П. Определение испаряемости и расчеты норм орошения. Изв. АН СССР, сер. геогр. № 6, 1957.
- Смирнов В. А. К вопросу выявления степени засушливости территорий. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Гидрометеиздат, Л., 1958.
- Современные проблемы климатологии. Под ред. чл.-корр. АН СССР М. И. Будыко. Гидрометеиздат, Л., 1966.
- Слесаренко И. С. Метеорологические условия весны 1963 г. в Нижнем Поволжье. Сб. «Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья», вып. 1. Изд-во Саратовского университета, 1965.
- Струзер Л. Р. Некоторые новые результаты корректировки норм атмосферных осадков на территории СССР. Изв. АН СССР, сер. геогр. № 3, 1967.
- Сумин Ю. П. Исследования зимней слоистообразной облачности в Целинном крае. Исследования по физике облаков и активным воздействиям. Докл. на седьмой

- межведомственной конференции. Под ред. И. И. Гайворонского и В. Я. Никандрова. Гидрометеиздат, М., 1967.
- Тверской П. Н. [и др.]. Курс метеорологии. Гидрометеиздат, Л., 1962.
- Токарь Ф. Г. Некоторые аэроклиматические характеристики бездождных дней и дней с различной продолжительностью осадков. Тр. ГГО, вып. 142, 1963.
- Физика облаков. Под ред. А. Х. Хргиана. Гидрометеиздат, Л., 1961.
- Хргиан А. Х. Новейшие исследования по физике слоистообразных облаков. Тр. ЦАО, вып. 47, 1962.
- Хромов С. П. Основы синоптической метеорологии. Гидрометеиздат, Л., 1948.
- Чуваев А. П. Об условиях, благоприятных для искусственного вызывания осадков из мощных кучевых облаков. Метеорология и гидрология, № 11, 1956.
- Чуваев А. П. [и др.]. Опыт регулирования развития облаков мощной конвекции над значительной площадью. Тр. ГГО, вып. 72, 1957.
- Чуваев А. П. [и др.]. К методике оценки климатических ресурсов искусственного увеличения осадков из конвективных облаков. Тр. ГГО, вып. 156, 1964.
- Шишкин Н. С. Осадки из конвективных облаков. Тр. ГГО, вып. 24, 1950.
- Шишкин Н. С. Исследование процесса образования летних осадков и грозового электричества. УФН, т. 45, вып. 3, 1951.
- Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозовое электричество. Гидрометеиздат, Л., 1964.
- Battan Louis J. Cloud Physics and Cloud Seeding. London and Edinburgh, 1965.
- Bergeron T. La physique des nuages et des précipitations. Mem. de la S. Ass. Gén. de l'union Géophys. Géodes., 1935.
- Blüthgen H. L. Allgemeine Klimageographie. Berlin, 1964.
- Bowen E. A new method of stimulating convective clouds to produce rain and hail. Q. J. Roy. Met. Soc., vol. 78, No. 335, 1952.
- Bowen E. Australian experiments on artificial stimulation of rainfall. Weather, vol. 7, 204, 1952.
- Brisebois D. La lutte contre la grêle. Agricult., vol. 17, No. 157, 1954.
- Byers H. R. Elements of cloud physics. The University of Chicago Press. Chicago, London, 1965.
- Dessens H. Recherches sur la pluie artificielle à l'observatoire du Puy de Dome. Ann. de Géophys., t. 6, 331, 1950.
- Fournier d'Albe E. M. Bubbles as coagulation elements in cumulus cloud. Bull. de l'obs., Puy de Dome, No. 2, 1961.
- Fournier d'Albe E. M., Lateef A. M., Rasool S. L., Zaidi S. H. The cloud-seeding trials in the Central Punjab, July—September 1954. Q. J. Roy. Met. Soc., vol. 81, No. 350, 1955.
- Findeisen W. Kolloid-meteorologische Vorgänge bei Neiderschlags-bildung. Meteor. Zeitschr., Bd. 55, 1938.
- King I. Artificial stimulation of rain. Nature, vol. 162, No. 4128, 1948.
- Kraus E., Squires P. Experiments on the stimulation of clouds to produce rain. Nature, vol. 159, No. 4041, 1947.
- Langmuir I. Cloud seeding by means of dry ice, silver iodide and sodium chloride. Trans. N. Y. Acad. Sci., ser. 2, vol. 14, No. 1, 1951.
- Langmuir I. Control of precipitation from cumulus clouds by various seeding techniques. Science, vol. 112, No. 2898, 1950.
- McCready P. B. Results of cloud seeding in Central Arisona, Winter 1951. BAMS, vol. 33, No. 2, 1952.
- Neyman I., Scott E. L. Further comments on the Final Report of the Advisory Committee on Weather Control. J. Amer. Stat. Ass., vol. 56, No. 295, 1961.
- Schaefer V. Y. The natural and artificial formation of snow in the atmosphere. Trans. Amer. Geophys. Un., vol. 29, No. 4, 1948.
- Spar I. A weather control experiment in the Eastern United States. Trans. N. Y. Acad. Sci., vol. 17, No. 18, 1955.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Климатические характеристики слоистообразных облаков в зоне недостаточного увлажнения	5
§ 1. Относительная и абсолютная повторяемость	8
§ 2. Суточный ход повторяемости слоистообразных облаков	13
§ 3. Продолжительность непрерывного существования облаков	22
§ 4. Естественное выпадение осадков из слоистообразных облаков	32
§ 5. Высота нижней границы и толщина облачных слоев	39
§ 6. Водность, микроструктурные характеристики и температура облаков	44
§ 7. Влагогенерирующая способность облаков	52
§ 8. Климатологическая оценка возможной эффективности активных воздействий на слоистообразные облака	54
Выводы	60
Глава II. Климатические характеристики слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаков	61
§ 1. Повторяемость облаков N_s , Fr_{nb} , Cu и Cb	—
§ 2. Продолжительность существования, толщина облаков и осадки	66
§ 3. Сравнительная климатическая характеристика форм облаков нижнего яруса	70
§ 4. Климатологическая оценка вероятной эффективности искусственного увеличения осадков из N_s в холодное время года	77
Глава III. Особенности распределения облачности и осадков в засушливые периоды	89
§ 1. Пространственно-временное распределение форм облаков Fr_{nb} , N_s и Cb	—
§ 2. Пространственно-временная изменчивость полей осадков в годы катастрофических засух и аномально больших осадков	92
§ 3. Причины неблагоприятных условий для искусственного вызывания или интенсификации осадков в засушливые периоды	101
Выводы к главам II и III	103
Заключение	108
Литература	—



МАРИЯ ВАСИЛЬЕВНА ЗАВАРИНА,
ВАСИЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ МИХЕЛЬ

Климатические характеристики облаков в зоне недостаточного увлажнения
Европейской территории СССР

Редактор Л. К. Сурыгина
Техн. редактор Г. В. Иванова
Корректор А. В. Хоркес

Сдано в набор 12/IX 1967 г. Подписано к печати 31/1 1968 г. Бум. тип. № 1 70×108^{1/16}.
Бум. л. 3,5. Печ. л. 9,8. Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 650 экз. М-21737. Индекс МЛ-99.
Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. В-53, 2-я линия, д. № 23.
Заказ № 593 Цена 67 коп.

Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Ленинград, Прачечный пер., д. 6