ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РОСГИДРОМЕТ)

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ РД 52.11.677--- 2006

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
Проведение работ по искусственному регулированию погодных условий в мегаполисах

Москва
МЕТЕОАГЕНСТВО РОСГИДРОМЕТА
2006

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1. РАЗРАБОТАН Государственным учреждением Центральная аэрологическая обсерватория (ГУ ЦАО) Росгидромета

2. РАЗРАБОТЧИКИ Г.П. Берюлев, канд. физ.-мат. наук (руководитель темы),
Б. Г. Данелян, Б. И. Зимин, канд. физ.-мат. наук, В. П. Корнеев, канд.тех. наук,
И. М. Сафронова, нормоконтролер

3. ВНЕСЕН Управлением геофизического мониторинга, активных воздействий и государственным надзором Росгидромета

4. УТВЕРЖДЕН Руководителем Росгидромета 03.04.2006

5. ЗАРЕГИСТРИРОВАН ЦКБ ГМП ГУ «НПО «Тайфун» за номером

РД 52.11.6777 2006

6. ВВЕДЕН ВПЕРЫЕ

Содержание

1. Область применения……1
2. Термины, определения и сокращения……1
3. Физические принципы искусственного регулирования погодных условий путем активного воздействия на облака……... 3
4. Объекты воздействия. Критерии пригодности облаков для АВ.5
5. Материалы и технические средства для АВ на облака……..11
5.1Реагенты для засева облаков…… ….....11
5.2Технические средства для засева облаков……...13
5.3Информационно-измерительная система……16
6. Планирование и организация работ……19
7. Порядок проведения работ по АВ на облака……...21
7.1АВ на конвективные облака……..21
7.2АВ на слоистообразные облака……22
8. Оперативный контроль результатов АВ……..29
9. Меры безопасности при проведении работ……..30
Библиография……31

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методические указания Проведение работ по искусственному регулированию погодных условий в мегаполисах

Дата введения - 2007-01-01

1 Область применения

Настоящие методические указания устанавливают общий порядок и последовательность операций при организации и выполнении опытно-производственных и производственных летных работ по активному воздействию (АВ) на облака, направленному на их рассеяние и подавление развития, а также на трансформацию происходящих в них процессов осадкообразования с целью предотвращения или существенного уменьшения количества выпадающих из облаков осадков над площадью мегаполиса (защищаемой территорией).

Методические указания обязательны для использования специализированными организациями по АВ на метеорологические и другие геофизические процессы и научно-исследовательскими учреждениями Росгидромета, занимающимися опытно-производственными и производственными работами по АВ на облака с целью снижения их ливневой активности для улучшения погодных условий или снижения опасности дождевых паводков.

2 Термины, определения и сокращения

В настоящих методических указаниях применены следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

2.1 активное воздействие; АВ: Преднамеренное воздействие на облако с целью изменения естественного хода микрофизических и динамических процессов (рассеяния облаков, ускорения осадкообразования в них, увеличения выпадающих из них осадков и т.п.) [1].

2.2 генератор льдообразующих аэрозолей: Установка для получения льдообразующего аэрозоля механическим, тепловым и другим способами [1].

2.3 дисперсность: Характеристика размера (степени раздробленности) частиц какого-либо тела в дисперсных системах. Мерой дисперсности является отношение общей площади поверхности всех частиц в единице массы вещества.

2.4 засев облака: Введение в облако реагента в диспергированном и (или) гранулированном, а также в газообразном состоянии [1].

2.5 защищаемая территория; ЗТ: Территория, на которой осуществляется изменение метеорологических условий путем АВ на облака.

2.6 информационно-измерительная система; ИИС: Комплекс наземных и бортовых измерительных приборов, вычислительных устройств и средств связи, обеспечивающий получение, обработку и анализ метеорологической и аэронавигационной информации для планирования и проведения летных работ по воздействиям на облака и для последующей оценки их эффективности.

2.7 конвективная неустойчивость атмосферы: Состояние атмосферной стратификации, при котором любое тепловое или динамическое возмущение атмосферы вызывает положительную реакцию, т.е. автоматическое поддержание и усиление вертикального воздушного потока, инициированного возмущающим воздействием.

2.8 ледяные (льдообразующие) ядра: Частицы атмосферного или искусственного аэрозоля, вызывающие образование ледяных частиц в облаках при температуре ниже 0 °С [1].

2.9 линия засева: Перемещающаяся вследствие ветрового переноса с облаком (с полем облачности) линия, вдоль которой в облаке произведен засев реагентами с целью направленного изменения облачных процессов.

2.10 льдообразующий реагент: Вещество (смесь веществ), которое используется в работах по АВ на облака с целью получения ледяных частиц [1].

2.11 метеорологическая защита (метеозащита): Рассеяние облаков, предотвращение или существенное снижение интенсивности и количества осадков на защищаемой территории (ЗТ) путем АВ на облака.

2.12 осадкообразующие облака (облачные системы): Облака (облачные системы), которые в ходе своего естественного развития уже дают выпадающие до земли осадки или неизбежно достигнут этой стадии развития.

2.13 переохлажденная облачная среда: Объем, в котором из-за недостатка льдообразующих ядер облачные частицы длительное время сохраняются в жидкокапельном виде при отрицательных температурах, достигающих нескольких десятков градусов Цельсия.

2.14 трасса засева: Линия между фиксированными точками на поверхности земли, над которой производится засев облачности в ходе многократных пролетов самолета при АВ на облака.

2.15 физическая эффективность АВ: Степень успешности активного воздействия на метеорологические процессы, выраженная через изменения физических параметров атмосферы [1].

ИВК - измерительно-вычислительный комплекс.

ИИС – информационно-измерительная система.

МРЛ - метеорологический радиолокатор.

ОЦ - оперативный центр.

ПК – персональный компьютер.

ЦАО - Центральная аэрологическая обсерватория.

3 Физические принципы искусственного регулирования погодных условий путем активного воздействия на облака

3.1 В работах по АВ на метеорологические процессы, являющихся важным направлением экспериментальной метеорологии, на протяжении более чем полувековой истории их развития значительное внимание уделялось разработке методов и средств для рассеяния облаков и туманов и для предотвращения или ослабления осадков (дождя и снега) [2,3]. Из числа разработанных при этом подходов для решения проблемы искусственного регулирования погодных условий в зависимости от синоптической ситуации могут применяться различные методы воздействия на метеорологические процессы в атмосфере или разные комбинации таких методов. Практическое применение получили следующие методы:

– метод рассеяния слоистообразной облачности;

– метод инициирования преждевременного выпадения осадков из облачных систем на наветренной стороне от ЗТ путем искусственного засева этих систем, направленного на образование "тени" осадков, т.е. их прекращения или ослабления над ЗТ;

– метод “перезасева“ - интенсивный засев натекающей на ЗТ осадкообразующей облачности с целью снижения в ней эффективности механизмов осадкообразования вследствие создания в ней чрезмерно высоких концентраций ядер кристаллизации (являющихся зародышами частиц осадков);

– метод разрушения мощных кучево-дождевых облаков динамическим способом для предотвращения ливней и гроз.

3.2 Общей чертой для всех этих методов кроме метода разрушения является засев переохлажденных объемов облачности льдообразующими реагентами (кристаллизующие реагенты типа йодистого серебра или хладореагенты – твердая углекислота, жидкий азот) [4]. Такой засев во всех случаях приводит к значительному увеличению в переохлажденном объеме облачности количества ледяных ядер, на которых немедленно начинается активный рост ледяных кристаллов, оказывающихся зародышами дополнительных частиц осадков. При этом в зависимости от используемого метода АВ вводимое в облако количество ядер выбирается (путем регулирования расхода реагентов) оптимальным для инициирования (в случае рассеяния облаков) или интенсификации (в случае организации преждевременного выпадения осадков) процессов осадкообразования [5,6].

3.3 При использовании метода перезасева облаков переохлажденный объем облачности засевается количеством ледяных ядер, заведомо существенно превышающим нормы засева, направленного на увеличение количества осадков. В этом случае возникающее после засева чрезмерно большое количество ледяных зародышей частиц осадков быстро аккумулирует на себе весь запас переохлажденной жидкокапельной влаги облака, но при этом частицы не достигают размеров, при которых должно начаться их заметное гравитационное падение. Это приводит к тому, что после выпадения на землю естественных осадков, частицы которых к моменту засева облака уже сформировались,

интенсивность выпадающих осадков резко уменьшается. Этот период ослабленных (а в идеале – прекратившихся) осадков у земли продолжается в течение времени, за которое поступающая в облако с восходящими потоками влага пополнит дефицит воды, необходимый для формирования новых частиц осадков в облаке, и эти новые осадки долетят до земли [7].

3.4 Период ослабления осадков в зависимости от стратификации атмосферы может доходить до нескольких десятков минут. Соответственно, пространственная протяженность зоны ослабленных осадков, зависящая также от скорости ветрового перемещения, может доходить до нескольких десятков километров. При правильном расчете схемы АВ этого вполне достаточно, чтобы обеспечить перекрытие площади заданного для метеозащиты мегаполиса зоной ослабленных осадков.

3.5. Четвертый из перечисленных методов АВ заключается в разрушении развивающихся конвективных облаков разной интенсивности от мощно-кучевых до кучево-дождевых с помощью динамического способа, то есть посредством искусственно создаваемых в них нисходящих потоков. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что динамический метод разрушения кучево-дождевых облаков путем сброса в их вершины порошкообразных реагентов (цемента) оказался достаточно эффективным. Так, положительный эффект (разрушение облака) был получен более чем в 80 % случаев воздействий на одноячейковые изолированные облака внутримассового развития и в 65 % случаев при воздействии на облака фронтального происхождения. При этом сброс порошкообразного реагента в количестве 25-30 кг и более (из расчета на одну вершину) приводил к разрушению одноячейковых изолированных облаков за 10-20 мин, а фронтальных облаков - за 30-35 мин [8-10].

3.6. Для всех четырех методов воздействия следует отметить общую для них важную особенность, заключающуюся в том, что успешное применение каждого из методов основывается на использовании неустойчивого состояния атмосферных процессов. При этом наиболее существенное значение для возможности локального изменения процессов облако- и осадкообразования имеют неустойчи-вость фазового состояния облачной влаги (существование переохлажденной жидкокапельной фракции) и конвективная (вертикальная) неустойчивость атмо-сферы. В первом случае оказывается возможным достаточно легко осуществить искусственную кристаллизацию переохлажденных облачных объемов, что, в свою очередь, радикально меняет кинетику процессов осадкообразования. Во втором случае оказывается возможным воспользоваться для разрушения конвективных облаков той же самой энергией атмосферной неустойчивости, которая обусловли-вает их развитие. Необходимо лишь направить искусственным образом реализа-цию этой энергии в противоположном направлении путем преднамеренного создания в облаке нисходящих движений, которые и приводят к его разрушению.

3.7 Реализацию рассмотренных методов АВ в настоящее время можно осуществить с помощью разработанной в Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) технологии, основанной на использовании самолетов, оборудованных техническими средствами засева облаков. К последним относятся дозирующие установки для сброса гранулированной твердой углекислоты; автоматические устрой-

ства для отстрела пиропатронов ПВ-26-01 с 30-граммовыми пиротехническими шашками, содержащими йодистое серебро; генераторы мелкодисперсных ледяных частиц на основе использования жидкого азота и специальные устройства для сброса 25-30-килограммовых упаковок порошкообразного реагента с автоматическим раскрытием после сброса.

Все перечисленные методы и технические средства АВ в той или иной степени успешно применялись при проведении комплекса мероприятий по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС [10] и в ходе многочисленных работ по метеозащите Москвы [6,7], Санкт-Петербурга, Ташкента, Астаны и др.

4 Объекты воздействия. Критерии пригодности облаков для АВ

4.1 При наличии однослойных или многослойных слоистых облаков, не дающих осадков (слоистые St, слоисто-кучевые Sc, высокослоистые As), в ходе метеозащиты мегаполисов могут выполняться АВ по рассеянию облаков. Для этого целесообразно осуществлять засев льдообразующими реагентами облачных слоев среднего яруса, характеризующихся наличием переохлажденной облачной влаги. В результате образования и выпадения на землю осадков слабой интенсивности будет обеспечиваться рассеяние засеваемых слоев, а также частичное (или полное) рассеяние расположенных ниже теплых облачных слоев за счет "вымывания" падающими сквозь их толщу частицами осадков.

4.1.1 В этом случае АВ на облачность, натекающую на ЗТ, следует производить с самолетов гранулированной твердой углекислотой, жидким азотом или пиротехническими средствами, а также комбинацией указанных средств. Засев производится на удалении от ЗТ, несколько превышающем дальность 1-часового ветрового переноса облаков (20-50 км). Такое время необходимо для того, чтобы образующиеся при засеве облачных масс частицы осадков успели вырасти и выпасть на землю еще до достижения несущей их воздушной массой площади ЗТ. В общем случае значение этого расстояния упреждения обычно уточняется по данным радиоветрового или самолетного зондирования атмосферы. Засев осуществляется вдоль трассы, перпендикулярной направлению ветрового переноса облачности и имеющей протяженность несколько более поперечного размера ЗТ. Длина трассы засева рассчитывается с учетом вертикального профиля направления ветра в нижележащих слоях атмосферы.

4.1.2 Используемые для такого засева нормы расхода реагентов относительно невелики и составляют в зависимости от толщины засеваемого слоя от 0,1 до 0,5-0,7 кг твердой углекислоты на 1 км трассы полета самолета или 1 серию из четырех пиропатронов ПВ-26-01 на каждые 5-8 км пути. При засеве относительно тонких слоев облачности жидким азотом его расход должен составлять до 50 мл/км.

4.1.3 Эффект АВ прослеживается по образованию дополнительных просветов в облачности ниже по потоку переноса с последующим расширением этих просветов. При однослойной облачности увеличивается поток солнечной радиации у поверхности земли. По радиолокационным данным наблюдается появление полос падения осадков после засева облаков.

4.2 При наличии однослойной или многослойной облачности, дающей обложные осадки, обязательно проведение АВ, направленное на прекращение осадков или на существенное снижение их интенсивности и количества. В этих случаях эффект прекращения или существенного снижения интенсивности осадков на ЗТ может быть достигнут путем обеспечения засева натекающих на ЗТ облачных масс повышенными дозами льдообразующих реагентов (перезасев). В результате такого засева необходимо обеспечить создание в переохлажденных объемах облачности чрезмерной концентрации зародышей частиц осадков, при которой рост этих частиц замедлится вследствие ограниченной интегральной водности осадкогенерирующего облачного слоя при неизменной скорости притока водяного пара из нижних слоев атмосферы. Замедление скорости роста частиц и скорости их гравитационного падения на землю приведет к снижению интенсивности потока осадков на землю, что и является задачей проводимых АВ.

4.2.1 В этом случае засев также производится льдообразующими реагентами - твердой углекислотой и/или аэрозолями, образующимися при сгорании пиротехнических средств. Расстояние до ЗТ, на котором необходимо производить засев облаков, при этом должно примерно соответствовать дальности 0,5-0,7-часового ветрового переноса облачных масс. Это необходимо для того, чтобы осадки, уже сформировавшиеся в натекающей на ЗТ облачности до начала засева, успели выпасть на землю, не доходя до территории ЗТ. Засев облачности должен производиться вдоль трассы, перпендикулярной направлению ветрового переноса облачности, длина которой также должна превышать диаметр ЗТ (с учетом вертикального профиля горизонтального вектора ветра в нижележащих слоях атмосферы).

4.2.2 Необходимые для достижения перезасева облачности нормы расхода льдообразующих реагентов значительно превосходят нормы, используемые для рассеяния облаков, и сильно зависят от таких характеристик облачности, как концентрация естественных ледяных ядер в облаках и величина их жидкокапельной водности. Так, при АВ на слоисто-дождевые облака с концентрацией естественных ледяных кристаллов порядка 10-20 на литр эффект перезасева достигается при расходе твердой углекислоты в несколько килограммов на километр трассы засева (5 кг/км и более) и расстоянии между соседними линиями засева около 1 км. С ростом концентрации естественных кристаллов необходимая для перезасева доза реагента может снижаться до величин около 1 кг/км. Соответствующие значения расходов для пиротехнических изделий составляют для пиропатронов ПВ-26-01 от непрерывного отстрела одиночных патронов с 1-секундными интервалами до отстрела серий по четыре пиропатрона через каждые 2 км трассы.

Значительное сокращение норм расхода реагентов для обеспечения перезасева облачности достигается при возможности (по условиям полетов) проведения повторных засевов одного и того же объема облачности. Так, при повторении засевов через 20-30 мин перезасев можно обеспечить при расходах твердой углекислоты порядка 1 кг/км.

4.2.3 Эффект АВ при перезасеве облаков обнаруживается по данным радиолокационных наблюдений по устойчивому снижению средней интенсивности осадков с подветренной стороны от линии воздействий на протяжении 1-2-

часового ветрового переноса облачности с соответствующим уменьшением на этой площади слоя осадков по сравнению с окружающей территорией за период АВ.

4.3 При наличии в атмосфере конвективной облачности с ливневыми осадками, в том числе конвективных облаков в толще слоистообразных облаков (затопленная конвекция), эти облака также подлежат АВ.

4.3.1 Для предотвращения развития и преждевременного разрушения конвективных (мощно-кучевых Cu cong. и кучево-дождевых Cb облаков) используется динамический способ прерывания их роста. Он заключается в искусственном создании в растущем облаке нисходящего воздушного потока, который компенсирует существующий там восходящий поток и тем самым приводит к замедлению и остановке роста облака. Для создания нисходящего потока в растущую вершину облака сбрасывается с самолета определенная порция грубодисперсного порошкообразного реагента (цемента), который в процессе гравитационного падения увлекает за собой частицы воздуха, приводя к образованию упорядоченного нисходящего потока.

4.3.2 Эффект воздействия на растущие конвективные облака легко обнаруживается визуально по прекращению роста и последующей диссипации обработанной облачной вершины.

4.4 Для достижения максимального эффекта по рассеянию переохлажденных облаков при наименее благоприятных синоптических условях АВ целесообразно проводить на двух рубежах, удаленных от ЗТ на расстояния, соответствующие 60-90-минутному и 20-40-минутному переносу облачности ветром. Конкретная расстановка самолетов по указанным рубежам и азимутальные секторы работ относительно ЗТ определяются непосредственно синоптическими условиями в день работ.

4.5 Синоптические условия развития конвективных облаков условно можно разделить на три типа:

1) чисто термическая конвекция;

2) комбинация термической конвекции и существования фронтальной зоны или интенсивного холодного вторжения;

3) фронтальные процессы.

4.5.1 Первый тип синоптических условий соответствует классическому варианту развития внутримассовых конвективных облаков, когда конвекция обусловлена неравномерным нагревом земной поверхности и результирующая энергия неустойчивости атмосферы оказывается достаточно большой.

4.5.2 Синоптические условия второго типа наряду с развитием свободной конвекции включают также влияние фронтальных разделов на процессы развития конвекции.

4.5.3 К третьему типу относятся условия, при которых развитие конвективных облаков целиком определяется только влиянием фронтальных атмосферных разделов.

4.6 В зависимости от типа синоптических условий изменяются не только характер, но и интенсивность развития облаков, что проявляется в организации структуры их взаимного расположения, в различии формы, высоты и мощности облаков. При переходе от метеорологических условий чисто термической конвек-

ции к фронтальным процессам наблюдается увеличение вертикальной мощности облаков и их горизонтальных размеров, снижение высоты нижней границы облаков и уменьшение энергии неустойчивости в слое развития облачности.

4.7 Основными объектами для разрушающего АВ на облака с целью снижения их ливневой активности обычно считаются изолированные мощно-кучевые Cu cong., кучево-дождевые облака Cb в начальной стадии своего развития и мезомасштабные системы таких облаков (кластеры). При этом изолированными считаются облачные ячейки указанных типов, находящиеся на значительных удалениях друг от друга (свыше 5 диаметров горизонтального сечения) и не имеющие общего основания. Кластеры представляют собой поля соединяющихся между собой или расположенных вблизи друг от друга (на расстоянии до 2 диаметров горизонтального сечения) облачных ячеек (башен), либо многовершинные облака с общим основанием, расположенные на площади примерно от 400 до 600 км^2.

4.8 Критерии пригодности конвективных облаков для разрушающего АВ с целью снижения их ливневой активности были разработаны на основании данных, полученных в многочисленных натурных опытах. Установлено, что основными параметрами, определяющими пригодность облака для засева и целесообразность засева, являются значения вертикальной мощности облака H, скорости роста высоты верхней границы облака W и горизонтального размера (среднего диаметра горизонтального сечения) L. В качестве пороговых используются следующие значения указанных параметров:

- вертикальная мощность облака H, м, не менее 3000;
- скорость роста высоты верхней границы W, м/с не менее.....1;
- горизонтальный размер L, м, не менее.....2000.

4.9 В качестве дополнительного условия при принятии решения о проведении АВ может рассматриваться степень неустойчивости атмосферы (удельная энергия неустойчивости атмосферы должна превышать 10 дж/кг.км). По визуальным наблюдениям у выбранных для АВ облаков не должны проявляться признаки диссипации, а их вершины должны находиться в стадии развития.

5 Материалы и технические средства для АВ на облака

5.1 Реагенты для засева облаков

5.1.1 В качестве реагентов для АВ на слоистообразные облака используются гранулированная твердая углекислота CO_2 (“сухой лед”), йодистое серебро AgI и жидкий азот N_2.

5.1.2 Одним из наиболее часто применяемых реагентов для АВ на слоистообразные облака до настоящего времени остается твердая углекислота. Имея низкую температуру испарения (минус 79 °С), твердая углекислота действует как хладореагент. При попадании ее гранулы в облачную среду вблизи нее за счет сильного охлаждения создается пересыщение водяного пара и происходит самопроизвольное образование мелких кристаллов льда. Часть этих кристаллов разрушается, удаляясь с воздушными потоками от гранулы, остальные же продолжают расти. За время своего испарения в слоистообразном облаке 1 г твердой углекислоты гене-

рирует 10^{11} таких "выживающих" ледяных частиц. При этом максимальная температура облачной среды, при которой еще образуется близкое к указанному количество ледяных частиц (температурный порог активности твердой углекислоты), равна минус 4 °С. Это означает, что облака с более теплой верхней границей непригодны для воздействия твердой углекислотой.

5.1.3 Еще одним широко распространенным реагентом для АВ на слоистообразные облака является йодистое серебро. Его кристаллическая структура сходна со структурой льда, поэтому при пересыщении водяного пара по отношению ко льду на частицах йодистого серебра происходит сублимация водяного пара, а также замерзание капель, контактирующих с ними. Количество образующихся ледяных частиц зависит от температуры облачной среды и способа диспергирования реагента. При сгорании пироэлемента пиропатрона ПВ-26-01 с 8 %-ным содержанием йодистого серебра при температуре минус 10 °С образуется $2 \cdot 10^{14}$ ледяных частиц. Максимальная температура, при которой в облаке генерируется количество ледяных частиц, достаточное для заметного влияния на процесс осадкообразования (температурный порог активности для йодистого серебра), равна минус 7 °С. Остальные условия пригодности облаков для АВ йодистым серебром те же, что и при использовании твердой углекислоты.

5.1.4 Применение жидкого азота для засева облаков при АВ с целью метеозащиты также основывается на использовании низкой температуры его испарения (ниже минус 90 °С) для глубокого охлаждения облачной среды с переохлажденными каплями, при котором происходит генерация мелкодисперсных ледяных частиц. При этом в отличие от засева гранулами твердой углекислоты генерация ледяных частиц происходит не во всей толще засеваемого облачного слоя, а лишь в относительно тонком слое на уровне полета самолета, на котором установлено засевающее устройство. Поэтому жидкий азот пока используется на практике лишь для засева относительно тонких переохлажденных облачных слоев или как дополнительное средство при засеве облаков йодистым серебром и твердой углекислотой. Одновременно продолжаются работы по созданию метода объемного засева облаков на основе использования жидкого азота.

Преимуществами засева облаков с использованием жидкого азота являются его наиболее высокий среди всех реагентов температурный порог активности, составляющий около минус 0,5 °С, и абсолютная экологическая безопасность.

5.1.5 В качестве реагента в работах по подавлению развития конвективных облаков используется грубодисперсный порошкообразный реагент. Исследования показали, что эффективность действия порошкообразного реагента существенно зависит от состава порошка, его гидрофильности, удельного веса и дисперсности. Очень грубый или слишком тонкий помол приводят к снижению эффективности действия реагента.

5.1.6 Оптимальная дисперсность порошка (суммарная поверхность всех частиц единицы его веса), обеспечивающая наиболее высокую степень увлечения падающим аэрозольным облаком окружающего воздуха и облачной массы, составляет примерно 3000 $см^2/г$. Этому значению дисперсности соответствует средний размер частиц примерно около 5 мкм. Наиболее полно указанным свойствам соответствует обычный строительный цемент, состоящий из природных глиноземов с 4%-ной добавкой гипса. Кроме цемента в качестве реагентов могут использоваться

также белая глина, окись меди, песок с дисперсностью около 3000 $см^2/г$.

5.1.7 Оптимальные нормы расхода порошкообразного реагента были определены экспериментальным путем. Многочисленные опыты с АВ на облака мощностью 1 км показали, что достаточной нормой реагента для их засева оказываются 5 кг порошка. Для мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков нормы расхода реагента возрастают и обычно составляют для изолированного облака 25-30 кг.

5.2 Технические средства для засева облаков

5.2.1 Для внесения реагентов в облака используются самолеты, оборудованные соответствующими техническими устройствами и приборами.

Засев облаков с самолета твердой углекислотой выполняется с помощью специальных устройств через предусмотренные для этого отверстия в виде шахт в корпусе самолета. В разные периоды для этого использовалось несколько видов экспериментальных автоматических устройств, обеспечивающих дозированный сброс в облака гранул твердой углекислоты с расходом от 0,1 до 10 кг/мин. Гранулы с размерами от 0,2 до 2,0 см получаются непосредственно на борту самолета путем дробления загруженных перед полетом промышленных брикетов льда (например, с помощью автоматической дозирующей установки АДГ-1), либо производятся на земле с помощью специальных углекислотных комплексов из промышленной жидкой углекислоты. До начала использования гранулы (или брикеты) хранятся на борту самолета в термоизолированных контейнерах. Диспергирование гранул осуществляется с помощью бункерных или шнековых устройств или специальных дозирующих установок (экспериментальная самолетная дозирующая установка СДУ для диспергирования гранул без разгерметизации самолета была, например, разработана для самолета-метеолаборатории ЦАО Ан-26 “Циклон”).

5.2.2 Для засева облаков аэрозолем йодистого серебра самолеты оборудуют автоматическим устройством АСО-2И или аналогичными устройствами, осуществляющими отстрел содержащих йодистое серебро пиропатронов ПВ-26-01.

Автоматическое устройство для отстрела пиропатронов ПВ-26-01 АСО-2И состоит из двух балок, в каждой из которых имеется по 32 ствола-держателя пиропатронов 26-миллиметрового калибра, и системы управления, которая предусматривает как отстрел единичных пиропатронов, так и отстрел пиропатронов сериями по 4 штуки с регулируемым интервалом внутри серии от 0,3 до 1,0 с. Масса отстреливаемой пиротехнической шашки патрона ПВ-26-01 составляет около 30 г. Длительность горения пиросостава равна приблизительно 60 с, а протяженность трассы горения при свободном падении шашки составляет 1500 м.

5.2.3 Для засева облаков мелкодисперсными ледяными частицами с использованием жидкого азота в ЦАО был разработан генератор мелкодисперсных частиц льда авиационный (ГМЧЛ-А). Принцип действия ГМЧЛ-А заключается в том, что путем создания избыточного давления в емкостях с жидким азотом обеспечивается подача азота по системе трубопроводов в установленный за бортом самолета распылитель, через который он выводится в атмосферу и создает в ней факел глубоко охлажденного воздуха с температурой ниже минус 90 °С. Атмосферная

влага, попадающая в этот факел, мгновенно кристаллизуется за счет сильного охлаждения.

Масса жидкого азота, заливаемого в емкости ГМЧЛ-А, составляет 96 кг. При необходимости основной ресурс может быть увеличен путем дополнительной загрузки на борт самолета еще нескольких стандартных контейнеров типа СК-40 (сосуды Дьюара) с азотом.

5.2.4 Для АВ на облака в настоящее время применяются самолеты-метеолаборатории, создаваемые на базе серийных самолетов типа Ил-18, Ан-12, Ан-26, Ан-30, Ан-72, Як-40, М-101Т («Гжель»). Самолеты оснащаются необходимыми техническими средствами засева облаков, а также приборами и оборудованием для измерения пилотажно-навигационных характеристик полета, основных термодинамических параметров атмосферы, оптических и микрофизических характеристик облаков. Основные летно-технические характеристики самолетов-метеолабораторий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение характеристики для самолета типа						
	Ил-18	Ан-12	Ан-26	Ан-30	Ан-72	Як-40	М-101Т "Гжель"
Взлетная масса, кг	61000	61000	24000	21000	33000	16000	3720
Крейсерская скорость, км/ч	617	590	430	430	550	510	360
Практический потолок, м	10000	9800	7300	7300	11800	8000	8000
Максимальная дальность полета при максимальном запасе топлива, км	4270	4560	2340	2550	4400	1250	1400
Максимальная полезная нагрузка, кг	13500	20000	4100	5500	10000	3200	630

5.2.5 Для порционного засева порошкообразного реагента в облака самолеты-метеолаборатории оборудуются специальными устройствами, позволяющими производить сброс реагента в необходимых количествах. На самолетах типа Ан-12, в подавляющем большинстве случаев используемых в настоящее время для АВ описываемого типа, для засева облаков используются упаковки реагента с принудительным раскрытием, которые сбрасываются с самолета-метеолаборатории с помощью рольганговых транспортеров.

5.2.6 Конструктивно упаковка для порошкообразного реагента представляет собой картонный или пенопластовый корпус (с оптимальными размерами приблизительно 260 х 260 х 380 мм), закрываемый крышкой из того же материала, что и корпус. Конструкция упаковки предусматривает определенный механизм ее ав-

томатического принудительного раскрытия после сброса с борта самолета. При раскрытии упаковки ее корпус разделяется на небольшие элементы, безопасные как для наземных объектов, так и для воздушных судов.

5.2.7 Рольганговый транспортер для сброса упаковок с порошкообразным реагентом состоит из накопителя (рольганговая дорожка с упаковками), механизма сброса и пульта управления. Каждая упаковка перед сбросом с помощью карабина присоединяется вторым концом прикрепленного к ней фала к фиксатору внутри фюзеляжа самолета. Длина фала обычно составляет около 10 м. Масса каждой упаковки, сбрасываемой с транспортера, составляет от 25 до 30 кг. Минимальный интервал между последовательными сбросами двух упаковок составляет около 2 с.

5.3 Информационно-измерительная система

5.3.1 Для получения метеорологической информации, необходимой при прогнозировании рабочей ситуации для проведения летных работ, при принятии решения о возможности и целесообразности АВ на облака, при выработке команды на воздействие и ее корректировке в процессе выполнения работ, при оперативном контроле результатов воздействия, а также при последующей оценке эффективности АВ используются данные информационно-измерительной системы (ИИС).

5.3.2 ИИС включает в себя:

– самолетные средства визуального и инструментального определения характеристик атмосферы и облаков;

– наземный автоматизированный радиолокационный метеорологический комплекс на базе радиолокатора МРЛ-5 с системой цифровой обработки информации;

– осадкомерную сеть и кусты (группы) осадкомерных приборов, предназначенные для калибровки радиолокационного комплекса;

– сеть метеорологических станций, достаточно равномерно расположенных по территории района работ;

– пункт радиозондирования атмосферы;

– технические средства связи, необходимые для оперативного обмена информацией между самолетом (самолетами), радиолокационным комплексом и другими подсистемами;

– аппаратуру для приема синоптико-метеорологической и спутниковой информации, а также средства оргтехники, необходимые для отображения и документирования информации.

Основные элементы ИИС и обеспечиваемые ими информационные потоки приведены на рисунке 1.

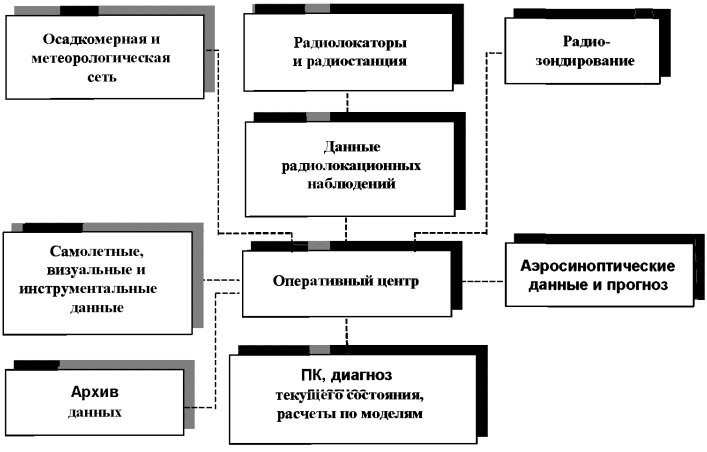


Рисунок 1

5.3.3 Для повышения эффективности АВ на облака на борту самолета - метеолаборатории устанавливается измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), который позволяет измерять, рассчитывать и документировать на электронных носителях, а также отображать на экране монитора компьютера текущие значения основных метеорологических параметров атмосферы (температуры, давления и влажности воздуха, направления и скорости ветра, водности облаков, вертикальной скорости воздушных потоков и др.) и пилотажно-навигационные характеристики полета (высотно-скоростные данные, местоположение самолета и т.д.).

Информация с входящих в состав ИВК измерительных систем непрерывно поступает в персональный компьютер (ПК) и обрабатывается в реальном масштабе времени. При этом на экране монитора компьютера непрерывно воспроизводится маршрут полета самолета, наложенный на карту местности. На линии маршрута фиксируются зоны проведения вертикально-горизонтального зондирования атмосферы и зоны проведения АВ на облака. Разработанное для ИВК программное обеспечение позволяет в реальном времени считывать с экрана монитора данные об основных метеорологических параметрах атмосферы и характеристиках облаков.

5.3.4 В практике ЦАО для управления летными работами по АВ на облака и для контроля их результатов в составе ИИС обычно используется автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации (АКСОПРИ) на базе метеорологического радиолокатора МРЛ-5. Радиолокатор МРЛ-5 имеет два раздельных приемо-передающих канала в диапазоне длин волн 3,2 и 10 см. Система управления антенной позволяет производить автоматическое сканирование пространства по азимуту и углу места через определенные интервалы времени, в качестве которых в оперативном режиме работы принят интервал 10 мин. Принятая методика наблюдений включает определение геометрических размеров радиоэхо облаков, их координат, эволюции их радиолокационных парамет-

ров, получение информации о характеристиках зон осадков. При обработке этих данных с помощью ПК производится определение интенсивности и размеров зон отражаемости облаков в разных горизонтальных и вертикальных плоскостях.

5.3.5 Для повышения эффективности управления летными работами по АВ на облака в оперативном центре управления работами устанавливается наземный комплект навигационного оборудования системы диспетчеризации, а на самолетах-метеолабораториях устанавливаются бортовые комплекты навигационного оборудования системы диспетчеризации. Использование оборудования системы обеспечивает решение следующих задач:

- определение местоположения самолетов-метеолабораторий и вида проводимых АВ на облака и отображение этой информации на фоне электронной карты местности;
- передача карт радиолокационной отражаемости полей облачности и осадков на борты самолетов-метеолабораторий для использования руководителями воздействий.

5.3.6 В комплексе информационных средств при проведении работ по АВ на облака важную роль играет система оперативного получения прогностической и диагностической информации о синоптической ситуации в районе работ, включая спутниковые изображения полей облачности и осадков. При достаточной регулярности обновления эта информация позволяет детально прослеживать развитие и перемещение облаков и осадков, заблаговременно планировать АВ на них и корректировать задания выполняющим воздействия самолетам.

Важное значение имеет для этого возможность получения в пункте управления метеорологической информации по сети Интернет, объемы и качество которой в последнее время удовлетворяют всем требованиям для работ по АВ.

6 Планирование и организация работ

6.1 Общее руководство работами по АВ на облака должно осуществляться из специально организуемого оперативного центра (ОЦ) управления. Для этого ОЦ оборудуется дистанционным терминалом наземного метеорологического радиолокационного комплекса и всеми необходимыми средствами оперативного доступа к данным остальных элементов ИИС (радиосвязь, телефонная и факсимильная связь, компьютеры с выходом в сеть Интернет).

6.2 Последовательность операций, выполняемых в процессе подготовки и проведения оперативных работ по АВ на облака представлена на рисунке 2 и включает в себя следующие этапы.

6.2.1 Прогноз развития облачности составляется синоптиком ОЦ на основе доступной информации ИИС и включает в себя прогноз синоптического положения (перемещения и эволюции барических образований, фронтов, облачных систем) и прогноз облаков, которые могут потребовать проведения АВ. Прогноз составляется на 36 ч с делением на 12-часовые интервалы. Наличие в прогнозе условий формирования облаков, пригодных для воздействия, служит основанием для подачи предварительных заявок на вылеты самолетов для АВ на следующий день. Коли-

чество и сроки предполагаемых вылетов определяются прогнозируемой продолжительностью существования над ЗТ облаков, требующих проведения АВ.

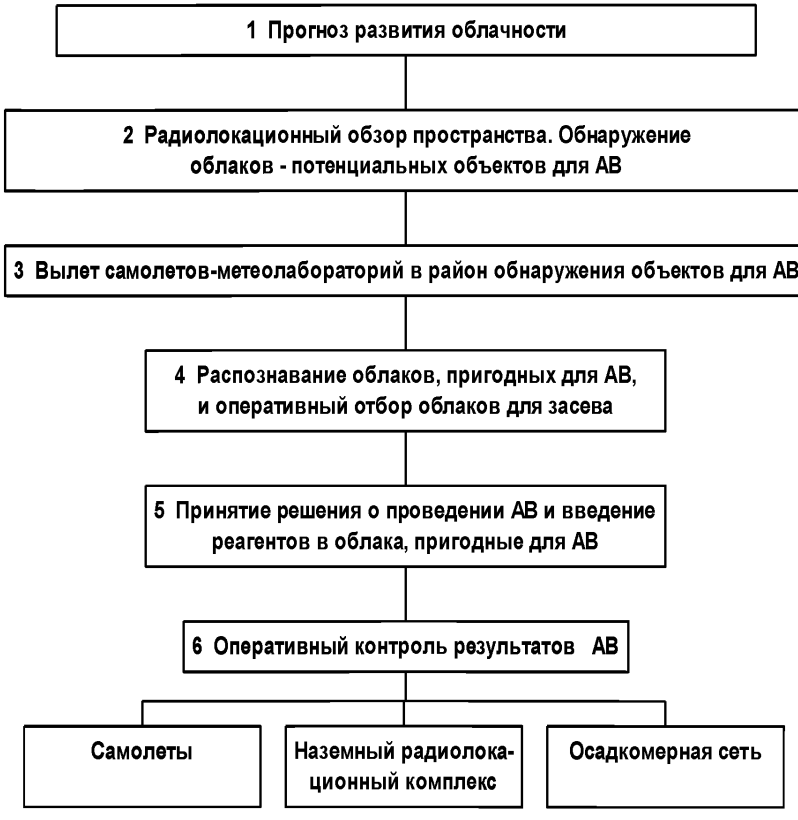


Рисунок 2

6.2.2 Одновременно осуществляется круглосуточный радиолокационный обзор пространства наземным автоматизированным метеорологическим радиолокационным комплексом в составе ИИС по утвержденному графику наблюдений с целью своевременного обнаружения объектов для АВ.

6.2.3 При обнаружении радиолокационным комплексом приближающихся к ЗТ осадкообразующих облачных систем или внутримассовых конвективных облаков с вероятным развитием в них процессов осадкообразования над ЗТ оперативным руководителем ОЦ принимается решение о вылете самолета-метеолаборатории для исследования характеристик облачности и проведения АВ. Команда на вылет сопровождается указанием предполагаемой зоны АВ и предварительными сведениями о параметрах атмосферы и облачности по радиолокационным данным.

6.2.4 В процессе набора высоты первый вылетевший самолет-метеолаборато-

рия производит вертикально-горизонтальное зондирование атмосферы с целью уточнения ее температурной и динамической стратификации и следует в заданный район, где путем визуальных наблюдений и приборных измерений производится оценка соответствия наблюдаемых облаков критериям пригодности для АВ.

6.2.5 В случае соответствия облаков установленным критериям руководитель воздействий из состава оперативной группы на борту самолета-метеолаборатории определяет необходимый для проведения воздействий высотный эшелон, дает соответствующую команду летному экипажу и после занятия выбранного эшелона приступает к засеву облаков, предварительно поставив в известность ОЦ о принятом решении и сообщив координаты точки начала АВ.

6.2.6 В процессе проведения АВ непрерывно осуществляется оперативный контроль результатов АВ с борта самолета – по появлению характерных визуальных признаков прекращения развития конвективных облаков, по признакам кристаллизации и появлению просветов в слоистообразных облаках и т.д. Наземные радиолокационные наблюдения также могут выявлять такие признаки реакции облаков на АВ, как уменьшение радиолокационной отражаемости облаков после засева и прекращение или существенное снижение интенсивности осадков из засеянных облаков.

7 Порядок проведения работ по АВ на облака

7.1 АВ на конвективные облака

7.1.1 АВ на изолированные конвективные облака производится путем засева с самолета-метеолаборатории порошкообразным реагентом развивающихся облачных вершин во время их пересечения на уровне, расположенном на 100 м ниже уровня верхней границы. При этом возможность безопасного пролета сквозь вершину облака контролируется по данным бортового самолетного метеолокатора.

При необходимости засева кучево-дождевого облака Cb, дающего засветку на индикаторе бортового радиолокатора, необходимо выбрать уровень полета над верхней границей облака, обеспечивающий достаточную безопасность.

В зависимости от размеров облака в его вершину сбрасывается от одной до трех упаковок реагента (по 25-30 кг порошка в каждой).

7.1.2 При АВ на многовершинное Cb в первую очередь следует производить засев его центральной вершины, пробивающейся сквозь наковальню, или же вершины, расположенной ниже наковальни облака. При этом количество сбрасываемого реагента определяется количеством вершин и их горизонтальными размерами, а также стадией развития облака. В среднем при засеве кучево-дождевых облаков в каждую отдельную вершину вводится такое же количество реагента, как и при засеве изолированных конвективных облаков.

7.1.3 При проведении работ по метеозащите мегаполиса для АВ на конвективные облака рекомендуется следующая схема полетов. Самолет-метеолаборатория вылетает в район работы, расположенный с наветренной стороны от ЗТ, для оценки текущей метеорологической обстановки и патрулирования. Здесь самолет занимает высотный эшелон на уровне около 6 км и в случае появления облаков, вершины которых достигают этого уровня, производит их засев. В случае продол-

жающегося роста вершин самолет занимает эшелон на уровне верхней границы облаков и продолжает засев на этом эшелоне.

7.1.4 В случае приближения к ЗТ атмосферного фронта самолет должен переместиться в зону, расположенную на подступах к ЗТ со стороны надвигающихся на нее облачных систем фронта, и при необходимости осуществлять засев развивающихся в этой зоне конвективных облаков, удовлетворяющих принятому критерию. Засев следует производить на участке, который расположен на удалении от ЗТ, примерно равном получасовому-часовому переносу облаков ветром. Выполняя засев всех растущих конвективных облаков на уровне 6 км, самолет тем самым предотвращает возможность их дальнейшего развития и превращения в кучево-дождевые облака.

7.2 АВ на слоистообразные облака

7.2.1 Целью АВ на слоистообразные облака является введение реагента в пригодный для засева облачный слой с расходом, соответствующим выбранному методу воздействия (рассеяние облачности, инициирование преждевременных осадков, перезасев облаков). Схема засева облаков, т.е. оптимальная траектория самолета при их засеве выбирается, исходя из предположений, что пригодные для засева облачные слои являются преимущественно сплошными и занимают значительную площадь и что эти слои перемещаются в пространстве в соответствии со скоростью и направлением ветра на уровне их расположения. При засеве производится сброс реагента с самолета-метеолаборатории при полете вдоль определенной на основе этих предположений трассы засева - непрерывный сброс при засеве твердой углекислотой или жидким азотом и точечный сброс при засеве пиропатронами с йодистым серебром.

7.2.2 Чтобы обеспечить равномерный засев облаков, реагент вводится в ходе многократных пролетов самолета на встречных курсах между двумя фиксированными точками на поверхности земли по трассе засева, расположенной перпендикулярно направлению ветра на уровне засева. При этом трасса засева выбирается на таком удалении от ЗТ, которое позволяет реализовать принятую гипотезу воздействия так, чтобы обусловленные засевом искусственные осадки выпали на землю, не доходя до ЗТ, при работе на рассеяние облачности или преждевременное вызывание осадков или чтобы при засеве с целью перезасева облачности период отсутствия или ослабления осадков из засеянных объемов облака совпадал с периодом их ветрового переноса над ЗТ. При этом в поле перемещаемой ветром облачности линии проводившегося над трассой засева облаков образуют пилообразную "змейку" с постоянным расстоянием между вершинами ее “зубцов”.

7.2.3 Основными расчетными параметрами засева являются: норма расхода реагента, расположение трассы засева и расстояние между последовательными линиями засева. При этом расстояние между линиями выбирается, исходя из значения ширины полосы кристаллизации облака от единичной линии засева, которая, в свою очередь, определяется нормой расхода реагента, мощностью засеваемого облачного слоя и вертикальным сдвигом ветра в нем. Кроме того, расстояние между линиями засева при заданной длине трассы засева и скорости полета зависит от скорости ветрового переноса облачности.

7.2.4 При засеве облачных систем Ns–As твердой углекислотой с целью их рассеяния или преждевременного вызывания осадков норма расхода реагента составляет от 0,3 до 2,0 кг/км в зависимости от вертикальной мощности засеваемого облачного слоя. В частности, при мощности слоя более 0,5 км рекомендуемая норма расхода твердой углекислоты составляет не менее 1,0 кг/км и может возрастать до значений 2,0 кг/км и более при мощности слоя до 2 км.

При воздействии на облачные системы Ns–As пиропатронами ПВ-26-01 с 8 %-ным содержанием йодистого серебра интервал между точками отстрела единичных пиропатронов выбирается в зависимости от средней температуры засеваемого облачного слоя согласно таблице 2.

Таблица 2

Средняя температура засеваемого облачного слоя, °С	Интервал между отстрелами, км	Средняя температура засеваемого облачного слоя, °С	Интервал между отстрелами, км
-8	0,2	-12	0,9
-9	0,3	-13	1,0
-10	0,5	-14	1,1
-11	0,7	-15 и ниже	1,2

7.2.5 При засеве слоистообразных облаков типа St, Sc, As гранулированной твердой углекислотой норма расхода реагента в зависимости от вертикальной мощности засеваемого облачного слоя выбирается в соответствии с таблицей 3. При воздействии на эти типы облаков пиропатронами ПВ-26-01 с 8 %-ным содержанием йодистого серебра интервал между точками отстрела единичных пиропатронов выбирается таким же, как и для облаков системы Ns – As.

Таблица 3

Вертикальная мощность засеваемого слоя, км	Норма расхода твердой углекислоты, кг/км
До 0,30 включ.	0,3
0,31-0,40	0,4
0,41-0,50	0,5
0,51-0,60	0,8
Св. 0,60	1,0

7.2.6 Расчет положения трассы засева производится на основе данных о высоте расположения засеваемого слоя, о направлении и скорости ветра на уровне его верхней границы, о средних значениях направления и скорости ветра в засеваемом слое и в слое атмосферы от середины засеваемого слоя до поверхности земли. Высота расположения засеваемого слоя определяется при самолетном зондировании облаков. Сведения о распределении ветра по высотам поступают предварительно с пунктов радиозондирования и уточняются также по результатам самолетного зондирования атмосферы. Средние значения характеристик ветра определяются путем векторного усреднения.

Расчет положения трассы засева облачности состоит из следующих операций:

– на карте района от наветренной границы площади ЗТ навстречу направлению среднего ветра в слое атмосферы от середины засеваемого облачного слоя до поверхности земли откладывается отрезок S_1, значения которого приведены в таблице 4 в зависимости от скорости ветра и высоты середины засеваемого слоя;

Таблица 4

Высота середины засеваемого слоя, км	Время падения искусств. осадков, мин	Значения S_1, км, при скорости ветра, м/с								
		4	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**
0,5	5	1	2	2	3	4	4	5	5	6
1,0	8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,5	13	3	5	6	8	9	11	12	14	16
2,0	17	4	8	8	10	12	14	16	18	20
2,5	22	5	9	10	13	15	18	21	24	26
3,0	26	6	10	12	16	19	22	25	28	32
3,5	31	7	11	15	18	22	26	30	33	37
4,0	35	8	12	17	21	25	29	34	38	42
4,5	40	10	14	19	24	29	34	38	43	48
5,0	44	12	16	21	26	32	37	42	48	54

- от конечной точки отрезка S_1 навстречу направлению ветра в засеваемом слое облаков откладывается отрезок S_2, значения которого в зависимости от скорости ветра в засеваемом слое приведены в таблице 5. Конец этого отрезка является центром трассы засева;

- через эту точку перпендикулярно направлению ветра на уровне верхней границы облаков (на уровне полета при засеве) проводится трасса засева.

Таблица 5

Скорость ветра, м/с	Отрезок S_2, км	Скорость ветра, м/с	Отрезок S_2, км
0-2	До 2	17-18	16-22
5-6	4-6	21-22	19-27
9-10	8-12	25-26	22-32
13-14	11-15	29-30	26-36

7.2.7 Кроме положения трассы засева рассчитывается также угол ветрового сноса, т.е. угол, на который курс самолета должен отличаться от азимутального направления трассы засева, чтобы самолет продолжал оставаться на трассе несмотря на его снос ветром. Тангенс угла сноса определяется отношением $\mathbf{V_в/V_с}$, где $\mathbf{V_в}$

- скорость ветра на уровне полета, V_c – воздушная скорость самолета.

7.2.8 Для облачных систем Ns-As значения расстояний между линиями засева при использовании твердой углекислоты приведены в таблице 6. При засеве таких облачных систем пиропатронами ПВ-26-01 с рекомендованными интервалами между точками отстрела пиропатронов соответствующие расстояния между линиями засева также определяются по таблице 6.

Таблица 6

Вертикальная мощность засеваемого слоя, км	Нормы расхода твердой углекислоты, кг/км	Расстояние между линиями засева, км
До 0,5 включ. Св. 0,5	0,3 0,5 – 2,0	3 4 – 5

7.2.9 В таблице 7 приведены для самолетов типов Ил-18 и Ан-12 значения радиуса разворота самолета **R** и продолжительности разворота самолета t_R в конечных точках трассы засева при его различных скоростях, которые обеспечивают заданные значения расстояний между линиями засева при воздействиях на слоистообразные облачные системы типа Ns – As.

Поскольку радиус разворота самолета **R** равняется половине расстояния между линиями засева, для проведения засева с заданным расстоянием между этими линиями при определенной скорости полета самолета с помощью таблицы 7 выбирается необходимое значение крена самолета в развороте. При полете вдоль расчетной трассы засева экипаж должен выдерживать такой курс полета, чтобы самолет не сносило ветром с этой линии. При этом засев производится как на трассе засева, так и на разворотах.

Таблица 7

Крен, градус	Значение **R** и t_R при скорости V_c, км/ч									
	250		300		350		400		450	
	R, м	t_R, мин:с	**R**, м	t_R, мин:с	**R**, м	t_R, мин:с	**R**, м	t_R, мин:с	**R**, м	t_R, мин:с
10	2800	2:07	4000	2:31	5450	2:56	7100	3:21	9000	3:46
15	1830	1:23	2630	1:39	3600	1:56	4700	2:13	5900	2:28
20	1350	1:02	1940	1:13	2640	1:25	3450	1:38	4320	1:49
25	1050	0:48	1520	0:57	2050	1:06	2700	1:16	3400	1:25
30	860	0:38	1230	0:46	1680	0:54	2180	1:02	2780	1:10

7.2.10 Длина трассы засева L определяется соотношением

$$\mathbf{L = (l - V_в t_R)\, V_c / V_в,} \qquad (1)$$

где **l** - расстояние между линиями засева, м;

t_R – продолжительность разворота самолета на обратный курс, которая определяется по таблице 7, с.

Соотношение (1) означает, что ветровой снос линии засева облачности за время пролета самолетом вдоль этой линии и одного разворота должен равняться необходимому среднему расстоянию между линиями засева.

При работе по АВ на облака двумя или большим количеством самолетов параметры засева для каждого самолета (кроме положения трассы засева) определяются соотношениями, приведенными выше.

7.2.11 Для облаков типа St, Sc, As оптимальные расстояния между линиями засева в зависимости от температуры засеваемого облачного слоя определяются с помощью таблицы 8.

Таблица 8

Температура засеваемого облачного слоя, °С	Расстояние между линиями засева, км
Выше - 10	3
От -10 до -15	4
Ниже -15	5

Длина трассы при засеве слоистообразных облаков типа St, Sc, As выбирается из тех же соображений, что и при засеве облачных систем типа Ns – As.

7.2.12 Самолет может производить засев вдоль фиксированной относительно земли трассы, если выполняется условие

$$V_в = l / (L/ V_c + t_R). \qquad (2)$$

При незначительных отклонениях скорости ветра от величины, определяемой условием (2), можно избежать сноса самолета с трассы засева, изменяя в допустимых пределах скорость самолета. Если же скорость ветра оказывается меньше величины, требуемой условием (2), на 10-20 км/ч, то в таких случаях не фиксируемая относительно земли трасса засева выбирается на 30-50 км ближе к ЗТ, чем того требует расчет. Развороты в конце трассы при этом выполняются не по схеме стандартного разворота, а в виде простого полукруга. При этом самолет по мере выполнения засева облачного поля будет постепенно удаляться от ЗТ. После того как самолет приблизится к расчетному положению трассы засева, описанный маневр следует повторить.

В случае, если скорость ветра, наоборот, на 10-20 км/ч больше величины, требуемой условием (2), засев следует начинать на расчетной трассе засева и выполнять его также без фиксации относительно поверхности земли, производя в конце трассы развороты в сторону ЗТ в виде полукругов. Засев при этом будет происходить по трассам, постепенно смещающимся в сторону ЗТ. Затем, после того как за счет повышенной скорости ветра самолет будет снесен на 30-50 км в сторону ЗТ,

он должен вернуться на расчетную трассу воздействия. При еще больших скоро-

стях ветра выполняется аналогичный маневр, но при этом длина трассы засева сокращается. Однако более эффективным в таких случаях следует считать привлечение дополнительных самолетов для засева или использование более скоростного самолета.

7.2.13 Ввиду значительной изменчивости ветра при наличии облаков, пригодных для АВ, необходимо иметь сведения о ветре (по крайней мере, на уровне засева) через каждый час работы, рассчитывать с такой же частотой схему засева и при необходимости корректировать ее. Если есть основания ожидать существенного изменения направления ветра, то при расчете схемы засева следует исходить из направления ветра, ожидаемого через 30 мин после начала засева.

7.2.14 Если при наличии нескольких пригодных для АВ слоев облачности разность высот их верхней границы не превышает 500 м, для засева выбирается самый верхний слой. Если же разность высот превышает 500 м, засевается слой с максимальной вертикальной мощностью. Если максимальную вертикальную мощность имеют два соседних слоя или их мощность различается не более чем на 50 м, то засевается верхний из этих двух слоев.

7.2.15 Возможные схемы одновременного засева облаков тремя или более самолетами, а также самолетами с существенно различной скоростью полета определяются как приведенными здесь рекомендациями, так и существующими наставлениями по безопасному производству полетов.

8 Оперативный контроль результатов АВ

8.1 Оперативный контроль результатов АВ на облака осуществляется путем визуальных наблюдений эволюции облаков после воздействия с борта самолета-метеолаборатории, а также на основе радиолокационного контроля параметров облачности.

Визуальные наблюдения результатов АВ с борта самолета-метеолаборатории позволяют достаточно надежно зарегистрировать положительный эффект засева (подавление развития конвективных облаков, рассеяние слоистообразной облачности, кристаллизация переохлажденной жидкокапельной облачности). При этом вынужденный характер наблюдаемой эволюции облаков, т.е. ее отличие от естественного процесса выявляется путем сопоставления с эволюцией соседних облаков или участков облачности (при их наличии).

8.2 Результаты радиолокационных наблюдений оказываются основными при регистрации эффекта воздействия в случае АВ с целью динамического подавления развития облаков, когда по визуальным наблюдениям облако может на начальной стадии реакции почти не изменить своей конфигурации и геометрических размеров, однако в нем существенно уменьшаются (в два-три раза) размеры и уровни интенсивности зон радиолокационной отражаемости, что свидетельствует о начале процесса диссипации облака.

9 Меры безопасности при проведении работ

9.1 Требования по технике безопасности (ТБ) при АВ на облака с целью регулирования погодных условий включают в себя:

- требования по ТБ при работе на радиолокационных станциях;
- требования по ТБ при АВ на облака с самолетов;
- требования по ТБ при АВ на облака пиротехническими изделиями;
- требования по ТБ при работе со средствами связи с самолетом.

9.2 При эксплуатации радиолокационных станций необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации, подготовленной заводом-изготовителем, действующими наставлениями и методическими указаниями.

9.3 ТБ при АВ на облака с борта самолета-метеолаборатории состоит в строгом соблюдении бортоператорами и бортнаблюдателями инструкции по технике безопасности полетов, утвержденной Департаментом ГА.

9.4 При АВ на облака с помощью пиротехнических изделий и установок для их отстрела необходимо строго соблюдать правила по ТБ, изложенные в эксплуатационной документации на пиротехнические изделия и технические средства отстрела.

Библиография

[1] ОСТ 52.11.25-86 Охрана природы. Атмосфера. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Термины и определения.

[2] Федоров Е.К. Активные воздействия на метеорологические процессы.- Вестник АН СССР.- 1962.- №9.- С. 73.

[3] Деннис А. Изменение погоды засевом облаков. М.: Мир, 1983, 272 с.

[4] Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеоиздат, 1990, 366 с.

[5] Литвинов И.В. Перераспределение осадков при воздействии на облака хладореагентами.- Метеорология и гидрология.- 1967.- №9.- С. 28-37.

[6] Берюлев Г.П. и др. Сравнение натурного и численного экспериментов по рассе-янию слоистообразной облачности над Москвой 7 ноября 1986 г. – Метеорология и гидрология.- 1988.- № 12.- С. 38-48.

[7] Беляев В.П. и др. Опыт активного воздействия на облака над Москвой 9 мая 1995 г. – Метеорология и гидрология.- 1996.- № 5.- С. 71-82.

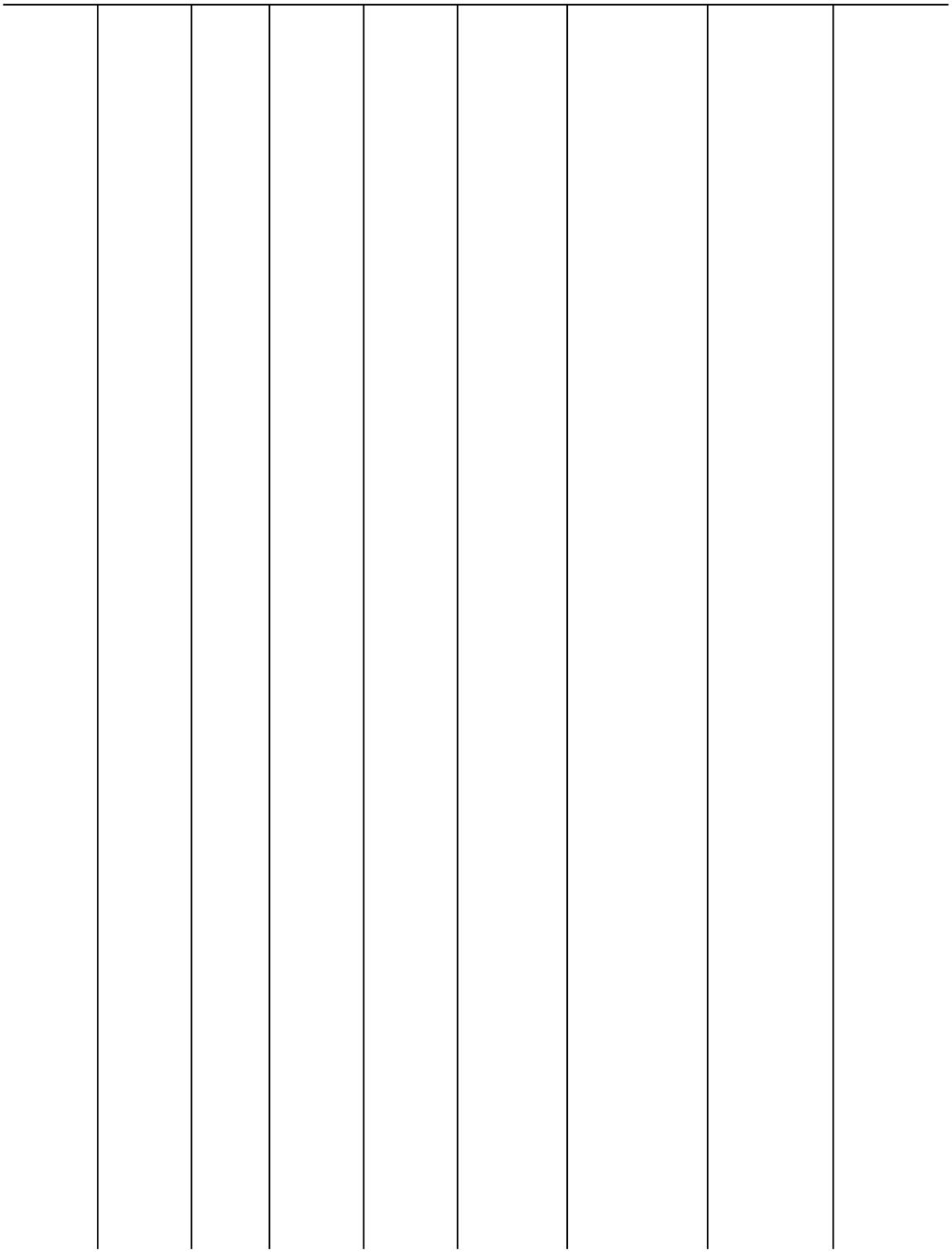
[8] Гайворонский И.И. и др. Результаты опытов воздействия на конвективные облака.- Изв. АН СССР.- Физика атмосферы и океана.- 1970.- Т. 6.- № 3.- С. 252.

[9] Вульфсон И.Н. и др. Разрушение развивающихся конвективных облаков искусственно созданными нисходящими движениями.- Изв. АН СССР.- Физика атмосферы и океана.- 1970.- Т. 6.- № 1.- С. 14.

[10] Берюлев Г.П. и др. Опыт проведения работ по искусственному регулированию осадков в целях ослабления последствий аварии на Чернобыльской АЭС .- Труды Всесоюзной конференции по активным воздействиям.- Ленинград.- Гидрометеоиздат.- 1990.- С. 233-238.

Лист регистрации изменений

Номер изме-нения	Номер страницы				Номер доку-мента	Подпись	Дата	
	изме-ненной	заме-нен-ной	новой	аннули-рован-ной			внесения изменения	введения измене-ния



gost.e-ecolog.ru