РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Проведение работ по искусственному увеличению атмосферных осадков самолетными методами

РД 52.11.637-2002

Дата введения 2003-01-01

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

2 РАЗРАБОТЧИКИ Г. П. Берюлев, канд. физ.-мат. наук, руководитель темы; Б. И. Зимин, канд. физ.-мат. наук; Ю. В. Мельничук, канд. физ.-мат. наук; Б. П. Колосков, канд. физ.-мат. наук; Б. Г. Данелян. науч. сотр.; Р. Ю. Рябова, нормоконтролер

3 ВНЕСЕН Отделом активных воздействий и государственного надзора УСНК Росгидромета

4 ОДОБРЕН Центральной комиссией по приборам и методам наблюдений (ЦКПМ) Росгидромета, протокол № 2 от 28.04.01 г.

5 УТВЕРЖДЕН Руководителем Росгидромета 19.07.02 г.

6 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Центральным конструкторским бюро гидрометеорологического приборостроения (ЦКБ ГМП) за номером РД 52.11.637-2002

7 ВЗАМЕН "Временной методики искусственного увеличения осадков путем активного воздействия на облака самолетными средствами", утвержденной начальником Управления активных воздействий (УАВ) Росгидромета 07.11.95 г.

1 Область применения

Настоящие методические указания устанавливают общий порядок и последовательность операций, средства измерений, оборудование и материалы, необходимые для организации и выполнения летных работ по активному воздействию (АВ) на переохлажденные осадкообразующие облака с целью искусственного увеличения атмосферных осадков (далее ИУО). Методические указания включают в себя краткое описание физических принципов АВ на облака и методики физико-статистической оценки эффективности воздействия.

Методические указания обязательны для специализированных организаций по АВ на метеорологические и другие геофизические процессы и для научно-исследовательских учреждений (НИУ) Росгидромета, выполняющих работы по ИУО самолетными методами.

2 Термины и определения

В настоящих методических указаниях применяют следующие термины и определения.

Активное воздействие на облако - преднамеренное воздействие на облако с целью изменения естественного хода микрофизических и динамических процессов (рассеяния облаков, ускорения осадкообразования, увеличения осадков и т. п.) (ОСТ 52.11.25-86 Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Термины и определения).

Генератор льдообразующих аэрозолей - установка для получения льдообразующего аэрозоля механическим, тепловым и другим способами (ОСТ 52.11.25-86).

Динамический метод искусственного воздействия на осадкообразование - метод вызывания или интенсификации процесса осадкообразования в облаке посредством усиления вертикальных

движений среды за счет интенсификации фазовых переходов (ОСТ 52.11.25-86).

Засев облака - введение в облако реагента в диспергированном и (или) гранулированном, а также в газообразном состоянии (ОСТ 52.11.25-86).

Информационно-измерительная система (ИИС) - комплекс наземных и бортовых измерительных приборов, вычислительных устройств и средств связи, обеспечивающий получение, обработку и анализ всей метеорологической и аэронавигационной информации, необходимой для планирования и проведения летных работ по АВ на облака и для последующей оценки их эффективности.

Ледяные (льдообразующие) ядра - частицы атмосферного или искусственного аэрозоля, вызывающие образование ледяных частиц в облаках при температуре ниже 0 °С (ОСТ 52.11.25-86).

Льдообразующий реагент - вещество (смесь веществ), которое используется в работах по активному воздействию на облака с целью получения ледяных частиц (ОСТ 52.11.25-86).

Многосамолетные операции по АВ на облака - операции по засеву облаков с целью искусственного регулирования атмосферных осадков, выполняемые при одновременном участии в работах двух и более самолетов в пределах воздушного пространства одного центра управления воздушным движением.

Опытная территория (мишень) - территория, на которой проводятся эксперименты по изменению режима осадков или других метеорологических явлений (ОСТ 52.11.25-86).

Осадкообразующие облака (облачные системы) - облака (облачные системы), которые в ходе своего естественного развития уже дают осадки, доходящие до земли, или неизбежно достигнут этой стадии развития.

Переохлажденная облачная среда - объем, в котором из-за недостатка льдообразующих ядер облачные частицы длительное время сохраняются в жидкокапельном виде при отрицательной температуре, достигающей нескольких десятков градусов Цельсия.

Температурный порог активности реагента - максимальная температура, при которой в переохлажденном облаке при введении льдообразующего реагента образуются ледяные кристаллы (ОСТ 52.11.25-86).

Физическая эффективность - степень успешности воздействия на метеорологические процессы, выраженная через изменения физических параметров атмосферы (ОСТ 52.11.25-86).

Экономическая эффективность - степень успешности воздействия на метеорологические процессы, выраженная через экономические показатели (ОСТ 52.11.25-86).

Эффективность осадкообразования облака - процентное отношение объема выпавших из облака осадков к объему воды, поступившей в облако из нижних слоев атмосферы в виде пара.

3 Типы осадкообразующих облаков и критерии их пригодности для засева

3.1 Наиболее частыми объектами для АВ с целью ИУО являются некоторые определенные типы облаков. В частности, среди типов слоистообразных облаков к ним относятся слоистые облака St, слоисто-кучевые облака Sc и слоисто-дождевые облака Ns [1, 2], а среди типов конвективных облаков - мощно-кучевые облака Cu cong. и кучево-дождевые облака Cb [3, 4]. С точки зрения мезомасштабной организации облачных систем наиболее перспективными системами для АВ с целью ИУО в летний период являются мезомасштабные скопления (кластеры) конвективных облаков, представляющие собой системы объединенных или расположенных близко друг от друга облачных ячеек, либо многовершинные облака, занимающие в плане площади до 400-600 км^2. В зимний период наиболее перспективны для АВ обширные системы слоисто-дождевых облаков фронтального происхождения.

3.2 В целом общая пригодность атмосферной ситуации для АВ на облака с целью ИУО определяется сочетанием следующих условий:

- наличие в атмосфере указанных в п. 3.1 типов конвективных или слоистообразных облаков или их сочетания;
- наличие в облаках переохлажденных жидкокапельных зон;
- значения температуры воздуха в переохлажденных объемах облачности не превышают температурный порог активности применяемых для засева реагентов;
- направление и скорость воздушных потоков в облаках и подоблачном слое обеспечивают выпадение осадков из засеваемой облачности на опытную территорию.

3.3 В соответствии с приведенными в п. 3.2 условиями в качестве критериев пригодности слоистообразных облаков для АВ с целью ИУО принято считать следующий комплекс их характеристик и параметров [1, 2]:

- облачность (или хотя бы некоторая ее часть) по своему фазовому составу должна быть

капельной или же смешанной (капельно-кристаллической);

- максимальная температура засеваемого облачного слоя при использовании наиболее распространенных реагентов (в соответствии с разделом 4) не должна превышать минус 4 °С;

- вертикальная мощность засеваемого облачного слоя в общем случае должна быть не менее 300 м:

- высота нижней границы облаков над поверхностью земли, как правило, не должна превышать 1500 м.

3.4 Важнейшим условием пригодности для засева конвективных облаков Cu cong. и Cb является их нахождение в стадии роста. В качестве значений параметров таких облаков, определяющих их пригодность для АВ с целью ИУО, принято считать [3, 4] следующие:

Вертикальная мощность облаков, м ..... не менее 3000
Вертикальная мощность переохлажденной части облаков, м ..... не менее 1000
Температура на уровне верхней границы облака, °С ..... минус 5-30
Горизонтальная протяженность облака, м ..... не менее 2000
Высота нижней границы облака над землей, м ..... не более 2000

3.5 При прочих равных условиях эффект АВ с целью ИУО тем больше, чем больше влагозапас облаков (их водность и вертикальная мощность) и степень их переохлаждения и чем меньше высота нижней границы облачности.

3.6 При АВ на облака, дающие естественные осадки, высота их нижней границы обычно не учитывается как параметр в комплексе критерия пригодности для засева, так как подоблачный слой атмосферы в этом случае увлажнен естественными осадками, и это исключает потери на испарение искусственно вызванных осадков.

3.7 Эффект АВ на облака с целью ИУО оказывается тем больше, чем дольше сохраняются над районом воздействий благоприятные для засева облаков условия.

4 Материалы и технические средства для работ по активному воздействию с целью искусственного увеличения осадков

4.1 Льдообразующие реагенты

4.1.1 К настоящему времени разработаны и прошли всесторонние испытания разнообразные методы АВ на различные типы переохлажденной облачности с целью ИУО. Эти методы основываются на введении в облака льдообразующих реагентов, приводящих к интенсификации процессов осадкообразования. В качестве таких реагентов в настоящее время используются аэрозоль йодистого серебра, твердая углекислота ("сухой лед") и жидкий азот.

4.1.2 В основе использования аэрозоля йодистого серебра AgI в качестве льдообразующего реагента лежит то обстоятельство, что его кристаллическая структура аналогична структуре естественного льда. Вследствие этого частицы йодистого серебра оказываются такими же эффективными льдообразующими ядрами, как и ледяные частицы, с той лишь разницей, что йодистое серебро имеет более низкий температурный порог активности - минус 7 °С.

4.1.2.1 В более ранних технологиях АВ ввод аэрозоля йодистого серебра в облака обычно осуществлялся распылением реагента под основанием облаков или внутри них путем сжигания ацетонового раствора реагента в специальной горелке, закрепленной снаружи самолета. В технологии Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) диспергирование AgI в облака проводится путем сброса (отстрела с помощью специальных устройств) с самолета сверху в вершины засеваемых облаков горящих пиротехнических шашек (пиропатронов) с йодистым серебром. Сгорая в процессе свободного падения в толще облака, шашки выделяют во всем переохлажденном облачном объеме большое количество кристаллов йодистого серебра и тем самым обеспечивают его быстрый засев. Таким образом реализуется динамический метод засева.

4.1.2.2 Для засева облаков при проведении работ по АВ с целью ИУО промышленностью выпускаются пиропатроны двух различных калибров - ПВ-50 диаметром 50 мм и ПВ-26 диаметром 26 мм. Технические характеристики пиропатронов ПВ-26 и двух модификаций пиропатронов ПВ-50 приведены в таблице 1.

4.1.3 Широко применяется в работах по АВ с целью ИУО, в том числе и в технологии ЦАО, засев переохлажденных осадкообразующих облаков с помощью гранулированной твердой углекислоты CO_2. Принцип засева состоит в том, что при падении в толще облака гранулы CO_2 за счет их чрезвычайно низкой температуры (около минус 80 °С) охлаждают воздух в непосредственной близости от траектории своего движения до температуры ниже минус 40 °С, при которой обычно происходит спонтанное замерзание переохлажденных капель воды. В результате при пролете каждой гранулы в облаке за счет замерзания капель и кристаллизации

конденсирующегося водяного пара образуется большое количество ледяных частиц, с помощью которых происходит кристаллизация верхней части облаков.

Таблица 1

Характеристика	Значение для различных пиропатронов		
	ПВ-50	ПВ-50-М	ПВ-26
Масса пиросостава, г	450	300	33
Время горения, с	55	35	40
Длина трассы дымления, м	3500	2500	1500
Время задержки начала дымления, с	30	8	-
Трасса задержки, м	1200	450	-
Выход льдообразующих ядер с 1 г пиросостава, ядер/г, не менее	$5 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^{12}$

Примечание - Прочерки означают, что пиропатроны ПВ-26 задержки начала активного дымления не имеют.

4.1.3.1 Засев осуществляется путем дозированного сброса в облака гранул CO_2 размером от 0,2 до 2,0 см при пролете самолета над верхней границей засеваемого слоя. Температурный порог активности CO_2 составляет около минус 2 °С.

4.1.3.2 В таблице 2 приведены значения основных характеристик твердой углекислоты как реагента для АВ с целью ИУО.

4.1.4 Применение жидкого азота для засева облаков при АВ с целью ИУО также основывается на использовании его низкой температуры для значительного понижения температуры в облачной среде 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 вдоль трассы полета самолета, на котором установлено соответствующее устройство для засева реагента. Поэтому такой метод пока используется на практике лишь для засева относительно тонких переохлажденных облачных слоев или как дополнительное средство при засеве облаков йодистым серебром или твердой углекислотой. Одновременно продолжаются разработки метода объемного засева облаков на основе использования жидкого азота.

Таблица 2

Характеристика	Значение
Температура испарения CO_2 при нормальном атмосферном давлении, °С	-78,9
Объем воздуха, охлаждаемого до минус 40 °С за 1 с свободно падающей гранулой диаметром 1 см, $см^3$	55
Объем воздуха, который может охладить гранула до температуры ниже минус 40 °С за весь период своего существования, $см^3$	18600
Расстояние, проходимое гранулой до ее полного испарения, м	До 4300
Выход активных ядер кристаллизации от 1 г CO_2, ядер/г	10^{12}-10^{13}

Существенными достоинствами метода засева облаков с использованием жидкого азота являются его наиболее высокий среди всех реагентов температурный порог эффективности около минус 0,5 °С и абсолютная экологичность.

4.2 Технические средства для засева облаков

4.2.1 Для внесения реагентов в облака самолеты оборудуются соответствующими устройствами и приборами. Так, для отстрела пиропатронов с йодистым серебром типа ПВ-50 и ПВ-26 самолеты оборудуются устройствами КДС-155 и АСО-2И соответственно.

4.2.1.1 Комплект автоматического устройства КДС-155, предназначенного для отстрела пиропатронов ПВ-50, включает в себя 4 кассетных держателя патронов по 15 стволов в каждом (всего 60 стволов), пульт управления и распределительное устройство. В устройстве предусмотрена возможность автоматического и ручного управления отстрелом пиропатронов в следующих режимах:

- отстрел единичных пиропатронов;

- отстрел пиропатронов любыми сериями с интервалом между последовательными отстрелами от 0,05 до 0,50 с;

- залповый отстрел всех патронов комплекта.

4.2.1.2 Автомат для отстрела пиропатронов ПВ-26 АСО-2И состоит из двух балок, в каждой из которых имеется по 32 ствола-держателя пиропатронов 26-миллиметрового калибра, и системы управления, которая также предусматривает как отстрел единичных пиропатронов, так и отстрел пиропатронов сериями с регулируемым интервалом внутри серии от 0,3 до 1,0 с.

4.2.2 Засев облаков с самолета твердой углекислотой CO_2 выполняется с помощью специальных устройств через предусмотренные для этого отверстия в виде шахт в корпусе самолета. Используемые для засева дозирующие устройства позволяют регулировать расход реагента в пределах от 0,1 до 10,0 кг/мин. Гранулы углекислоты получаются непосредственно на борту самолета путем дробления в дозаторе загруженных перед полетом 80-килограммовых промышленных брикетов или вырабатываются наземными углекислотными грануляторами из промышленной жидкой углекислоты и хранятся на борту самолета в термоизолированных контейнерах в период подготовки и выполнения полета.

4.2.3 Для засева облаков мелкодисперсными ледяными частицами с использованием жидкого азота в ЦАО был разработан генератор мелкодисперсных частиц льда авиационный ГМЧЛ-А. Принцип действия генератора заключается в том, что путем создания избыточного давления в емкостях с жидким азотом обеспечивается его подача по системе трубопроводов в установленный за бортом самолета распылитель, через который он в виде факела значительно охлажденного воздуха с температурой ниже минус 90 °С выводится в атмосферу. Атмосферная влага, попадающая в этот факел, мгновенно кристаллизуется за счет сильного охлаждения. Масса заливаемого в емкости генератора жидкого азота составляет 96 кг, при необходимости основной ресурс может быть увеличен путем дополнительной загрузки на борт самолета еще нескольких стандартных контейнеров типа СК-40 с азотом. В таблице 3 представлены основные характеристики азотного генератора ГМЧЛ-А, опытная партия которого была выпущена ЗАО "ЛИИ Спецавиатех Конвед 10" в соответствии с чертежом № 1913.7900.0.

Таблица 3

Характеристика	Значение
Масса незаправленного генератора, кг	83
Масса заливаемого жидкого азота, кг	96
Габаритные размеры, мм	$860 \times 600 \times 1650$
Напряжение питания постоянного тока, В	27
Потребляемая мощность, Вт не более	160
Расход реагента, г/с	15×3
Время выхода на рабочий режим, мин	30
Выход активных ядер кристаллизации от 1 г жидкого азота, ядер/г	$2 \cdot 10^{13}$

4.3 Самолеты-метеолаборатории

4.3.1 При решении задач ИУО наиболее эффективным является самолетный метод АВ на облака. Это объясняется наиболее высоким техническим развитием самолетных средств воздействия, относительной экономичностью их применения, высокой мобильностью самолетов-метеолабораторий, гибкостью и эффективностью самих методов самолетного воздействия, допускающих возможность легкой оптимизации процедуры воздействий в зависимости от конкретных метеорологических условий.

4.3.2 В качестве носителей авиационных технических средств воздействия в настоящее время применяются самолеты-метеолаборатории, создаваемые на базе серийных типов самолетов Ил-18, Ан-12, Ан-26, Ан-30, Ан-72, Як-40, которые оснащаются необходимыми средствами внесения реагентов в облака, а также имеют приборы и оборудование для измерения навигационных характеристик полета, основных термодинамических параметров атмосферы, оптических и микрофизических характеристик облаков, радиолокационных и радиометрических параметров облачности.

Основные летно-технические характеристики самолетов-метеолабораторий приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристика	Значение для типов самолетов					
	Ил-18	Ан-12	Ан-26	Ан-30	Ан-72	Як-40
Взлетная масса, кг	61000	61000	24000	21000	33000	16000
Крейсерская скорость, км/ч	617	590	430	430	550	510
Практический потолок, м	10000	9800	7300	7300	11800	8000
Максимальная дальность полета при максимальном запасе топлива, км	4270	4560	2340	2550	4400	1250
Максимальная полезная нагрузка, кг	13500	20000	4100	5500	10000	3200

4.4 Информационно-измерительная система

4.4.1 Опыт работ по АВ на облака с самолетов показал, что для обеспечения высокой эффективности воздействий на борту самолетов следует иметь комплекс измерительно-вычислительной аппаратуры, который обеспечивает получение в реальном масштабе времени необходимого объема информации о пилотажно-навигационных параметрах полета самолета, а также об основных метеорологических величинах атмосферы и о параметрах облачности. Эта информация позволяет оценить пригодность наблюдаемых облаков для засева, принять решение о проведении воздействий, рассчитать оптимальную схему и режим воздействий, задокументировать необходимые данные о проводимых воздействиях с целью последующего использования при анализе их эффективности.

4.4.2 Стандартный бортовой измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), разработанный ЦАО для исследований и опытно-производственных работ по ИУО, включает в себя пилотажно-навигационную систему, предназначенную для определения координат местонахождения самолета с помощью спутниковой навигационной системы типа TRANSPAK-II и для контроля параметров полета самолета (высоты, путевой скорости, угла сноса и т. д.), а также систему измерительных устройств для регистрации основных метеорологических величин атмосферы. К числу таких измерительных устройств относятся:

- датчик температуры П-104 (с платиновой нитью) в системе воздушных сигналов (СВС) с интервалом измеряемой температуры от минус 50 до 50 °С;
- конденсационный гигрометр СКГ для измерения температуры точки росы (инея) атмосферного воздуха в диапазоне от минус 60 до 30 °С;
- измеритель водности облаков ИВО-4, позволяющий проводить непрерывные измерения водности жидкокапельной фракции в пределах от 0,01 до 3,00 г/м^3;
- бортовой сверхвысокочастотный радиометр "Тэта" (РМ-08), предназначенный для определения интегрального (суммарного) содержания жидкокапельной облачной влаги при дистанционном зондировании облачности в направлении, перпендикулярном направлению полета самолета под углом 30° к плоскости полета.

4.4.3 Информация с входящих в состав ИВК измерительных систем непрерывно поступает в персональный компьютер (ПК) и обрабатывается им в реальном масштабе времени. При этом на экране монитора ПК непрерывно воспроизводится информация о местоположении самолета в географической, полярной и ортодромической системах координат, а также наглядно воспроизводится маршрут полета самолета на карте местности. На линии маршрута фиксируются зоны проведения вертикально-горизонтального зондирования атмосферы (ВГЗА) и зоны выполнения АВ на облака. Разработанное для ИВК программное обеспечение позволяет в реальном масштабе времени считывать с экрана монитора данные о температуре воздуха и точки росы атмосферного воздуха, направлении и скорости ветра на уровне полета, интенсивности обледенения самолета (расчетный параметр), водности пересекаемых самолетом облачных зон и значении интегральной водности жидкокапельной облачной влаги выше уровня полета.

4.4.4 Перечисленные данные позволяют рассчитывать оптимальные схемы засева облаков как для одного самолета, так и для нескольких самолетов с одновременной работой на разных эшелонах по высоте. В целом же использование ИВК позволяет повысить эффективность воздействий, проводимых не только в дневное, но и в ночное время.

4.4.5 Важным условием обеспечения эффективности АВ с целью ИУО является использование информации метеорологического радиолокатора, существенно расширяющее возможности оперативного получения детальных данных о характеристиках полей облаков и осадков на площади работ. Для этой цели в ЦАО используется автоматизированный комплекс сбора, обработки и передачи радиолокационной информации (АКСОПРИ), разработанный на базе серийного двухволнового метеорологического радиолокатора МРЛ-5, который полностью

отвечает всем необходимым требованиям при проведении работ по АВ.

4.4.5.1 В процессе работы АКСОПРИ осуществляет автоматическое зондирование атмосферы по программе ее конического обзора и отображение на мониторе ПК оперативных данных о полях облачности, осадков, а также атмосферных явлениях на площади радиусом 200 км в виде обновляемой каждые 10 мин следующей совокупности легко читаемых карт распределения:

- интенсивности атмосферных осадков;
- накопленной суммы осадков от начала метеорологических полусуток до текущего момента времени;
- высот верхней границы облачности;
- разных явлений погоды - облачности без осадков, осадков различной интенсивности (осадки, ливень, сильный ливень), мощных кучево-дождевых облаков, гроз, града, шквалов;
- радиолокационной отражаемости облаков по горизонтали на разных высотах (обычно 700, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 и 9000 м).

4.4.5.2 Каждая карта сопровождается указанием вектора перемещения облачных систем. На любую из перечисленных в 4.4.5.1 карт можно также наложить вспомогательную картографическую информацию (географическую карту местности, местонахождение метеорологических станций, аэронавигационные схемы воздушных коридоров и авиатрасс, различные условные обозначения, контуры явлений с заданными порогами интенсивности).

4.4.5.3 С помощью курсора, перемещаемого по экрану монитора, можно быстро считывать координаты любой ячейки карты и информацию для этой ячейки по всем имеющимся картам. Кроме того, можно просматривать вертикальные сечения облачности по любому представляющему интерес направлению. Оперативно отслеживая изменения вектора перемещения облачных систем, можно прогнозировать смещение зон опасных явлений (ОЯ) и интенсивных осадков.

4.4.5.4 АКСОПРИ обеспечивает также архивацию получаемой информации за любой период наблюдений, представление этой информации на экране монитора в режиме анимации (быстрое воспроизведение последовательности карт за выбранный промежуток времени), передачу необходимой информации по телефонным и телеграфным каналам (в том числе по нескольким каналам одновременно).

4.4.5.5 Дополнительно с помощью АКСОПРИ можно проводить также контроль за местоположением самолетов - носителей средств воздействий и осуществлять их точное наведение на объекты воздействий.

4.4.5.6 Разработано программное обеспечение, которое позволяет при необходимости объединять в единое поле информацию нескольких АКСОПРИ в центре сбора информации.

4.4.5.7 Работа комплекса АКСОПРИ осуществляется полностью в автоматическом режиме под управлением ПК.

4.4.6 Необходимым дополнением к бортовому ИВК и метеорологическому радиолокатору в составе ИИС при проведении работ по АВ с целью ИУО являются:

- наземная осадкомерная сеть на территории мишени и на окружающей территории;
- пункт радиозондирования атмосферы;
- фототелеграфная или факсимильная аппаратура для приема стандартной синоптической информации;
- установка для приема спутниковой информации об облачности;
- средства оргтехники для отображения и документирования информации и принимаемых оперативных решений;
- аппаратура радиосвязи для обмена информацией с самолетом (самолетами).

4.4.7 Как показывает опыт работы последних лет, источником исчерпывающей спутниковой информации о распределении полей облачности в районе работ по АВ и с наветренной стороны от него может служить информационная база сети Интернет, в связи с чем следует считать целесообразным также обеспечение доступа в Интернет в рамках ИИС.

5 Планирование и организация работ по активным воздействиям с целью искусственного увеличения осадков

5.1 Общее руководство работами по АВ с целью ИУО обычно осуществляется из специально организуемого оперативного центра (ОЦ) управления. Для этого ОЦ оборудуется дистанционным терминалом наземного метеорологического радиолокатора и всеми возможными средствами оперативного доступа к данным остальных элементов ИИС (радиосвязи, телефонной и факсимильной связи, компьютеры с выходом в сеть Интернет). Для

обеспечения работ ОЦ располагает также необходимыми средствами для транспортировки дежурного персонала и экипажей самолетов, доставки реагентов и бортпитания экипажей и т. п.

5.2 Последовательность операций, выполняемых в процессе подготовки и проведения оперативных работ по АВ с целью ИУО, проиллюстрирована на рисунке 1.

5.2.1 Прогноз условий для работ по АВ с целью ИУО составляется синоптиком ОЦ на основе доступной информации ИИС и состоит из прогноза синоптического положения (перемещения и эволюции барических образований, фронтов, облачных систем) и прогноза развития облаков, пригодных для воздействий. Прогноз составляется на 36 ч с делением на 12-часовые интервалы. Наличие в прогнозе информации о пригодности облаков для воздействия служит основанием для подачи предварительных заявок на вылеты самолетов-метеолабораторий для АВ на следующий день. Количество и сроки предполагаемых вылетов определяются прогнозируемой продолжительностью существования над районом работ облаков, пригодных для воздействия.

5.2.2 Одновременно осуществляется круглосуточный радиолокационный контроль состояния атмосферы штатным метеорологическим радиолокатором в составе ИИС по утвержденному графику наблюдений.

5.2.3 При обнаружении радиолокатором приближающихся к району работ осадкообразующих облачных систем или внутримассового развития осадкообразующей облачности на площади работ оперативным руководителем ОЦ принимается решение о вылете самолетов для уточнения характеристик облачности и проведения АВ. Команда на вылет сопровождается указанием предполагаемой зоны воздействий и предварительными сведениями о характеристиках атмосферы и облачности по радиолокационным данным.

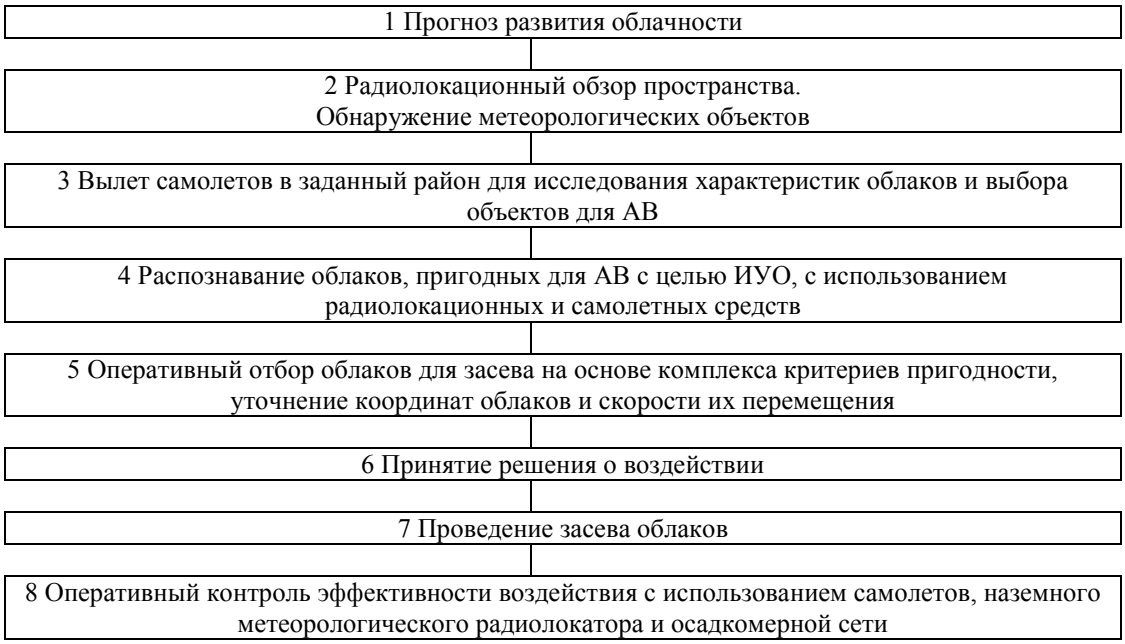


Рисунок 1 - Последовательность операций по АВ с целью ИУО

В процессе набора высоты первый вылетевший самолет-метеолаборатория производит ВГЗА 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 их пригодности для засева с целью ИУО.

5.2.4 В случае соответствия облаков критериям пригодности для засева оперативный состав экипажа самолета-метеолаборатории на основе текущей информации с наземного метеорологического радиолокатора о структуре и перемещении облачной системы, а также данных собственных измерений вертикальной стратификации атмосферы и характеристик облачности осуществляет расчет необходимой схемы и режима АВ и приступает к засеву облаков, предварительно поставив в известность ОЦ о принятом решении и сообщив координаты точки начала АВ.

5.2.5 В процессе проведения воздействия непрерывно осуществляется оперативный контроль физической эффективности АВ с борта самолета-лаборатории - по появлению характерных визуальных признаков кристаллизации засеянных реагентом переохлажденных жидкокапельных

зон облачности, резкому росту высоты видимой верхней границы засеваемых конвективных облачных ячеек. Радиолокационные наблюдения выявляют такие признаки эффекта АВ на облака, как увеличение радиолокационной отражаемости облаков в зоне засева и значительный рост интенсивности осадков из засеянных облаков. Более точная оценка физической эффективности АВ на облака с целью ИУО проводится в ходе физико-статистической обработки данных наземной осадкомерной сети в соответствии с разделом 7.

6 Порядок проведения работ по искусственному увеличению осадков

6.1 Искусственное увеличение осадков из конвективных облаков

6.1.1 Если воздействия производятся преимущественно на конвективные облака, включая ячейки затопленной конвекции во фронтальных облачных полях, один самолет типа Ан-26 или Ан-30 успешно выполняет засев пригодных для этого облаков и облачных скоплений на площади до 25 тыс. км^2, как это многократно было показано в ходе исследовательских и опытно-производственных работ по ИУО. При этом обычно реализуется до 75 % пригодных ситуаций в светлое время суток.

6.1.2 С другой стороны, в случае необходимости воздействия на достаточно мощные конвективные облака засев их вершин самолетами Ан-26 или Ан-30 необходимо производить почти на уровне рабочего потолка этих самолетов. Поэтому при проведении воздействий в летний период рекомендуется использовать в качестве носителя средств воздействий самолет Ан-12, имеющий потолок более 9 км и способный с помощью пиропатронов ПВ-50 обеспечить эффективный засев мощных конвективных облаков и их скоплений.

6.1.3 Основные различия в технологических циклах проведения воздействий на облака различных форм заключаются в способах и схемах засева облаков с борта самолета. Так, после установления пригодности конвективных облаков для засева и принятия решения о проведении засева самолет занимает необходимый эшелон, определяемый высотой верхней границы облаков и типом используемых пиропатронов (ПВ-50 или ПВ-26) с учетом времени задержки начала дымления, согласно таблице 1, и соображений противопожарной безопасности наземных объектов.

6.1.4 Упрощенное графическое изображение схемы засева отдельных изолированных конвективных облаков представлено на рисунке 2. Засев облака путем отстрела в его толщу пиропатронов производится в момент пересечения самолетом вершины облака или пролета над ней на выбранном для работы эшелоне.

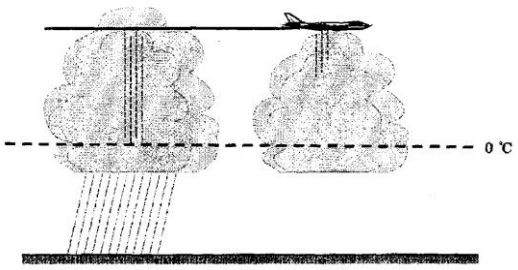


Рисунок 2 - Схема засева конвективных облаков

При этом, исходя из соображений безопасности полетов, пересечение вершин кучево-дождевых облаков не допускается. Таким образом осуществляется последовательный засев всех облаков над заданной для работ территорией, которые по своим характеристикам удовлетворяют критериям пригодности для засева с целью получения дополнительных осадков.

6.1.5 При воздействии на многовершинные облака и кластеры в первую очередь производится засев тех их вершин (ячеек), которые находятся в стадии роста и у которых значения температуры на уровне верхней границы находятся в интервале от минус 10 до минус 30 °С. Ввод реагента в облака также осуществляется во время пересечения вершин или пролета над ними.

6.1.6 Основным условием, определяющим выбор средств воздействия (реагента, средств его диспергирования и доставки в облака), является обеспечение возможности ввода требуемого количества реагента в температурном интервале его эффективной активности на всей площади объекта воздействия. Кроме того, учитывается ряд дополнительных условий и ограничений - стоимость средств воздействия, дефицитность реагентов, их экологическая безопасность,

соответствие преобладающим формам облаков в районе работ, его рельефу, режиму полетов на его площади и т. д.

6.1.7 При проведении АВ на конвективные облака с целью ИУО динамическим методом для засева обычно используются пиропатроны с йодистым серебром. При этом в среднем расходуется до 20 пиропатронов ПВ-26 или 2 пиропатронов ПВ-50 на 1 облачную ячейку. Нормы расхода реагентов при засеве каждой вершины облачных кластеров в целом аналогичны нормам для изолированных облаков.

Общий расход пиропатронов при проведении работ по АВ на конвективные облака с целью ИУО определяется масштабами воздействий. Ориентировочно суммарный расход пиропатронов на воздействия за летний период на площади в несколько десятков тысяч квадратных километров равен 4-6 тыс. пиропатронов ПВ-26 и до 2 тыс. пиропатронов ПВ-50.

6.2 Искусственное увеличение осадков из слоистообразных облаков

6.2.1 При АВ с целью ИУО из слоистообразных облаков их засев осуществляется обычно вдоль линии, перпендикулярной направлению ветрового переноса облачности. При этом ширина засеянной полосы облачности за счет переноса реагента турбулентными потоками возрастает до 3-4 км, а глубина зоны вызываемых засевом дополнительных осадков в направлении ветрового переноса обычно превышает расстояние ее 2-часового переноса.

6.2.2 Очевидно, что подвергшаяся АВ полоса слоистообразной облачности, образовавшаяся при однократном засеве вдоль расчетной линии, обеспечит на площади мишени выпадение лишь некоторого ограниченного объема дополнительных осадков. Для того чтобы увеличить эффективность воздействий, необходимо непрерывно продолжать засев натекающей на мишень облачности вдоль выбранной линии.

Упрощенное представление такой схемы засева слоистообразной облачности одним самолетом приведено на рисунке 3. Самолет при засеве облачности последовательно производит пролеты вдоль линии, проходящей между фиксированными точками *А* и *Б* на поверхности земли, со стандартными разворотами на обратный курс в этих точках. Эта линия выбирается перпендикулярной вектору скорости ветра на высоте полета самолета таким образом, чтобы полосы засеянной облачности переносились ветром в сторону мишени. Одновременно эти полосы постепенно расширяются за счет турбулентности атмосферы (по 6.2.1) так, что при правильно рассчитанной схеме засева происходит их слияние в сплошную зону еще до достижения ими площади мишени.

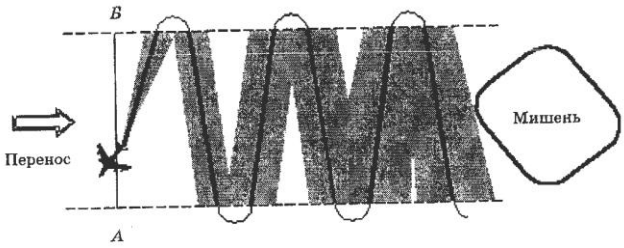


Рисунок 3 - Схема засева слоистообразных облаков

6.2.3 В зависимости от скорости ветра длина линии засева слоистообразной облачности одним самолетом, при которой обеспечивается слияние последовательных полос, составляет обычно от 20 до 40 км. Поскольку размеры мишени при проведении производственных работ по ИУО часто превышают эти значения, для засева всего натекающего на площадь мишени массива облачности без пропусков, который может обеспечить максимальную эффективность АВ, требуется одновременная работа нескольких самолетов-лабораторий.

6.2.4 Схема предстоящей работы по засеву слоистообразной облачности рассчитывается на основе данных радиолокационного наблюдения облаков, а также сведений о температурной стратификации атмосферы и вертикальном распределении скорости и направления ветра по результатам самолетного вертикального зондирования атмосферы. Пространственный разнос последовательных линий засева облачного поля определяется значением скорости переноса облачности ветром. По данным о направлении и скорости ветра определяется длина и местоположение линии воздействия, которая обычно фиксируется путем "привязки" ее конечных точек к определенным точкам на местности.

6.2.5 Расход реагентов при засеве слоистообразных облаков определяется в зависимости от мощности засеваемого облачного слоя. Так, при использовании твердой углекислоты CO_2

расход реагента должен составлять от 0,15 до 1,0 кг на 1 км трассы самолета, возрастая примерно на 0,15 кг на каждые 200 м вертикальной мощности засеваемого слоя. Оптимальный размер гранул углекислоты при засеве, обеспечивающий их полное испарение внутри засеваемых облачных слоев, составляет от 1,0 до 1,5 см. Засев облачности мощностью более 500 м пиропатронами ПВ-26 производится с расходом одной серии из 4 патронов в минуту на каждые 750 м вертикальной мощности облачности. Засев облачных слоев незначительной мощности (до 500 м) с помощью ГМЧЛ-А осуществляется при пролете по верхней кромке слоя с расходом до 30 г/с. При воздействии на более мощные слоистообразные облака засев жидким азотом производится в качестве дополнения к засеву углекислотой или пиропатронами. Расход жидкого азота при этом выбирается исходя из мощности засеваемого слоя (примерно 10 г/с на каждые 500 м вертикальной мощности).

7 Оценка эффективности активных воздействий по искусственному увеличению осадков

7.1 Оценка результатов АВ на облака является одной из наиболее сложных задач при проведении работ по ИУО. Сложность обусловлена большой пространственно-временной изменчивостью осадков, трудностью получения их характеристик с необходимой для оценки пространственной и временной разрешающей способностью, а также тем, что полезный эффект воздействий обычно не превышает амплитуду естественных вариаций осадков. С другой стороны, несмотря на это, обусловленные воздействиями приращения осадков в большинстве случаев имеют важное экономическое значение, что еще более повышает значимость оценки эффективности искусственных воздействий на процессы осадкообразования в облачных системах различных форм.

7.2 При проведении производственных работ по ИУО оценка воздействий очень затрудняется в связи с невозможностью использования метода рандомизированного засева облаков. Этот метод со случайным принятием решений о засеве или незасеве пригодных для АВ облаков обеспечивает достаточно надежную статистическую оценку увеличения осадков, но требует, чтобы примерно половина пригодных для воздействия ситуаций пропускалась и использовалась в качестве контрольного ряда при оценке, что приводило бы к недополучению заказчиком работ значительной части дополнительных осадков. Как показывают результаты многочисленных теоретических и экспериментальных работ по изучению и сравнению различных методов оценки эффективности АВ [6], в оперативных работах по увеличению осадков наибольшее распространение для оценки их эффективности получил метод исторической регрессии.

7.3 При использовании метода исторической регрессии статистическая оценка дополнительных осадков на площади проведения АВ осуществляется на основе сравнения фактического слоя осадков, выпавшего на этой площади за период воздействий, с теоретической оценкой слоя естественных осадков на этой площади за тот же период (так называемое прогнозируемое значение слоя), полученной по данным контрольных измерительных станций на окружающих территориях. Оценка прогнозируемого слоя производится по уравнениям регрессии, являющимся результатом статистического анализа корреляционных соотношений слоев осадков на площади работ и окружающей территории для многолетнего (обычно не менее 25 лет) ряда сетевых осадкомерных данных.

7.4 Расчет прогнозируемого слоя осадков на площади мишени Y_m осуществляется на основе фактического слоя осадков Y_k на контрольных станциях, не испытавших влияния засева, с помощью формулы

$$Y_m = aY_k + b, \qquad (1)$$

где a и b - коэффициенты, определяемые соответственно путем статистического анализа многолетних архивных данных об осадках на площади работ и окружающей территории за период, предшествовавший работам по АВ с целью ИУО.

7.5 В процессе расчета коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов на основе архивных осадкомерных данных из множества потенциальных предикторов приведенного уравнения выбирается такое подмножество, которое обеспечивает максимальное значение коэффициента детерминации R_p^2. Такой выбор подмножества обеспечивает минимальность несмещенной оценки дисперсии случайной ошибки уравнения регрессии и, следовательно, наилучшее качество прогнозирования по выбранному уравнению среди множества возможных уравнений.

7.6 После завершения процедуры определения оптимального уравнения регрессии эффект от проведения АВ по ИУО на площади мишени, выраженный в виде объема дополнительных

осадков ΔV_m на этой площади, определяется как разность между объемом фактически выпавших на мишени осадков V_m и объемом спрогнозированных осадков $\bar{V}_m$, рассчитанным по определенному с помощью формулы (1) слою:

$$\Delta V_m = V_m - \bar{V}_m . \quad (2)$$

7.7 Проведенные в различных физико-географических регионах экспериментальные и опытно-производственные работы по ИУО с использованием разработанной в ЦАО технологии АВ и оценки их эффективности показывают, что относительное увеличение среднего слоя осадков на площади проведения АВ с целью ИУО определяется главным образом степенью использования пригодных для АВ метеорологических ситуаций и составляет от 10 до 25 % от естественного слоя осадков на площади работ за период АВ.

8 Меры безопасности при проведении работ

8.1 В период проведения работ по АВ с целью ИУО следует соблюдать требования по технике безопасности (ТБ):

- при работе на радиолокационных станциях;
- при воздействиях на облака пиротехническими изделиями;
- при воздействиях на облака с борта самолета-метеолаборатории;
- при работе со средствами связи с самолетом.

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

8.3 При воздействии на облака с помощью пиротехнических изделий и установок для их отстрела необходимо строго соблюдать ТБ согласно инструкции по эксплуатации, хранению и транспортировке пиротехнических изделий и инструкции по эксплуатации средств отстрела.

8.4 При воздействиях на облака с борта самолета-метеолаборатории ТБ состоит в строгом соблюдении бортоператорами и бортнаблюдателями инструкции по ТБ полетов, утвержденной Министерством гражданской авиации.

Приложение А
(справочное)

Физические принципы искусственного увеличения атмосферных осадков

А.1 Возможность искусственного регулирования (увеличения или уменьшения) атмосферных осадков путем АВ на облака базируется на использовании существующих в атмосфере неустойчивых состояний при развитии процессов облако- и осадкообразования, а именно:

- конвективной неустойчивости атмосферы;
- неустойчивого фазового состояния переохлажденной жидкокапельной облачной влаги.

А.2 Конвективная неустойчивость атмосферы выражается в том, что в периоды развития конвективной облачности любое тепловое или динамическое возмущение атмосферы в зоне конвекции вызывает положительную реакцию, т. е. автоматическое поддержание и усиление вертикального воздушного потока, инициированного возмущающим воздействием.

А.3 Неустойчивое фазовое состояние переохлажденной жидкокапельной облачной влаги характерно для значительных объемов осадкообразующих облаков, в которых облачные капли сохраняются в жидком состоянии при отрицательной температуре, достигающей иногда от минус 35 до минус 40 °С. Неустойчивость физического состояния таких объемов выражается в том, что при появлении в них льдообразующих ядер или ледяных кристаллов происходит лавинообразный процесс кристаллизации облачных капель, сталкивающихся с такими частицами, и испарения окружающих капель с сублимацией образующегося при этом водяного пара на ледяных частицах. Этот процесс обусловлен разницей значений давления насыщенного водяного пара над поверхностью воды и над поверхностью льда при отрицательных температурах воздуха и приводит к быстрому росту ледяных частиц, образовавшихся в переохлажденной части облака.

А.4 Важное значение для разработок методов и технологий ИУО имеет еще одна закономерность, характерная для процессов естественного осадкообразования. Эта закономерность состоит в том, что для большинства осадкообразующих облачных систем их

эффективность осадкообразования существенно ниже 100 %. Так, для конвективных облачных систем значения эффективности составляют обычно от 15 до 50 %, а для слоистообразных облачных систем - от 45 до 90 %. Эти значения наглядно иллюстрируют большие потенциальные возможности ИУО.

А.5 В настоящее время существуют статическая и динамическая концепции ИУО. Статическая концепция заключается в более полном использовании сконденсировавшейся в облаках влаги, поступающей туда в ходе естественных процессов. Статическая концепция реализуется за счет снижения потерь на вынос облачной влаги в верхние слои атмосферы и на ее испарение на боковых границах облака. Такая оптимизация процесса осадкообразования достигается путем искусственного увеличения количества льдообразующих ядер в облаке.

А.6 Динамическая концепция предполагает в качестве дополнительного условия, что засев облака искусственными льдообразующими ядрами следует производить достаточно интенсивно, чтобы обеспечить возможно более быструю кристаллизацию всего объема переохлажденной части облака. В этом случае быстрое высвобождение значительной скрытой теплоты кристаллизации в облаке повышает плавучесть облачной массы и инициирует или заметно усиливает восходящий поток в облаке. Это приводит к дополнительному росту вертикальной мощности облака и, соответственно, к заметному увеличению объема выпадающих осадков из облака. Динамическая концепция применима к конвективным облачным ячейкам и зонам затопленной конвекции в сложных облачных системах.

А.7 Научные основы воздействий на облака льдообразующими реагентами с целью ИУО можно сформулировать следующим образом:

- переохлажденные облака (в которых капли воды остаются жидкими при отрицательной температуре до минус (20-30) °С и ниже) наблюдаются в реальной атмосфере в подавляющем большинстве облачных систем, дающих естественные осадки;
- давление насыщенного водяного пара надо льдом меньше, чем над водой при той же температуре. Поэтому в присутствии переохлажденных капель ледяные кристаллы быстро растут за счет осаждения на них воды, испаряющейся с расположенных поблизости капель;
- основная часть естественных атмосферных осадков выпадает из облаков, содержащих одновременно и капли, и кристаллы;
- основной способ воздействия на облака, содержащие переохлажденные капли воды, состоит в искусственном создании или введении в них ледяных кристаллов, способствующих ускорению и интенсификации процесса осадкообразования.

Приложение Б
(справочное)

Библиография

1 Предварительные результаты работ по искусственному увеличению зимних осадков / Г. П. Берюлев и др. // Метеорология и гидрология. - 1987. - № 3. - С. 6-17.

2 Леонов М. П., Перелет Г. И. Активные воздействия на облака в холодное полугодие. - Л.: Гидрометеоиздат, 1967. - 152 с.

3 Оценка эффективности воздействий и количества дополнительных осадков из конвективных облаков / Г. П. Берюлев и др. // Метеорология и гидрология. - 1995. - № 4. - С. 66-86.

4 Прихотько Г. Ф. Искусственные осадки из конвективных облаков. - Л.: Гидрометеоиздат, 1968. - 175 с.

5 Методические указания проведения работ по искусственному регулированию осадков из конвективных облаков самолетными средствами воздействия. - М.: ЦАО, 1988. - 29 с.

6 Шипилов О. И. Применение статистических методов к оценке эффективности работ по увеличению осадков // Гидрометеорология, сер. "Метеорология". - 1983. - Вып. 1. - 24 с.

Лист регистрации изменений РД 52.11.637-2002

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа	Подпись	Дата	
	измененной	замененной	новой	аннулированной			внесения изменения	введения изменения

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения
2 Термины и определения
3 Типы осадкообразующих облаков и критерии их пригодности для засева
4 Материалы и технические средства для работ по активному воздействию с целью искусственного увеличения осадков
4.1 Льдообразующие реагенты
4.2 Технические средства для засева облаков
4.3 Самолеты-метеолаборатории
4.4 Информационно-измерительная система
5 Планирование и организация работ по активным воздействиям с целью искусственного увеличения осадков
6 Порядок проведения работ по искусственному увеличению осадков
6.1 Искусственное увеличение осадков из конвективных облаков
6.2 Искусственное увеличение осадков из слоистообразных облаков
7 Оценка эффективности активных воздействий по искусственному увеличению осадков
8 Меры безопасности при проведении работ
Приложение А Физические принципы искусственного увеличения атмосферных осадков
Приложение Б Библиография