РД 52.11.646—2003

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## Проведение работ по искусственному увеличению осадков из слоистообразных облаков

gost.e-ecolog.ru

РД 52.11.646—2003

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## Проведение работ по искусственному увеличению осадков из слоистообразных облаков

## 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; Б. П. Колосков, канд. физ.-мат. наук; Ю. В. Мельничук, 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 № 3 от 26 ноября 2002 г. |
| 5 УТВЕРЖДЕН | Руководителем Росгидромета 8 января 2003 г. |
| 6 ЗАРЕГИСТРИРОВАН | Центральным конструкторским бюро гидрометеорологического приборостроения (ЦКБ ГМП) за номером РД.52.11.646—2003 |
| 7 ВЗАМЕН | „Временной методики искусственного увеличения осадков путем активного воздействия на облака самолетными средствами", утвержденной Начальником УАВ Росгидромета 7 ноября 1995 г. |

## Содержание

1 Область применения ..... 1
2 Определения ..... 1
3 Типы слоистообразных осадкообразующих облаков и критерии их пригодности для воздействий ..... 3
4 Материалы и технические средства для воздействий на облака ..... 6
4.1 Льдообразующие реагенты ..... 6
4.2 Технические средства ..... 8
4.3 Информационно-измерительная система ..... 13
5 Планирование и организация работ по искусственному увеличению осадков ..... 18
6 Порядок проведения работ по искусственному увеличению осадков ..... 20
6.1 Самолетное зондирование облаков ..... 20
6.2 Параметры засева ..... 21
6.3 Дозировка реагента ..... 23
6.4 Расчет положения линии воздействия ..... 23
6.5 Выбор расстояния между линиями воздействия и длины линии воздействия ..... 25
6.6 Особенности схемы засева при разной скорости ветра ..... 28
6.7 Корректировка схемы засева ..... 29
6.8 Схема засева при наличии нескольких облачных слоев, пригодных для воздействия ..... 30
6.9 Схема засева несколькими самолетами ..... 30
6.10 Порядок засева облаков ..... 30

6.11 Количество участников полета и их обязанности ..... 31
7 Оценка эффективности воздействий ..... 32
7.1 Оценка изменений количества осадков в результате воздействий ..... 32
7.2 Оценка экономической эффективности работ ..... 36
8 Меры безопасности при проведении работ ..... 36
Приложение А Библиография ..... 38

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## Проведение работ по искусственному увеличению осадков из слоистообразных облаков

Дата введения 2003—04—01

## 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 слоистообразные облака с целью искусственного увеличения осадков (ИУО) из этих облаков. Методические указания включают в себя краткое описание физических принципов воздействия на облака и методики 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 из слоистообразных облаков.

## 2 Определения

В настоящих методических указаниях применяются следующие термины.

Активное воздействие (АВ) 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).

Выход активных частиц (ледяных кристаллов) — число ледяных кристаллов, образующихся в облаке при данной температуре в расчете на единицу массы льдообразующего вещества (ОСТ 52.11.25—86).

Генератор льдообразующих аэрозолей — установка для получения льдообразующего аэрозоля механическим, тепловым и другим способами (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 воздействиям на облака и для последующей оценки их эффективности.

Контрольная территория (КТ) — территория, достаточно близкая по своим характеристикам к опытной или защищаемой, на которой проводятся измерения твердых и жидких осадков и других метеорологических параметров при естественном ходе атмосферных процессов с целью оценки эффективности активных воздействий путем сравнения (ОСТ 52.11.25—86).

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).

Метод контрольной территории — метод определения эффективности активных воздействий, основанный на сравнении метеорологических параметров или последствий неблагоприятных явлений погоды на защищаемой (опытной) и контрольной территориях (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 — 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 выпадающие на земную поверхность осадки или неизбежно достигнут этой стадии развития.

Переохлажденная облачная среда — часть облачного объема, в котором из-за недостатка льдообразующих ядер облачные частицы длительное время сохраняются в жидкокапельном состоянии при отрицательных температурах, достигающих 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 слоистообразных осадкообразующих облаков и критерии их пригодности для воздействий

3.1 Основным источником осадков в зимнее время и значительной их части в летнее время являются следующие слоистообразные облака и облачные системы:

— слоистые облака St;

— слоисто-кучевые облака Sc;

— высокослоистые облака As;

— системы слоисто-дождевых и высокослоистых облаков Ns—As.

3.2 Основным условием, определяющим пригодность слоистообразной облачности для воздействия, является наличие в ней слоев с пересыщенным по отношению ко льду водяным паром. К ним в первую очередь относятся слои с капельной фракцией при отрицательной температуре. При этом температура должна быть ниже температурного порога активности применяемого для засева облаков реагента.

При введении реагента в такой слой образующиеся на искусственных ледяных ядрах ледяные частицы растут за счет сублимации пересыщенного по отношению ко льду водяного пара, в том числе за счет капель, испаряющихся в окрестности ледяной частицы, где наблюдается локальное понижение давления насыщения водяного пара (процесс перегонки). Ледяные частицы быстро достигают размера, при котором начинается их падение под действием силы тяжести. При падении они растут за счет захвата облачных капель (коагуляции) и агрегации между собой.

3.3 Количество дополнительных осадков и эволюция засеваемой реагентом облачной системы после воздействия зависят от физических свойств системы. При отсутствии восходящих потоков воздуха и притока водяного пара в облачный слой количество дополнительных осадков не превышает мгновенного водозапаса слоя (составляет примерно 70 % водозапаса). В этом случае облачный слой после воздействия обычно полностью рассеивается. Осадки выпадают на землю на территории протяженностью около 20 км от места засева по направлению ветрового переноса облачности. При этом количество осадков очень незначительно (около 1 мм за 10 ч непрерывного воздействия над одной и той же территорией). Расположенные дальше по направлению ветра районы осадков не получают. Описанные явления происходят при воздействии на внутримассовую облачность типа St, Sc, As, не дающую осадков естественным путем.

3.4 При наличии притока водяного пара в облачный слой (за счет восходящих движений воздуха) интенсивность и количество искусственных осадков увеличиваются и определяются скоростью притока и концентрацией искусственных ледяных частиц.

Интенсивность искусственных осадков возрастает с ростом интенсивности естественных осадков практически во всем диапазоне ее значений (до 2 мм/ч). Слой дополнительных осадков может достигать 5 мм и более за 10 ч воздействия. При этом дополнительные осадки выпадают из засеянного слоя облачности в течение в среднем около 2 ч, так что протяженность территории их выпадения равна в среднем расстоянию 2-часового переноса облачности ветром. Описанные явления происходят при воздействии на фронтальные (циклонические) облачные системы Ns—As.

3.5 По данным ЦАО [1], полученным с помощью микроволновых радиометров, потенциальные возможности увеличения осадков, например, в течение холодного периода года в Москве составляют от 30 до 45 % от естественной суммы осадков за этот же период.

По данным экспериментальных исследований ЦАО 1981—1985 гг. на Пензенском полигоне [2], предельно возможное увеличение сезонной суммы осадков зимой также составляет 35 %, однако на практике обычно достигаются меньшие значения, как правило, до 20 %. Последнее связано с техническими трудностями засева всех пригодных для воздействия облачных систем.

По оценкам специалистов УкрНИГМИ [3], засев всех пригодных для воздействия зимних облачных систем Ns—As в степной части Украины также позволит увеличить сезонную сумму осадков на 35 %.

Внутримассовые облака St, Sc, As пригодны для воздействия на протяжении большей части времени их существования.

3.6 В качестве общих критериев пригодности слоистообразных облаков для АВ с целью ИУО принято считать следующее сочетание их характеристик и параметров:

— облачный слой (или хотя бы некоторая его часть) по своему фазовому составу должен быть капельным или же смешанным (капельно-кристаллическим);

— максимальная температура засеваемого облачного слоя не должна превышать температурного порога активности используемых для засева реагентов;

— вертикальная мощность засеваемого облачного слоя в общем случае должна быть не менее 300 м;

— высота нижней границы облаков, как правило, не должна превышать 1500 м.

3.6.1 При использовании в качестве реагента гранулированной твердой углекислоты $CO_2$ („сухого льда") облачные системы Ns—As пригодны для воздействия, если в них присутствуют слои капельного или смешанного (капли и ледяные частицы) строения с температурой во всем слое не выше минус 4 °С. При использовании для воздействий йодистого серебра температура должна быть не выше минус 7 °С. При этом облачные слои могут быть не сплошными (иметь разрывы горизонтальной протяженностью до 2 км).

3.6.2 Облачные слои St, Sc, As пригодны для воздействия твердой углекислотой, если они имеют капельное или смешанное строение с температурой во всем слое не выше минус 4 °С (не выше минус 7 °С для йодистого серебра), а вертикальная мощность и высота нижней границы слоев соответствуют следующим значениям:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Вертикальная мощность, км ..... | До 0,40 | 0,41—0,60 | 0,61—0,80 | Более 0,80 |
| Высота нижней границы, км ..... | До 0,50 | 0,51—1,00 | 1,01—1,50 | Более 1,50 |

3.7 Для достижения максимального увеличения осадков за период воздействий необходимо производить засев облачных систем, дающих естественные осадки, а также систем, не дающих естественных осадков, но имеющих вертикальную мощность слоев не менее 500 м. Решение о засеве остальных пригодных для воздействия облачных систем принимается исходя из сложившихся условий увлажнения района (низкие значения осеннего влагозапаса почвы, отсутствие снежного покрова и т. д.).

## 4 Материалы и технические средства для воздействий на облака

### 4.1 Льдообразующие реагенты

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

4.1.2 Основным реагентом для воздействия на слоистообразные облака до настоящего времени остается твердая углекислота, имеющая низкую собственную температуру (минус 79 °С), твердая углекислота действует как хладоагент. Ее сбрасывают с самолета в виде гранул, полностью испаряющихся за время своего падения в облаке. При попадании гранулы углекислоты в облачную среду вблизи нее за счет резкого 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 период своего испарения в слоистообразном облаке 1 г твердой углекислоты генерирует $10^{11}$ кристаллов, которые становятся зародышами частиц осадков. 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. Этим значением температуры ограничивается диапазон облаков, пригодных для воздействия твердой углекислотой.

4.1.3 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 (ядрах) 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 пиротехнической шашки пиропатрона ПВ-26 с 2-процентным содержанием йодистого серебра при температуре минус 10 °С образуется $5 \cdot 10^{13}$ ледяных частиц. Максимальная температура, при которой в облаке генерируются ледяные частицы в количестве, достаточном для заметного влияния на процесс осадкообразования (температурный порог активности для йодистого серебра), равна минус 7 °С. Остальные условия пригодности облаков для воздействия те же, что и при использовании твердой углекислоты.

4.1.4 Применение жидкого азота для засева облаков при АВ с целью ИУО также основывается на использовании его низкой

температуры (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 вдоль трассы полета самолета, на котором установлено устройство диспергирования (сброса). 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 работы по созданию метода объемного засева облаков на основе использования жидкого азота.

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

### 4.2 Технические средства

4.2.1 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 $CO_2$ с расходом от 0,1 до 10 кг/мин. Гранулы с размерами от 0,2 до 2,0 см получают непосредственно на борту самолета путем дробления загруженных перед полетом промышленных брикетов льда (например, с помощью автоматической дозирующей установки АДГ-1) либо 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 осуществля-

ется с помощью бункерных или шнековых устройств или специальных дозирующих установок (экспериментальная самолетная дозирующая установке (СДУ) для диспергирования гранул без разгерметизации самолета была, например, разработана для самолета-метеолаборатории ЦАО Ан-26 „Циклон").

При эпизодическом использовании для работ по АВ с целью ИУО арендованных самолетов без специального оборудования сброс гранул $CO_2$ производится через шахтное устройство вручную, с помощью мерной емкости, обеспечивающей возможность регулирования расхода углекислоты.

4.2.2 Для засева облаков аэрозолем йодистого серебра самолеты оборудуются автоматическими устройствами КДС-155 и АСО-2И, осуществляющими отстрел содержащих йодистое серебро пиропатронов ПВ-50 и ПВ-26 соответственно.

4.2.2.1 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 ручного и автоматического 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.

Масса отстреливаемой пиротехнической шашки с йодистым серебром составляет от 300 до 450 г в зависимости от состава пиротехнической смеси. При отстреле предусмотрена задержка начала горения пиросостава на 8 или 25 с, при котором выделяются искусственные ядра кристаллизации. Это позволяет осуществлять эффективный засев облаков с самолета, летящего на высоте 1200 м выше верхней границы облачности.

4.2.2.2 Автомат АСО-2И для отстрела пиропатронов ПВ-26 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. Масса

отстреливаемой пиротехнической шашки составляет при этом около 30 г. Время горения пиросостава равно приблизительно 60 с, а протяженность трассы горения составляет 1500 м.

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 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 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 (сосуды Дьюара) с азотом. Ниже представлены основные характеристики азотного генератора ГМЧЛ-А, экспериментальная партия которых была выпущена ЗАО „ЛИИ Спецавиатех Конвед 10" по заказу ЦАО:

| | |
|---|---|
| Габаритные размеры, мм | 860 × 600 × 1650 |
| Масса незаправленного генератора, кг | 83 |
| Масса заливаемого жидкого азота, кг | 96 |
| 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 ядер кристаллизации, ядер/г | $2 \cdot 10^{13}$ |

4.2.4 В настоящее время для АВ на облака применяются самолеты-метеолаборатории, создаваемые на базе серийных самолетов типа Ил-18, Ан-12, Ан-26, Ан-30, Ан-72, Як-40, которые оснащаются необходимыми средствами внесения реагентов в облака, приборами и оборудованием для измерения навигационных характеристик полета, основных термодинамических пара-

метров атмосферы, оптических и микрофизических характеристик облаков, радиолокационных и радиометрических параметров облачности. Основные летно-технические характеристики самолетов-метеолабораторий приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

| Характеристика | Значения характеристики для самолетов типа | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ил-18 | Ан-12 | Ан-26 | Ан-30 | Ан-72 | Як-40 |
| Взлетная масса, кг | 61 000 | 61 000 | 24 000 | 21 000 | 33 000 | 16 000 |
| Крейсерская скорость, км/ч | 617 | 590 | 430 | 430 | 550 | 510 |
| Практический потолок, м | 10 000 | 9 800 | 7 300 | 7 300 | 11 800 | 8 000 |
| Максимальная дальность полета при максимальном запасе топлива, км | 4 270 | 4 560 | 2 340 | 2 550 | 4 400 | 1 250 |
| Максимальная полезная нагрузка, кг | 13 500 | 20 000 | 4 100 | 5 500 | 10 000 | 3 200 |

4.2.4.1 К концу 1970-х годов совместными усилиями ЦАО, ряда других институтов Госкомгидромета, конструкторских бюро Министерства авиационной промышленности и ряда предприятий и заводов различных ведомств была создана серия самолетов-метеолабораторий серии „Циклон" на базе Ил-18, Ан-12, которые были оснащены необходимыми средствами введения реагентов в облака и комплексами измерительной аппаратуры. Самолет Ил-18 „Циклон" был оборудован комплексом приборов для измерения навигационных характеристик, основных термодинамических параметров атмосферы, микрофизических облачных характеристик, а также их радиолокационных и радиометрических параметров. Он предназначался для широкого круга исследований атмосферы и облаков. В то же время на его борту было установлено (в нижней части фюзеляжа) 3 комплекта устройств типа КДС-155 и 3 комплекта устройств типа

АСО-2И, предназначенных для отстрела 180 пиропатронов ПВ-50 и 192 пиропатронов ПВ-26 соответственно.

На каждом из самолетов Ан-12 „Циклон" было смонтировано по 7 установок КДС-155 (на 420 пиропатронов ПВ-50) и по 4 комплекта АСО-2И (на 256 пиропатронов ПВ-26). Кроме этого на самолетах Ан-12 были установлены устройства для дозированного сброса твердой углекислоты и контейнеры для ее хранения.

Продолжительность полета самолетов Ан-12 и Ил-18 составляла более 8 ч, в связи с чем эти самолеты могли выполнять засев как слоистообразных, так и конвективных облаков на больших территориях.

4.2.4.2 В начале 1980-х годов ЦАО в сотрудничестве с промышленными предприятиями разработала новую серию самолета-метеолаборатории на базе Ан-26. Самолет Ан-26 „Циклон-0" представляет собой летающую лабораторию, оснащенную информационно-вычислительным комплексом (ИВК) и техническими средствами для засева облаков кристаллизующими реагентами. К последним относятся, в частности, 2 установки СДУ для дозированного сброса в облака гранулированной твердой углекислоты емкостью по 700 кг реагента каждая (без разгерметизации самолета) и 6 комплектов устройства типа АСО-2И для отстрела 384 пиротехнических патронов типа ПВ-26. В последующем самолет Ан-26 „Циклон-0" был доработан путем установки на его борту дополнительно комплекта КДС-155 на 60 пиропатронов типа ПВ-50, что существенно повысило его оперативные возможности. Экономичность и возможность базирования в небольших аэропортах сделали этот самолет наиболее удобным в качестве носителя средств воздействий в опытных и оперативных работах по АВ с целью ИУО, особенно при засеве слоистообразных облаков и конвективных облаков с небольшой вертикальной мощностью.

4.2.4.3 В начале 1990-х годов для работ по АВ на облака с целью ИУО и улучшения погодных условий в крупных мегаполисах на базе серийного аэрофотосъемочного самолета Ан-30А был оборудован самолет-метеолаборатория серии „Метеозащита". На самолете установлены быстросъемные ИВК и технические средства для засева облаков.

В ходе полета ИВК позволяет регистрировать набор основных пилотажно-навигационных параметров полета и определять в реальном масштабе времени необходимые при проведении АВ термодинамические характеристики атмосферы и микрофизические параметры облачности.

В состав комплекса технических средств АВ на облака на борту самолета-метеолаборатории Ан-30М „Метеозащита" входят система отстрела пиропатронов с йодистым серебром ПВ-26 (АСО-2И), система диспергирования гранулированной твердой углекислоты и модифицированный самолетный генератор мелкодисперсных частиц льда на жидком азоте ГМЧЛ-СМ. Общая емкость системы отстрела пиропатронов на самолете составляет 384 ствола. Сброс гранул твердой углекислоты с расходом от 0,8 до 20 кг/мин осуществляется через шахтное устройство.

### 4.3 Информационно-измерительная система

4.3.1 При проведении АВ на облака метеорологические наблюдения и измерения параметров атмосферы осуществляются с целью определения пригодности облаков для засева, расчета схем и режимов засева и контроля эффектов воздействия. Получение метеорологической информации, необходимой для прогнозирования рабочих условий, принятия решения о возможности и целесообразности воздействия, выработки схемы воздействия или ее корректировки в процессе выполнения работ, оперативного контроля эффекта воздействия, а также количественной оценки его результатов, производится на основе данных информационно-измерительной системы (ИИС), которая включает в себя:

— бортовой самолетный ИВК для контроля, анализа и регистрации основных пилотажно-навигационных параметров полета и важнейших характеристик атмосферы и облачности;

— наземный радиолокационный комплекс на базе метеорологического радиолокатора с системой цифровой обработки радиолокационной информации;

— оперативную осадкомерную сеть и дождемерные кусты, предназначенные для калибровки радиолокатора;

— сеть метеорологических станций, расположенных на территории работ по АВ;

— коммуникационные средства для оперативной связи с самолетами, радиолокатором и другими подразделениями;

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

Общее руководство работами по АВ осуществляется из оперативного центра, который обычно размещается вблизи радиолокатора или места базирования самолетов.

4.3.2 Для повышения эффективности АВ на облака на борту самолета устанавливается ИВК, который позволяет измерять, рассчитывать и записывать информацию на магнитные носители, а также отображать на экране компьютера текущие значения основных метеорологических параметров атмосферы (температуры, давления и влажности воздуха, направления и скорости ветра, водности облаков, скорости вертикальных потоков и др.) и пилотажно-навигационные характеристики полета (высотно-скоростные данные, местоположение самолета).

4.3.2.1 В состав ИВК самолета-метеолаборатории Ан-30М „Метеозащита" входят система контроля пространственного положения и других навигационных параметров полета (путевая скорость, курсовой угол, угол сноса и т. д.) и ряд измерительных устройств для регистрации основных метеорологических характеристик атмосферы. К числу этих измерительных устройств относятся:

— датчик температуры П-104 (с платиновой нитью) в системе воздушных сигналов для измерения в интервале от минус 50 до 50 °С;

— самолетный конденсационный гигрометр (СКГ) для измерения точки росы (инея) атмосферного воздуха в диапазоне температур 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 г/м$^3$;

— бортовой сверхвысокочастотный радиометр РМ-08 („ТЭТА") для определения интегральной водности жидкокапельной облачной фракции при дистанционном зондировании облачности в плоскости, перпендикулярной направлению полета самолета под углом 30° к плоскости полета.

4.3.2.2 Информация с входящих в состав ИВК измерительных систем непрерывно поступает в персональный компьютер (ПК) и обрабатывается в реальном масштабе времени. При этом на экране компьютера непрерывно воспроизводится маршрут полета самолета, наложенный на карту местности. На линии маршрута фиксируются зоны проведения вертикального зондирования атмосферы и зоны воздействия на облака. Разработанное для ИВК программное обеспечение позволяет также в реальном времени считывать с экрана данные о температуре атмосферного воздуха и температуре его точки росы, направлении и скорости ветра на высоте полета, интенсивности обледенения самолета-метеолаборатории (расчетный параметр) и водности пересекаемых самолетом облачных зон.

4.3.2.3 Комплекс „ТЭТА" обеспечивает дистанционное измерение интегральной водности переохлажденной жидкокапельной фракции облачной влаги $W$ (кг/м$^2$) на основе измерения собственного радиотеплового излучения облаков с помощью модуляционного микроволнового радиометра, работающего на частоте 37,5 ГГц.

4.3.3 Для управления летными работами по АВ на облака и для контроля их результатов в составе ИИС используется автоматизированный наземный метеорологический радиолокатор типа МРЛ-5. Он имеет два раздельных приемопередающих канала в диапазоне длин волн 3,2 и 10 см. Система управления антенной позволяет производить автоматическое сканирование атмосферного пространства по азимуту и углу места через определенные интервалы времени. Методика наблюдений включает определение геометрических размеров радиоэхо облаков, их координат, изменений радиолокационных параметров, получение информации о характеристиках зон осадков и структуре облаков. При обработке этих данных с помощью ЭВМ производится определение интенсивности и размеров зон отражаемости в разных горизонтальных и вертикальных плоскостях.

4.3.3.1 Для выполнения этих задач в ЦАО на базе МРЛ-5 разработан автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации (АКСОПРИ). К настоящему времени в Московском регионе создана радиолокационная метеорологическая сеть из 4 таких комплексов, рас-

положенных в Москве (Крылатское), Калуге, Твери и Нижнем Новгороде. Данные этой сети используются при проведении работ по АВ в Московском регионе.

4.3.3.2 В состав АКСОПРИ входят:

— метеорологический радиолокатор МРЛ-5;

— аппаратура предварительной обработки сигнала и сопряжения с ЭВМ (АПОС);

— электронно-вычислительная машина IBM PC/AT;

— модем КН 1200.

4.3.3.3 Основные технические характеристики АКСОПРИ следующие:

| | |
|---|---|
| Рабочая частота, МГц; | |
| I канал | 9595 +15 |
| II канал | 2950 +15 |
| Длительность зондирующего импульса, мкс | 1 (2) |
| Ширина диаграммы направленности антенны, ...° | |
| I канал | 0,5 |
| II канал | 1,5 |
| Чувствительность приемника, дБ/Вт | |
| I канал | минус 134 |
| II канал | минус 136 |
| Угломестный обзор, ... | от 0 до 90 |
| Скорость обзора по азимуту, об/с | 1/13 |
| Радиус рабочей зоны обзора, км | 200 |
| Число каналов дальности | 250 |
| Размер информационной ячейки карты, км | 2 × 2 и 4 × 4 |
| Период обновления информации | 10 мин |

4.3.3.4 Надежную количественную информацию о характеристиках облачности, осадков и связанных с ними опасных явлениях АКСОПРИ позволяет получать в радиусе 200 км. Это означает, что сеть радиолокационных станций Московского региона, расстояние между которыми не превышает этого значения, без пропусков детально освещает параметры полей облачности и осадков на большой территории к северо-западу, западу и юго-западу от Москвы, т. е. именно в том секторе, откуда идет основной перенос ветром этих полей на Москву. Это обстоятельство делает радиолокационную информацию сети АКСОПРИ особенно

ценной при проведении работ по АВ в целях метеорологической защиты Москвы.

4.3.3.5 В процессе работы АКСОПРИ осуществляет автоматические наблюдения и отображает на экране ПК оперативные данные о метеорологической обстановке в виде совокупности легко читаемых карт с периодом обновления в 10 мин:

— карта интенсивности осадков;

— карта суммы осадков от начала метеорологических полусуток до текущего момента времени;

— карта высот верхней границы облачности;

— карта явлений погоды (облачность без осадков; осадки различной степени интенсивности — осадки, ливень, сильный ливень; мощные кучево-дождевые облака; грозы различной вероятности; град; шквал);

— карты горизонтальных сечений радиолокационной отражаемости облачности на разных высотах (стандартный набор этих высот — 700, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 и 9000 м).

Каждая карта сопровождается указанием вектора переноса облачных систем. На любую из карт можно наложить вспомогательную картографическую информацию: географическую карту местности, положение метеорологических станций, схемы воздушных коридоров и авиатрасс, различные условные обозначения, контуры явлений по заданному порогу интенсивности или опасности и любую другую информацию.

4.3.3.6 С помощью курсора, перемещаемого на экране монитора, можно быстро считывать координаты любой ячейки карты и всю имеющуюся информацию для этой ячейки, осуществлять вертикальные сечения облачности по любому представляющему интерес направлению. Оперативно отслеживая изменения вектора перемещения облачных систем, можно прогнозировать перемещение зон опасных явлений и интенсивных осадков.

4.3.3.7 Разработано программное обеспечение, которое позволяет объединять в единое поле информацию нескольких АКСОПРИ в центре сбора информации. Работа комплекса АКСОПРИ полностью автоматизирована и осуществляется под управлением ПК.

4.3.4 В комплексе информационных средств при проведении работ по АВ с целью ИУО важную роль играет система оператив-

ного получения прогностической и диагностической информации о синоптической ситуации в районе работ, включая спутниковые снимки полей облачности и осадков. При достаточной частоте обновления эта информация позволяет детально прослеживать развитие и перемещение облаков и осадков, заблаговременно планировать воздействие на них и корректировать задания выполняющим воздействия самолетам.

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

## 5 Планирование и организация работ по искусственному увеличению осадков

5.1 Для организации и управления работами по АВ создается оперативный центр управления. Центр размещается в месте, где обеспечен доступ ко всем видам информации, необходимой для успешного выполнению работ по засеву облаков.

5.2 Прогноз условий, благоприятных для воздействия на облака, составляется дежурным синоптиком оперативного центра. Он включает в себя:

— прогноз синоптического положения (перемещения и эволюции барических образований, фронтов, облачных систем);

— прогноз облаков, пригодных для воздействия.

5.2.1 Прогноз синоптического положения составляется по аэросиноптическим материалам (картам, спутниковым данным), а также по данным радиозондирования и бортовой метеорологической информации. На основании прогноза синоптического положения составляется прогноз облаков, пригодных для воздействия, и параметров облаков и атмосферы, необходимых для засева. При этом прогнозируются:

— форма и количество облачности нижнего и среднего ярусов;

— выпадение осадков и наличие тумана;

— температура у земли и на уровнях 925, 850, 700, 500 гПа;

— для облачных систем Ns—As — верхняя граница облаков;

— для облаков St, Sc, As — высоты верхней и нижней границ облаков;

— продолжительность существования в районе работ благоприятных для засева значений параметров облаков и атмосферы.

5.2.2 При составлении прогноза облаков, пригодных для воздействия, используется следующая терминология:

— для облачных систем Ns—As — „условия пригодны для воздействия", „условия ограниченно пригодны для воздействия", „условия для воздействия отсутствуют";

— для облаков St, Sc, As — „условия пригодны для воздействия", „условия для воздействия отсутствуют".

5.2.2.1 Облачные системы Ns—As считаются пригодными для воздействия при совокупном обязательном выполнении следующих условий:

— наличие 10-*бальной облачности*;

— наличие осадков;

— минимальная температура воздуха в облаках минус 4 °С и ниже.

Факторами, ограничивающими пригодность систем Ns—As для воздействия, с .итаются:

— меняющиеся формы облачности (Ns—As, переходящие в St, Sc, As);

— прекращение выпадения осадков.

5.2.2.2 Облака St, Sc, As считаются пригодными для воздействия при совокупном выполнении следующих условий:

— наличие 10-балльной облачности или тумана;

— высота нижней границы облаков менее 1,0 км;

— вертикальная мощность облаков более 0,5 км;

— минимальная температура воздуха в облаках минус 4 °С и ниже.

5.2.3 Прогноз составляется на 36 ч с делением на 12-часовые интервалы, начиная с 12 ч дня текущих суток. Наличие в прогнозе условий пригодности облаков для воздействия служит основанием для организации вылетов самолетов для выполнения работ по АВ по заявкам текущего дня и для подачи заявок на следующий день. Количество и сроки вылетов определяются ожидаемой продолжительностью пребывания над районом работ облаков, пригодных для воздействия. Учитываются также сани-

тарные нормы налета часов и продолжительности рабочего дня экипажей, а также летно-технические данные самолетов.

5.3 С учетом затрат времени на перелет к району работ и возвращение на базу, а также необходимого резерва горючего, продолжительность непрерывного воздействия на облака самолетами Ан-26, Ан-30 не может быть более 4 ч, а самолетом Ан-12 — не более 6 ч. Если прогнозируемая продолжительность сохранения условий, благоприятных для проведения воздействий, превышает указанные значения, вылеты необходимо планировать так, чтобы смена самолетов над районом работ проходила с минимальным пропуском благоприятных условий.

5.4 Решение на вылет принимается дежурным руководителем работ оперативного центра на основании прогноза благоприятных для воздействия условий, анализа текущей синоптической ситуации и сведений о фактической погоде в районе работ. При этом в первую очередь учитывается наличие или отсутствие облаков, пригодных для воздействия.

## 6 Порядок проведения работ по искусственному увеличению осадков

### 6.1 Самолетное зондирование облаков

6.1.1 После взлета в аэропорту базирования самолет следует в район работ, где производит вертикальное зондирование атмосферы от минимально допустимой по технике безопасности высоты до верхней границы облачной системы. При снижении и наборе высоты определяются уровни расположения и вертикальная мощность облачных слоев, производятся измерения температуры, водности облаков, наблюдения за обледенением самолета и фазовым строением облаков. Набор высоты прекращается после достижения уровня на 200—300 м выше верхней границы самого высокого облачного слоя капельного или смешанного строения, если выше облака отсутствуют или расположены лишь кристаллические облака. Если такие наблюдения невозможны, то набор высоты прекращается после достижения уровня с температурой минус 20 °С.

6.1.2 В процессе зондирования регистрируются наличие или отсутствие облаков типов Ns, St, Sc, As или облачных систем Ns—As, факт выпадения или отсутствия осадков. Определяется также соответствие обнаруженных облачных слоев критериям пригодности для воздействия, на основе чего принимается решение о засеве. В хорошо развитой облачной системе Ns—As может быть обнаружено несколько слоев, пригодных для воздействия. Если слои одинаковы по вертикальной мощности, то при близком их расположении (по вертикали) для засева выбирается самый верхний из них. Если слои неравноценны по вертикальной мощности, то для засева выбирается самый мощный.

6.1.3 Когда в процессе зондирования пригодные для воздействия облачные слои не обнаружены, запрашиваются сведения о наличии в поле обзора метеорологических радиолокаторов областей выпадения осадков. Если таковые имеются в секторе, расположенном против преобладающего направления ветра, самолет следует в этом направлении и здесь производит снижение с целью оценки пригодности облаков для воздействия. Если такие облака не обнаруживаются, самолет следует на базу или на ближайший аэродром для посадки.

6.1.4 При обнаружении пригодных облаков принимается решение о проведении воздействия и рассчитывается схема засева.

### 6.2 Параметры засева

6.2.1 Целью засева является введение в пригодный облачный слой реагента для образования в нем ледяных частиц. Схема засева облаков, т. е. оптимальная траектория полета самолета выбирается исходя из того, что пригодные для засева облачные слои, как правило, являются сплошными и покрывают значительную территорию, они перемещаются в пространстве в соответствии со скоростью и направлением ветра на уровне их расположения. При засеве осуществляется сброс реагента с самолета вдоль определенной на основе этих положений линии (трассы) полета: непрерывный сброс при засеве твердой углекислотой или

жидким азотом и точечный сброс при засеве пиропатронами с йодистым серебром.

6.2.2 Под влиянием турбулентной диффузии и вертикального сдвига ветра в облачном слое реагент и образующиеся под его воздействием ледяные частицы распространяются в слое на расстояние в несколько километров по горизонтали и во всей толще переохлажденной части слоя по вертикали. Равномерного или близкого к нему распределения частиц по облачному слою можно достичь засевом вдоль линий, расположенных на таком расстоянии друг от друга, чтобы зоны распространения ледяных частиц от каждой из них со временем сомкнулись между собой.

6.2.3 Чтобы обеспечить равномерный засев облаков и выпадение осадков на опытной территории (которую часто называют также мишенью), реагент вводится при последовательных пролетах самолета туда и обратно вдоль линии воздействия, фиксированной относительно земли и расположенной перпендикулярно направлению ветра на уровне засева. При этом линия воздействия выбирается на таком удалении от мишени, чтобы за время роста и падения частиц искусственных осадков до земли ветер переносил их до площади мишени. Конфигурация линии воздействия в поле облачности в общем случае имеет вид пилообразной ломаной линии с закругленными углами, поскольку засев производится и во время разворотов самолета на обратный курс в конечных точках линии воздействия.

6.2.4 Параметрами засева являются: дозировка реагента, положение линии воздействия (линий засева облачности), расстояние между линиями засева. Расстояние между линиями засева определяется шириной зоны кристаллизации облака от единичной линии, которая, в свою очередь, зависит от расхода реагента, мощности засеваемого облачного слоя и вертикального сдвига ветра в нем. Кроме того, расстояние между линиями воздействия при заданной длине линии и скорости полета зависит от скорости ветра.

6.2.5 Совокупность рассчитанных значений параметров засева называется схемой засева, которая определяет оптимальную траекторию движения самолета при проведении засева облаков.

### 6.3 Дозировка реагента

6.3.1 При засеве облачных систем Ns—As твердой углекислотой дозировка реагента составляет от 0,3 до 2,0 кг/км в зависимости от мощности засеваемого слоя. В частности, при мощности слоя более 0,5 км рекомендуемая дозировка 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 с 2-процентным содержанием йодистого серебра интервал между отстрелами единичных пиропатронов выбирается в зависимости от средней температуры засеваемого облачного слоя:

| Температура, °С..... | –8 | –9 | –10 | –11 | –12 | –13 | –14 | –15 и ниже |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Рекомендуемый интервал, км..... | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |

6.3.2 При воздействии на слоистообразные облака типов St, Sc, As гранулированной твердой углекислотой дозировка реагента определяется в зависимости от вертикальной мощности засеваемого облачного слоя:

| Вертикальная мощность, км .... | До 0,30 | 0,31—0,40 | 0, 41—0,50 | 0,51—0,60 | Более 0,60 |
|---|---|---|---|---|---|
| Дозировка, кг/км..... | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 1,0 |

При воздействии на эти типы облаков пиропатронами ПВ-26 с 2-процентным содержанием йодистого серебра интервал между точками отстрела единичных патронов выбирается так же, как и для облаков системы Ns—As (по 6.3.1).

### 6.4 Расчет положения линии воздействия

6.4.1 Для расчета положения линии воздействия необходимы данные о высоте расположения засеваемого слоя, направлении и скорости ветра на уровне его верхней границы, средних значе-

ниях направления и скорости ветра в засеваемом слое и в слое атмосферы от середины засеваемого слоя до поверхности земли.

6.4.2 Высота расположения засеваемого слоя определяется при самолетном зондировании облаков. Сведения о распределении ветра по высоте поступают предварительно с пунктов радиозондирования и уточняются также по результатам самолетного зондирования атмосферы. Упомянутые выше осредненные значения характеристик ветра определяются путем векторного усреднения.

6.4.3 После определения ветра на требуемых уровнях расчет положения линии воздействия производится следующим образом:

— на карте района от центра площади мишени навстречу направлению ветра, определенному в слое атмосферы от середины засеваемого облачного слоя до поверхности земли, откладывается отрезок $S_1$, рекомендуемые значения которого приведены в таблице 2 в зависимости от скорости ветра и высоты середины слоя;

**Таблица 2**

| Высота середины засеваемого слоя, км | Время падения искусственных осадков, мин | Значение $S_1$ (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 | 5 | 8 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 2,5 | 22 | 5 | 8 | 11 | 13 | 15 | 18 | 21 | 24 | 26 |
| 3,0 | 26 | 6 | 9 | 12 | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 | 32 |
| 3,5 | 31 | 7 | 11 | 17 | 19 | 22 | 26 | 30 | 33 | 37 |
| 4,0 | 35 | 8 | 13 | 17 | 21 | 25 | 29 | 34 | 38 | 42 |
| 4,5 | 40 | 10 | 14 | 19 | 24 | 29 | 34 | 38 | 43 | 48 |
| 5,0 | 44 | 11 | 16 | 21 | 26 | 32 | 37 | 42 | 48 | 54 |

— от конечной точки отрезка $S_1$ навстречу направлению ветра в засеваемом слое облаков откладывается отрезок $S_2$. Конец этого отрезка является центром линии воздействия. Рекомендуемые значения $S_2$ в зависимости от скорости ветра в слое приведены ниже. Они выбираются в указанном интервале пропорционально значению скорости ветра в пределах соответствующего интервала:

| Скорость ветра, м/с ... | 0—2 | 5—6 | 9—10 | 13—14 | 17—18 | 21—22 | 25—26 | 29—30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Отрезок $S_2$, км ..... | До 2,0 | 4,0—7,0 | 10—13 | 15—18 | 20—23 | 25—28 | 30—33 | 34—37 |

— через конечную точку отрезка $S_2$ перпендикулярно направлению ветра на уровне верхней границы облаков (на уровне полета при засеве) проводится линия воздействия.

6.4.4 Кроме положения линии воздействия рассчитывается также угол ветрового сноса, т. е. угол, на который курс полета самолета должен отличаться от азимутального направления линии воздействия, для того чтобы самолет продолжал оставаться на этой линии несмотря на его снос ветром. Тангенс угла сноса определяется отношением $V_в/V_с$, где $V_в$ — скорость ветра на уровне полета, $V_с$ — воздушная скорость полета самолета.

## 6.5 Выбор расстояния между линиями воздействия и длины линии воздействия

### *6.5.1 Засев облачных систем Ns—As*

6.5.1.1 Рекомендуемые значения расстояния между линиями воздействия при засеве твердой углекислотой облачных систем Ns—As приведены в таблице 3. При воздействии на такие системы пиропатронами ПВ-26 с рекомендованными интервалами между точками отстрела пиропатронов соответствующие расстояния между линиями воздействия также определяются по таблице 3.

6.5.1.2 В таблице 4 представлены значения радиуса разворота самолета $R$ и времени разворота самолета $t_R$ в конечных точках

**Таблица 3**

| Вертикальная мощность засеваемого слоя, км | Дозировка твердой углекислоты, кг/км | Расстояние между линиями воздействия, км |
|---|---|---|
| До 0,5 | 0,3 | 3 |
| Более 0,5 | 0,5—2,0 | 4—5 |

**Таблица 4**

| Крен, ...° | Скорость $V_c$, 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 |

линии воздействия при его различных скоростях, которые обеспечивают заданное расстояние между линиями при воздействиях на слоистообразные облачные системы типа Ns—As.

Поскольку радиус разворота самолета $R$ равняется половине расстояния между линиями воздействия, для проведения засева с заданным расстоянием между линиями при существующей скорости полета самолета $V_с$ с помощью таблицы 4 выбирается необходимое значение крена. При полете вдоль расчетной линии воздействия экипаж должен выдерживать такой курс полета, чтобы самолет не сносило ветром с этой линии. При этом засев производится как на линии воздействия, так и на разворотах.

6.5.1.3 Длина линии засева $L$ определяется соотношением

$$L = (l - V_в t_R) V_с / V_в, \qquad (1)$$

где $l$ — расстояние между линиями воздействия, м;

$V_в$ — скорость ветра на уровне полета;

$t_R$ — продолжительность разворота самолета на обратный курс (таблица 4), с;

$V_с$ — скорость полета самолета.

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

6.5.1.4 При работе по АВ на облака с целью ИУО двумя или большим количеством самолетов параметры засева для каждого самолета (кроме положения линии воздействия) определяются значениями и соотношениями, приведенными выше для случая одного самолета.

### *6.5.2 Засев облаков типа St, Sc, As*

6.5.2.1 При засеве облаков типа St, Sc и As расстояние между линиями воздействия определяется в зависимости от температуры засеваемого слоя:

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

6.5.2.2 Длина линии воздействия при засеве слоистообразных облаков типа St, Sc, As выбирается из тех же соображений, что и при засеве облачных систем типа Ns—As (по 6.5.1.3).

### 6.6 Особенности схемы засева при разной скорости ветра

6.6.1 Самолет может производить засев вдоль фиксированной относительно земли линии воздействия, если выполняется условие:

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

6.6.2 При незначительных отклонениях скорости ветра $V_в$ от значения, определяемого условием (2), можно избежать сноса самолета с линии воздействия, изменяя в допустимых пределах скорость самолета $V_с$. Если же скорость ветра оказывается меньше требуемого условием (2) значения на 10—20 км/ч, то в таких случаях линия воздействия выбирается на 30—50 км ближе к мишени, чем того требует расчет. При этом самолет по мере выполнения засева облачного поля будет постепенно удаляться от мишени. После того как самолет приблизится к расчетному положению линии воздействия, нужно снова вернуться ближе к мишени и повторить засев, немного сместив линию воздействия в наветренную сторону.

6.6.3 В случае, если скорость ветра, наоборот, на 10—20 км/ч больше значения, требуемого условием (2), засев следует начинать на расчетной линии воздействия. Затем, после того как за счет повышенной скорости ветра самолет будет снесен на 30—50 км в сторону мишени, он должен вернуться на расчетную линию воздействия. При большей скорости ветра выполняется аналогичный маневр, но при этом длина линии воздействия сокращается. Однако более эффективным в таких случаях следует

считать привлечение дополнительных самолетов для засева или использование более скоростного самолета.

6.6.4 В условиях штиля или близких к нему (при скорости ветра до 5 км/ч) засев облачности осуществляется в пределах площади мишени. Он начинается на подветренной стороне на расстоянии 20—30 км от центра мишени. Длина линии воздействия выбирается равной диаметру мишени или близкой к нему. В процессе засева самолет при разворотах смещается против ветра и выходит на наветренную границу мишени. После этого самолет снова уходит на 20—30 км в подветренную сторону от центра мишени, повторяет засев по линиям, постепенно сдвигающимся в наветренную сторону.

Если при условиях, близких к штилевым, определение направления ветра оказывается затруднительным, линия воздействия ориентируется относительно центра мишени произвольно. Направление ветра определяется по смещению полос усиленных осадков по данным радиолокационных наблюдений. После определения направления ветра при необходимости осуществляется корректировка схемы засева.

6.6.5 Засев облаков с вертикальной мощностью менее 500 м, не дающих естественных осадков, в штилевых условиях нецелесообразен ввиду их незначительного водозапаса и отсутствия натекания облаков на мишень.

### 6.7 Корректировка схемы засева

6.7.1 Ввиду значительной изменчивости ветра при наличии облаков, пригодных для воздействия, необходимо иметь сведения о ветре (по крайней мере, на уровне засева) через каждый 1 ч работы, рассчитывать с такой же частотой схему засева и при необходимости корректировать ее.

6.7.2 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.

### 6.8 Схема засева при наличии нескольких облачных слоев, пригодных для воздействия

При наличии нескольких пригодных для воздействия слоев облачности, у которых разность высот их верхней границы не превышает 500 м, для засева выбирается самый верхний слой. Если же разность высот больше 500 м, то 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.

### 6.9 Схема засева несколькими самолетами

6.9.1 В ряде ситуаций использование одного самолета может не обеспечивать рекомендуемых значений параметров засева. В этих случаях работу по воздействию необходимо вести одновременно двумя или большим количеством самолетов. Значения параметров засева при работе двумя самолетами должны быть такими же, как и для одного самолета. При этом каждый самолет должен занять отдельный участок линии воздействия, так чтобы эти участки соединялись в центре линии воздействия.

Естественно, что при этом схема засева подлежит определенной коррекции в соответствии с существующими правилами и инструкциями по безопасному производству полетов. Так, возможна работа самолетов на различных эшелонах по высоте, смещение линии воздействия одного самолета относительно линии воздействия второго против или по направлению ветра и т. д.

6.9.2 Возможные схемы 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.

### 6.10 Порядок засева облаков

6.10.1 При работе одним самолетом после расчета параметров схемы засева и расхода реагентов самолет выходит на один из концов линии воздействия и начинает засев. Вдоль линии воз-

действия самолет движется галсами с разворотами против ветра. Полет осуществляется на уровне верхней границы засеваемого облачного слоя или на 50—100 м ниже нее. При этом необходимо постоянно контролировать точность выхода на линию воздействия и точность выполнения схемы засева.

6.10.2 Засев облачности временно прерывается во время выхода на новую линию воздействия после очередной корректировки схемы засева.

6.10.3 Засев прекращается в следующих случаях:

— исчезновение на линии воздействия облаков, пригодных для засева;

— исчерпание реагента;

— окончание летного (рабочего) времени экипажа, ресурса горючего;

— приказа о прекращении работ от органов управления воздушным движением;

— необходимость следовать на запасной аэродром;

— непредвиденные обстоятельства, не позволяющие продолжать засев.

6.10.4 При исчезновении на линии воздействия облаков, пригодных для засева, по согласованию с оперативным центром может быть произведена рекогносцировка облачного поля. По истечении времени работы самолета руководитель работ вызывает с базы на смену очередной самолет и после его прилета сообщает ему необходимые сведения о режиме засева и расчетной линии воздействия. Решение об одновременном использовании нескольких самолетов принимает руководитель работ по АВ.

### 6.11 Количество участников полета и их обязанности

В полете по воздействию на облака кроме летного экипажа участвуют 4 человека: руководитель полета, бортнаблюдатель, два бортоператора.

6.11.1 Обязанности руководителя полета заключаются в следующем:

— участие в принятии решения на вылет, выдача необходимых указаний летному экипажу, осуществление предполетного инструктажа бортнаблюдателя и бортоператоров;

— по прибытии самолета к месту работы — оценка пригодности наблюдаемых облаков для воздействия и принятие решения о проведении засева;

— расчет схемы засева;

— осуществление радиосвязи с наземным центром управления, метеорологическими радиолокаторами и другими самолетами, выполняющими засев облаков;

— контроль за выполнением бортнаблюдателем и бортоператорами правил техники безопасности при выполнении работ на борту самолета.

6.11.2 К обязанностям бортнаблюдателя относятся:

— предполетная подготовка бортовой измерительно-регистрирующей аппаратуры самолета-метеолаборатории;

— визуальные наблюдения за облаками и погодными явлениями с борта самолета и ведение бортжурнала с результатами наблюдений;

— обеспечение в полете работы ИВК самолета.

6.11.3 Обязанности бортоператора заключаются в следующем:

— предполетная подготовка реагентов и средств воздействия на облака;

— обеспечение в полете работоспособности технических средств воздействия и засева облаков по командам руководителя полета.

6.11.4 Другие обязанности и порядок работы участников полета определяются соответствующими должностными инструкциями и инструкциями на рабочих местах.

# 7 Оценка эффективности воздействий

## 7.1 Оценка изменений количества осадков в результате воздействий

7.1.1 Изменения количества осадков в результате воздействия определяются путем сравнения среднего слоя осадков в расчетной области выпадения искусственных осадков и на окружающей территории за период воздействия. Мерой эффекта воздействия является изменение среднего слоя осадков на площади

мишени $\Delta H$. При этом следует иметь в виду, что для облаков, не дающих естественных осадков:

$$\Delta H = H$$

и для облаков, дающих естественные осадки:

$$\Delta H = H - H_0,$$

где $H$ — средний слой осадков, выпавший на расчетной площади выпадения искусственных осадков за полусутки (сутки), в течение которых производился засев облаков, мм;

$H_0$ — средний слой осадков, выпавший за тот же период на окружающей территории, мм.

7.1.2 Категория засеваемых облаков (дающие естественные осадки или не дающие их), определяемая с борта самолета перед расчетом схемы засева, уточняется затем при оценке эффекта воздействия. Если на окружающей территории за рассматриваемые полусутки (сутки) имеются посты с измеренным ненулевым слоем осадков, то облака относятся к дающим естественные осадки; в противном случае облака считаются не дающими естественных осадков.

7.1.3 Расчетная область выпадения искусственных осадков определяется на карте территории работ по АВ согласно рисунку 1. Ширина области определяется длиной линии воздействия $MN$. Ближняя к линии воздействия $MN$ граница расчетной области $AB$ определяется перемещением линии $MN$ вдоль векторов $\vec{F}_1$ (соответствует периоду кристаллизации и роста кристаллов до начала их выпадения из облака) и $\vec{F}_2$ (соответствует периоду падения частиц осадков от облака до земли). Направления векторов совпадают со средними направлениями ветра в засеваемом облачном слое $V_1$ и в слое атмосферы от нижней границы облака до земли $V_2$, а их скалярные значения определяются соотношениями:

$$F_1 = V_1 t_1, \quad F_2 = V_2 t_2, \tag{3}$$

где $t_1$ — время роста частиц осадков до размера, при котором начинается их падение (принимается равным 900 с), с;

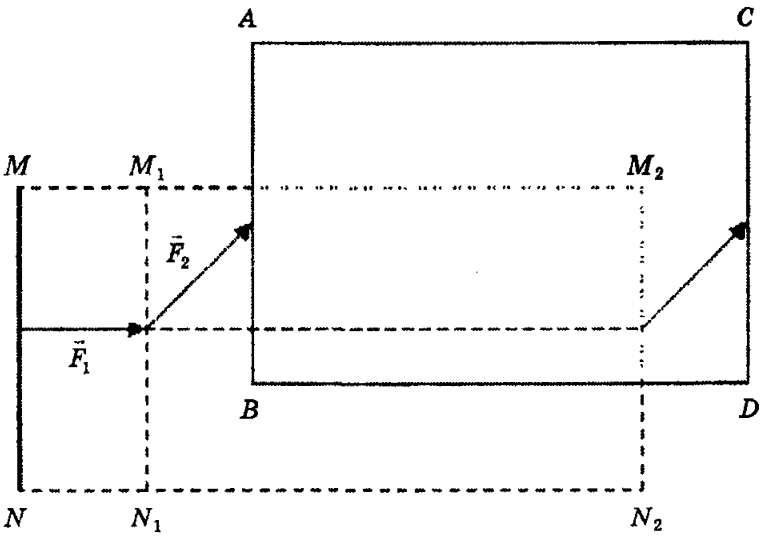
$t_2$ — время падения частиц осадков с высоты засева $h$ до поверхности земли, равное $h/V_п$ ($V_п$ — скорость падения частиц осадков, принимаемая равной 2 м/с), с;

$V_1$ — средняя скорость ветра в засеянном облачном слое, м/с;

$V_2$ — средняя скорость ветра в слое от поверхности земли до уровня $h$, м/с;

$h$ — высота середины слоя переохлажденной части облачности.

Положение дальней границы области выпадения искусственных осадков $CD$ определяется перемещением по карте ближней границы вдоль вектора $F_1$ на величину $F_1 t_3$ , где $t_3$ — продолжительность выпадения искусственных осадков (принимается равной 2 ч для облаков, дающих естественные осадки, и 40 мин для облаков, не дающих естественных осадков). Полученная таким




$MN$ — линия воздействия облаков; $M_1N_1$ — положение засеянной полосы облачности в момент начала падения частиц осадков под действием силы тяжести; $M_2N_2$ — положение засеянной полосы облачности в момент окончания выпадения из облака частиц искусственных осадков; $AB$ — передняя граница площади выпадения на землю искусственных осадков; $CD$ — дальняя граница площади выпадения искусственных осадков; $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ — вектора перемещения линии засева

Рисунок 1 — Схема определения расчетной области выпадения искусственных осадков

образом фигура *ABDC* соответствует расчетной области выпадения искусственных осадков. При наличии на экране радиолокатора полос отражения от искусственных осадков производится уточнение по радиолокационным изображениям, полученным при минимальном рабочем угле места.

7.1.4 Для учета возможного расширения площади выпадения осадков за счет сдвига ветра в приземном слое тропосферы к полученному контуру области выпадения искусственных осадков на площади мишени по 7.1.3 справа и слева по направлению вектора $F_1$ добавляются полосы шириной по 5 км.

Если в течение засева положение линии воздействия изменялось, то для каждого положения линии воздействия описанным способом строится область выпадения искусственных осадков. Полученные области наносятся на одну карту и окончательное положение области выпадения искусственных осадков определяется оконтуриванием всех этих областей.

7.1.5 В качестве контрольных территорий (КТ) на окружающей площади выбираются две области — $КТ_2$ и $КТ_3$ (рисунок 2), равновеликие и одинаковые по форме с расчетной областью выпадения искусственных осадков, расположенные на удалении

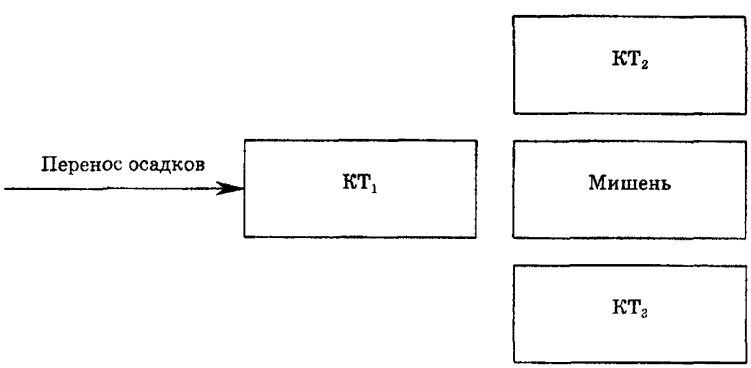



Рисунок 2 — Схема выделения контрольных территорий для расчетной области выпадения искусственных осадков при указанном направлении переноса осадков

5 км от боковых границ последней. Если область выпадения искусственных осадков построена наложением нескольких площадей, то в качестве КТ выбираются три области вокруг площади мишени. Эти области представляют собой четырехугольники, ориентированные вдоль вектора $\vec{F}_1$, среднего за весь период засева, и имеющие длину сторон, равную максимальной протяженности области выпадения искусственных осадков в этом направлении.

Если ширина области выпадения искусственных осадков меньше размера полной опытной территории (мишени), допускается попадание в площади КТ незасеянных участков мишени.

7.1.6 Слои осадков на площади мишени и КТ вычисляются как среднее арифметическое из данных наблюдений станций и постов внутри каждой из территорий. К полученным рядам данных применяются стандартные процедуры оценки разности слоев осадков методами исторического ряда или отношения.

### 7.2 Оценка экономической эффективности работ

Оценка экономической эффективности работ по ИУО, основанная на учете повышения урожайности сельскохозяйственных культур, производится в соответствии с методикой оценки эффективности ИУО применительно к сельскохозяйственному производству, которая разрабатывается для конкретных условий района работ и утверждается заказчиком.

## 8 Меры безопасности при проведении работ

8.1 Требования по технике безопасности (ТБ) при АВ на облака с целью ИУО включают в себя:

— требования по ТБ при работе на радиолокационных станциях;

— требования по ТБ при воздействиях на облака пиротехническими изделиями;

— требования по ТБ при воздействиях на облака с самолетов;

— требования по ТБ при работе со средствами связи с самолетом.

8.2 При работе на радиолокационных станциях необходимо руководствоваться их эксплуатационной документацией, подготовленной заводом-изготовителем, и другими действующими нормативными документами.

8.3 При воздействии на облака с помощью пиротехнических изделий и установок для их отстрела необходимо строго соблюдать правила ТБ, перечисленные в эксплуатационной документации на пиротехнические изделия и на технические средства отстрела.

8.4 При воздействии на облака с борта самолета-метеолаборатории ТБ заключается в строгом соблюдении бортнаблюдателями и бортоператорами существующих требований по ТБ полетов.

8.5 Требования по безопасности работ излагаются в утвержденных руководством оперативного подразделения инструкциях по ТБ на рабочих местах. Обучение и проверка знаний правил ТБ при выполнении работ организуются в соответствии с распорядительными документами оперативного подразделения.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

## Библиография

1 Азаров А. С. Определение водозапасов зимних облаков радиолокационно-радиометрическим методом / А. С. Азаров, Н. Ф. Буранбаев, А. В. Колдаев, А. А. Черников // Метеорология и гидрология. — 1988. — № 7. — С. 25—38.

2 Предварительные результаты работ по искусственному увеличению зимних осадков / Г. П. Берюлев, Ю. А. Серегин, Б. Г. Данелян, А. А. Черников // Метеорология и гидрология. — 1987. — № 3. — С. 6—16.

3 Методические указания по организации и проведению работ по искусственному увеличению осадков на Украине. — М.: Гидрометеоиздат, 1986. — 32 с.

# Лист регистрации изменений РД 52.11.646—2003

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

Руководящий документ

**РД 52.11.646—2003**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

# Проведение работ по искусственному увеличению осадков из слоистообразных облаков

Редактор *А. К. Орлова*.
Технический редактор *Н. Ф. Грачева*.
Корректор *И. А. Крайнева*.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 11.08.03. Формат 60 × $84^1/_{16}$. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 2,75. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,68. Тираж 240 экз. Индекс 238/03.

Гидрометеоиздат. 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38.

gost.e-ecolog.ru