РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Руководство
по искусственному вызыванию осадков
для охраны лесов от пожаров

Дата введения -

1 Область применения

Настоящий руководящий документ устанавливает общие принципы организации и проведения работ по искусственному вызыванию осадков (ИВО) для охраны лесов от пожаров.

Настоящий руководящий документ предназначен для баз авиационной охраны лесов; органов управления лесным хозяйством, которым передана авиационная охрана лесов; специализированных организаций по активному воздействию (АВ) на гидрометеорологические и другие геофизические процессы; научно-исследовательских учреждений (НИУ) и организаций Росгидромета и других органов исполнительной власти, проводящих экспериментальные и опытно-производственные работы по ИВО из облаков в целях совершенствования технологии работ, реагентов, средств активного воздействия (САВ), обучения научного и технического персонала.

2 Нормативные ссылки

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 17.6.1.01-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения

ГОСТ Р 22.0.03-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения

ГОСТ Р 22.1.09-99. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров

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

РД 52.11.637-2002. Методические указания. Проведение работ по искусственному увеличению атмосферных осадков самолетными методами

РД 52.11.639-2002. Методические указания. Методика оценки эффективности льдообразующих реагентов и пиротехнических составов в лабораторных условиях.

РД 52.37.67-98. Методические указания. Методы оценки эффективности воздействия на грозовые процессы

РД 52.37.615-2000. Инструкция. Порядок обеспечения безопасности работ по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы

РД 52.04.628-2001. Инструкция. Порядок проведения работ по искусственному вызыванию осадков из конвективных облаков при борьбе с лесными пожарами с борта легкомоторных воздушных судов

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем руководящем документе используют следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

3.1 активные воздействия: Преднамеренное изменение естественного хода гидрометеорологического процесса в желаемом направлении путем физического, химического, механического и иного искусственного воздействия на атмосферные явления.

3.2 быстродействие реагента: Доля искусственных аэрозольных частиц от всей совокупности аэрозоля, введенного в облако, которая образует капли (ледяные кристаллы) за определенное время.

3.3 верховой пожар: По ГОСТ 17.6.1.01.

3.4 влагонесущий слой: Слой атмосферы, в котором наблюдается максимальное содержание воды во всех трех агрегатных состояниях, т.е. в виде водяного пара, капель и кристаллов.

3.5 водозапас: Содержание жидкой воды в виде капель и кристаллов льда в вертикальном столбе единичного сечения (квадратный метр) от основания до вершины облака

3.6 гигроскопические реагенты: Гигроскопические вещества (хлористый натрий, хлористый калий и др.), используемые для засева облаков с целью интенсификации конденсационных процессов в атмосфере.

3.7 динамическая неустойчивость: Состояние движущейся атмосферы, при котором амплитуды волновых возмущений, возникающих в основном потоке, возрастают с течением времени.

3.8 засев облаков: Введение в облака (облачные системы) льдообразующих, гигроскопических или иных реагентов с целью изменения их фазового состояния, микроструктуры, динамики воздушных потоков и других характеристик.

3.9 жидкокапельная водность облака: Содержание жидкой воды в виде капель в вертикальном столбе единичного сечения (квадратный метр) от основания до вершины облака.

3.10 зона формирования осадков; ЗФО: Объем облачной среды с максимальными значениями вертикальных токов, водности и радиолокационной отражаемости.

3.11 искусственно вызываемые осадки: Осадки, выпадающие из облаков в результате технологических мероприятий (АВ), имеющих целью превратить облака из коллоидально-устойчивых в коллоидально-неустойчивые или усилить конвективную неустойчивость и увеличить интенсивность осадков.

3.12 лесной пожар: По ГОСТ 17.6.1.01.

3.13 коллоидная неустойчивость облака: Состояние облака, при котором часть составляющих облако капель воды или кристаллов льда укрупняется и выпадает из облака в виде осадков.

3.14 конвективная неустойчивость: Состояние атмосферы, при котором подъем или опускание отдельных слоев приводит к убыванию устойчивости или возрастанию неустойчивости их стратификации.

3.15 конвективные облака: Облака, связанные с атмосферной конвекцией. Это плоские кучевые облака и разорвано-кучевые, мощные кучевые и кучево-дождевые (ливневые и грозовые).

3.16 крупномасштабные облачные поля: Облачные поля, связанные с упорядоченными вертикальными движениями на фронтах, в тропических циклонах или при орографическом подъеме воздуха.

3.17 мезомасштабные облачные поля: Облачные поля, связанные с вертикальными движениями порядка 10^5м.

3.18 льдообразующие реагенты:** Вещества, образующие при засеве облаков ледяные кристаллы по гомогенному механизму (углекислота и др.) или гетерофазные ледяные зародыши (йодистое серебро и др.).

3.19 мишень: Засеваемый реагентами участок облака.

3.20 мощность облака – Разность высот между верхней и нижней границами облака.

3.21 низовой пожар: По ГОСТ 17.6.1.01.

3.22 норма расхода реагента: Количество реагента, которое диспергируется (распыляется) за единицу времени или на единицу длины полета воздушного судна.

3.23 облака: Система взвешенных в атмосфере над поверхностью земли продуктов конденсации (сублимации) водяного пара.

3.24 облака, пригодные для АВ: Облака, находящиеся в стадии развития или квазистационарном состоянии, из которых по метеорологическим критериям возможно искусственное вызывание осадков.

3.25 осадки: Вода в жидком или твердом виде, выпадающая из облаков (дождь, снег, град и др.) или осаждающаяся из воздуха (роса, иней, изморозь) на поверхности земли и на предметах за определенный период времени.

3.26 осадкообразование: Физический процесс укрупнения капель (кристаллов) в облаках в результате фазовых переходов воды в атмосфере и коагуляции до размеров, при которых они начинают выпадать из облаков в виде осадков.

3.27 полигон: Территория проведения работ по АВ на гидрометеорологические процессы.

3.28 пожарная опасность лесного фонда: По ГОСТ Р 22.1.09-99.

3.29 реагент: Вещество (смесь веществ), используемое для засева облаков.

3.30 смешанные ядра: Ядра, содержащие растворимые и нерастворимые компоненты, приводящие к конденсации водяного пара при положительных температурах воздуха и кристаллизации при отрицательных.

3.31 температурный порог активности реагента: Максимальная температура, при которой в переохлажденной части облака (тумана) при введении льдообразующего реагента образуются ледяные кристаллы (ОСТ 52.11.25-86).

3.32 технология засева: Совокупность мероприятий по засеву облаков реагентами, приводящих к искусственному вызыванию (предотвращению выпадения) или изменению интенсивности осадков.

3.33 торфяной лесной пожар: ПО ГОСТ 17.6.1.01.

3.34 торфяной пожар: По ГОСТ Р 22.0.03.

3.35 фазовая неустойчивость облака: Метастабильное состояние облака, при котором капли воды находятся в незамерзшем состоянии при отрицательных температурах.

3.36 эффективность осадкообразования в облаке: Отношение количества выпавших из облака осадков к массе воды в облаке.

АВ – активные воздействия

ГМЧЛ - генератор мелкодисперсных ледяных частиц

ЗФО - зона формирования осадков

ИВО – искусственное вызывание осадков

ИВК - измерительно-вычислительный комплекс

ИСЗ - искусственный спутник Земли

КПО - класс пожарной опасности

МИСЗ - метеорологический искусственный спутник Земли

МРЛ - метеорологический радиолокатор

НИУ - Научно-исследовательское учреждение

ОПО - оперативно – производственная организация

ПВП - правила визуального полета

ПДС – производственно-диспетчерская служба

ПК - персональный компьютер

ПС - пиротехнический состав

РДП – руководящий диспетчерский пункт

САВ - средства активного воздействия

САГ-П - самолетный аэрозольный генератор пиротехнический

СМЛ - самолет-метеолаборатория

СОВ – средняя относительная влажность

ЦАО – Центральная аэрологическая обсерватория

ЦБ - центральная база

ЭКУ - экспериментальное кассетное устройство

4 Общие положения

4.1 ИВО для тушения лесных пожаров широко применяется в практике работы лесопожарных служб, особенно для борьбы с крупными пожарами. ИВО – технология искусственного вызывания осадков из облаков, относящаяся к области АВ на гидрометеорологические процессы.

Работы по ИВО выполнятся с использованием любого воздушного судна по лицензии, выданной Росгидрометом.

4.2 Основные понятия о возникновении пожаров, показатели пожарной опасности приведены в приложении А.

4.3 Для обоснования способов тушения лесных пожаров используют знания физических основ и гипотез АВ по искусственному вызыванию осадков, которые приведены в приложениях Б и В соответственно.

4.4 Однако, несмотря на освоенность метода АВ для ИВО, его применение связано с некоторыми ограничениями. Прежде всего, следует отметить, что полеты в непосредственной близости от конвективных облаков представляют большую сложность и требуют от экипажа воздушных судов предельной осторожности. Кроме того, экономически нецелесообразно и практически невозможно держать постоянно в воздухе воздушное судно над районом крупного лесного пожара в ожидании подходящей метеорологической обстановки.

4.5 Задачами в совершенствовании способов ИВО при тушении лесных пожаров являются:

- разработка методики анализа и прогнозирования ресурсной облачности над зоной действующих лесных пожаров;

- разработка способа воздействия, при котором, используя благоприятную метеорологическую ситуацию в районе пожаров, можно было бы вызывать количество осадков, приводящее к снижению класса пожарной опасности лесов или к локализации, а в отдельных случаях и к полной ликвидации лесного пожара.

Исследовательские данные для совершенствования способов тушения лесных пожаров приведены в приложении Г.

5 Техника безопасности работ по АВ

5.1 Общие указания

5.1.1 В работах по ИВО при охране лесов от пожаров используются средства АВ (САВ) различного назначения, утвержденные руководителем Росгидромета. Безопасность их применения достигается твердым знанием этих устройств, строгим выполнением правил безопасности хранения и эксплуатации

5.1.2 По вопросам обеспечения безопасности эксплуатации САВ, отнесенных к АВ на гидрометеорологические процессы и явления, кроме настоящего руководящего документа необходимо также руководствоваться инструкцией [1], а также требованиями, изложенными в документах по их применению [2, 3, 4, 5, 6].

5.1.3 Право на применение реагентов для АВ на облака при охране лесов от пожаров представляет начальник Центральной базы авиационной охраны лесов ЦБ «Авиалесоохрана» (далее – ЦБ «Авиалесоохрана») с изданием приказа и возложением персональной ответственности за строгое соблюдение правил безопасности на начальников авиабаз в соответствии с утвержденными документами [1].

5.1.4 Контроль за соблюдением порядка учета, хранения, транспортировки и применения средств активного воздействия осуществляется сотрудниками ЦБ «Авиалесоохрана».

5.1.5 К проведению работ по АВ допускаются лица, прошедшие подготовку по специальной программе, сдавшие зачет по знанию мер безопасности и получившие допуск к самостоятельной работе. Программа подготовки составляется и утверждается ЦБ «Авиалесоохрана». Допуск к работам по АВ на гидрометеорологические процессы и явления оформляется приказом по авиабазе, о чём соответствующая запись делается в свидетельстве лётчика-наблюдателя.

5.1.6 Запрещается применение новых технических САВ без изучения обслуживающим персоналом их устройства и инструкции по эксплуатации.

5.2 Порядок транспортирования САВ

5.2.1 Транспортировка САВ (реагентов) для ИВО, принадлежащих авиационной охране лесов осуществляется воздушным или автомобильным ведомственным транспортом.

5.2.2 Перевозки воздушным, железнодорожным, водным и автомобильным вневедомственным транспортом осуществляются в соответствии с инструкциями [2, 6] и другими документами, действующими на соответствующем виде транспорта.

5.2.3 В соответствии с пунктом 9.11 «Инструкции о порядке хранения, транспортирования, использования и учета взрывчатых материалов" [7] перевозка взрывчатых веществ может проводиться в установленном порядке без разрешения органов внутренних дел по транспортным документам.

5.2.4 Транспортировка партий САВ воздушным транспортом осуществляется по инструкции [1]. Груз перевозится только в грузовых или багажных отсеках в жесткой запираемой и опломбированной упаковке. Груз следует в сопровождении не менее 2 человек.

5.3 Порядок хранения САВ

5.3.1 Основанием на право хранения и использования САВ является лицензия Росгидромета на проведение АВ на гидрометеорологические процессы и явления.

5.3.2 Учет, хранение и передача САВ, в составе которых не содержатся взрывчатые материалы, а также реагентов, осуществляется в порядке, установленном для учета, хранения и приема-передачи материальных ценностей общего назначения.

5.3.3 Хранение САВ, содержащих взрывчатые материалы, должно осуществляться в охраняемых постоянных складских помещениях и временных складах, отвечающих установленным требованиям инструкции [3].

5.3.4 Хранение САВ должно исключать их утрату и порчу.

5.3.5 Постоянные склады предназначаются для длительного хранения САВ. Временные (краткосрочные) склады создаются на период (сезон) проведения работ по АВ для хранения требуемого по технологии количества САВ и охраняются персоналом группы воздействия (экипажем воздушного судна). Разрешается краткосрочное хранение САВ на борту воздушного судна в металлических или деревянных, обшитых железом, ящиках.

5.3.6 По окончании пожароопасного сезона оставшиеся на пунктах воздействия САВ вывозятся на постоянный склад.

6 Техническое обеспечение проведения работ по АВ для ИВО

6.1 Основные требования к оборудованию воздушных судов

6.1.1 Для выполнения авиационных работ по ИВО может быть использовано любое воздушное судно (самолет, вертолет и др.), обладающее летно-техническими характеристиками, обеспечивающими возможности реализации требований нормативных документов по технологии таких работ, и имеющее необходимое бортовое оборудование

для измерения параметров облаков и атмосферы, навигационных характеристик полета, а также САВ (реагенты и средства доставки реагентов в облака).

6.1.2 Измерение, обработка данных, документирование и отображение информации об основных метеорологических величинах должно осуществляться с помощью измерительно-вычислительного комплекса (ИВК).

ИВК должен обеспечивать:

а) автоматический ввод и регистрацию:

- текущего времени;
- географических координат положения воздушного судна;
- маршрута, курса, высоты и скорости (путевой скорости) полета;
- карты местности;
- азимута и удаления от точки привязки;
- площадок засева (мишени);
- температуры окружающего воздуха;
- температуры точки росы (относительной влажности);
- оптической плотности облаков;
- жидкокапельной водности облака;
- направления и скорости ветра;

б) ручной ввод данных:

- о виде воздействия;
- служебных отметок;

в) измерение параметров с точностью*, приведенной в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Измеряемые параметры	Диапазон измерений	Погрешность измерений
Температура, ^{o}C	От – 50 до + 50	± 1,0
Температура точки росы, ^{o}C	От - 50 до + 50	± 1,0
Скорость ветра, км/ч	От 0 до 300	± 5
Направление ветра, градус	От 0 до 360	± 10
Барометрическая высота, м	От 0 до 10000	± 50
Жидкокапельная водность, г/м^3	От 0 до 4	± 0,1

* В настоящее время технические возможности измерения параметров атмосферы соответствуют точности, приведенной в разделе 7.

6.1.3 Состав бортового оборудования САВ должен включать:

а) контейнеры-термосы для хранения углекислоты;

б) лотки для дробления углекислоты;

в) оборудование для сброса углекислоты;

г) устройство для сброса упаковок с грубодисперсным реагентом;

д) самолетный генератор мелкодисперсных ледяных частиц (далее - генератор ГМЧЛ-А) с комплектом емкостей для хранения жидкого азота;

е) систему отстрела пиропатронов типа КДС-155, или АСО-2И с запасом пиропатронов ПВ-50 или ПВ-26.

Примечания

1 Места установки оборудования должны быть согласованы с авиапредприятием.

2 Конкретный состав оборудования и бортовой запас реагентов определяется в зависимости от применяемой технологии и типа ВС.

3 Оборудование, указанное в перечислениях а) – д) для легкомоторных воздушных судов не используется [44].

6.2 Наземный технический комплекс для проведения работ

Для сбора метеорологической информации, необходимой для выполнения полетов, принятия решения о возможности и целесообразности АВ, выработки команды на воздействие и ее корректировки в процессе воздействия, оценки результативности воздействия, в районе работ желательно иметь необходимые технические средства, а при проведении научно-исследовательских работ по АВ на гидрометеорологические процессы, должны располагать:

- радиолокационной станцией типа МРЛ-5 с автоматизированной системой обработки наблюдений;

- осадкомерной сетью не реже 1 осадкомера на 100 км^2;

- техническими средствами связи с самолетом и метеорологическим радиолокатором (МРЛ);

- аппаратурой для приема синоптических карт и спутниковой информации (электронные средства связи);

- средствами оргтехники, необходимыми для отображения и документирования информации и решений на воздействие, включая магнитофонную звукозаписывающую аппаратуру;

- комплексом программ и технических средств, позволяющими руководителю воздействия оперативно получать на дисплее информацию о метеорологических условиях в удобном для принятия решения об АВ виде и иметь возможность диалогового общения с персональным компьютером (ПК) для выработки оптимального решения в оперативной работе.

6.3 Технические средства контроля параметров атмосферы, облаков и осадков

6.3.1 Для эффективного проведения работ по АВ с помощью самолетов-метеолабораторий (СМЛ) на борту самолетов необходимо иметь измерительно-вычислительные средства, представляющие в реальном времени информацию о пилотажно-навигационных параметрах полета, об основных метеорологических параметрах облаков и осадков. На СМЛ, оборудованных для исследований и опытно-производственных работ по АВ на гидрометеорологические процессы, применяются ИВК, обеспечивающие получение информации, необходимой для оценки условий проведения засева облаков.

6.3.2 Измерительно-вычислительный комплекс, устанавливаемый на СМЛ, может включать в себя пилотажно-навигационную систему, предназначенную для определения координат местонахождения самолета с помощью спутниковой навигационной системы и контроля навигационных параметров самолета (высота, путевая скорость, угол сноса и т.д.), а также систему измерительных устройств для регистрации основных метеорологических характеристик атмосферы. К числу этих измерительных устройств могут относиться:

- датчик температуры П-104 (с платиновой нитью) в системе воздушных сигналов с интервалом температурных измерений от минус 50 ^{o}C до +50 ^{o}C;

- конденсационный гигрометр СКГ для измерения точки росы (инея) атмосферного воздуха в диапазоне температур от +30 ^{o}C до минус 60 ^{o}C;

- измеритель водности облаков, позволяющий проводить непрерывные измерения жидкокапельной водности в пределах от 0,01 до 3 г/м^{3};

- бортовой СВЧ-радиометр «ТЭТА» (РМ-08), предназначенный для определения интегрального (т.е. суммарного) содержания жидкокапельной облачной фракции при дистанционном зондировании облачности в направлении, перпендикулярном направлению полета самолета под углом 30^{o} к плоскости полета.

6.3.3 Информация с входящих в состав ИВК измерительных систем непрерывно поступает в ПК и обрабатывается им в реальном масштабе времени. При этом на экране монитора непрерывно воспроизводится информация о местоположении самолета в географических, полярных и ортодромических системах координат, а также наглядно воспроизводится маршрут самолета, наложенный на карту местности. На линии маршрута фиксируются зоны проведения вертикально-горизонтального зондирования атмосферы и зоны выполнения АВ на облака. Разработанное для ИВК программное обеспечение позволяет в реальном масштабе времени считывать с экрана монитора данные о температуре, точке росы, давлении атмосферного воздуха, направлении и скорости ветра на уровне полета, интенсивности обледенения самолета (расчетный параметр), водности пересекаемых самолетом облачных зон и интегральной жидкокапельной водности облаков выше уровня полета.

Перечисленные данные позволяют выполнять засев как одним, так и несколькими самолетами одновременно. В целом использование ИВК позволяет повысить результативность воздействий, проводимых как в дневное, так и в ночное время.

6.3.4 Большое значение для повышения эффективности АВ на облачные системы имеет информация МРЛ, существенно расширяющая возможности оперативного получения детальных данных о характеристиках полей облаков и осадков на площади работ.

В процессе работы осуществляются автоматические наблюдения по программе конического сканирования пространства и отображение на мониторе ПК оперативных данных о метеорологической обстановке на площади с радиусом 200 км в виде совокупности легкочитаемых карт с периодом обновления в 10 мин:

- карты интенсивности осадков;

- карты суммы осадков от начала метеорологических полусуток до текущего момента времени;

- карты высот верхней границы облачности;

- карты явлений погоды: осадков различной интенсивности (дождя, ливня, сильного ливня), мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, гроз, града, шквалов;

- карты горизонтальных сечений радиолокационной отражаемости облачности на разных высотах (обычно – 700, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 и 9000 м).

6.3.5 Каждая карта сопровождается указанием структуры облачных систем. На любую из перечисленных карт можно наложить вспомогательную картографическую информацию (географическую карту местности, местонахождение метеостанций,

аэронавигационные схемы воздушных коридоров и авиатрасс, различные условные обозначения, контуры явлений с заданными порогами интенсивности).

С помощью курсора, перемещаемого на экране монитора, можно быстро считывать координаты любой ячейки карты и информацию для этой ячейки по всем имеющимся картам, 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.

6.3.6 Автоматизированный комплекс (АКСОПРИ, МЕРКОМ и др.) обеспечивает 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).

Дополнительно с помощью автоматизированный комплекса можно осуществлять также и контроль за местоположением самолетов – носителей средств воздействий и осуществлять их точное наведение на объекты воздействий.

Примечание - Разработано программное обеспечение, которое позволяет при необходимости объединять в единое поле информацию нескольких МРЛ в центре сбора информации и представлять ее на сайте для пользователей сети «Интернет».

7 Выбор способов измерений и оценивания параметров атмосферы и облачности для физического обоснования методов АВ

7.1 Общие положения

7.1.1 Изучение физических свойств облачной атмосферы дает необходимые исходные данные для разработки методов и средств АВ, усовершенствования существующих технологий АВ, эффективного проведения работ по ИВО на лесные территории. Водо- и влагосодержание, осадки, грозы, микрофизические параметры облаков (эффективный радиус частиц и др.) могут быть восстановлены из спутниковых и наземных радиолокационных данных с использованием алгоритмов, которые моделируют взаимосвязь между измеряемыми переменными и фактическими свойствами облаков.

7.1.2 Прямые измерения – одномерные (вдоль траектории полета самолета, как правило, метеорологической лаборатории [8]) важны для принятия решений по АВ, но не дают 4-мерную картину распределения метеорологических величин в пространстве. Они могут быть дополнены данными радиозондирования. Вертикальные профили (давление, температура, влажность, ветер) при аэрологическом зондировании (радиозонд) дают сведения о структуре облачной атмосферы, но они получаются с интервалом большим, чем временной масштаб облачных процессов. Тем не менее прямые измерения необходимы для понимания развития облачных процессов при АВ.

7.1.3 При отсутствии прямых измерений необходимую информацию получают дистанционным зондированием. Однако при дистанционном зондировании не измеряются непосредственно свойства облаков. Радиометры на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) измеряют излучение облаков, радиолокационная станция – отраженный сигнал. Для преобразования этих параметров в свойства облаков требуются алгоритмы, которые моделируют оптические характеристики облачных частиц и молекул воды для восстановления свойств облаков. Эти алгоритмы получают теоретически, разрабатывая численные модели, и проверяют впоследствии по экспериментальным данным.

7.2 Прямые измерения

7.2.1 Для целей АВ на облачные процессы необходимы следующие атмосферные и облачные переменные: температура, влажность, структура воздушных движений в атмосфере и облаках, облачные ядра конденсации и кристаллизации, спектры облачных капель и частиц осадков, эволюция облачных частиц.

7.2.2 Внедрение GPS - систем позволило повысить точность измерения скорости ветра до 1 м/с.

7.2.3 Внутриоблачные измерения температуры все еще неадекватны и нуждаются в новых методиках, особенно при больших влагозапасах облака и при $t^o < 0\ ^oC$. Некоторые радиометрические методы многообещающи, но пока недоступны на регулярной основе. Существенный прогресс имеет место в измерении температуры в жидкокапельных облаках.

7.2.4 Аппаратура для измерения водяного пара имеет большие погрешности. Пересыщение по отношению вода/лед прямо не измеряется, измерения влажности > 98 % имеют точность ±5 %, очень низкие влажности также измеряются с низкой точностью. Появилась новые разработки - перестраиваемые диодные лазеры (TDL) с длинами волн в полосах поглощения водяного пара. Существующие экспериментальные проекты NASA и

др. продемонстрировали способности этих инструментов осуществить быстрые, очень чувствительные и очень точные измерения водяного пара в облаках.

7.2.5 Ядра конденсации могут быть измерены также с хорошей точностью, но проблема – в отсутствии таких датчиков на самолетах.

7.2.6 С ледяными ядрами проблема еще сложнее, чем с ядрами конденсации. Измерения ледяных ядер осложняются тем, что они образуются в результате действия нескольких механизмов, которые сейчас не различаются измерительными устройствами. Измерения ледяных ядер важны для численного моделирования АВ льдообразующими реагентами.

7.2.7 Измерения спектра гидрометеоров дают распределение размеров облачных частиц и осадков. Появились новые спектрометры, которые дают хорошие данные в критическом диапазоне размеров 50-200 мкм.

7.2.8 Измерения водозапаса облаков с помощью датчиков с нагретой проволокой достаточны верны, когда основная масса капель с размером < ~ 30 мкм, но недооценивают водозапас, когда эта масса смещается к большим размерам. Датчик Невзорова дает не только общий водозапас, но и разделяет частицы вода/лед.

7.3 Дистанционные измерения

7.3.1 Пассивные датчики (радиометры) дают информацию о высоте и оптической плотности облаков, их некоторых микрофизических характеристиках: фазовое состояние, размер облачных частиц, водосодержание облаков и количество осадков. Высота верхней границы облаков может быть восстановлена по измерениям их температуры, если они являются оптически плотными (> 0,05) и имеются профили температуры ($t^o(H)$), полученные от радиозондирования. Мощность облаков со смешанной фазой и с большой горизонтальной неоднородностью (кучевые облака хорошей погоды) определяется с меньшей определенностью. Наибольшие отклонения в концентрации облачных капель наблюдаются на стадии роста облака, а концентрация ядер конденсации дистанционно вообще не измеряется.

7.3.2 Лидарные измерения эффективны для оптической толщины облака менее 3. Проблемы возникают, когда облако становится мощнее, и переотражения нарушают результат. Доплеровские лидарные измерения дают очень полезную информацию о вертикальных скоростях на границах облака.

7.3.3 Радиолокационная станция с радиометром может повысить точность оценок водозапаса и водности в облаках. Многоволновая радиометрия дает возможность оценить водность и эффективный радиус капель, улучшить оценку оптической толщины и аэрозоля в приземном слое. Химический состав (pH) облаков и их водозапас могут быть также получены из радиометрических данных при выборе соответствующих спектральных диапазонов. Возможности получения информации о количестве ледяных кристаллов облаков и ядер кристаллизации ограничены. Профили водяного пара в плохо освещенных районах могут быть получены с приемлемой точностью с использованием GPS-систем, а влажность лесных покровов методами СВЧ- радиометрии [9].

7.4 Оценка направления и скорости ветра по структуре облачных полей

7.4.1 Направление и скорость воздушного потока на различных уровнях оцениваются по структурным особенностям крупномасштабных и мезомасштабных облачных полей: крупномасштабным полосам облачности и облачным спиралям в циклонах, облачным грядам, конвективным ячейкам, волнистым облакам, а также по выносу перистой облачности из фронтальных и кучево-дождевых облаков [10].

7.4.2 Достаточно развитые облачные полосы, связанные с активными фронтами, могут служить хорошим индикатором ветра в средней тропосфере. На этом уровне направление ветра параллельно облачным полосам или находится под небольшим углом к ним.

7.4.3 Оценка направления и скорости ветра на различных уровнях атмосферы может производиться по облачным системам, связанным с конвективными процессами. В таблице 7.1 приведены средние данные о направлении и скорости ветра для различных облачных структур мезомасштаба.

Таблица 7.1 Средние данные о направлении $\Delta\varphi$, градус, и скорости ветра V, м/с, для различных облачных структур мезомасштаба на разных изобарических поверхностях

Наименование облачной структуры	$V_{земля}$	V_{850}	V_{700}	V_{500}	$\Delta\varphi_{земля}$	$\Delta\varphi_{850}$	$\Delta\varphi_{700}$	$\Delta\varphi_{500}$
Гряды конвективной облачности (суша)	6,8	10,7	12,8	20,2	-1,7	-1,6	-6,0	-1,9
Волнистые облака	-	-	-	-	-	90	90	90

Отрицательный знак обозначает, что вектор ветра отклоняется вправо от облачной гряды. При правильной шестиугольной форме закрытых и открытых конвективных ячеек у поверхности земли наблюдается слабый ветер. Сильный ветер до 20 м/с наблюдается в открытых ячейках нерегулярной формы, причем направление ветра в этих случаях определить нельзя. Если конвективные ячейки имеют форму полумесяца в виде цепочки, то вектор ветра в этих случаях следует направить внутрь полумесяца, а скорость ветра взять из таблицы как среднюю для гряд.

Гряды облачности образуются при быстром перемещении масс холодного воздуха над теплой подстилающей поверхностью и ориентируются по направлению ветра в облачном слое.

7.5 Качественные оценки относительной влажности

7.5.1 Поле относительной влажности очень изменчиво по площади и тесно связано с полем облачности. Поэтому данные об облачности, полученные с метеорологического ИСЗ (МИСЗ), могут быть полезными при анализе этой величины. Разработаны критерии для оценки средней относительной влажности (СОВ) в слое от поверхности земли до уровня 500 гПа по телевизионным изображениям облачности [10]. Основными критериями для оценки СОВ выбраны: количество облаков, их тип, вертикальная мощность. Вертикальная мощность облаков оценивается по яркости.

7.5.2 СОВ 80 % и более соответствует для:

- многослойной облачности в виде полос, достигающих уровня перистой облачности. Это фронтальная облачность, где во всем облачном слое высокая относительная влажность, а в центре полосы она может достигать 90 %;

- фронтальных полос, в которых развиваются кучево-дождевые облака; если в полосе появляются разрывы, то СОВ снижается до 70 %;

- кучево-дождевой облачности.

7.5.3 СОВ от 60 % до 80 % отмечается:

- в облаках среднего яруса при наличии перистых и кучевых облаков (без кучево-дождевой облачности);

- вблизи облачного вихря к северу от оси струйного течения, в полосах облаков нижнего и среднего ярусов;

- в сплошной облачности в виде запятой в холодном воздухе с повышенным развитием конвективной облачности.

7.5.4 СОВ от 40 до 60 % наблюдается:

- в районах со значительной или переменной облачностью с отдельными кучево-дождевыми и мощными кучевыми облаками;

- в кучевых, мощных кучевых и кучево-дождевых облаках, в холодном воздухе над теплой водой (район открытых конвективных ячеек за холодным фронтом).

В кучево-дождевой облачности СОВ можно принять равной 60 %; в закрытых конвективных ячейках – 40-50 %.

7.5.5 СОВ 40 % и менее отмечается:

- при безоблачном небе;

- при перистых облаках (в этих случаях влажность увеличивается от поверхности земли к уровню 500 гПа);

- в слоистой и слоисто-кучевой облачности (в этих случаях более влажной является нижняя атмосфера).

7.6 Наблюдение местных признаков погоды

7.6.1 Если прогноз погоды не может быть получен из оперативно-производственной организации (ОПО) Росгидромета, то используют наблюдения местных признаков погоды. Даже в тех случаях, когда прогноз получен из ОПО, целесообразно уточнить его по местным признакам погоды, особенно в таежной зоне РФ.

Известно, что ОПО составляет прогноз для области или района в целом и не выделяет прогноз для отдельных пунктов, кроме крупных городов. Возможно, что в нескольких населенных пунктах пройдет ожидаемый дождь, а в большинстве из них его не будет. То же самое можно сказать и относительно гроз и других явлений. Такие расхождения прогнозов с действительностью происходят потому, что сеть метеостанций редка и ОПО Росгидромета не могут учесть пятнистость осадков и другие детали множества разнообразных местных особенностей.

7.6.2 Воздушные массы, фронты, циклоны и антициклоны охватывают большие площади, распространяются на многие километры в высоту и перемещаются от одного географического района к другому. Поэтому их первые признаки могут быть обнаружены задолго до прихода их в пункт наблюдений.

Примеры [11]:

1 Перистые когтевидные и перисто-слоистые облака, располагающиеся на высоте 7-8 км, являются передним краем всей системы облаков теплого фронта. Наблюдатель видит их за 200-300 км от пункта наблюдения. Осадки же наблюдаются за передним краем облаков на расстоянии 700-800 км от него. Известно, что фронт в среднем проходит 40-50 км/ч. Значит, осадки, связанные с прохождением фронта, могут выпасть в пункте наблюдений в среднем через сутки (от 12 до 36 ч).

2 Передним краем системы облаков холодного фронта являются перисто-кучевые облака (мелкая рябь), располагающиеся на высоте 5-6 км от поверхности земли, а чечевицеобразные – на высоте 4-5 км. Наблюдатель может заметить их тоже примерно за 200 км от своего пункта. Зона осадков находится в 100-200 км за передним краем облаков. Следовательно, выпадение осадков в пункте наблюдений следует ожидать через 6-8 ч.

7.6.3 На погоду оказывают влияния местные условия: рельеф, распределение водоемов, характер и распределение растительности, а также степень прогретости подстилающей поверхности, над которой проходят воздушные массы и фронты. Эти условия могут усилить или ослабить основные факторы формирования погоды и возникновение дождя.

Чем резче выражены общие процессы погоды, тем слабее сказывается влияние местных условий.

7.6.4 Таким образом, местными признаками погоды можно считать те явления в природе, по которым заблаговременно можно обнаружить процессы, вызывающие ту или иную погоду. Такими признаками служат появление облаков, изменение направления и скорости ветра как у поверхности земли, так и на высотах, цвет неба, характер изменения давления, температуры и влажности воздуха и др.

7.6.5 К местным признакам погоды нужно также отнести колебания температуры воздуха ото дня к ночи, разницу ее на возвышенностях и в низинах, на открытых местах и среди растительности, появление росы или инея, степень ночного охлаждения почвы под различным покровом.

7.6.6 Признаки появления и прохождения циклонов и антициклонов следующие.

7.6.6.1 Передняя часть циклона обычно связана с теплым фронтом, поэтому и признаки его приближения такие же, какие наблюдаются при приближении теплого фронта. Тыловая часть циклона очень часто связана с прохождением холодного фронта и нередко не одного. Следовательно, признаки ее аналогичны признакам холодного фронта. При приближении циклона важно всегда знать, какой частью – левой или правой – он пройдет над пунктом наблюдения. От этого тоже зависит характер изменения погоды.

Циклоны чаще всего перемещаются с запада на восток, но бывают случаи, когда

они идут в других направлениях. О таких циклонах нужно дополнительно заметить следующее. Циклоны, проходящие с севера на юг, сопровождаются в тыловой части более значительными, чем обычно, похолоданиями. Южные циклоны, наоборот, приносят потепление и обильное количество осадков.

Для того чтобы решить вопрос, с какой стороны горизонта подходит циклон, существует хорошее правило. Надо стать спиной к ветру, вытянуть левую руку вдоль плеча и отвести ее на 30^{o} вперед. Рука укажет направление, в котором находится циклон, а следовательно, и то направление, откуда он может подойти, если признаки указывают на его приближение.

7.6.6.2 Признаком приближения циклона служит появление нитеобразных перистых облаков с загнутыми концами, резкое падение давления воздуха. Если циклон подходит с запада, то вечером наблюдаются красные зори, если же с востока, то красные зори наблюдаются не вечером, а в утренние часы.

7.6.6.3 При приближении циклона температура воздуха по сравнению с предыдущими днями резко повышается к вечеру, количество влаги в воздухе резко увеличивается, о чем свидетельствуют не расходящиеся к вечеру облака. Если циклон приближается к месту наблюдения своим центром, то ветер не меняет своего направления и через 12-20 ч после появления перистых облаков наступает дождь. В передней части циклона наблюдается более теплая погода. С приближением тыловой части циклона ветер меняет направление на противоположное, давление воздуха начинает расти и наступает прохладная погода с просветами в облаках, иногда с кратковременными дождями летом и снегом зимой.

7.6.6.4 Если ветер при подходе циклона к месту наблюдения меняет свое направление по часовой стрелке, например с южного на юго-западное, это значит, что циклон проходит над местом наблюдения своей правой частью. В таком случае надо ждать погоды, связанной с прохождением сначала теплого фронта, а затем в тыловой части циклона, холодного фронта. Если же направление ветра меняется против часовой стрелки, например с южного на восточное, значит циклон проходит над местом наблюдения своей левой частью. Это обусловит прохладную погоду с меняющейся облачностью и проходящими осадками. Скорость ветра можно оценить по шкале для визуальной оценки силы ветра (приложение Д).

7.6.6.5 Признаки передней части наступающего антициклона:

- давление воздуха упорно растет;
- ветер сохраняет свое направление;
- облака к вечеру тают (исчезают);

- зори – желтые и золотистые;
- температура воздуха сначала понижается, а затем в течение суток резко колеблется с понижением ночью и повышением днем.

При прохождении передней части антициклона ожидается сухая погода, малооблачная, летом теплая или жаркая, зимой морозная. Весной и в особенности осенью, когда такой антициклон образовался в результате прихода холодной массы воздуха, появляются заморозки.

7.6.7 В передних, тыловых и боковых частях циклонов и антициклонов ветер меняет направление и скорость с высотой по-разному. Это обстоятельство может служить прекрасным местным признаком для определения, какой стороной циклон или антициклон проходит над местом наблюдения.

Направление и скорость ветра на высотах можно определять по движению облаков, а также навигационным прибором GPS.

7.6.7.1 Значительное правое вращение ветра с высотой, например, внизу ветер имел южное направление, а с высотой он сменил его на юго-западное и затем западное, может служить признаком приближения циклона к месту наблюдения. Правая сторона циклона характеризуется постоянством направления ветра и большими скоростями, начиная с некоторой высоты (около 500 м). Левое вращение ветра с высотой наблюдается в тылу циклона. В левой части циклона ветер с высотой ослабевает и направление его становится неустойчивым.

7.6.7.2 В передней части антициклона ветер с высотой отклоняется влево, увеличивая свою скорость. На окраинах антициклона, в стороне, граничащей с циклоном, ветер с высотой сохраняет наблюдающееся у поверхности земли направление и постепенно увеличивает скорость. При этом не исключена возможность постепенного ухудшения погоды. Если антициклон не перемещается, то ветер сохраняет постоянную скорость и направление до значительных высот. В центральной части антициклона ветер с высотой неустойчив по направлению и близок к штилю.

По ряду наблюдаемых признаков определяют, какой процесс атмосферы наблюдается над данным местом или какой из них приближается или удаляется от места наблюдения.

Примеры

1 Появились следующие признаки:

- ***ясное небо, летом в дневные часы возникают небольшие плоские кучевые облака, к вечеру они исчезают;***
- ***закат солнца ясный;***

- *ветер слабый, а летом часто появляется только днем и к вечеру стихает;*
- *после захода солнца на траве оседает роса, исчезающая после восхода солнца;*
- *поздней осенью вместо росы к утру образуется иней – белый ледяной налет на поверхности земли и на крышах зданий;*
- *ночью над низкими местами, главным образом над болотами, появляется туман, который исчезает после восхода солнца;*
- *давление воздуха большое, почти не меняется;*
- *температура воздуха понижается ото дня к ночи.*

По этим признакам можно определить, что над данной местностью располагается малоподвижная воздушная масса центральной части антициклона, и что поблизости нет ни циклонов, ни фронтов. Поэтому и в ближайшие сутки будет сохраняться безоблачная сухая погода с той же температурой. Воздушная масса, из которой состоит антициклон, взаимодействует только с подстилающей поверхностью, т.е. нагревается или охлаждается от нее. В таких условиях очень сильно могут сказываться на степень нагревания воздуха днем и охлаждение ночью лесистость, близость водоема, рельеф и прочие местные условия. Растительность и водоемы сглаживают нагревание днем и охлаждение ночью. Открытые места и отсутствие по соседству водоемов, наоборот, способствуют перегреву поверхности днем и охлаждению ночью. Ночью в низины со склонов стекает охлажденный, более тяжелый воздух и понижает температуру, усиливая этим ночное охлаждение.

2 С западной или юго-западной стороны горизонта появляются тонкие с загнутыми концами быстро двигающиеся облака (перистые). Они закрывают небо и постепенно переходят в более плотный слой перисто-слоистых облаков. Солнце или луна, просвечивающие сквозь такой слой, окружены беловатым кольцом. Заря с вечера приобретает ярко-красную окраску. Подобный цвет зари обусловлен наличием влаги в верхних слоях атмосферы. Чистый воздух рассеивает голубые лучи, испускаемые солнцем, и видно голубое небо. При наличии в воздухе большого количества водяных частиц рассеиваются и лучи другого цвета, тогда небо приобретает красноватый и оранжевый оттенок. Обычно такое явление наблюдается при прохождении фронтов или циклонов, когда влага выносится потокам воздуха высоко вверх. Ветер к вечеру усиливается. Его направление не совпадает с направлением движения облаков – облака отклоняются вправо. Отсутствует разница в температурах воздуха в лесу и в поле, на возвышенностях и в низинах, так как наличие облачного покрова и ветра сглаживает влияние рельефа места и растительного покрова на нагревание и остывание поверхности. Облака являются хорошим покрывалом для земной поверхности, а воздух благодаря ветру не застаивается и перемешивается. Давление воздуха уменьшается. Небо затягивается плотным серым покровом. Начинается дождь, который может продолжаться несколько часов или при задержке фронта целые сутки. Иногда наблюдается гроза. Перистые облака, как самый первый признак теплого фронта, обычно появляются примерно за 20 ч до наступления осадков.

Перечисленные признаки характеризуют приближение теплого фронта и связанной с ним погоды.

3 На горизонте появляются перисто-кучевые облака, а за ними – высоко-кучевые, похожие на чечевицу или барашки морских волн, это признаки приближения холодного фронта. Они появляются за 6-8 ч до начала дождя. Иногда перисто-кучевые облака отсутствуют, и наблюдатель видит только чечевицеобразные облака. За ними надвигаются плотной массой кучево-дождевые облака с ливнями и грозами. Это признаки холодного фронта, дождь, вызванный им, продолжается 2-3 ч, а после прохождения фронта наступает похолодание.

4 Грозы часто перемещаются вместе с фронтами, особенно с холодным, но они не всегда наблюдаются сплошной линией по фронту, а иногда возникают только на отдельных его участках. Особые признаки приближения гроз к наблюдаемому месту:

- ***прежде всего с той стороны горизонта, откуда может приблизиться гроза, появляются в утренние часы на высоко-кучевых или высоко-слоистых облаках башенки, нарост;***
- ***в дневные часы кучевые облака растут быстро вверх, напоминая поднимающиеся копны, и превращаются в облако с наковальней;***
- ***температура воздуха перед грозой высокая, чувствуется духота от наличия в воздухе большого количества водяного пара (большая влажность);***
- ***давление воздуха падает;***
- ***ветер чаще всего юго-восточный или южный. Внизу ветер дует в сторону грозы, а на высоте облака отклоняются вправо от направления ветра или даже движутся в обратную сторону.***

8 Подготовка и проведение работ по АВ для ИВО

8.1 Использование реагентов для АВ

8.1.1 Хладореагенты

8.1.1.1 АВ на облака выполняется специальными реагентами, наиболее широкое применение из которых нашли хладореагенты (углекислота, сжиженные газы и др.), являющиеся разновидностью льдообразующих веществ [12]. Менее распространенными для проведения воздействий являются грубодисперсные порошки, гигроскопические и органические вещества.

8.1.1.2 Для доставки реагентов в облака применяются специально разработанные самолетные и наземные ТСВ. При решении задач ИВО наиболее эффективным является самолетный метод доставки реагентов в облака.

Засев облаков с самолета твердой углекислотой производится с помощью специальных устройств, позволяющих осуществлять дозированный сброс в переохлажденную часть облака гранул CO_2. Для обеспечения самолетных дозаторов гранулированной углекислотой используются наземные углекислотные комплексы, производящие гранулы из промышленной жидкой углекислоты.

8.1.1.3 В последнее время для засева слоистообразных облаков находят применение генераторы мелкодисперсных ледяных частиц, основанные на использовании сжиженных газов, в частности, жидкого азота (N_2) или пропана. По своему льдообразующему действию эти вещества относятся к хладореагентам, формирующим ледяные кристаллы по гомогенному механизму.

8.1.1.4 Для засева облаков хладореагентами в виде сжиженных газов (азота) в Центральной аэрологической обсерватории разработан генератор ГМЧЛ-А [8]. Промышленный образец генератора ГМЧЛ-А имеет следующие технические характеристики:

масса незаправленного генератора, кг…… 83

габаритные размеры, мм…… 860 x 580 x 1640

масса заливаемого жидкого азота, кг ……96

напряжение питания постоянного тока, В…….27

потребляемая мощность, Вт……162

максимальный расход реагента, г/с……30

выход ядер кристаллизации от 1 г жидкого азота ……$2x10^{13}$

8.2.1.5 Жидкий азот представляет собой бесцветную жидкость с температурой точки кипения минус 196 ^{o}C. Он экологически чист, не горит и не взрывается. По своей льдообразующей активности и температурному порогу действия жидкий азот практически не уступает твердой углекислоте.

Промышленный образец генератора ГМЧЛ-А, работающий на основе жидкого азота, позволяет изменять величину выхода реагента от 0,5 г/с до 30 г/с. Максимальное образование ледяных кристаллов - $2x10^{13}г^{-1}$. Количество ледяных кристаллов сильно зависит от скорости обтекания сопловой части генератора в переохлажденной облачной среде, т.е. скорости разбавления первоначальной струи азота в облачной атмосфере. Существует пороговая температура газообразного азота на выходном срезе сопла, равная

минус 60 ^{o}C, выше которой происходит резкое уменьшение количества ледяных кристаллов.

8.1.2 Основы АВ на облака льдообразующими реагентами

8.1.2.1 Характерным и широко распространенным льдообразующим реагентом является йодистое серебро (AgJ). Аэрозольные частицы льдообразующих реагентов служат гетерогенными центрами кристаллизации при попадании их в переохлажденную зону облака [13, 14]. Наиболее широко применяемым способом диспергирования льдообразующих частиц (микрометр и менее) является термоконденсационный. Этот метод основан на первоначальной возгонке реагента в парообразное состояние и последующем резком охлаждении этих паров за счет перемешивания с внешним значительно более холодным воздухом. Активность и температурный порог активности полученного аэрозоля зависят от физико-химических свойств исходного состава вещества, способа диспергирования, температуры и влажности облака, способа введения в облако. Размер формируемых частиц зависит преимущественно от начальной концентрации паров реагента, загрязнений и от скорости разбавления паров атмосферным воздухом.

8.1.2.2 Термоконденсационный способ диспергирования частиц лежит в основе всех современных автономных генераторов льдообразующих аэрозолей. Практической реализацией метода термоконденсационного формирования льдообразующих аэрозолей явилась разработка пиротехнических генераторов. Основным достоинством пиротехнического способа является независимость (автономность) формирования льдообразующего аэрозоля в заданной зоне облака на значительном удалении от оператора. Штатным пиротехническим составом являлся состав 50-04-02, содержащий 2% AgJ, с температурным порогом активности минус 6 ^{o}C и льдообразующей активностью от 10^{11} при - минус 6 ^{o}C до 10^{14} при - минус 18 ^{o}C.

8.1.2.3 Засев облаков производится с самолетов с помощью специально разработанных пиротехнических патронов ПВ-26, ПВ-50 и САГ-П (САГ-ПМ) с содержанием йодистого серебра. При льдообразующей активности пиросоставов $5x10^{12}$ ядер на 1 г при температуре минус 10 ^{o}C один пиропатрон ПВ-26, содержащий 40 г пиросостава, обеспечивает введение в облако $2x10^{14}$ ядер и, следовательно, создает необходимую концентрацию ядер в 2 кубических километрах облачной массы. Оптимальные нормы расхода на одно облако составляют от 1 до 3 пиропатронов ПВ-50 и среднем 20 - ПВ-26 [15]. В настоящее время разработан и внедрен в практику

пиротехнический льдообразующий состав АД-1, содержащий 8% состав AgJ, который по своим льдообразующим характеристикам не уступает зарубежным, в частности составу AU с 10,8% AgJ, разработанному в Македонии и выпускаемому в Австрии [8].

8.1.2.4 Для ИВО необходимо перевести облако из коллоидно-устойчивой системы в коллоидно-неустойчивую. Для предотвращения выпадения осадков облако стабилизируют в коллоидно-устойчивом состоянии или переводят из коллоидно-неустойчивого в коллоидно-устойчивое.

8.1.2.5 Основы АВ на облака льдообразующими реагентами с целью искусственного регулирования осадков формулируются в следующем виде:

- облака в метастабильном состоянии наблюдаются в реальной атмосфере в подавляющем большинстве случаев;

- большая часть осадков выпадает из смешанных облаков, расположенных в атмосфере ниже и выше нулевой изотермы;

- количество ледяных кристаллов в облаке не всегда является достаточным для эффективного осадкообразования;

- основной метод АВ на смешанные облака, содержащие переохлажденные капли, состоит в искусственном создании или введении в переохлажденную часть облака ледяных кристаллов в определенной дозировке [8, 12, 13, 16, 17, 18].

8.1.2.6 Проведение АВ с целью увеличения количества осадков и выбор метода воздействия зависят от состояния и форм облачности, географического расположения места проведения работ по АВ и времени года. Мощность и водность облаков обусловлены скоростью восходящих потоков и влагосодержанием слоев воздуха. Поэтому принятие решения на АВ и выбор метода воздействия тесно связаны с анализом метеорологических (синоптических) условий (циклон, антициклон, ложбина, гребень и т.д.) стратификации атмосферы, расположением облачности по высотам и степенью увлажнения атмосферы над интересующим пунктом или районом. Облако (система облаков), как результат фазовых переходов воды в атмосфере, служит генератором осадков. Сумма осадков, выпавших из облака (системы облаков), может превышать количество воды в облаке в определенный момент времени в 4 - 42 раза [19, 20, 21].

8.1.2.7 При искусственном воздействии кристаллизирующими реагентами с целью ИВО или получения дополнительных осадков реагент вводится в переохлажденную часть облака для интенсификации процессов фазовых переходов воды в атмосфере. Образующиеся искусственные ледяные кристаллы изменяют микроструктуру облака в результате испарения мелких капель и перегонки водяного пара на искусственные кристаллы. Укрупнение образовавшихся кристаллов идет до размеров, когда

гравитационные силы уже не уравновешиваются аэродинамическими силами восходящих потоков, и они начинают падать, продолжая укрупняться за счет коагуляции, разности температур между падающей частицей и окружающей средой и других факторов.

При кристаллизации переохлажденных капель воды происходит выделение тепла, за счет которого усиливаются вертикальные потоки воздуха, приводящие к вовлечению влаги из более насыщенных нижних слоев атмосферы в зону формирования осадков (ЗФО), а другая часть тепла в виде излучения рассеивается облаком в окружающую среду. Так, выделение скрытой теплоты фазовых переходов воды при засеве льдообразующими реагентами приводит в зоне засева в слоистообразных облаках к локальному повышению температуры воздуха порядка на 0,1-0,5 ^{o}C, при засеве конвективных облаков – на несколько градусов. Это вызывает локальное падение давления под облаком на 1-1,5 гПа, благодаря которому усиливается конвергенция влажного околооблачного воздуха по направлению к облаку и поддержка этим его существования. Потеря тепловой энергии облаком замедляет процесс осадкообразования, так как вертикальные движения в менее нагретом облаке слабее, чем в более теплом облаке.

Существуют определенные различия в воздействиях на слоистообразную и конвективную облачность. Формирование частиц осадков в результате АВ на слоистообразные облака длится от десятков минут до 1-2 ч, в конвективных облаках - от 5-10 мин до 35-50 мин.

8.1.3 Гигроскопические реагенты

8.1.3.1 Механизм АВ гигроскопическими веществами можно описать следующим образом. При введении в облако гигроскопические частицы покрываются пленкой водного раствора. Упругость пара над такой частицей меньше, чем над каплей чистой воды. За счет этого происходит интенсивная конденсация на введенных частицах, уменьшение влажности в облаке и испарение облачных капель, т.е. происходит процесс замещения естественных облачных капель на искусственные. Такими свойствами обладают водные растворы хорошо растворимых в воде веществ, таких как NaCl, $CaCl_2$, KNO_3, $MgCl_2$ и др. [20, 22, 23].

8.1.3.2 Основными факторами, от которых зависит эффективность АВ гигроскопическими веществами, являются: мощность облака, влагосодержание, микрофизические параметры; химический состав, степень дисперсности и концентрация используемого реагента; технология применения реагента (способ диспергирования,

уровень засева относительно нижней границы, использование вертикальных токов воздуха и т.д.). Существенную роль при гигроскопическом засеве играет концентрация гигроскопических аэрозолей. При завышенной концентрации по сравнению с оптимальной возможен эффект «перезасева» облака, сопровождающийся не ростом, а уменьшением интенсивности естественных осадков.

8.1.3.3 Опыты по засеву облаков гигроскопическими веществами были выполнены в России, Южной Африке, Мексике, Таиланде и др. [8, 20, 23]. В 1997-1998 годах работы проводились в Мексике вблизи границ с США. В качестве исследуемых облаков использовались 98 растущих Cu cong, из которых 47 были засеяны, а 51 использовались в качестве контрольных. Засев осуществлялся на уровне нижней границы облака на тех участках, где локализовались конвективные восходящие потоки. В качестве экспериментальной единицы использовались изолированные облака с пороговой радиолокационной отражаемостью в 30 dBz, начиная с момента за 20 мин до начала засева и вплоть до 60 мин после него. Значения параметров облаков (размеры, интенсивность осадков и др.) определялись по радиолокационным данным. Оценка интенсивности осадков производилась с помощью Z-R соотношения Маршалла-Пальмера (Z - радиолокационная отражаемость, R – интенсивность дождя). Наиболее существенное увеличение осадков наблюдалось при внесении в облако аэрозолей с $r \approx 10\text{-}50$ мкм. Существенным недостатком методик, использующих засев гигроскопическим веществом, является большой расход реагентов для получения значимых результатов (~ 21 кг/км).

8.1.3.4 Для ИВО гигроскопические реагенты используются как в виде порошков, так и в виде высокодисперсных частиц, формируемых при горении пиротехнических составов. Технические средства, применяемые для засева облаков гигроскопическими реагентами, аналогичны самолетным пиротехническим аэрозольным генераторам и дозирующим устройствам, используемым для засева углекислотой. Самолетный пиротехнический генератор гигроскопического аэрозоля, также как самолетные генераторы льдообразующих аэрозолей [8], представляет собой кассеты, закрепленные на консолях крыла. Каждая из кассет снабжена 10-12 пиротехническими патронами типа САГ весом до 500 г и временем горения пиротехнической смеси до 5 минут. Управление осуществляется с пульта управления из салона самолета.

Устройство для дозированного сброса порошков хлорида натрия, карбида кальция, нитрата аммония и др., представляет собой прямоугольный контейнер с отверстием, выходящим в укрепленные под фюзеляжем вытяжные сопла.

8.1.4 Физические основы применения заряженных гигроскопических реагентов

8.1.4.1 Экспериментальные исследования различных авторов как в естественных облачных системах, так и в лабораторных условиях свидетельствуют о стимулирующем влиянии ионов на укрупнение водяных капель и кристаллов льда [22, 24, 25, 26].

8.1.4.2 Стимулирование ионами фазового перехода вода-лед может привести к изменению естественного развития облачных процессов. В связи с этим необходимо рассмотреть возможности искусственной ионизации облачной среды, принимая во внимание естественный ионный фон в атмосфере порядка 500-1000 ионов/см^3.

8.2.4.3 Создание в облачной среде больших концентраций ионов осуществляется различными путями [22], среди которых получение ионов путем сжигания пиротехнических составов обладает рядом преимуществ. Такие составы представляют собой смесь горючего и окислителя [27, 28, 29, 30]. Горючим являются порошки различных металлов, в частности магния. В качестве окислителя используются нитраты щелочных металлов (например, нитрат калия). Введение органических соединений мочевины (карбамида) и других в смесь горючее-окислитель способствует более спокойному горению с образованием тяжелых ионов.

8.1.4.4 Искусственно созданная ионизация играет роль формирования по крайней мере положительно заряженных твердых гигроскопических частиц, отрицательно заряженных молекулярных комплексов водяного пара и молекул кислорода и отдельных ионов металлов. Гигроскопичность частиц способствует их конденсационному росту, а электрические заряды резко усиливают процесс коагуляции образовавшихся пока еще мелких обводненных частиц и водяных капель. Если отдельные капли укрупняются до радиуса около 20 мкм, то начинается электро-гравитационная коагуляция капель – укрупнение облачных частиц до размеров выпадающих осадков. В переохлажденных облаках образование ледяной фазы стимулируется и адсорбированными ионами [20], однако даже в переохлажденных облаках первоначально наблюдается процесс конденсации с образованием жидких капель.

8.1.5 Грубодисперсные порошки

8.1.5.1 Для разрушения конвективного облака используется сброс с самолета грубодисперсных частиц (цемент, тальк, корунд и др.), создающих в атмосфере

нисходящие движения [31, 32]. Бурное развитие конвективного облака свидетельствует о сильной термической неустойчивости атмосферы, и тогда создание нисходящих движений может привести к распаду облака. Соответствующие опыты были проведены во второй половине прошлого века. Через несколько минут после воздействия с верхней границы облаков отмечалось существенное понижение верхней границы конвективных облаков протяженностью до 5-6 км или они полностью разрушались. Опыты подтвердили также, что чем более неустойчива атмосфера, тем сильнее и быстрее облака разрушаются. Следовательно эффект сброса сильно зависит от того, в каком состоянии находится облако. Если до сброса вертикальные токи стационировались в облаке, то после сброса появится направленное вниз ускорение струи при любом самом малом количестве сброшенного вещества. Однако в активной части облака, где вертикальные скорости нарастают, чтобы уменьшить восходящий поток, оказалось необходимым вводить в облако громадное количество вещества, не меньшее, чем масса воды в той части облака, на которую воздействуют.

8.1.5.2 Частицы, о которых речь шла в 8.1.5.1, попадая в облако, не меняют своих размеров. Положение существенно улучшится, если сбрасываются частицы, растущие в облаке путем гидратации. Тогда эффект сброса может увеличиться во много раз, притом эффект сброса окажется зависящим как от степени дисперсности частиц, так и от их поверхностных свойств. В значительной части облака может появиться мощный нисходящий поток, который разрушит облако. Через некоторое время ему на смену придет другое, так как, уничтожив облако, мы не устранили причину его возникновения, но для возникновения нового облака потребуется время. В некоторых случаях подобное временное освобождение пространства от кучево-дождевых облаков имеет смысл для целенаправленных действий по транспортированию потенциальных запасов влаги для искусственного вызывания осадков на очаг пожара.

Если облако уже образовалось, то для создания нисходящего потока требуется преодолеть восходящий поток. Создать же нисходящий поток в термически неустойчивой атмосфере, в том месте, где пока нет еще восходящего потока, можно, сбросив небольшое количество вещества. Далее нисходящий поток будет развиваться, черпая из атмосферы энергию термической неустойчивости.

8.1.5.3 При оценке результатов расчетов не следует забывать, что рассматривается «судьба» потока, изолированного от других вертикальных и горизонтальных движений в пространстве.

Если учесть свойство неразрывности воздуха, то либо развитие нисходящих движений приведет к исчезновению восходящих движений в окружающем пространстве,

а следовательно, и облаков, либо, несмотря на запас энергии неустойчивости, искусственно созданный нисходящий поток затухнет.

Грубодисперсные порошки при охране лесов от пожаров используются для подавления грозовой активности конвективных облаков.

8.1.6 Водный аэрозоль

8.1.6.1 В качестве реагента для воздействий на облака с целью ИВО может использоваться вода в виде аэрозоля [20, 23]. Аэрозоль представляет собой коллоидную систему, где в газообразной среде взвешены (диспергированы) частички твердых или жидких веществ. Свойства аэрозолей делают экономически выгодным применение технологий с их использованием в самых разнообразных производственных процессах.

8.1.6.2 Для обработки больших площадей лесонасаждений против вредных лесных насекомых и болезней широко применяется авиационное опрыскивание с самолетов. Эти же самолеты можно использовать для ИВО путем засева каплями воды восходящего потока под облаком или при отсутствии восходящих потоков засевом облака с верхней границы. При этом исходят из того, что вводимые частицы (водный аэрозоль) могут расти в облаке за счет тех же факторов, что и облачные капли, т.е. за счет конденсации и коагуляции. Выбор начальных размеров вводимых частиц должен производиться с учетом имеющегося в облаке спектра капель. Вводимые частицы должны иметь размеры, большие, чем r_m - радиус облачных капель, соответствующий максимуму в спектре водности на данной высоте. Типичный размер капель в облаке у нижней границы 5-10 мкм. Вследствие этого за время подъема от уровня образования капель до верхней границы конвективного облака только малая часть облачных капель успевает укрупниться до размера дождевых капель (типичные размеры 500-1000 мкм). Поэтому целесообразно производить засев относительно большими размерами частиц с радиусами r_o, равными 20, 30, 60, 100 мкм.

8.1.6.3 Количество выпавших осадков, Q, мм, соответствующее определенным начальным условиям (r_o и ΔH), определяется численным методом по формуле

$$Q = \frac{4}{3}\pi \rho_{H_2O} r_k^3 N, \qquad (8.1)$$

где ρ_{H_2O} - плотность воды,

ΔН – мощность облака, т.е. разность между высотами верхней и нижней границ конвективного облака;

r_k – радиус капли при выпадении ее из облака, мкм;

N – количество частиц реагента, приходящегося на 1 $см^2$ площади облака (концентрация вводимых в облако капель воды);

8.1.6.4 Существует оптимальное количество вводимого реагента, дальнейшее увеличение которого приводит к относительно меньшему увеличению количества осадков.

На рисунке 8.1 видно, что до тех пор, пока увеличение концентрации практически не влияет на рост капель, наблюдается линейная зависимость количества осадков Q от концентрации вводимых частиц N, затем происходит замедление роста Q при увеличении N.

8.1.6.5 Если построить график зависимости Q на единицу массы реагента от концентрации реагента N, можно заметить, что точка N_o соответствует оптимальной концентрации. Результаты вычислений оптимальной концентрации частиц N_o, $см^{-2}$, соответствующего ей Q, мм, и конечного радиуса капель r_k, мкм, в зависимости от условий воздействия (вертикальных токов на нижней границе, мощности облака и размеров вводимых в облако капель воды) приведены в таблицах 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1

ΔН, м	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм
	r_o, мм								
	30			60			100		
1500	220,0	1,00	480	200,0	1,10	510	175,0	1,14	540
2000	68,0	1,44	805	66,0	1,52	825	60,0	1,58	855
3000	16,0	2,71	1590	15,0	2,83	1620	15,0	2,93	1670
4000	5,6	4,19	2615	5,5	4,21	2640	5,3	4,22	2670

Таблица 8.2

w, м/с	ΔН, м	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм	$N_{опт}$	Q, мм	r_k, мкм
		r_o, мм											
		20			30			60			100		
0,1	1500	130,0	0,86	540	135	0,84	520	130	0,86	540	125	0,97	560
0,5	1500	65,0	1,38	800	90	1,22	690	95	1,07	650	95	1,07	650
	2000	26	1,75	1170	34	1,53	1020	37	1,51	990	37	1,51	990

5,0	1500	1,5	5,56	4450	2	3,06	3285	4	2,63	2495	-
	2000	1,0	6,80	4850	1,8	4,3	3650	3	2,9	2900	-

Из данных таблиц 8.1 и 8.2 следует, что количество осадков Q, соответствующее оптимальной концентрации, зависит от высоты введения реагента и скорости восходящего потока w, м/с, начальный размер частиц мало сказывается на количестве выпадающих осадков.

8.1.6.6 При проведении практических работ целесообразно перейти от оптимальной концентрации частиц к оптимальному количеству реагента M, приходящемуся на единицу площади. На рисунок 8.2 показана зависимость M от высоты $H_{в.г}$ и r_o. Расчет M сделан для случая, когда в качестве реагента выбирается вещество с удельным весом $\rho_в = 1$ г/см^3. Для реагента с другим удельный весом, значение M, снимаемое с рисунка 8.2, умножают на величину $\rho_в$.

8.1.6.7 Вычисление коэффициента использования облачной влаги, который представляет собой отношение количества выпавших осадков к общему запасу влаги в облаке, показало, что он в среднем равен 60-65 %.

8.1.6.8 Расчетные данные времени выпадения осадков после начала воздействия, полученные численным интегрированием, показали, что по порядку величин они хорошо согласуются с данными опытов – время роста частиц, введенных в облако при воздействии, получилось равным 10-20 мин (рисунок 8.3).

8.1.6.9 Анализ результатов расчета позволяет сделать некоторые практические выводы.

Если воздействие производится на облако с прекратившимся восходящим потоком, то введение реагента выгоднее всего производить на высоте верхней границы облака.

В случае восходящего потока целесообразно введение реагента под нижней границей облака. При воздействии реагентами такого рода целесообразнее всего выбирать частицы с радиусом, лишь несколько большим величины $r_{m.}$. Такой вывод основан на том факте, что увеличение размера частиц реагента r_o не дает значительного увеличения количества осадков, но общее количество расходуемого реагента при этом сильно возрастает.

Если в облаке существуют восходящие потоки в момент воздействия, то частицы с небольшими размерами выгоднее брать еще потому, что они поднимаются восходящим потоком на значительные высоты, за счет чего вырастают до больших конечных размеров.

8.1.7 Способы распыления капель воды

8.1.7.1 Дробление жидкости на капли происходит под действием ряда факторов. Механический способ распыления применим для любых жидкостей, поэтому он является наиболее распространенным в практике авиационного опрыскивания. Для распыления жидкостей применяют разнообразные форсунки. Форсунки предназначены для распыления жидкости в виде капель. Распыление жидкости является сложным физическим процессом, зависящим от многих внешних и внутренних причин. Основной внешней причиной является воздействие на поверхность струи аэродинамических сил, величина которых зависит от скорости струи и плотности окружающего газа. Аэродинамические силы стремятся деформировать и разорвать струю, а силы поверхностного натяжения препятствуют этому.

8.1.7.2 Внутренними причинами распада являются различного рода начальные возмущения, вызываемые, например, нарушением цилиндрической формы струи при выходе из сопла, вибрациями сопла и т.п.

8.1.7.3 Внешние причины в большинстве случаев являются определяющими для процесса распыления, поэтому при разработке классификации форсунок исходят из способа создания перемещения струи относительно газообразной среды [33].

По этому признаку форсунки можно разделить на три группы:

- форсунки, в которые жидкость подается под давлением и распыляется вследствие неустойчивости жидкой струи, трения струи о воздух или при ударе струи о неподвижную деталь прибора;

- форсунки, представляющие собой вращающиеся диски или чашу, в центр которых подводится жидкость. Распыление вызывается центробежной силой, разрывающей жидкость на капли;

- форсунки с газовым распылением, в которых поток жидкости разрывается быстродвижущимся потоком газа.

Форсунки, работающие под давлением, широко распространены. Форсунки с газовым распылением применяют в самых разнообразных случаях, но они расходуют значительно больше энергии, чем форсунки под давлением. Решающим фактором, который определяет размер капель, получаемых в форсунках с газовым распылением, является отношение между количествами газа и жидкости, подаваемыми в форсунку. При недостаточном количестве газа образуются большие капли, вылетающие далеко за пределы облака мелких капель.

8.1.7.4 Распыление жидкости на самолетах и вертолетах производится под давлением с помощью форсунок, укрепленных на трубе, по которой к форсункам подводится распыляемая жидкость.

Мелкое распыление обеспечивается не только установкой распылителей малого сечения, но и влиянием других факторов: повышением давления в шлангах, уменьшением секундного выпуска жидкости и увеличением скорости полета. Причем при повышении давления более 10 атмосфер при одинаковом диаметре форсунок средняя величина капель уменьшается незначительно.

8.1.7.5 Дисперсность капель является основным показателем, характеризующим работу аппаратуры опрыскивания. При опрыскивании имеющейся авиационной аппаратурой получается полидисперсная система капель жидкости, величина которых может колебаться в широких пределах.

Различаются три класса дисперсного опрыскивания в виде капель диаметром:

- от 25 до 50 мкм – высокодисперсное;
- от 50 до 150 мкм – мелкокапельное;
- свыше 150 мкм – крупнокапельное.

8.1.7.6 На качество распыления значительное влияние оказывают метеорологические факторы, основными из которых являются температура воздуха, относительная влажность, скорость ветра и состояние атмосферы (время дня, наличие или отсутствие вертикальных движений воздуха).

8.1.7.7 Температура и относительная влажность воздуха влияют на испарение капель: тонкий распыл гораздо быстрее испаряется, чем грубый распыл, потому что тонкий распыл обладает большей поверхностью, подвергающейся испарению. Размер капелек уменьшается за счет испарения, пока не будет достигнуто равновесие между капелькой и окружающей средой. Срок существования капли зависит от начального диаметра капли и скорости испарения.

8.1.7.8 В устойчивой атмосфере свободно падающая капля после короткого времени ускорения достигает постоянной конечной скорости, которая зависит от начального диаметра капли. Капли размером < 100 мкм оседают очень медленно (< 25 см/с) в то время, как капля диаметром 200 мкм оседает со скоростью 72 см/с.

Поскольку скорость оседания для различных частиц различна, то и время нахождения частиц в воздухе при падении их с одной и той же высоты будет разное.

При авиационном опрыскивании в воздух выбрасывается струя частиц различной дисперсности, падающих с различной скоростью и по различным траекториям.

Крупные частицы, падающие с большой скоростью, располагаются по линии полета, а мелкие разносятся в разные стороны, потому что они падают медленнее и дольше остаются в воздухе во взвешенном состоянии. Часть же мелких твердых частиц, также как и капель жидкости из-за малой скорости их оседания и переноса горизонтальными потоками воздуха относится на большое расстояние от линии полета. Поэтому в практике авиационного опрыскивания не имело смысла добиваться среднего диаметра капель воды менее 50 мкм.

8.2 Критерии пригодности облаков для АВ по метеорологическим условиям

8.2.1 В соответствии с физическими представлениями развития процессов при ИВО, можно привести качественные и количественные оценки возможности воздействия на облака.

8.2.2 Пригодность метеорологических условий для АВ на облака льдообразующими реагентами определяется сочетанием следующих условий:

- наличие в атмосфере конвективных или слоистообразных облаков;
- существование в облаках зон переохлажденной жидкокапельной воды и кристаллов;
- величина температуры воздуха на уровне засева не превышает температурный порог активности реагента.

8.2.3 В соответствии с приведенными условиями в 8.2.2 в качестве критериев пригодности слоистообразных облаков, определяющих целесообразность воздействий на них с целью ИВО, принимается следующее сочетание их характеристик и параметров:

- минимальная температура в облачном слое составляет минус 4 ^{o}C или ниже;
- вертикальная мощность облачного слоя не менее 500 м;
- температура и относительная влажность в подоблачном слое не приводят к испарению выпадающих осадков.

8.2.4 В качестве основных объектов АВ среди облаков конвективных форм приняты изолированные мощные кучевые и кучево-дождевые облака, находящиеся в начальной стадии развития, а также облачные гряды, вершины которых располагаются в интервале температур от минус 5 ^{o}C до минус 30 ^{o}C. При этом под изолированными облаками понимаются одиночные конвективные ячейки, находящиеся на значительном удалении друг от друга (более 3-5 диаметров) и не связанные между собой основаниями. Более перспективными объектами являются мезомасштабные облачные образования

(кластеры), представляющие собой системы объединенных или расположенных близко друг от друга облачных ячеек, либо многовершинные облака, занимающие в плане площади до 400-600 км^2.

На основании имеющегося опыта [8, 15, 18] установлено, что значениями параметров, определяющими пригодность конвективных облаков для засева с целью увеличения осадков, необходимо считать следующее:

- вертикальная мощность облаков составляет не менее 2500 м;

- вертикальная мощность переохлажденной части облака составляет не менее 1000 м;

- температура воздуха на уровне верхней границы облака находится в пределах от минус 5 ^{o}С до минус 30 ^{o}С;

- нижнее основание облака имеет протяженность не менее 2000 м;

- высота нижней границы облаков над поверхностью земли не превышает 1500 м.

Дополнительным условием выбора конвективных облаков для воздействий является отсутствие признаков диссипации облаков – объектов АВ, т.е. облака находятся в стадии развития или квазистационарном состоянии.

8.2.5 Основными параметрами при определении стадии развития облачности являются:

- вертикальные токи;

- водность и местоположение зон, характеризующихся максимальными значениями этих параметров в облаке.

8.2.6 Если зоны с максимальными значениями вертикальных токов и водности расположены в верхней части облака, то это облако находится на стадии развития и зона формирования осадков (ЗФО) совпадает с этой областью.

8.2.7 Если зоны с максимальными вертикальными токами и водностью расположены в средней части облака, то это облако находится в квазистационарном состоянии. Если максимальные значения вертикальных токов и водности расположены в нижней части облака, то это облако находится в стадии диссипации и ЗФО отсутствует.

8.2.8 При прочих равных условиях эффект воздействий с целью увеличения осадков тем больше, чем больше влагозапас облаков (их водность и вертикальная мощность), степень их переохлаждения и чем меньше высота нижней границы облачности. При засеве облаков, дающих естественные осадки, высота нижней границы обычно не включается в комплекс критериев пригодности для засева, поскольку

подоблачный слой атмосферы в этом случае увлажнен естественными осадками и это исключает потери на испарение искусственно вызванных осадков.

8.2.9 Эффект воздействий на облака с целью увеличения осадков будет тем больше, чем дольше будут сохраняться над районом воздействий благоприятные для засева облаков условия и продолжительность воздействий.

8.2.10 Классификация облаков и облачных систем по микрофизическим признакам осуществляется с учетом фазового состояния, а также размеров и концентрации облачных частиц.

Микрофизические условия вызывания или интенсификации осадков следующие.

Если скорость замерзания капель f_{ee} больше скорости образования капель f_w, которое происходит за счет конденсации водяного пара, то осадкообразование будет ослабевать или вовсе прекратится. Если же скорость конденсации водяного пара, и соответственно f_w, больше f_e , то часть влаги будет оставаться в облаке, не реализуясь в осадки.

Для характеристики процесса превращения водяного пара в сконденсированную влагу и осадки используют понятие эффективности образования осадков (ЭОО) [34]. ЭОО определяется как отношение интенсивности I_e выпадающих осадков к суммарной по переохлажденной части облака скорости конденсации водяного пара I_w. Показатель ЭОО $П_{эоо}$ определяется по формуле

$$П_{эоо} = 1 - I_e / I_w. \qquad (8.2)$$

Если $П_{эоо} = 0$, то в осадки реализуется вся доступная для осадкообразования влага.

Если $П_{эоо} < 0$, то в осадки выпадает больше влаги, чем конденсируется. Такое состояние является кратковременным и ведет к прекращению осадков.

Если $П_{эоо} > 0$, то часть сконденсированной влаги остается в облаке. $П_{эоо} > 0$ бывает в двух случаях:

а) из облака не выпадают осадки;

б) из облака осадки выпадают, но интенсивность их слабая.

Воздействия на облака с целью увеличения осадков производятся тогда, когда $П_{эоо} > 0$ для:

- вызывания осадков в случае, указанном в а);
- интенсификации в случае, указанном в б).

Условие $П_{эоо} > 0$ является необходимым для проведения АВ. Достаточные условия определяются совокупностью параметров облачной атмосферы, таких как фазовое

состояние облака, мощность облака и др. (см. 8.4, 8.7), а результат воздействия оценивается по значению показателя эффективности воздействия - $П_{эв}$, приведенном в 8.6.

8.3 Исходные данные для принятия решения об АВ

8.3.1 Принятие решения об АВ осуществляется на основе анализа следующих характеристик, которые определяются по результатам аэрологического, радиолокационного и самолетного зондирования, метеорологических наблюдений и измерений осадков [34, 35, 36, 37, 38] для отдельных облаков и облачных полей:

$H_{в.г}$ - высота верхней границы облака, км;

$H_{н.г}$ - высота нижней границы облака, км;

$\Delta H = H_{в.г} – H_{н.г}$ - мощность облака, км;

h_{-12} - высота расположения изотермы минус12 ^{o}C, км;

h_{-4} - высота расположения изотермы минус 4 ^{o}C, км;

h_{o} - высота расположения изотермы 0 ^{o}C, км;

$h_{п}$ - высота полета самолета при производстве воздействия, км;

$h_{в.п}$ - высота расположения ведущего потока перемещения облачности, рекомендуется принимать высоту поверхности 700 гПа, км;

$t_{в.г}$ - температура на уровне верхней границы облака, ^{o}C;

$t_{н.г}$ - температура на уровне нижней границы облака, ^{o}C;

$t_{п}$ - температура воздуха на уровне $h_{п}$ (полета самолета), ^{o}C;

Δt – разность температур на нижней и верхней границах облачного слоя, ^{o}C;

$w_{н.г}$ - скорость вертикальных движений на уровне $H_{н.г}$, м/с;

t - средняя температура воздуха в подоблачном слое, ^{o}C;

f – средняя относительная влажность в подоблачном слое, %;

I_{e} - средняя интенсивность естественных осадков, мм/ч;

q – абсолютная водность облака, г/м^3;

S – площадь, покрытая облачностью, км^2;

K – коэффициент турбулентности, м^2/с;

P – влагосодержание атмосферы, кг/м^2 (мм);

Z_{d} – радиолокационная отражаемость, дБz.

Перечисленные параметры определяются в зоне АВ. Значения i-тых высот h_i определяются относительно поверхности земли.

8.3.2 Дополнительной информацией являются:

- фазовое состояние переохлажденной части облака (жидкокапельная, кристаллическая);

- множитель радиолокационной отражаемости Z_d, дБz, и геометрические параметры радиоэха облаков;

- радиояркостная температура подстилающей поверхности $T_я$ и другие характеристики.

8.4 Классификация облаков и облачных систем по данным радиолокационных наблюдений

8.4.1 Классификация облаков и облачных систем по данным радиолокационных наблюдений основана на качественных признаках и количественных характеристиках радиоэха [39, 40].

8.4.2 Радиоэхо облачности нижнего яруса (St, Sc) на видеоконтрольном устройстве просматривается в виде сплошной полосы. Для St и Sc диапазон вероятных значений высот нижней $H_{н.г}$, верхней $H_{в.г}$ границ радиоэха и множителя радиолокационной отражаемости Z_d соответственно изменяется в пределах от 0,3 до 1,5 км; от 0,8 до 2,3 км и от 12 до 33 дБz.

8.4.3 Радиоэхо слоисто-дождевой облачности нижнего яруса (Ns) характеризуется четко выраженным максимумом или линией таяния в области изотермы 0 ^oC. Тип облачности (Ns) сопровождается обложными осадками.

8.4.4 Радиоэхо облачности среднего яруса (As, Ac) на видеоконтрольном устройстве просматривается в виде сплошной полосы, которая для Ac по мере удаления от МРЛ приобретает ячеистую структуру с $H_{н.г} \cong 2{,}5 – 5{,}0$ км; $H_{в.г} \cong 3{,}5\text{-}6{,}0$ км и $Z_d = 12\text{-}18$ дБz.

8.4.5 Радиоэхо облачности верхнего яруса (Cs, Cc) характеризуется сплошной полосой игольчатой структуры с параметрами $H_{н.г} = 6 – 7$ км; $H_{в.г} = 6\text{-}10$ км и $Z_d = 12\text{ -}18$ дБz.

8.4.6 Радиоэхо облачности вертикального развития (Cu Cong, Cb) на видеоконтрольном устройстве просматривается в виде изолированных пятен круглой или эллипсоидной формы или горизонтальных полос (гряд) с четко выраженными краями во фронтальной части. Радиолокационные параметры Cb: $H_{н.г}$; $H_{в.г}$ и Z_d соответственно изменяются от 0 до 2,5 км, от 5 до 12 км и от 18 до 68 дБz и сопровождаются осадками различной интенсивности, грозами, шквалами.

8.4.7 Облачная слоистодождевая система слоистых форм As-Ns на видеоконтрольном устройстве представляет собой радиоэхо сплошной слоистообразной облачности без резко очерченных границ с $H_{н.г}$ = 0 км; $H_{в.г}$ = 3-6 км. Она связана с атмосферными фронтами и простирается на несколько сотен километров. Прохождение системы сопровождается выпадением обложных осадков слабой интенсивности I = 0,5-2,9 мм/ч, которой соответствуют значения множителя радиолокационной отражаемости Z_d = 8-28 дБz.

8.4.8 Радиоэхо кучево-дождевой облачности системы As-Cb-Ac на видеоконтрольном устройстве имеет вид полосы или нескольких полос. Система связана с атмосферными холодными фронтами и представляет собой гряду кучево-дождевых облаков, сопровождаемую облаками среднего яруса As и Ac. Наблюдаемые в этой системе конвективные облака находятся в различных стадиях развития, что способствует неоднородному характеру распределения на видеоконтрольном устройстве высоты верхней границы радиоэха ($H_{в.г}$ = 5-10 км) и множителя радиолокационной отражаемости (Z_d = 28-68 дБz) облачности, а следовательно, выпадению осадков различной интенсивности: слабых, умеренных или сильных.

8.4.9 Радиоэхо Cb в целом определяется интенсивностью конвекции. При слабой конвекции верхняя граница Cb (затопленные конвективные образования) располагается на одинаковой высоте с облачной системой, а по мере увеличения расстояния от МРЛ монотонно уменьшается. При сильно развитой конвекции на одинаковых расстояниях от МРЛ отмечается не только однородное поле высоты верхней границы радиоэха, но и отражаемости в области отрицательных температур. Таким образом, при слабой конвекции система As-Ns-Cb проявляет особенности облачной системы As-Ns, а при сильной конвекции – особенности облачной систем As-Cb-Ac.

8.4.10 Радиоэхо системы St-Sc-Ac представляет собой сплошной массив одноярусной или многоярусной облачности. Она формируется в теплой устойчивой воздушной массе и характеризуется малыми значениями высоты верхней границы радиоэха ($H_{в.г}$ < 3 км над уровнем моря) и множителя радиолокационной отражаемости (Z_d = 12 -18 дБz). Из таких систем в холодный и переходной периоды могут отмечаться выпадение снега и моросящих осадков слабой интенсивности (I = 0,02-0,13 мм/ч).

8.5 Радиолокационная характеристика облаков, пригодных для ИВО

8.5.1 На основе теоретических и экспериментальных исследований облачности в ряде регионов России предложена ее классификация с точки зрения пригодности к ИВО [35, 39, 40]:

- класс 1 - облачность, воздействие на которую не приводит к выпадению осадков;
- класс 2 - облачность, воздействие на которую приводит к ограниченному эффекту (менее 1 мм/сут);
- класс 3 - облачность, воздействие на которую приводит к резкой интенсификации процесса облакообразования и значительному увеличению осадков (1-5 мм/сут);
- класс 4 - облачность, воздействие на которую приводит к исключительно резкому увеличению интенсивности воздушных потоков и, вследствие этого, опасности вызвать град и ливни.

Следует отметить, что предложенная классификация облачности, т.е. больших групп облаков на значительной территории, соответствует синоптическим процессам. На протяженной территории (> 100 км), где производятся работы, одновременно могут наблюдаться до трех перечисленных классов облачности.

8.5.2 В основу классификации положены синоптические данные, данные аэрологического зондирования, радиолокационные наземные данные, данные бортового метеорологического радиолокатора и бортовые визуальные наблюдения. Решение о вылете самолета принимается без учета двух последних групп данных, так как эти данные до вылета отсутствуют.

8.5.3 Классу облаков, воздействие на которые производить нецелесообразно (класс 1), соответствуют следующие характеристики:

- устойчивое состояние атмосферы при отсутствии влагонесущих слоев;
- радиолокационная отражаемость облаков в режиме коррекции на R^2 на первом канале МРЛ-5 ниже 10 дБz;
- верхняя граница облаков теплее минус 4 ^oC;
- толщина облака по радиолокационным или визуальным данным не превышает 0,5 км.

8.5.4 Классу облаков, эффект воздействия на которые ограничен (класс 2), соответствуют следующие характеристики:

- прохождение фронта слабой интенсивности через зону работ (район пожара);

- слабо выраженное неустойчивое состояние атмосферы (разность высот между уровнями свободной конвекции и конденсации 2-3 км при максимальной разности температур в зоне неустойчивости менее $\Delta t < 1\ ^oC$);

- наличие на аэрологической диаграмме выраженного влагонесущего слоя небольшой мощности ($\Delta H < 1$ км);

- максимальная радиолокационная отражаемость облаков на первом канале МРЛ-5 ниже 20 дБz;

- температура верхней границы облаков от минус 4 ^oC до минус 10 ^oC и холоднее минус 10 ^oC;

- максимальная толщина облака по радиолокационным или визуальным данным доходит до 2 км;

- наличие турбулентных зон;

- большая территория ($S > 1000$ км^2), занимаемая облачностью.

8.5.5 Классу облаков, воздействие на которые наиболее перспективно (класс 3), соответствуют следующие характеристики:

- прохождение интенсивного фронта через зону работ;

- выраженное неустойчивое состояние атмосферы (разность уровней конвекции и конденсации 3-6 км при $\Delta t > 2\ ^oC$);

- наличие на аэрологической диаграмме влагонесущего слоя значительной толщины (1 км $< \Delta H <$ 3 км);

- максимальная радиолокационная отражаемость облаков на первом канале МРЛ-5 ниже 40 дБz;

- максимальная высота облака доходит до 7-8 км;

- расположение облаков в виде групп (кластеров);

- резко очерченная форма отдельных облаков, свидетельствующая об интенсивных процессах в них;

- большая территория ($S > 3000$ км^2), занимаемая облачностью.

8.5.6 Классу облаков, воздействие на которые стимулирует ливневые осадки и грозы (класс 4), соответствуют следующие характеристики:

- прохождение интенсивного фронта через зону работ с высокой скоростью ($V > 30$ км/ч);

- неустойчивое состояние атмосферы (разность уровней свободной конвекции и конденсации превышает 6 км при $\Delta t > 2\ ^oC$);

- наличие на аэрологической диаграмме влагонесущего слоя толщиной свыше 3 км;

- максимальная отражаемость облаков на первом канале МРЛ-5 превышает 40 дБz;

- максимальная высота отдельных облаков существенно превышает 8 км;

- наблюдаются отдельные облака “фасолеобразной” формы, направление смещения которых происходит под углом к направлению ведущего потока, а скорость в 2-3 раза ниже скорости ведущего потока.

Такие отдельные облака идентифицируются как грозовые. Вся облачность в окрестностях этих облаков (на расстоянии до 40-50 км) считается принадлежащей к классу 4. В мощной фронтальной зоне бывает одновременно до 8-10 грозовых облаков, и в таком случае вся она считается принадлежащей к классу 4 и не подвергается воздействию.

8.5.7 В соответствии с классификацией в зависимости от параметров радиоэхо слоистообразных облаков на метеорадиолокаторе они относятся к 1-3 классам, радиоэхо конвективных облаков - 1-4 классам, радиоэхо слоисто-кучевых облаков – к 1-2 классам.

8.6 Принятие решения об АВ

8.6.1 Период времени проведения АВ на облака с целью ИВО иногда называют «рабочей ситуацией». Началом рабочей ситуации является момент времени, при котором проводимое воздействие на облака приводит к выпадению осадков на зону пожара (лесную территорию). Решение о начале проведения АВ принимает летчик-наблюдатель (руководитель авиационной группы воздействия) на основе визуальных наблюдений лесных пожаров, анализа аэросиноптической информации*, карт нефанализа*, спутниковых данных об облачности*, данных МРЛ* и составленного краткосрочного прогноза погоды. В составленном прогнозе метеорологических условий указываются: ожидаемые формы облачности, их высоты и количество, прогноз осадков, продолжительность существования облачности над зоной пожара, скорость и направление ведущего потока, высота расположения изотермы 0 ^{o}C и минус 10 ^{o}C и другие параметры (см. 8.3).

8.6.2 Стратегия и тактика АВ в значительной степени определяются выбором территории (района), типом облаков, облачных систем и стадий их развития. Выбор территории осуществляется в зависимости от направления и скорости переноса облаков, возможности их «выведения» на очаг пожара.

* При наличии

При выявлении облаков, пригодных для воздействия, ситуация признается рабочей, если облака, пригодные для воздействия, отсутствуют, то ситуация оценивается как нерабочая.

8.6.3 Для выявления в облаке участков, пригодных для воздействия, выделяется “выбранная зона” или «мишень».

Выделение территории осуществляется следующим образом: на карте из центра очага пожара, навстречу вектору ветра на уровне ведущего потока проводится прямая линия. На ней от внешней границы пожара откладывается отрезок, равный 0,5-часовому переносу воздушных масс (время срабатывания реагента ~ 30 мин). Через конец отрезка проводят перпендикулярную линию, на которой вправо и влево от точки пересечения откладывают отрезки, равные диаметру облака (~ 4-5 км). Затем параллельно указанному перпендикуляру на расстоянии 10 км от него навстречу вектору века проводят аналогичный отрезок. Соединив концы отрезков, получают прямоугольник, который обозначают как “полигон”. Границы полигона в процессе проведения работ уточняются и корректируются в зависимости от попадания осадков на очаг пожара или лесную территорию при проведении профилактических мероприятий по снижению КПО, а также при изменении границ пожара.

8.6.4 При оценке пригодности облаков и облачных систем для воздействия для территории полигона используются параметры, приведенные в 8.3 ($H_{в.г}$, $H_{н.г}$, ΔH, $t_{в.г}$, $t_{н.г}$, w, q и т.д.)

В таблице 8.3 приведены классы облаков и облачных систем, пригодных для ИВО.

Таблица 8.3 - Диапазон значений параметров облаков и облачных систем, пригодных для ИВО, по метеорологическим условиям и данным радиолокационных наблюдений

Параметры облака	Классы облаков и облачных систем				
	Cu Cong	Cb	As-Ns	As-Ns-Cb	As-Ns
1	2	3	4	5	6
$H_{н..г}$, км	≤ 1,0 - 1,5	≤ 1,5 - 2,0	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0
$H_{в..г}$, км	1,2 - 6,0	5,0 - 8,0	1,0 - 5,0	1,0 - 7,0	1,0 - 6,0
ΔH, км	≥ 0,6 - 5,5	≥ 3,0 - 8,0	0,5 - 5,0	0,5 - 5,0	0,5 - 5,0
$t_{в..г}$, °C	От -4 до -20	От -18 до -60	От -26 до -15	От -18 до -60	От -18 до -50

Окончание таблицы 8.3

1	2	3	4	5	6
$\bar{w}$, м/с	2,0 - 12,0	2,0 - 40,0	0,02 - 0,2	0,08 - 30,0	0,02 - 0,2

K, $м^2/с$	10 - 300	200 - 1500	13 - 15	50 - 1000	13 - 15
q, $г/м^3$	0,1 - 1,5	0,5 - 10,0	0,1 - 0,3	0,1 - 10	0,1 - 0,3
P, $кг/м^2$ (мм)	0,01 - 4,8	2,7 - 9,5	0,02 - 0	0,02 - 0,41	0,02 - 0,48
Z_d, дБz	10 - 28	28 - 75	8 - 28	28 - 68	8 - 28

8.6.5 Целесообразность АВ определяется как экологическими, так и метеорологическими условиями.

8.6.6 Качественный показатель эффективности воздействия $П_{эв}$ оценивается следующим образом.

Рассчитывается величина $\Delta h^* = h_0 - H_{н.г.}$. С помощью номограммы, приведенной на рисунке 8.4а, далее по известным значениям $\bar{q}$ и Δh^* определяется значение параметра R_2, характеризующего размер частиц искусственно вызванных осадков вблизи нижней границы облачного слоя. Параметры h_0 и $H_{н.г}$ задаются в километрах. Затем по рисунку 8.4б по известным значениям $H_{н.г}$, $\bar{f}$, осредненной от поверхности земли до высоты нижней границы облака, определяется величина параметра R_3, которая характеризует уменьшение размера частиц осадков в подоблачном слое. Вычитая R_3 из R_2, получим величину ΔR. С помощью номограммы, приведенной на рисунке 8.5 по известному ΔR определяется величина R_1 - размер частиц у земли. Значение показателя эффективности воздействия $П_{эв}$ рассчитывается по формуле

$$П_{эв}=R_1-R_{кр}, \qquad (8.3)$$

где $R_{кр}$ - наименьшее допустимое значение радиуса частиц искусственных осадков, равное 10^{-2} см.

На рисунке 8.5 посредством вертикальных линий выделено три области: область значений R_1, при которых $П_{эв} > 0$ (I), область $П_{эв} < 0$ (III) и переходная область (II).

8.6.7 Кроме оценки $П_{эоо}$ и $П_{эв}$, определяется целесообразность введения реагента в облако. Анализ производится посредством номограммы, приведенной на рисунке 8.6. Для использования номограммы необходимы данные о температуре и скорости восходящих движений воздуха на уровне *h*, а также нужно знать величину *q*. На рисунке 8.6 каждая линия (соответствующая постоянному значению q) делит график на две части. Верхняя правая часть определяет область значений w, q, t, при которых введение реагента в облако нецелесообразно, нижняя левая сторона - область целесообразности проведения воздействия.

В целом проведение воздействия с целью увеличения осадков целесообразно в тех случаях, когда $П_{эоо}$ и $П_{эв}$ имеют положительные значения; в тех случаях, когда при $П_{эоо} > 0$ значение $П_{эв} \leq 0$ или при $П_{эоо} \leq 0$ значение $П_{эв} > 0$, воздействие проводить не рекомендуется.

8.6.8 Принятие решения о воздействии состоит из выбора метода воздействия при наличии перспективного облака, определения нормы расхода реагента и расчета координат точек засева. При этом осуществляется уточнение характеристик облаков в момент времени, когда они будут находиться на удалении от точки воздействия ~ 10-15 км. Уточнению подлежат $H_{в.г}$, $H_{н.г}$, ΔH, I_e, f, $\bar{w}$ - средняя скорость восходящего потока и направление перемещения облака по ведущему потоку.

8.7 Технология АВ твердой углекислотой

8.7.1 Расчет линий засева

8.7.1.1 Твердая углекислота используется преимущественно для искусственного увеличения осадков из слоистообразных облаков. Засев осуществляется вдоль линии, перпендикулярной направлению ветрового переноса облачности. При этом ширина зоны кристаллизации после засева достигает 3-4 км, а зона искусственно вызванных осадков в направлении ветрового переноса составляет в среднем расстояние ее 2-часового переноса. Подвергшаяся засеву полоса слоистообразной облачности обеспечивает на площади пожара выпадение лишь некоторого дополнительного объема осадков. Если слоистообразная облачность продолжает непрерывно натекать в направлении лесного пожара, то воздействие путем засева гранулированной твердой углекислотой производится параллельными курсами с таким расчетом, чтобы границы зон кристаллизации совпадали или были близки друг от друга. Схематично засев слоистообразной облачности одним самолетом показан на рисунках 8.7 – 8.9.

8.7.2 Нормирование расхода реагента

8.7.2.1 Для вызывания осадков в облака вводят реагенты в строго ограниченном количестве. Это количество определяется как норма расхода реагента.

Норма расхода реагента при осуществлении воздействия твердой углекислотой выражается количеством М в граммах на 1 км линии засева. Значение М определяется по номограмме, представленной на рисунке 8.10.

8.7.2.2 Для определения М требуется знать температуру воздуха и значение скорости восходящих движений на уровне h_0, а также величину q.

Если участок облака, пригодный для воздействия, состоит только из переохлажденных капель, то значение М берется таким образом, каким оно определяется номограммой.

Если участок облаков, пригодных для вызывания, состоит из капель и кристаллов или облако целиком смешанного строения, то:

- при выпадении осадков значение М, найденное по номограмме, необходимо уменьшить в 3 раза;

- при отсутствии осадков значение М, найденное по номограмме, необходимо уменьшить в 5 раз.

8.7.3 Практические рекомендации по воздействию на слоистообразные облака

8.7.3.1 При воздействии на слоистообразные облака следует учитывать следующие экспериментально установленные факты [15, 17, 34, 38, 41, 42]:

- ширина зоны кристаллизации от одной линии засева с применением углекислоты CO_2 в среднем составляет 3-4 км;

- глубина зоны вызываемых искусственных осадков в направлении ветрового переноса обычно составляет расстояние соответствующее 40-60-минутному ветровому переносу облаков, достигая иногда значений 90-120-минутного переноса;

- наибольшее количество осадков выпадает на расстоянии одной трети глубины зоны искусственных осадков от зоны воздействия.

8.7.3.2 Исходя из опытных данных (8.7.3.1), рассчитывается схема предстоящей работы по засеву облаков. Для расчета удобнее всего воспользоваться данными радиолокационных наблюдений облаков, а также сведениями о температурной стратификации атмосферы и вертикальным распределением скорости и направления ветра по результатам самолетного вертикального зондирования атмосферы.

8.7.3.3 При засевах слоистообразной облачности самолет производит засев облаков вдоль линии длиной 20-40 км, расположенной перпендикулярно направлению ветрового переноса облаков. Обычно сброс углекислоты производится над верхней кромкой облаков

при условии, что температура воздуха на этом уровне ниже минус 5 ^{o}C. При этом осуществляется так называемый «шторный» засев облаков (засев в вертикальной плоскости вниз от уровня полета самолета на протяжении интервала полного испарения гранул углекислоты) с нормами расхода, определяемыми характеристиками облачной системы. Расход CO_2 увеличивается по мере роста толщины облачного слоя. Так, если при мощности слоя порядка 500 м и температуре ниже минус 5 ^{o}C, он составляет около 0,3-0,4 кг на 1 км пути, то при мощности 1 км расход реагента достигает 0,8-1,0 кг/км и т.д. Оптимальный размер гранул «сухого» льда при засеве составляет 1,0-1,5 см и выбирается из условия их полного испарения в облачной среде.

8.7.3.4 Пространственный разнос последовательных линий засева облачной системы определяется значением скорости переноса облачной массы 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. Образующиеся в результате воздействий зоны кристаллизации в облаках и соответствующие им зоны выпадения осадков имеют при этом характерный вид змейки. Ширина зон осадков в результате продолжающегося действия реагента возрастает по мере удаления от места засева и через некоторое время достигает максимума.

8.8 Технология воздействия на конвективные облака

8.8.1 На блок-схеме, представленной на рисунке 8.11, иллюстрируется последовательность мероприятий, выполняемых в процессе подготовки и проведения оперативных работ по воздействиям на конвективные облака. Прогноз условий составляется ОПО Росгидромета и состоит из прогноза синоптического положения (перемещения и эволюция барических образований, фронтов, облачных систем) и прогноза развития облаков, пригодных для воздействий. Прогноз составляется на 12 ч с делением на 3-часовые интервалы. Наличие в прогнозе информации о пригодности облаков для воздействия служит основанием для организации работ по ИВО. Количество и сроки вылетов определяются ожидаемой продолжительностью пребывания над районом работ облаков, из которых могут выпадать осадки.

8.8.2 Решение о начале проведения работ принимается руководителем воздействий на основании прогноза погоды, анализа текущей синоптической информации и сведений о фактической погоде в районе лесного пожара и его состоянии. При этом в первую очередь учитывается информация о наличии в районе работ пригодных для воздействия облаков

по данным метеостанций и постов, метеорологического радиолокатора, МИСЗ, экипажей ВС и др.источников информации.

8.8.3 Основные различия в технологических циклах проведения воздействий на облака различных форм заключаются в способах и схемах засева облаков с борта самолета [15, 18, 43]. Так, после установления соответствия параметров конвективных облаков критериям их пригодности к засеву и принятия решения о проведении работ по засеву экипажу самолета дается команда о выходе на рубежи засева и о подготовке к засеву.

8.8.4 При засеве отдельных изолированных мощных конвективных облаков самолет либо пересекает их вершину (рисунок 8.12), либо пролетает на высоте ниже 200 м под ее верхней границей.

В момент пересечения самолетом верхней границы облака с борта самолета производится отстрел пиропатронов. Таким образом, осуществляется последовательный засев всех облаков, которые по своим характеристикам удовлетворяют критериям пригодности для засева с целью изменения режима осадков.

8.8.5 При засеве многовершинных облаков в первую очередь производится засев тех облаков, которые находятся в стадии роста и у которых значения температуры на уровне верхней границы находятся ниже 0 ^{o}C (рисунок 8.13). Критерии пригодности облачных кластеров (скоплений) для засева в целом аналогичны подобным критериям для изолированных облаков. Ввод реагента в облака может осуществляться с верхней, нижней и боковой границ облаков. Расход пиропатронов на засев каждой вершины примерно соответствует их расходу на засев изолированных одноячейковых облаков [15, 35, 44]. Засев кучево-дождевой облачности производится исключительно с верхней границы облаков. Схемы засева отдельных одноячейковых кучево-дождевых облаков и многоячейковых приведены на рисунках 8.14 и 8.15 соответственно. Схема засева кучево-дождевой облачности, расположенной среди слоисто-дождевой системы облаков также осуществляется с верхней границы (рисунок 8.16).

9 Организация выполнение полетов для АВ на облака с целью тушения лесных пожаров

9.1 Общие положения

9.1.1 Выполнение полетов для АВ на облака с целью ИВО для снижения класса пожароопасности лесов и тушения лесных пожаров, как правило, совмещается с авиационным патрулированием при проведении авиационной охраны лесов от пожаров [45, 46] или выполняется целенаправленно [36, 47].

Авиационное патрулирование лесов в пожароопасное время года проводится с целью своевременного обнаружения лесных пожаров. Для этого используются самолеты типа Ил-103, Ан-2, Ан-26, вертолёты Ми-2, Ми-8 и др.

9.1.2 Патрульные полеты проводятся в соответствии с классами пожарной опасности по условиям погоды по шкале В.Г.Нестерова или по местным шкалам, утверждаемым федеральным органом управления лесным хозяйством по представлению ЦБ «Авиалесоохрана».

При V классе пожарной опасности в лесу по условиям погоды ежедневно производится трёхкратный осмотр территории, при IV классе ежедневно проводится не менее двух облетов каждого маршрута. При III классе проводится 1-2 облета маршрута в течение дня. При II классе патрулирование проводится через 1-2 дня. При наличии фактической горимости лесов полеты при II классе пожарной опасности до момента прекращения действия пожаров проводятся ежедневно. При I классе патрулирование, как правило, не проводится. При благоприятном развитии погодных процессов для выпадения осадков полёты могут выполняться при любом классе с целью ИВО для снижения пожарной опасности в лесу.

9.1.3 Когда вылет проводится до 12 ч местного времени, следует руководствоваться прогнозом развития конвективной облачности на текущий день. Наиболее благоприятные условия для ИВО наблюдаются в 14-18 ч местного времени в период максимального развития конвективной облачности.

9.1.4 Полеты по маршрутам авиапатрулирования и осмотр лесных пожаров выполняются на малых и средних высотах на крейсерской скорости, установленной для

транспортных полетов на данном типе самолета или вертолета. Патрульный полет при хорошей видимости в равнинной местности выполняется на истинной высоте 600 – 1000 м, в горной - до 2000 – 3000 м. Засев облаков реагентами производится на высотах, определенных инструкцией [44], но не ниже 1200 м.

9.2 Комплекс технических средств воздействия на борту легкомоторного (Ан-2 и др.) воздушного судна для АВ на мощные кучевые облака

9.2.1 Самолетный комплекс технических средств воздействия в общем случае включает:

- специально оборудованное воздушное судно;
- технические средства воздействия;
- средства измерения параметров атмосферы и облаков.

9.2.2 Разработанный вариант комплекса технических средств воздействия [48] предназначен для проведения операций по вызыванию осадков с применением самолетов типа Ан-2. Данный вариант выбран из экономических соображений. Нет принципиальных ограничений по применению на переохлажденные облака и туманы других типов самолетов, оборудованных аналогичными средствами воздействия.

9.2.3 Средства воздействия включают:

- стационарно устанавливаемое на борту самолета экспериментальное кассетное устройство (ЭКУ) для пиротехнических генераторов САГ-П (САГ-ПМ);
- пиротехнический самолетный аэрозольный генератор САГ-П;
- устройство ручного ввода пиропатронов в атмосферу [44];
- пиропатроны ПВ-26 и их модификации.

9.2.4 ЭКУ является съемным оборудованием, установка которого на самолетах Ан-2 осуществляется с учетом конструкции самолета-носителя.

Устройства ЭКУ допускают их монтаж и применение генераторов САГ-П в условиях автономного базирования самолета Ан-2 на внебазовых аэродромах.

В состав комплекса ЭКУ входят две 10-ствольные кассеты и система управления. Кассеты устанавливаются на внешней подвеске и снаряжаются на аэродроме. Система управления размещена в салоне самолета.

9.2.5 Генератор САГ-П является расходным изделием разового применения. Он представляет собой унитарный модуль патронного типа, содержащий пироэлемент и электровоспламенитель.

9.2.6 Кассетный держатель подвешен под фюзеляжем самолета параллельно направлению полета. Сопла и выход продуктов горения генераторов САГ-П направлены вниз. Такое расположение является наиболее благоприятным с точки зрения аэродинамического обтекания устройства и обеспечивает высокую степень разбавления реагента при выходе из сопла САГ-П. При этом высокотемпературная, химически агрессивная струя сносится потоком воздуха без касания конструкции самолета, образуя линейно-протяженный источник.

9.2.7 Из существующих реагентов используют йодистое серебро (1-2% от общего объема пиротехнической смеси (САГ-П) или с 8% составом AgJ – АД-1 (САГ-ПМ)).

Установлено, что от одного САГ-П при температуре минус 10 ^{o}С обеспечивается выход льдообразующих частиц до $2x10^{13}$.

Разработанные к настоящему времени генераторы САГ-П различаются по времени дымообразования (60 и 100 с), что обеспечивает создание линейного источника, протяженность которого достаточна для засева мощных кучевых облаков выбранного класса одним САГ-П.

Система приведения в рабочее состояние САГ-П обеспечивает нужные диапазоны дозировок в зависимости от метеоусловий и решаемой задачи. Питание системы управления осуществляется от бортовой сети 27 В ± 10 %.

9.2.8 К средствам измерения и регистрации параметров атмосферы и облаков для самолета-оператора по воздействиям следует относить штатное оборудование самолета: высотометр, вариометр, указатель температуры, указатель скорости самолета и курса полета, GPS. К внештатному оборудованию – углометр (сектант), секундомер, электрометеорограф, измеритель водности облаков, видеокамеры, персональный компьютер (Nootbuc).

9.3 Планирование и организация производственных работ

9.3.1 Предварительная подготовка

На этапе предварительной подготовки решаются следующие задачи:

а) всестороннее исследование природно-климатических условий района АВ и их связей с хозяйственной деятельностью;

б) подготовка и согласование программы работ;

в) специальное теоретическое и практическое обучение персонала для проведения - производственных работ;

г) решение организационных вопросов, связанных с обслуживанием воздушных судов, согласованием условий специальных полетов по воздействиям в районе проведения работ, использованием средств связи;

д) подготовка технических средств воздействия и специальной аппаратуры;

е) решение вопросов взаимодействия с межрегиональными территориальными управлениями по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и другими заинтересованными организациями;

ж) организация системы контроля за результатами воздействия и ее техническое оснащение.

Непосредственно перед началом работ проводятся следующие мероприятия:

а) оборудование самолета Ан-2 техническими средствами воздействий;

б) подготовка, метрологический контроль и установка используемых измерительных средств;

в) уточнение общей схемы и вариантов проведения опытных работ;

г) организация наземного метеорологического обеспечения работ, сбор и обработка и анализ метеорологической информации;

д) согласование порядка взаимодействия с наземными службами по обеспечению контроля за результатами АВ;

е) изучение инструкций по технике безопасности;

ж) оформление задания (плана) на выполнение летных работ.

9.3.2 Предполетная подготовка

Предполетная подготовка включает:

- анализ горимости лесов, метеорологической обстановки и их прогноз;

- сбор метеоинформации, необходимой на борту воздушного судна для определения условий полета;

- оформление задания на полет;

- уточнение тактики работ для конкретных пожаров и метеоусловий, инструктаж экипажа воздушного судна;

- снаряжение и проверка технических средств воздействия;

- согласование задания на полет с производственно-диспетчерской службой (ПДС) гражданской авиации.

Примечание - При больших расстояниях от пункта радиозондирования до района работ в необходимых случаях организуется температурное зондирование с самолетов-лабораторий. Должно быть также предусмотрено обновление информации запросом непосредственно с борта.

9.3.3 Планирование полетов

9.3.3.1 Оперативное планирование полётов по АВ с целью тушения лесных пожаров производится исключительно по прогностическим показателям о развитии ресурсной облачности в зоне действующих пожаров.

9.3.3.2 Профилактические воздействия в целях снижения пожарной опасности в лесу могут производиться по прогнозу облаков и дополнительной информации о горимости, а также по сообщениям с воздушных судов, выполняющих патрульные или другие работы по охране лесов.

9.3.3.3 Работы в интересах сельского хозяйства требуют более обширной информации как о состоянии сельхозугодий, так и о различных сельскохозяйственных работах, деятельности которых дополнительные осадки могут нанести в конкретной обстановке ущерб.

9.3.3.4 Планирование полётов производится при условии постоянного метеорологического обеспечения, которое позволяет своевременно предвидеть необходимость и природную обеспеченность выполнения операций по АВ. Оперативно полеты планируются, как правило, на следующие сутки. Заявка на полет подаётся до 10 ч текущих суток с указанием времени вылета, района и режима работ (эшелонирования) по предварительному прогнозу погоды.

9.3.3.5 Время подготовки самолетов и экипажей, количество и время вылетов определяются ожидаемой продолжительностью пребывания над районом работ облаков, пригодных для АВ. При этом учитываются санитарные нормы налета часов и продолжительность рабочего дня экипажей, место проведения работ и летно-технические данные воздушных судов. С учетом затрат времени на перелет к району работ и возвращение на базу, а также метеорологических условий и необходимого резерва авиатоплива, продолжительность полета в среднем не может превышать дневной санитарной нормы экипажа.. Поэтому, если продолжительность сохранения условий благоприятных для проведения АВ, превышает указанную величину, вылет необходимо планировать так, чтобы вовремя произошла смена самолетов в зоне работ, или произведена дозаправка на ближайшем к району работ аэродроме.

9.3.4 Принятие решения на вылет

Решение на вылет принимается, если в районе работ имеется необходимость в АВ и ожидается развитие конвективной облачности, пригодной для воздействия с целью ИВО.

Решение на вылет принимается руководителем авиационного отделения (авиазвена) по согласованию с пунктом диспетчерского управления. Решение принимается не позднее, чем за 1 ч до времени вылета, указанного в заявке на полет. Время вылета может быть перенесено на другой срок, если погодные условия для работы по имеющейся информации возникнут позднее спрогнозированного срока.

9.3.5 Расчет времени вылета

Время вылета планируется с таким расчетом, чтобы самолет прибыл в район работ к периоду ожидаемого достижения облаками необходимых параметров.

9.3.6 Вывод самолета в заданный район

Экипаж выводит самолет в заданный район по правилам визуального полета на высоте ниже высоты нижней границы облаков на 100-200 м. Ведется тщательная прокладка маршрута и привязка выбранных облаков к местности по патрульной или полётной карте с масштабом 1-5 км в 1 см.

Полеты по АВ на облака выполняются в соответствии с [49, 50, 51] и другими документами, регламентирующими летные работы.

9.3.7 Выбор и уточнение рубежа АВ

Выбор и уточнение рубежа АВ проводится летчиком-наблюдателем с учетом метеорологической информации и состояния пожара. Барражирование на расчетном рубеже с наветренной стороны от мишени сопровождается АВ на облака, удовлетворяющие критериям их пригодности для АВ.

План полета самолета в районе, где наблюдается лесной пожар, строится с учетом следующих условий и требований:

- в большинстве случаев отдельные конвективные облака являются элементами облачных полей или гряд;

- облака движутся под влиянием ведущего потока в атмосфере. Опираясь на экспериментально установленные закономерности, в качестве первого приближения при оценке направления и скорости конвективных облаков на стадии мощных кучевых, можно взять значения ветра на высоте 700 мб поверхности (около 3 км);

- для достижения практически значимого эффекта, выраженного слоем дополнительных осадков на площади пожара, активные воздействия целесообразно выполнять по схеме многократного пролета на некотором рубеже с наветренной стороны от пожара;

- при выборе рубежа, определении его азимута и удаления от очага пожара, длины и схемы полетов в зоне рубежа должны быть учтены как характеристики конкретной реализации атмосферных условий, так и тактико-технические характеристики конкретного комплекса технических средств воздействия и их эффективности.

9.3.8 Выбор оптимальной длины линии воздействия

9.3.8.1 Оптимальная длина линии воздействия (h) определяется на основе анализа переноса в атмосфере ансамбля конвективных облаков.

Исходные гипотезы, принятые для анализа:

- движение всех облаков ансамбля происходит с одинаковой скоростью и по совпадающим направлениям;

- каждое облако движется как единое целое с некоторой средней скоростью ветра;

- направление движения облаков после воздействия может измениться, но его возможно установить априори или по данным измерений единичных облаков.

9.3.8.2 Определение оптимальной длины линии воздействия для любых исходных данных о скорости переноса облаков и самолета ведется по номограмме или на ПК, если длина рубежа воздействия L не лимитируется размерами очага пожара.

Так, например, при заданных значениях L, скорости самолета V_c и облаков V_o определяется, какая часть облаков, намеченных для воздействия и пересекающих линию L, может быть засеяна с целью ИВО.

В таблице 9.1 приведена вероятность пропуска облаков при полете на различной L для V_o = 10 м/с и V_c = 180 км/ч.

Т а б л и ц а 9.1 - Зависимость относительного числа пропускаемых облаков от L

Длина рубежа воздействия L, км	33	75	130
Вероятность пропуска облаков	0,0	0,5	0,7

9.3.8.3 Минимальный пропуск «ресурсных» облаков обеспечивается при длине L в пределах 25-40 км. При большей длине L с наветренной стороны очага пожара потребуется привлечение дополнительных самолетов.

Для системы самолет Ан-2 – ЭКУ САГ-П размеры области искусственно вызванных осадков из мощных кучевых облаков в среднем составляют 400-500 км^2.

9.3.9 Схема полетов при засеве облаков (гряд облаков)

9.3.9.1 Для засева выбирается эшелон полета ниже основания облака на 50-100 м. Заход для засева осуществляется в горизонтальном полете от одного края облака к другому по средней линии проекции его длины.

По скорости полета и фиксированному времени по секундомеру уточняются горизонтальные размеры облака.

При относительно небольших горизонтальных размерах облака используются включенные генераторы со временем действия 60 с, чтобы не было излишних затрат реагента или один ПВ-26 ФХС в восходящий поток под облаками.

9.3.9.2 При расположении облаков в виде гряд засев проводится вдоль гряды с таким расчетом, чтобы максимальное количество реагента попало в очаги восходящих потоков.

Оптимальными сечениями облаков, на которых выполняется засев, считаются:

- для медленно смещающихся внутримассовых облаков – в сечении, близком к центральному;

- для гряд конвективных облаков, связанных со слабо выраженными фронтальными разделами, и быстродвижущихся внутримассовых – в сечении, смещенном к передней части оснований облаков.

9.3.10 Расчет удаления рубежа воздействия

9.3.10.1 Расчет удаления рубежа воздействия ведется с таким расчетом, чтобы максимальное количество осадков выпало в пределах пожара. При этом учитывается

эмпирически установленный интервал времени после засева до появления осадков под облаком, а также поправка на высоту полета.

9.3.10.2 В среднем осадки у земли наблюдаются через 20 мин. Переход к умеренным и сильным осадкам происходит через 2-5 мин после их начала. С учетом экспериментальных данных, скорости переноса облаков и необходимого времени для достижения осадками земли, рубеж воздействия выбирается на удалении 30-минутного переноса облаков от очага пожара.

9.3.10.3 По контрольному воздействию с отслеживанием места выпадения осадков по радиолокатору, с самолета или по сообщениям с земли рекомендуется выполнять корректировку рубежа воздействия.

9.3.10.4 Гряды облаков не всегда ориентированы перпендикулярно направлению ветра в облачном слое. При засеве таких гряд рубеж воздействия ориентируется вдоль них, а траектория полета может отклоняться от прямолинейной с целью засева фронтальных частей конвективных ячеек. Учитывая, что высока вероятность отклонения направления зон осадков из облаков грядовой структуры от ветра, определенного под облаками или на среднем уровне в облаках, рекомендуется засев проводить в виде полуокружности от очага пожара.

9.4 Технология засева

9.4.1 Выбор пригодности облаков для засева

9.4.1.1 В первом приближении пригодность облака к АВ определяют визуально по внешним признакам, таким как наличие резко очерченных куполов, башен на вершине облака, более или менее горизонтальное темно-серое основание. Приблизительно оценивается вертикальная мощность облака.

9.4.1.2 Внешними признаками нецелесообразности засева очередного облака являются отсутствие восходящих потоков, выпадение дождя под облаком, нисходящие потоки по всему периметру облака, радуга, размытая («волосатая») верхняя граница (это говорит о том, что облако находится в стадии распада).

После выбора облака по внешним признакам выполняется ряд операций по измерению и уточнению параметров облака.

9.4.1.3 Размер нижнего основания облака (ячейки, гряды) измеряется по времени пролета самолета под облаком и скорости самолета. Наличие и интенсивность

восходящих потоков определяют по тенденции воздушного судна к набору высоты на установившемся режиме полета при постоянном тангаже.

9.4.2 Определение вертикальной мощности облаков

9.4.2.1 Вертикальная мощность конвективного облака (ячейки, гряды), являясь одним из наиболее важных параметров АВ, с самолета Ан-2 определяется только ориентировочно. МРЛ для стадии мощных кучевых облаков также не дают уверенной информации о геометрических размерах. Недостаток прямой информации о геометрических размерах должен быть компенсирован любыми доступными способами: прогноз уровня конвекции (верхней границы облаков), угломерные измерения, сообщения рейсовых самолетов, иногда радиолокационные способы.

9.4.2.2 Используя метод отношений, с самолета на расстоянии 7-10 км от облака при полете на высоте нижней границы облаков через вертикально установленную прозрачную палетку с размерной шкалой, визируют три объекта:

- вершину облака;
- нулевой уровень, соответствующий нижней границе облака;
- тень облака на земле.

При курсе самолета «на солнце» или «от солнца» вертикальная мощность ΔH получается из соотношения:

$$\frac{\Delta H}{H_{нг}} = \frac{h_1}{h_2}, \qquad (9.1)$$

откуда

$$\Delta H = H_{нг} \frac{h_1}{h_2}, \qquad (9.2)$$

где $H_{н.г}$ – высота нижней границы облака;

h_1 и h_2 - значения отсчетов при визировании на вершину и на тень от исследуемого объекта соответственно в условных единицах шкалы палетки.

9.4.2.3 При отсутствии условий визирования вершины или тени, а также для предварительной оценки целесообразно использовать прогностическую информацию (ΔH определяется разностью высот между уровнями свободной конвекции ($H_{в.г}$) и конденсации ($H_{н.г}$)).

9.4.3 Принятие решения о засеве облака

Решение о засеве облака принимается на основании измерений и вычислений, если они удовлетворяют следующим требованиям:

- вертикальная мощность облака не менее 2-2,5 км;
- верхняя граница облака достигает температуры порогового уровня срабатывания реагента;
- вертикальная мощность переохлажденной части облака не менее 500-1000 м;
- облако находится в стадии развития;
- наличие восходящих токов под облаком;
- отсутствие опасных метеорологических явлений.

9.5 Рекомендации по нормированию количества реагента (изделий) для засева мощных конвективных облаков

9.5.1 При разработке данной методики были проведены теоретические исследования распространения реагента в облаке и околооблачном пространстве.

Установлено, что для конвективных облаков мощностью 4000 м и 5600 м с целью искусственного вызывания осадков достаточно создание в подоблачном слое линейного источника льдообразующего реагента протяженностью 2000 м с выходом $2x10^{12}$ частиц на метр трассы активного дыма, что обеспечивается применением одного САГ-П. Учитывая это, по экспериментальным данным выделен класс мощных кучевых облаков, максимальная часть которых переходит в дождящие при воздействии с применением одного изделия САГ-П.

К этому классу относятся облака с температурой на верхней границе $t_{в.г}$ в интервале от минус 8 до минус 12 ^{o}С и мощностью теплой части ΔH_{+} менее 2 км при диаметре основания D около 4 км^2.

9.5.2 Общие рекомендации для облаков выбранного класса приведены в таблице 9.2.

Приведенные рекомендации при ограниченности информации о входных параметрах могут корректироваться в процессе опытов, если по фактическим результатам воздействий оперативно выявится заведомо отличный от расчетного эффект.

Таблица 9.2

$t_{в..г,}$ °С	ΔH_+	D, км	Требуемое число САГ-П
От - 8 до -12	< 2	≤ 4	1
	2 - 4	≤ 4	2
	2 - 4	4 - 8	2
От -6 до -8	Любой	≤ 4	2
От -13 до -15 и холоднее	2 - 4	≤ 6	1
	4 - 6	≤ 6	2-3

9.5.3 При использовании в качестве реагента изделий САГ-ФХС следует руководствоваться инструкцией [44], но не более одного изделия при мощности облака 2,5 км.

9.6 Оперативный контроль и корректировка схемы и технологии АВ

9.6.1 При проведении АВ необходимо постоянно следить за изменениями окружающей обстановки и поступающей метеорологической информацией. Это важно для правильной оценки изменяющихся атмосферных условий и связанной с этим необходимости корректировки схемы АВ.

9.6.2 Изменение направления или скорости ветра, а соответственно и переноса облаков, обусловит изменение рубежа воздействий.

9.6.3 При изменении геометрических размеров облаков должно быть соответственно увеличено или уменьшено количество вводимого реагента, либо изменена схема полета при засеве, а в некоторых случаях вообще прекращен засев, если верхняя граница облака не достигает уровня температуры срабатывания льдообразующего реагента

9.6.4 При отрицательном эффекте АВ на данное облако или гряду облаков необходимо отлететь в сторону и провести дополнительное определение их параметров и в соответствии с обновленной метеорологической информацией вновь принять решение о засеве (или не засеве) облака.

9.6.5 При работе в зоне действия МРЛ и надежной устойчивой радиосвязи с ним следует возможно чаще запрашивать информацию об изменении обстановки для уточнения технологии воздействий.

Чрезвычайно важно использовать возможности наземного радиотехнического комплекса для обеспечения безопасности выполнения полетов при ухудшении условий погоды, в частности для обхода опасных для полетов зон ливневых осадков и гроз.

9.6.6 Полеты с целью АВ прекращаются в следующих случаях:

- отсутствие положительного эффекта АВ;
- возникновение опасных явлений погоды (гроза, шквалы, град, сильная болтанка и др.);
- сообщение о запрете полетов;
- выход параметров облачности за пределы диапазона пригодности облаков АВ.

9.7 Выполнение полетов для АВ на облака со средневысотных воздушных судов (Ан-26 и др.)

9.7.1 Общие положения

9.7.1.1 Полеты по АВ на облака с целью ИВО для тушения лесных пожаров производятся над малонаселенными районами. Полеты выполняются на специально оборудованных воздушных судах с экипажами, допущенными к этому виду работ.

9.7.1.2 Экипаж воздушного суда, как правило, состоит из:

- командира воздушного суда;
- второго пилота;
- штурмана;
- бортмеханика;
- бортрадиста;
- летчиков-наблюдателей авиационной охраны;
- инженера-бортаэролога при проведении научно-исследовательских полетов.

При отсутствии на борту инженера-бортаэролога его функциональные обязанности выполняет летчик-наблюдатель [47].

9.7.1.3 Экипаж должен быть подготовлен к полетам по АВ на облака с целью искусственного вызывания осадков.

9.7.3.4 Самолеты, предназначенные для указанных целей, оборудуют установками по воздействию на облака, а также снабжают осадкообразующими реагентами.

9.7.1.5 Набор рабочей высоты воздействия производится без захода в облако (визуально) и не ближе 3-4 км от него. Подход к облаку с целью пуска в него

пиропатронов с осадкообразующим реагентом осуществляется на скорости, рекомендованной «Руководством по летной эксплуатации» данного типа самолета при полетах в турбулентной атмосфере.

В случае увеличения болтанки при подходе к облаку более 0,5 g экипаж должен уйти от него.

9.7.1.6 По окончании набора рабочей высоты командир воздушного суда по указанию летчика-наблюдателя начинает маневр подхода к облаку.

Подход к облаку допускается не ближе 50 м по окружности облака без захода в него.

9.7.1.7 Все самолеты, предназначенные к полетам по АВ на облака, должны быть оборудованы внешними бортовыми ракетными кассетами, управляемыми специальным дистанционным пультом из кабины. Пуск производится одним из членов экипажа, на рабочем месте которого расположен этот пульт.

Пуск пиропатронов с осадкообразующим реагентом в облако производится только по команде летчика-наблюдателя.

9.7.2 Подготовка к полету

9.7.2.1 При подготовке к полету по ИВО из облаков для тушения лесных пожаров экипаж должен большое внимание уделить изучению метеорологической обстановки. Тщательно проанализировать фактическую погоду в районе работ, а также прогноз ее изменения на ближайшие 6-7 ч.

9.7.2.2 Перед полетом экипаж согласовывает с пунктом диспетчерского управления район полета, а также возможность маневрирования по высоте в момент АВ на облака.

9.7.2.3 АВ подвергаются мощно-кучевые конвективные облака. Максимального развития эти облака достигают, как правило, во второй половине дня местного времени, хотя в отдельных случаях их можно наблюдать и в другое время суток.

9.7.2.4 Большое внимание при изучении метеорологической обстановки нужно уделить распределению температуры по высотам на картах барической топографии, прогнозу развития мощной кучевой облачности, а также переносу (ведущему потоку) в слое конвекции до уровня 6-7 км, т.к. от этого в большой степени зависит возможность АВ на облака, а также количество выпадающих осадков.

По окончании консультаций и уточнений метеорологической и лесопожарной обстановки в районе работ командир воздушного суда совместно с летчиком-

наблюдателем принимает решение о времени вылета самолета на патрулирование, или непосредственно в район действия лесных пожаров.

9.7.3 Выполнение полета

9.7.3.1 Полеты для обнаружения и тушения лесных пожаров производятся согласно правилам визуального полета (ПВП), изложенного в соответствующем разделе [46, 50, 51].

9.7.3.2 После взлета и набора заданной высоты полета самолет следует в намеченный район. Одновременно в полете производится наблюдение, по возможности, всеми членами экипажа за метеорологической обстановкой; при этом обращается особое внимание на наличие конвективной облачности, а также действующих пожаров на охраняемой территории.

9.7.3.3.Если полет производится с целью патрулирования, без заранее намеченного района проведения работ по АВ, то при обнаружении пожара самолет следует в этот район.

9.7.3.4 При принятии решения на АВ учитываются вид пожара, скорость его распространения, ценность насаждений, близость населенных пунктов, метеорологические условия и возможность искусственного вызывания осадков.

9.7.3.5 Если работа по АВ на облака происходит на трассе полетов самолетов гражданской авиации или в непосредственной близости от нее (25-30 км от оси), командир обязан получить разрешение диспетчера на выполнение работ и выполнять все его распоряжения, которые могут поступить на борт воздушного суда. Экипаж в этих условиях должен соблюдать максимальную осмотрительность. Связь работающего воздушного суда с Руководящим диспетчерским пунктом (РДП) должна быть непрерывной до окончания воздействия, вплоть до момента выхода его из этого района, что также докладывается диспетчеру.

9.7.3.6 Летчик-наблюдатель при подходе к зоне лесного пожара и наличии облачности на основании температурного градиента определяет необходимую рабочую высоту для эффективного АВ на облако с учетом химического состава осадкообразующего реагента, находящегося на борту; оценивает примерное количество потребных пусков пиропатронов, а также нужный интервал между пусками и докладывает об этом командиру воздушного суда.

9.7.3.7 Летчик-наблюдатель со штурманом воздушного суда определяют исходные данные для вывода облака на район лесного пожара, учитывая: скорость движения облака, время, необходимое для набора рабочей высоты АВ и подхода к облаку, время от момента воздействия до начала выпадения осадков. Зная скорость перемещения облака, его расстояние от района лесного пожара – он определяет время подхода его в район пожара. Сравнивая время, необходимое на набор рабочей высоты с началом выпадения осадков из облака, определяется вероятность вывода облака на лесной пожар. Для большей вероятности «попадания» искусственно вызываемых осадков на лесной пожар, воздействие целесообразно производить по возможности не на одно облако, а на несколько – охватывая район пожара подковообразно.

9.7.3.8 Штурман с момента набора рабочей высоты АВ следит за детальной ориентировкой, навигационной обстановкой и, по возможности, помогает летчику-наблюдателю в его работе. При наличии на борту радиолокационной станции он следит за характером облака и, если имеется засветка на экране индикатора обзора, свидетельствующая о грозовом состоянии, докладывает об этом командиру воздушного суда.

9.7.3.9 В случае отсутствия на борту установок, измеряющих напряженность электрического поля, бортрадист прослушивает эфир и при появлении сильных атмосферных разрядов в телефонах, указывающих на повышенную напряженность электрического поля, докладывает об этом командиру воздушного суда.

9.7.3.10 Командир воздушного суда, получив доклад о грозовом положении облака, принимает решение в соответствии с требованиями [51].

9.7.3.11 Рабочая высота воздействия считается достигнутой, если температура наружного воздуха соответствует условиям образования и выпадения осадков из облака при введении в него химического реагента, находящегося на борту воздушного судна.

9.7.3.12 Пуск пиропатрона (или серии пиропатронов) производится в боковую или верхнюю часть облака, считая сторону в направлении движения облака – фронтом, а обратную – тылом, с последующим энергичным отворотом на 90^{o} в сторону от облака. При необходимости контроля за результатом АВ воздушное судно начинает снижение после отлета от этого облака на расстояние не менее 7-10 км на рабочей высоте, после чего, с согласия Руководящей диспетчерской службы (РДС), самолет производит дальнейшее снижение до высоты на 50-100 м ниже нижней кромки засеянного облака, но не ниже безопасной высоты согласно [51].

9.7.3 13 Барражирование в районе засеянного облака производится:

- с боковой и тыльной стороны от облака – не ближе 4 км;

- с фронтальной стороны – не ближе 10-12 км.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ: ПОЛЕТ САМОЛЕТА ПОД ЗАСЕЯННЫМ ОБЛАКОМ И ПРОЛЕТ СКВОЗЬ ЭТО ОБЛАКО В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНЫМ ЕГО РАЗВИТИЕМ В ГРОЗОВОЕ.

9.7.3.14 Летчик-наблюдатель следит за перемещением засеянного облака на район лесного пожара. Начало выпадения осадков фиксируется в бортжурнале.

При необходимости, спустя 12-18 мин после начала выпадения осадков, фиксируется визуально:

- площадь выпадающих осадков;
- интенсивность осадков;
- точность выпадения осадков на район лесного пожара;
- воздействие осадков на очаг пожара.

9.7.4 Полеты в горных районах

9.7.4.1 Полеты в горных районах отличаются большой сложностью не столько в навигационном отношении, сколько из-за того, что в атмосфере над этими районами происходят более сложные, порой недостаточно еще изученные процессы. Резкие изменения в интенсивности турбулентности воздушных потоков могут происходить за счет разности нагрева горных склонов, а также изменений направления ветра из-за орографии горных хребтов, что может вызвать атмосферные волны до сравнительно большой высоты.

Очень большое влияние на турбулентность атмосферы оказывает положение фронтальной зоны относительно общего направления горных хребтов.

9.7.4.2 Редкий полет над горными районами на средних высотах проходит без болтанки, иногда достигающей большой величины. Пилотировать самолет в таких условиях бывает не только сложно, но и небезопасно.

В этих случаях полеты по АВ на облака следует отменять, так как в подобных условиях полет из-за сильной болтанки, достигающей предельно допустимых величин перегрузки самолета, опасен. Кроме того, самолет нисходящими потоками может быть брошен на подветренный склон хребта.

9.7.4.3 При полетах по АВ на облака и тушению лесных пожаров над горными районами экипаж должен руководствоваться следующим.

Если местная активная зона с сильными ветрами направлена поперек горного хребта, а связанный с ней холодный фронт располагается от трассы полета более чем в

150 км и перемещается к ней, то полет по АВ на облака в горных районах должен проходить с превышением 1000 м над высшей точкой на удалениях до 50 км в обе стороны от трассы полета самолета.

9.7.4.4 АВ на облака производится в порядке установленном в 9.7.4.2 и 9.7.4.3, но **ЗАПРЕЩАЕТСЯ СНИЖЕНИЕ В ЭТИХ СЛУЧАЯХ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ИСКУССТВЕННО ВЫЗВАННЫМИ ОСАДКАМИ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ**. После АВ на облако самолет должен немедленно отойти от него на рабочей высоте на расстояние не менее 10 км или покинуть данный район.

9.7.4.5 При полетах в горных районах экипаж должен перейти на ручное управление.

9.7.4.6 При непредвиденном попадании самолета в зону турбулентности более 0,5 g экипаж обязан немедленно уйти из этого района, доложив об этом в РДП.

9.7.4.7 **ЗАПРЕЩАЮТСЯ ПОДЛЕТЫ С ПОДВЕТРЕННОЙ СТОРОНЫ ХРЕБТА БЛИЖЕ 40 - 50 КМ.**

9.7.4.8 При попадании самолета в интенсивную турбулентность с подветренной стороны горного хребта экипаж обязан развернуться в сторону от него и покинуть данный район, доложив об этом РДП.

9.7.5 Наведение осадков из облака на лесной пожар

9.7.5.1 Все расчеты выполняются с большим приближением и, в основном, на основании глазомерных измерений. Однако точность такого расчета вполне достаточна для практической работы по АВ на облака с целью ИВО.

Зная скорость и направление ветра на высоте полета, можно определить вероятность выпадения осадков на район лесного пожара.

9.7.5.2 После осмотра и определения вида пожара, его площади и состояния целесообразно развернуться от зоны пожара навстречу вектору ветра и пройти до облака на встречном курсе для определения расстояния, исходя из скорости и времени полета самолета.

Зная расстояние от облака до зоны пожара и скорость его переноса, рассчитывается время их совмещения.

9.7.5.3 По графику или таблице рассчитывают время набора рабочей высоты самолетом от высоты, на которой находится самолет при полете.

Время от начала АВ на облако до выпадения максимальных осадков принимается за постоянную величину, равную 30 мин.

Общее время набора рабочей высоты и интервал времени до максимального выпадения осадков сравнивают с ожидаемым временем переноса облака к району пожара.

Если эти времена совпадают или различаются в пределах 10-15 мин, можно приступать к работе по АВ на облака с целью ИВО для тушения лесного пожара.

Пример – Высота полета – 600 м. Расстояние между облаком и зоной пожара – 25 км. Скорость ведущего потока (ветра), а значит, и движения облака – 27 км/ч. Время переноса облака до зоны пожара – 0 ч 56 мин.

Время набора рабочей высоты от 600 до 5000 м – 0 ч 20 мин. Время до выпадения максимальных осадков – 0 ч 30 мин.

Сопоставляем время перемещения облака с общим временем набора рабочей высоты и интервалом времени до выпадения максимальных осадков:

0 ч 56 мин – 0 ч 50 мин = 0 ч 06 мин.

Следовательно, на выбранное облако можно производить воздействие и осадки выпадут на район пожара.

9.7.5.4 При повторном заходе для ИВО расчеты производятся по уточненным данным о перемещении облаков и интервала времени от момента засева облаков до выпадения искусственно вызванных осадков.

9.8 Оперативная оценка эффекта ИВО по визуальным наблюдениям

9.8.1 Визуальную оценку эффективности засева конвективных облаков производят по признакам, характерным для различных категорий объектов воздействия.

9.8.2 Показателями эффективности являются:

- изменение тенденции в развитии засеянных облаков;
- выпадение осадков.

9.8.2.1 Изменение тенденции в развитии засеянных конвективных облаков определяется по бурному росту вершины засеянного облака и увеличению диаметра облака, потемнению облака у нижней границы.

При возникновении в вершине облака процесса замерзания облачных капель четкие очертания верхней части облака сменяются расплывчатыми волокнистыми, характерными для облачности в кристаллической фазе.

9.8.2.2 Косвенными признаками, подтверждающими кристаллизацию вершины облака и следующее за ним выпадение осадков, служат оптические явления – «нижнее солнце» и радуга.

Нижнее солнце наблюдается на верхней границе облака и представляет собой зеркальное отражение Солнца в падающих кристаллах. При этом кроме яркого пятна в облаке обычно наблюдается светлый столб. Наличие радуги под облаком служит доказательством выпадения из него осадков. Осадки признаются вызванными искусственным путем, если в радиусе 25-30 км от засеянного реагентами облака естественное выпадение осадков не наблюдается.

9.8.3 Если выпадение осадков после засева не наблюдается, то проводят повторное АВ на облака. Результат АВ при несоответствии облака критериям засева не всегда положительный.

После подтверждения факта выпадения осадков из облаков определяют результат их действия на пожар. При этом определяют:

- размеры зон осадков по направлению переноса засеянного облака и перпендикулярно к нему;

- интенсивность выпадающих на пожар осадков и их огнегасящую эффективность (накрытие всей площади пожара, частичное попадание на пожар, полное или частичное погашение огня на кромке пожара, снижение интенсивности горения и т.п.).

10 Основные требования к организации и документированию работ по ИВО для охраны лесов от пожаров

10.1 Общие положения

10.1.1 Организация и проведение работ по АВ на гидрометеорологические процессы и явления, а также государственный надзор за проведением этих работ на всей территории Российской Федерации осуществляется в соответствии с руководящими документами Правительства Российской Федерации и приказами Росгидромета.

10.1.2 Организации допускаются к проведению работ по АВ при наличии лицензии, выданной Росгидрометом в установленном порядке.

10.1.3 Государственный надзор за работами по АВ на гидрометеорологические процессы и явления осуществляется в соответствии с требованиями Росгидромета (Приказ от 14.08.2003 г. № 162).

10.1.3.1 Государственный надзор за работами по АВ проводится:

- центральным аппаратом Росгидромета (группа государственного надзора);

- территориальными органами Росгидромета;

- НИУ Росгидромета.

10.1.3.2 Государственный надзор осуществляется в виде инспекций, проверок, экспертиз и измерений. По результатам этих мероприятий составляется акт, в котором отражается вид выполняемых работ по АВ, техническая характеристика работ и соответствие их действующим нормативным актам, постановка в проверяемой организации внутриведомственного контроля и приемки работ. Акт составляется в 5 экземплярах и направляется в Лицензионную комиссию Росгидромета. При возникновении разногласий к акту прилагается пояснительная записка лицензиата с изложением причин несогласия.

10.2 Ведение производственной документации

10.2.1 При выполнении целевых полетов по АВ на воздушных суднах, оборудованных кассетными устройствами под САГ, производственную и отчетную документацию ведут в соответствии с инструкцией [44]. При работах по ИВО на воздушных суднах, выполняющих авиационное патрулирование, производственную и отчетную документацию ведут в соответствии с указаниями ФГУ ЦБ «Авиалесоохрана». Производственная документация в этих случаях дополняется следующим образцом. В заявке на полет в строке «Цель полета» указывают:

- «Авиапатрулирование лесов с проведением активных воздействий на облака для искусственного вызывания осадков» или;

-«Авиапатрулирование лесов, оценка метеоусловий».

10.2.2 В бортовом журнале летчика-наблюдателя записывают метеорологические условия по маршруту полета в следующей последовательности:

а) форма облачности:

1) конвективные облака:

- кучевые – Cu;

- кучевые мощные – Cu cong;

- кучево-дождевые – Cb;

2) слоистообразные облака:

- слоисто-дождевые – Ns;

- высоко-слоистые – As;

- перисто-слоистые – Cs;

3) волнистообразные облака:

- слоисто-кучевые – Sc;

- высоко-кучевые – Ac;

- перисто-кучевые – Cc;

б) количество облачности (0-10 баллов);

в) высота нижней границы, $H_{н.г}$, м;

г) высота верхней границы, $H_{в.г}$, м;

д) ветер на высоте полета;

е) температура воздуха;

ж) влажность (точка росы, относительная влажность);

и) направление (от 0 до 360^{o}) и скорость смещения облаков, км/ч;

к) состояние земной поверхности (сухая, влажная, мокрая);

л) особые явления (восходящие токи, турбулентность, болтанка);

м) явления погоды (осадки, гроза и т.п.);

н) видимость.

10.2.3 В журнале учета обнаруженных пожаров указывают метеорологические условия, при которых развивается пожар. Дополнительными сведениями будут:

- наличие конвективной колонки над очагом пожара, ее высота;

- высота подъема облака дыма и направление его переноса;

- ветер на высоте 3000 м (высота переноса облаков);

- качественная оценка характера воздушных потоков над очагом пожара (дивергенция, конвергенция);

- наличие кучевого облака на вершине конвективной колонки.

10.2.4 Отчетная документация о проведенных работах выполняется в соответствии с требованиями ЦБ «Авиалесоохрана».

Приложение А

(справочное)

Лесные пожары

А.1 Возникновение лесных пожаров

А.1.1 Горимость лесов тесно связана с погодными условиями. Погодой определяются сроки и напряженность пожароопасного сезона – его начало и конец, максимумы и минимумы пожарной опасности в лесу. Климатическое районирование наступления сроков начала и окончания пожарной опасности в виде схем лесопожарных поясов предложено в [52]. Прогнозирование пожарной опасности и возможных её отклонений от многолетних значений необходимо для планирования работ лесопожарных служб, создания резервов сил и средств пожаротушения и проведения маневрирования ими.

А.1.2 В работе [53] приведены средние многолетние значения критериев пожарной опасности, которые являются климатическими нормами для рассматриваемых районов. Анализ многолетних метеорологических данных свидетельствует о том, что существуют устойчивые типы структур пожароопасных сезонов:

- сезон имеет один резко выраженный максимум, приходящий на середину лета. Такие сезоны характерны для таежных районов севернее 60^{o}с.ш.;

- сезон имеет два максимума пожарной опасности, обычно в начале и в конце пожароопасного периода. Второй максимум выражен слабее. Это типично для лесостепных и южных лесных районов;

- сезон, при котором по средним многолетним данным пожарный максимум не выражен, так как календарные сроки его значительно варьируют от сезона к сезону. Такой тип структуры сезона характерен для ряда районов средней таежной полосы;

- сезон, при котором повышенная пожарная опасность наблюдается в первую половину сезона, а июль и август отличаются дождливостью и низкой пожарной опасностью по погодным условиям. Этот тип структуры сезона типичен для районов с муссонным климатом;

- сезон, при котором пожарный максимум обычно приурочен к определенному календарному периоду, но выражен сравнительно слабо. Это характерно, например, для некоторых районов европейского Севера.

А.1.3 Анализ распределения лесных пожаров в зависимости от их удаленности от населенных пунктов показывает, что в среднем на расстоянии до 5 км возникает 37,3 % лесных пожаров, от 5 до 10 км – 29,2 %, от 10 до 20 км – 18,1 % и от 20 до 30 км – 8,2 %, от 30 до 50 км – 3,7 % и более 50 км – 3,5 % от количества всех пожаров.

Несмотря на то, что количество лесных пожаров в удаленных труднодоступных районах составляет менее 15-20 %, охватываемая ими площадь достигает 80-85 % общей пройденной огнём площади. В районах интенсивного ведения лесного хозяйства возникает 85-90 % лесных пожаров, а охватываемая площадь не превышает 15-20 % общей площади. Количество лесных пожаров по авиабазам системы авиалесоохраны за 1990-2003 годы приведено в таблице А.1.

Таблица А.1 - Количество лесных пожаров по РФ за 14 лет

Год	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Всего пожаров	18412	16911	21266	16040	16171	18758
Площадь лесная, тыс.га	1339,49	661,13	545,11	719,44	488,43	322,83
Площадь нелесная, тыс.га	302,57	406,07	394,42	379,55	156,31	89,31

Окончание таблицы А.1

Год	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Всего пожаров	24085	21421	16831	18812	14452	15109	19499	22121
Площадь лесная, тыс.га	1789,54	643,97	2365,01	533,15	898,93	792,37	1151,65	2037,8
Площадь нелесная, тыс.га	420,11	217,18	635,55	178,65	299,91	427,96	641,65	460,59

А.2 Влияние метеорологических условий на распространение пожара

А.2.1 Основными погодными факторами, влияющими на распространение пожара, являются: ветер, влажность, осадки, температура воздуха и солнечная радиация. Климатические параметры этих величин для Сибири и Дальнего Востока приведены в [54, 65] и приложениях Е, Ж, И, К, Л, М, Н.

А.2.2 Ветер способствует дополнительному притоку кислорода, переносу горящих предметов на расположенные по направлению ветра горючие материалы, что вызывает возникновение новых очагов пожара. Одновременно лесной пожар способствует возникновению конвективных воздушных потоков, усиливающих распространение пламени. Нагретый над очагом пожара воздух поднимается вверх. На его место устремляется менее нагретый воздух, богатый кислородом, который поддерживает процесс горения. Над крупным лесным пожаром образуется конвективная колонка, в которой вверх поднимаются горящие ветки, угли и другие предметы лесной растительности, а затем опускаются на удалении 200-300 м и более от пожара, создавая новые очаги возгорания.

А.2.3 В холмистой и пересеченной местности воздушные потоки обычно направлены днем вверх по ложбинам и склонам, а ночью меняют направление и движутся вниз.

А.2.4 Количество водяных паров, содержащихся в воздухе, характеризуется абсолютной и относительной влажностью (от 0 до 100 %). Влажность горючих материалов, зависящая от относительной влажности воздуха, является важным фактором, влияющим на ход тушения лесных пожаров. В течение дня, по мере того как солнце нагревает землю, и температура повышается, относительная влажность воздуха уменьшается, воздух становится суше. Ночью происходит обратный процесс, температура понижается, а относительная влажность стремится к 100 %. Поэтому ночью процесс горения замедляется.

А.2.5 Температуру воздуха при тушении пожаров учитывают как один из основных факторов. Нагретый солнечной радиацией горючий материал высыхает быстрее, чем при отсутствии солнечного излучения, и способствует более быстрому распространению огня. Элементы лесного пожара представлены на рисунке А.1.

А.2.6 В соответствии с суточным ходом метеорологических величин формируется суточный цикл развития лесного пожара [56, 57]:

- максимальная интенсивность горения с 9 до 21 ч;
- снижение интенсивности горения с 21 ч до 4 ч;
- слабая интенсивность горения с 4 до 6 ч;
- увеличение интенсивности горения с 6 до 9 ч.

А.3 Классы пожарной опасности

А.3.1 Степень опасности возникновения и распространения пожаров в лесу (пожарная опасность) определяется:

- по лесорастительным условиям лесных участков (природная пожарная опасность);

- по условиям погоды в конкретном регионе (пожарная опасность по влажности лесных горючих материалов).

А.3.1.1 Пожарную опасность по лесорастительным условиям лесных участков определяют тип леса, структура насаждения, породный состав и возраст, категория лесных площадей, вырубок и другие характеристики лесного фонда.

А.3.1.2 Пожарная опасность по условиям погоды определяет возможность горения лесных горючих материалов в зависимости от их влажности, определяемой погодными условиями.

А.3.2 Комплексный показатель опасности (КПО) пожара в лесу по условиям погоды определяется на 12-14 ч местного времени как сумма произведения температуры воздуха t^o на разность между температурой воздуха и точки росы τ за n дней без дождя [58, 59]:

$$КПО = \sum_{i=1}^{n} \left(t^o - \tau\right)_i t^o{}_i \,. \qquad (А.1)$$

При расчетах по формуле (А.1) по данным метеорологических наблюдений за срок 12-14 ч местного времени в сухую погоду наблюдается непрерывное возрастание значений КПО. Расчет ведется до тех пор, пока количество выпавших осадков не составит 3 мм и более. При количестве осадков свыше 3,0 мм за сутки принимается, что комплексный опасности пожара в лесу уменьшается до нуля [60].

А.3.3 Различают 5 классов пожарной опасности (таблица А.2).

Во многих регионах разработаны и применяются местные шкалы пожарной опасности, учитывающие местные особенности горимости лесов и её зависимость от величины комплексного показателя.

Т а б л и ц а 2.2 - Шкала классов пожарной опасности

Класс пожарной опасности	КПО	Пожарная опасность
I	0 - 300	Отсутствует
II	301 - 1000	Малая
III	1001 - 4000	Средняя
IV	4001 - 10000	Высокая
V	Более 10001	Чрезвычайная

При I классе пожарной опасности пожары, как правило, не возникают, хотя возможны пожары от молний при сухих грозах, возникшие ранее пожары прекращают действовать или распространяются медленно.

При II классе пожарной опасности пожары возникают от сильных источников огня, количество возгораний невелико. Скорость распространения огня незначительна.

При III классе пожарной опасности лесные пожары возникают от большинства источников огня. Пожары интенсивны, выделяют большое количество тепла, быстро распространяются и создают дополнительные мелкие очаги.

При IV классе пожарной опасности пожары возникают даже от незначительных источников огня, быстро распространяются и достигают крупных размеров.

При V классе пожарной опасности пожары возникают от любого источника огня и высоких температур. Горение интенсивное и очень быстро распространяется на большие площади. Среднее месячное число дней с высокой пожарной опасностью на территории России приведено в приложении П.

А.4 Синоптические процессы, благоприятствующие появлению крупных пожаров

А.4.1 В России изучение влияния атмосферных процессов на возникновение лесных пожаров было начато Г.Я.Вангегеймом [61], который предложил прогнозировать возникновение и развитие лесных пожаров по пяти типам погодных условий и 17-балльную шкалу для оценки пожарной опасности погоды для леса. Более поздние исследования подтвердили тесную связь пожарной опасности в лесу с антициклоническим характером погоды [57, 62, 63].

А.4.2 Наиболее значимые пожароопасные ситуации возникают при прохождении холодных фронтов, вызывающих сильные ветры. Э.Н.Валендик [62] выявил наиболее

типичные синоптические положения, при которых наблюдалось быстрое распространение пожаров до крупных размеров. Усиление пожароопасности лесов связано с нисходящими движениями воздуха на большой площади (антициклональный характер погоды), сопровождающимися быстрым повышением температуры и уменьшением относительной влажности. Не менее сложная пожароопасная обстановка создается в теплых секторах циклонов, сменяющих антициклоны. В непродолжительный период смены барических образований пожары развиваются и распространяются значительно быстро. Этому способствует смена термической стратификации атмосферы с устойчивой на неустойчивую, развитие конвекции в атмосфере, увеличение высоты подъема конвективной колонки, усиление ветра в основании конвективной колонки и, как следствие, интенсивности пожара. Площадь пожаров при таких синоптических ситуациях за 2-3 дня может увеличиваться в десятки раз, а пожары становятся стихийным бедствием.

А.4.3 В Сибири и на Дальнем Востоке большинство лесных пожаров возникает в малоградиентных барических полях, в которых не наблюдаются сильные ветры, но характерны высокие температуры и низкая относительная влажность для пониженного давления, а для повышенного давления прохождение холодных фронтальных разделов с грозами, сопровождающимися порывистыми ветрами и незначительными осадками.

А.4.4 Синоптические положения, при которых создается наивысшая пожароопасность и наблюдаются лесные пожары, развивающиеся до крупных размеров, можно подразделить на четыре типа:

- обширный антициклон с прохождением по его периферии теплого фронта;
- глубокий циклон с фронтом окклюзии в теплом секторе;
- прохождение теплых фронтов при малоградиентных барических полях пониженного давления;
- прохождение холодных фронтов при малоградиентных полях повышенного давления.

А.5 Грозы как фактор лесных пожаров

А.5.1 Сведения о лесных пожарах свидетельствуют, что грозы являются одной из причин возникновения лесных пожаров.

Географическое распределение гроз над сушей определяется характером температурно-влажностного режима, циркуляцией атмосферы и рельефом местности [64]. Число грозовых разрядов на землю на территории России приведены в приложении Р.

А.5.2 Грозы разделяют на внутримассовые и фронтальные.

А.5.2.1 Внутримассовые грозы образуются над континентами в теплый период года в размытых барических полях, слабо выраженных и заполняющихся циклонах. Важнейшим условием образования внутримассовой грозы является развитие термической конвекции.

А.5.2.2 Фронтальные грозы формируются на атмосферных фронтах в процессе бурного вытеснения теплого воздуха вверх в результате натекающего вала холодных воздушных масс (атмосферный фронт по типу холодного) или восходящего скольжения теплого воздуха по фронтальной поверхности (атмосферный фронт по типу теплого).

А.5.3 Среднее годовое число дней с грозой (рисунок А.2) и продолжительность гроз (рисунокА.3) приведены в [65], для Восточной Сибири в [66]. Среднее годовое число дней с грозой по Иркутской области и югу Красноярского края приведено на рисунке А.4, по северу Красноярского края на рисункеА.5, по северу Якутии на рисунке А.6, в Забайкалье на рисунке А.7. Анализ карт повторяемости числа дней с грозами показал, что существуют очаги повышенной грозовой активности и зоны малого числа дней с грозой.

А.5.4 С орографическими особенностями Иркутской области связано распределение числа дней с грозой на ее территории, где наблюдаются очаги грозовой активности от 35-36 дней с грозой в год до 7-8 дней. В Красноярском крае и Тыве число дней с грозой колеблется от 35 на юге Тувы до 0,9 на крайнем севере Красноярского края. Годовое число дней с грозой на территории Якутии колеблется в широких пределах: от 0,1 на крайнем севере республики до 20 в ее южных горных районах. В Забайкалье число дней с грозой в год изменяется от 32-38 до 12-13 в разных районах.

Грозовая деятельность усиливается с приближением к горным районам. Высокая грозовая активность отмечается на Алтае и юге Восточной Сибири.

Приложение Б

(справочное)

Физические основы искусственного регулирования осадков

Б.1 Образование облаков

Б.1.1 Облака являются важным погодообразующим фактором среди других атмосферных явлений. Формирование облаков и облачных систем определяется состоянием атмосферы. Они образуются, как правило, когда упругость водяного пара близка к насыщающей или несколько превосходит ее. Созданию условий, благоприятных для зарождения облаков, способствует увеличение общего количества водяного пара или уменьшение упругости насыщения. В природе количество водяного пара возрастает при увеличении испарения там, где более влажная почва и много водоемов. Уменьшение упругости насыщения происходит при понижении температуры. Обычно это наблюдается при подъеме слоев воздуха (сухо- или влажноадиабатическое охлаждение), при радиационном выхолаживании и при смешивании относительно теплых воздушных масс с более холодными воздушными массами. Существенную роль в облакообразовании играют инверсии температуры и турбулентный обмен [19, 20, 67, 68].

Б.1.2 Облака по внешнему виду разделяют на слоистообразные, волнистообразные и кучевообразные [65].

Б.1.2.1 Различают фронтальные и внутримассовые слоистые облака.

Фронтальные слоистые облака (Ns-As) образуются преимущественно в зонах теплых атмосферных фронтов, фронтов окклюзий или холодных фронтов первого рода за счет упорядоченных медленных восходящих движений воздуха (см/с) над фронтальной поверхностью и его динамического охлаждения. Орографические слоистообразные облака возникают на наветренной стороне или над гребнем хребта и диссипируют на подветренной стороне, имея характер стоячих волн.

Внутримассовые слоистые облака (St, Sc) образуются благодаря процессам радиационного выхолаживания и турбулентного перемешивания в пограничном слое атмосферы.

Б.1.2.2 К волнистообразным облакам относится большая часть видов перисто-кучевых, высоко-кучевых, слоисто-кучевых и слоистых облаков В возникновении волнистообразных облаков участвуют волновые процессы в атмосфере.

Б.1.2.3 К кучевообразным облакам относятся кучевые облака хорошей погоды (Cu), мощные кучевые облака (Cu cong) и разновидности кучево-дождевых облаков (Cb). Кучевообразные облака образуются в результате интенсивных восходящих движений воздуха, возникающих при термической или динамической неустойчивости атмосферы. Характерной чертой облаков является непрерывная эволюция, образование многочисленных переходных форм. Кучево-дождевые облака имеют внутримассовое или фронтальное происхождение.

Б.2 Формирование осадков

Б.2.1 Осадки разделяются по условиям образования на обложные, ливневые и смешанные.

Б.2.1.1 Формирование обложных осадков связано с крупномасштабными упорядоченными вертикальными движениями воздуха, обусловленными фронтальным или орографическим подъемом, либо крупномасштабной горизонтальной конвергенцией со скоростью, не превышающей десятков сантиметров в секунду. Выпадают они как правило, из облачной системы высокослоистых – слоистодождевых облаков. Интенсивность осадков не превышает 1,0-1,5 мм/ч, средняя продолжительность составляет 10-12 ч. При небольших циклонах радиусом 100-300 км или быстро движущихся фронтах интенсивность обложных осадков увеличивается и составляет 1,5-2,5 мм/ч.

Б.2.1.2 Ливневые осадки образуются в кучево-дождевых облаках. Средняя максимальная интенсивность ливневых осадков достигает 5-6 мм/ч и более.

Б.2.1.3 Смешанные осадки обусловлены одновременным действием упорядоченных и конвективных движений.

Б.2.2 Укрупнение капель в облаках до размеров выпадающих осадков происходит в результате фазовых переходов воды (конденсация и сублимация) и коагуляционных процессов. Мелкие капли образуются конденсационным путем на ядрах конденсации, которые, как правило, являются гигроскопическими. Это приводит к тому, что конденсация происходит при насыщении над раствором гигроскопического вещества, т.е. при значениях относительной влажности менее 100 %.

Б.2.3 При конденсации водяного пара на сравнительно больших ядрах конденсации рост капелек радиусом до 1-2 мкм происходит весьма быстро, за несколько секунд. В этих пределах капельки являются достаточно концентрированными растворами, что и является

причиной понижения равновесной упругости пара и интенсивной конденсации водяного пара. Но при дальнейшем росте концентрация раствора уменьшается и перестает влиять на рост капли. Предельный радиус, до которого вырастают капли за счет гигроскопичности, равняется ~ 8 мкм [19, 20, 22]. Расчеты показали, что электрические силы могут влиять на скорость конденсационного роста капелек радиусом не более 1 мкм [20].

Б.2.4 Процесс коагуляции капелек состоит из их сближения под действием каких-либо сил и слияния. К коагуляции капелек могут привести: гравитационные, аэродинамические и электрические силы, а также турбулентность воздуха и броуновское движение. Нижняя граница радиусов капель, для которых возможна гравитационная коагуляция, равна 18 мкм [22]. Коагуляционный рост облачных капель радиусом от 5-8 мкм до 18-20 мкм происходит преимущественно при конвективных токах или под влиянием электрических сил. Устойчивость коллоидной системы в значительной степени определяется ее электрическими свойствами.

Б.2.5 Одной из причин существования облаков без выпадения осадков является неслияние облачных капель. Теоретически и экспериментально было показано, что электрические силы оказывают весьма большое влияние на процесс коагуляции капель, радиус которых увеличивается в электрическом поле с 8 мкм до 18-20 мкм [22, 25].

Б.2.6 Основными же факторами, определяющими процессы осадкообразования в естественных условиях умеренных широт, являются вертикальные (конвективные) воздушные потоки, упорядоченные восходящие движения в зоне атмосферных фронтов и появление в капельножидком облаке ледяных частиц при достижении вершиной облака отрицательных температур.

Б.2.7 При восходящих движениях поднимающийся воздух охлаждается адиабатически, что приводит к пересыщению водяного пара и активному конденсационному росту капель до размеров, при которых начинается гравитационное слияние капель. Замерзание капель при отрицательных температурах происходит при наличии ядер кристаллизации или льдообразующих ядер, при отсутствии которых переохлажденные капли могут не замерзать до температуры минус 41 ^{o}C – минус 42 ^{o}C.

Б.2.8 Упругость водяного пара надо льдом меньше, чем над водой, поэтому в облаке при появлении ледяных кристаллов начинается процесс перегонки водяного пара с капель на кристаллы, которые, укрупняясь, начинают падать, продолжая укрупняться за счет столкновения с облачными частицами на пути падения (гравитационная коагуляция) и конденсационного роста за счет разности температур падающей частицы и окружающей среды.

Б.2.9 На рост ледяных кристаллов также оказывают влияние аэродинамические и электрические силы. Как показали экспериментальные исследования [22], только гравитационными силами нельзя объяснить рост облачных кристаллов до размеров осадков. Следовательно, электрические силы должны оказывать весьма большое влияние и на процессы коагуляции облачных кристаллов. Взаимодействие зарядов облачных частиц и электрического поля атмосферы может быть весьма большим, в особенности для капель и кристаллов мелких размеров. При рассмотрении влияния электрического поля на коагуляцию облачных частиц принимается во внимание только его вертикальная составляющая. В облаке необходимо учитывать и горизонтальные градиенты, которые могут быть того же порядка, что и вертикальные. Влияние горизонтального и вертикального электрических полей на коагуляцию частиц заметно возрастает, если напряженность электрического поля превышает 10^4 В/м. Была обнаружена линейная зависимость вероятности слияния разноименно заряженных капелек одинаковых размеров радиусом до 40 мкм от величины зарядов, больших $2x10^{-14}$ Кл.

Б.3 Виды неустойчивости атмосферных процессов

Б.3.1 Экспериментальные данные убедительно показывают, что искусственное вызывание осадков может быть успешным лишь при наличии факторов, способствующих достижению поставленной цели. Одним из важнейших факторов такого рода является наличие неустойчивых состояний в атмосфере. Методы, разрабатываемые в целях активного воздействия на облака, основываются на использовании некоторых неустойчивых состояний, связанных со спецификой и закономерностями фазовых переходов воды в атмосфере.

Б.3.2 С точки зрения АВ на облака можно выделить пять видов неустойчивых состояний в атмосфере.

Б.3.2.1 Коллоидная неустойчивость водной субстанции связана с нахождением в атмосфере капель воды (кристаллов льда), плотность которых на три порядка больше плотности атмосферного воздуха.

Известно, что водная субстанция в атмосфере может находиться в трех фазах – газообразной, жидкой и кристаллической – и не всегда каждое из этих состояний является стабильным. Процессы осадкообразования тесно связаны с переходом водной субстанции из газообразной фазы в жидкую. Этот переход в атмосфере осуществляется при участии зародышей, называемых облачными ядрами конденсации.

В воздухе, свободном от аэрозолей и ионов, конденсация водяного пара происходит лишь в том случае, если пересыщение достигает нескольких сотен процентов. Атмосферные аэрозоли являются готовыми ядрами конденсации и препятствуют созданию больших пересыщений. Максимальное пересыщение в атмосфере, содержащей ядра конденсации, составляет доли процента. Число ядер конденсации в 1 $см^3$ приземного слоя колеблется в широких пределах – от нескольких миллионов в промышленных городах до единиц над океанами.

Взвешенные в воздухе капли воды, из которых состоят водяные и, частично, смешанные облака, возникают и увеличиваются в радиусе до 8 мкм за счет конденсации водяного пара на ядрах конденсации. При радиусе свыше 100-200 мкм капли преодолевают сопротивление воздуха и под действием гравитационных сил падают, сталкиваясь друг с другом, укрупняются, в результате чего падают еще быстрее и покидают облако в виде дождя. Естественно, что неустойчивость такой коллоидальной системы зависит от геометрической формы, количества и размеров частиц. Чем крупнее частицы, тем система неустойчивее, и поскольку в процессе эволюции, как правило, происходит укрупнение частиц за счет слияния, образовавшееся облако, если его жизнедеятельность не будет поддерживаться какими-либо внешними факторами, в процессе своего развития (или «старения») имеет тенденцию ускоренно разрушаться.

Б.3.2.2 Неустойчивость фазового состояния водной субстанции используется в большинстве методов, имеющих практическое значение. Находящиеся в облаке капли воды не сразу замерзают, попадая в область отрицательных температур в атмосфере. Гомогенная кристаллизация в атмосфере происходит при температуре минус 42 ^oC и ниже. Гететорогенная кристаллизация, наблюдаемая при отрицательных температурах в облаке, происходит при наличии ядер льдообразования. Число частиц, которые могут служить ядрами льдообразования, в атмосфере не столь велико, поэтому капли воды могут находиться в переохлажденном состоянии сколь угодно долго.

Исследования в натурных условиях показали, что в облаке при температуре минус 10 ^oC вода в основном находится в жидком состоянии (на один кристалл, как правило, приходится 10^5-10^6 облачных капель). Одновременно с этим следует отметить, что при температуре минус12 ^oC разность в упругости насыщения над льдом и водой наибольшая и составляет 0,269 мб и, соответственно, насыщение над льдом водяным паром достигается при 87 % относительной влажности относительно воды. С понижением температуры концентрация кристаллов возрастает примерно в 10 раз на каждые 4 ^oC. При минус 40 ^oC – минус 42 ^oC вся вода в облаке полностью закристаллизована. Это означает, что в диапазоне температур от 0 ^oC до минус 42 ^oC в облаках могут находиться огромные

массы воды, на которые можно воздействовать путем стимуляции процесса кристаллизации. Это может быть достигнуто путем введения дополнительных ядер кристаллизации или создания локальных зон с существенно пониженной температурой. Большим толчком к проведению широких натурных экспериментов послужили найденный в 1946 году Шеффером эффект воздействия твердой углекислоты (сухого льда) на переохлажденные капли и открытая Воннегутом в 1947 году возможность использования частиц йодистого серебра (AgI) в качестве центров кристаллизации. В последующие годы многие ученые провели целый ряд исследований, направленных на разработку методов искусственной кристаллизации. Результаты этих работ позволили создать несколько методик воздействия на облака, используемых в практических целях в настоящее время.

Б.3.2.3 Конвективная или вертикальная неустойчивость обусловлена таким вертикальным профилем температуры, когда нижележащим слоям атмосферного воздуха становится энергетически более выгодно поменяться местами с вышележащими слоями воздуха. Критерием этого явления служит температурная стратификация, когда температура воздуха падает с высотой в некотором слое с градиентом, равным или большим величины сухоадиабатического градиента ($H = T + \gamma_a z$, где γ_a - адиабатический градиент, z – высота). Реализацию подобной неустойчивости мы наблюдаем при развитии кучевой облачности. В принципе этот процесс обмена энергией может в определенных пределах регулироваться путем создания возмущений, инициирующих восходящие или нисходящие движения воздуха. При этом возможна интенсификация процесса за счет перехода энергии неустойчивости в кинетическую энергию. Даже на фоне существующих в природе возмущений имеется определенная возможность упорядочить процесс обмена воздушными массами между нижележащими и вышележащими слоями за счет искусственных импульсов. Существует принципиальная возможность стимулирования образования облаков при наличии запирающих слоев инверсии, разрушения растущих и развивающихся облаков.

Б.3.2.4 Менее изученными в атмосфере являются химическая и электрическая неустойчивости, которые способны оказывать заметное влияние на ход погодных процессов и радиационный режим.

Б.4 Образование облаков над пожарами

Б.4.1 Над пожарами образуются внутримассовые конвективные облака за счет восходящих потоков воздуха над более нагретыми участками местности.

Поглощение солнечного излучения, инфракрасное излучение, турбулентное рассеивание тепла подстилающей поверхностью меняются в зависимости от цвета и характера этой поверхности, растительного покрова, морфологии, влажности, высоты над уровнем моря, времени суток и т.д. Отсюда возникает различие в температурном режиме приземного слоя воздуха, соприкасающегося с различной подстилающей поверхностью. Например, воздух над лесной территорией, оголенной и почерневшей после недавнего пожара, будет теплее, чем над окружающим лесом, поглощающим меньше тепла вследствие отражательной способности, больших затрат на испарение и других факторов. Этот воздух над пройденной пожаром территорией, нагретой до температуры T', будет находиться под действием двух сил: своего веса и выталкивающей силы Архимеда со стороны более холодного окружающего воздуха, находящегося при температуре T. Под действием этих сил слой воздуха над местом пожара начнет подниматься, причем ускорение a определяется по формуле

$$a \approx g\frac{T' - T}{T}, \qquad (Б.1)$$

где g – ускорение силы тяжести;

$T = t\,^{o}C + 273$ – температура в градусах Кельвина.

Итак, воздух поднимается в виде отдельной нагретой частицы (термика или пузыря). Скорость подъема уменьшается под влиянием силы трения и вовлечения в результате турбулентного обмена окружающего более холодного воздуха. Подъем продолжается до тех пор, пока не выравниваются плотности поднимающегося воздуха и его окружения.

Б.4.2 При подъеме частицы, до тех пор пока не началась конденсация водяного пара, содержащегося в воздухе, происходит его охлаждение до $1^{o}C$ на каждые 100 м высоты. Такое изменение температуры, называемое сухоадиабатическим процессом, реально для сухого или ненасыщенного влажного воздуха.

Б.4.3 Высота, на которую поднимается частица воздуха, зависит от температурного градиента окружающего воздуха. Очевидно, что, пока температура окружающего воздуха понижается больше чем на $1\ ^{o}C$ на 100 м, поднимающаяся частица, температура которой

понижается всего на 1 °С на 100 м, будет теплее окружающего воздуха и, следовательно, будет продолжать подниматься. При наблюдающихся летом градиентах температуры в умеренных широтах локального перегрева воздуха вблизи поверхности земли на 1-2 °С вполне достаточно, чтобы начались вертикальные движения воздуха до высоты около 1 км.

Б.4.4 Рассмотрим теперь водяной пар, содержащийся в поднимающейся частице. По мере подъема частицы давление в ней падает и водяной пар охлаждается. При этом количество воды, которое может содержать воздух в парообразном состоянии, уменьшается. Например, при 25 °С один кубический метр воздуха может содержать 23,06 г водяного пара; при 10 °С содержание пара падает до 9,41 г, при 0 °С оно равно 4,85 г и при минус 25 °С не более ~ 0,71 г. Поэтому частица воздуха по мере подъема может достигнуть уровня, где водяной пар, который она содержит, станет насыщенным. При отсутствии ядер конденсации пар остался бы в пересыщенном (метастабильном) состоянии. Однако наблюдения в атмосфере показывают, что это не имеет места. Как только наступит хотя бы незначительное перенасыщение, происходит конденсация с образованием капелек воды [*]. При конденсации водяного пара происходит не только образование облака, но и высвобождается то количество тепловой энергии, которое было затрачено на превращение воды в пар (испарение). Каждый раз, когда конденсируется 1 г пара, высвобождается энергия в виде тепла порядка 2500 Дж (~ 600 калорий). Это высвобождение тепла в поднимающейся облачной массе повысит ее температуру, и поднимающаяся облачная частица будет охлаждаться в меньшей мере. Это охлаждение составит 0,65 °С на каждые 100 м подъема вместо 1 °С. Поэтому, чтобы поднимающаяся частица могла продолжить движение, достаточно, чтобы температура в окружающей атмосфере на высоте подъема уменьшалась на 6,5 °С на километр вместо 10 °С при отсутствии конденсации. Если падение температуры в атмосфере с высотой (стратификация) более чем 0,65 °С/100 м, то восходящее движение не встречает никакого ограничения и продолжается. Таким образом, может развиться облако, способное превратиться в мощное кучевое и далее в кучево-дождевое. Рассмотренные условия характеризуют атмосферу в пограничном слое как условно неустойчивую. Это означает, что она неустойчива по отношению к частице воздуха, содержащей достаточное количество водяного пара для того, чтобы началась конденсация.

[*]) Высота, на которой начинается процесс конденсации водяного пара, называется уровнем конденсации. Эта высота обычно совпадает с нижней границей облака.

Этот процесс иллюстрирует принцип ИВО над заданной территорией. Иногда достаточно внести с помощью реагента в условно неустойчивый воздух небольшое количество энергии, чтобы создать над заданным местом дождевое облако.

Б.4.5 Наиболее часто над крупными лесными пожарами, являющимися источником поступления тепла в атмосферу, образуется мощная конвективная колонка темно-серого цвета [69], заканчивающаяся кучевым облаком. Если интенсивность пожара невелика, то колонка, достигнув слоя инверсии, замедляет свое движение вверх и дым от нее растекается во все стороны, образуя вершину в виде шляпки гриба. Если запас кинетической энергии в потоке нагретого воздуха достаточно большой, то рост облака продолжается выше после преодоления конвективной колонкой задерживающего слоя в виде инверсии (рисунке Б.1).

Б.4.6 На высоту подъема конвективной колонки оказывает влияние изменение скорости ветра с высотой. Если конвективная колонка окажется в зоне нисходящего потока (конвергенция), то ее рост прекращается, и интенсивность горения снижается. Если очаг пожара окажется в зоне восходящего потока (дивергенция), то происходит сложение кинетической энергии самого пожара с энергией восходящих потоков воздуха. Тогда конвективная колонка достигает большой высоты (5 км и более), а горящие предметы поднимаются на высоту до 1000 м и более. Развитие такого пожара носит взрывной характер, интенсивность горения наивысшая при скорости ветра у Земли 6-12 м/с. Скорость распространения таких пожаров достигает свыше 10 км в сутки в основном за счет горения днем, ночью интенсивность горения резко ослабевает.

Б.4.7 При наличии благоприятных условий образование конвективной облачности над пожарами заканчивается ливневыми дождями. Для этого необходимо, чтобы нижние слои воздуха имели значительную влажность, полностью отсутствовали или были слабыми ветры, накануне местами были дожди конвективного происхождения, над районом работ наблюдались отдельные слоисто-кучевые или высококучевые облака, не дающие дождя.

Приложение В

(справочное)

Гипотезы АВ по искусственному регулированию осадков

В.1 Осадки из слоистообразных облаков можно перераспределять по территории, увеличивая в заданном районе и создавая дефицит в других местах

Важным аспектом проведения АВ является прогнозирование режима осадков вне зоны засева реагентами. Сложилось мнение об образовании с подветренной стороны от участка, на котором АВ привели к увеличению осадков, так называемой «тени осадков», т.е. происходит перераспределение осадков. Если на какой-либо территории в результате АВ количество осадков увеличилось, то этому увеличению сопутствует их уменьшение за пределами этой территории. Выяснение причин образования тени осадков и зависимость ее образования от технологии осуществления воздействий может служить одной из гипотез по перераспределению осадков [70].

Наиболее распространенная концепция о причинах образования тени осадков основана на предположении о том, что в рабочий период проведения АВ в той или иной части облака может содержаться только определенная масса воды. При сохранении общего баланса влагосодержания увеличение осадков на каком-либо участке должно сопровождаться их уменьшением на соседней территории. Площадь тени осадков зависит от ряда физических особенностей атмосферы, при которых восстанавливаются микроструктура облака и его водозапас, изменившийся под влиянием засева. На размеры тени осадков оказывает влияние упорядоченный подъем воздушных масс, горизонтальный и турбулентный обмен, размеры зоны засева и другие факторы, часть из которых способствует, а другая препятствует формированию тени осадков. Некоторые экспериментальные исследования показывают, что активные воздействия на слоистообразные облака приводят к перераспределению осадков, т.е. увеличение осадков в результате засева в заданном районе (например, в зоне пожара) приводит к последующему образованию тени осадков протяженностью в несколько десятков километров.

В.2 Конвекция в атмосфере может быть интенсифицирована искусственно

Конвективные облака в своем развитии достигают кучево-дождевой стадии при благоприятных атмосферных условиях (конвективная неустойчивость и др.). При наличии задерживающих слоев в атмосфере (инверсий) с устойчивой стратификацией (типичная ситуация в зоне пожаров) вертикальное развитие их прекращается и облака проходят весь цикл от зарождения до распада, не развиваясь до кучево-дождевой стадии. Возможность интенсификации конвекции с целью увеличения вертикальной мощности облака существует при засеве переохлажденной части облака льдообразующими реагентами [8, 14] или искусственными заряженными смешанными ядрами [26, 63]. Другой возможностью является горизонтальное перераспределение облаков с целью сведения нескольких соседних облаков воедино путем интенсивного засева одного из них, что увеличивает возможности их вертикального развития [13]. Препятствиями к усилению конвекции являются сильная устойчивость атмосферы, большой сдвиг ветра или незначительное влагосодержание атмосферы.

В.3 Направление конвективных движений в облаке может быть изменено АВ на облако

В зоне пожаров, как правило, наблюдается низкое влагосодержание атмосферы, и конвективные облака развиваются, не достигая мощнокучевой стадии. Поэтому целесообразно произвести перераспределение водяного пара между конвективными облаками путем подавления развития одних и стимулирования роста других, траектория движения которых проходит через зону лесного пожара.

Чем мощнее облако и чем ближе температура его вершины к температуре естественной кристаллизации воды, тем вероятнее искусственное превращение его в дождевое путем засева льдообразующими реагентами. Переохлажденное облако в своем естественном развитии должно быть достаточно подготовлено для искусственной кристаллизации. Если же облако имеет небольшую мощность, то излишняя концентрация вводимых частиц (перезасев) приведет к их взаимной конкуренции, в результате чего образуется множество мелких кристаллов, вершина облака оледенеет, рост облака прекратится, и оно не даст осадков. В связи с этим, чем меньше размеры облака, тем критичнее условия образования из него осадков по отношению к количеству реагента. В

этом случае предпочтителен засев облака на ранней стадии его развития, т.е. засев не подготовленных к осадкообразованию облаков [13].

Другим методом разрушения или ослабления развития конвективных облаков является искусственное инициирование в облаке нисходящих движений, препятствующих пополнению облака новыми порциями водяного пара из нижних подоблачных слоев [8, 31]. В настоящее время известны два способа искусственного инициирования внутриоблачных нисходящих движений (струй). По первому способу образование нисходящих струй производится с помощью двигателей летательных аппаратов (вертолетов или самолетов).

Второй способ состоит в сбросе в вершину облака нейтральных грубодисперсных порошков (аэрозолей), чаще всего цемента или талька. В этом случае внутри облака создается квазиупорядоченный нисходящий воздушный поток, благодаря которому облако частично разрушается, а процесс осадкообразования прекращается. Поступающий внутрь вершины относительно сухой и холодный воздух хотя и нагревается при опускании, но в результате испарения облачных капель и затрат на это тепла остается холоднее окружающих облачных масс. В результате развиваются нисходящие движения. Вероятность подавления конвективных движений в облаке возрастает с увеличением энергии неустойчивости.

В.4 Режим осадков может быть изменен засевом облаков реагентами микрофизическим способом

В развивающихся облаках непрерывно происходят фазовые переходы воды (водяной пар – капли – кристаллы – водяной пар). Водяной пар поступает в облако вместе с воздушными потоками и конденсируется по пути своего движения, что приводит к укрупнению облачных частиц. Чтобы интенсифицировать процесс осадкообразования над заданным пунктом, достаточно искусственно ускорить внутриоблачные процессы укрупнения относительно малого количества частиц, которые образуют осадки. Для этого создают оптимальную для осадкообразования концентрацию льдообразующих ядер (статический или динамический засев), которую устанавливают экспериментально или путем численного моделирования микрофизических процессов в облаке. Для предотвращения выпадения осадков рассматривается введение в развивающееся облако большого числа льдообразующих ядер или мелких гигроскопических частиц (перезасев). Стабилизация облака после введения в него гигроскопических частиц объясняется

изменением микроструктуры облака. Экспериментальные исследования показывают, что при засеве облака мелкими гигроскопическими частицами на них начинается конденсация водяного пара, образование мелких капель и одновременное уменьшение размера ранее образовавшихся капель за счет их испарения. В облаке происходит процесс перегонки воды вследствие разности упругостей пара с естественных облачных капель на искусственные капли, образовавшиеся на введенных в облако гигроскопических частицах. В результате в облаке образуется достаточно большое количество взвешенных в атмосфере мелких капель, которые не смогут укрупняться до размера осадков из-за конкуренции за водяной пар. Для стабилизации облаков можно применять любое гигроскопическое вещество [20, 71]. При применении льдообразующих веществ создают концентрацию льдообразующих ядер, приводящую к возможно более полной кристаллизации переохлажденной части облака.

Приложение Г

(справочное)

Исследовательские данные для ИВО на лесные пожары

Г.1 Основные климатические факторы, определяющие формирование облачности

Г.1.1 Пространственное распределение облачности, ее вертикальная протяженность, суточный и сезонный ход, а также другие характеристики обусловливаются взаимодействием ряда факторов, основными из которых являются характер циркуляционных процессов и свойства подстилающей поверхности.

Г.1.2 В результате циркуляционных процессов формируются воздушные потоки, переносящие водяной пар на большие расстояния по горизонтали, и крупномасштабные вертикальные движения, приводящие к вертикальному подъему влаги во всей толще тропосферы. Следствием этих процессов являются процессы облакообразования и осадкообразования, обеспечивающие влагооборот воды в системе Земля-атмосфера.

Г.1.3 На территории РФ, согласно [10], по преобладающему горизонтальному переносу воздушных масс выделяют три крупные климатические области: атлантическую, арктическую, тихоокеанскую. Последние в свою очередь подразделяются на более мелкие климатические районы и подрайоны, которые существенно различаются по режиму облачности и осадков.

Г.1.3.1 Область атлантического переноса распространяется на европейскую часть РФ и Западную Сибирь. Европейская часть РФ относится к атлантико-континентальным и континентальным районам. Летом в этих районах на фронтах развивается циклоническая деятельность, которая обусловливает развитие облаков и частое выпадение осадков. В эти районы проникает и тропический воздух, влага которого служит существенным дополнением к осадкам атлантических циклонов. Однако это влияние не распространяется на юго-восточные районы Европейской части, для которых характерны засухи и суховеи.

На территории Западной Сибири также можно выделить несколько районов с различным режимом облачности и осадков, но в отличие от Европейской части климатические изменения с запада на восток в этой области происходят медленнее.

Последнее обусловлено тем, что Западная Сибирь находится под влиянием не только Атлантики, но и обширного Азиатского континента.

Г.1.3.2 Область арктического переноса распространяется на территорию Восточной Сибири. Для нее характерны вторжения арктических воздушных масс, которые затем трансформируются и приобретают свойства континентальной воздушной массы. Сюда не проникает ни атлантический, ни тихоокеанский воздух.

Г.1.3.3 Область тихоокеанского переноса распространяется на территорию Дальнего Востока. Однако циркуляционные процессы, развивающиеся над Тихим океаном, не имеют тенденции к продвижению на запад, в глубь континента, т.к. этому препятствуют горы. Поэтому на Дальнем Востоке основная роль в формировании климата и, следовательно, режима облачности и осадков принадлежит циркуляционным процессам. Сезонная смена океанических масс обусловливает сухую зиму и дождливое лето.

Г.1.4 Наряду с общей циркуляцией, весьма важным климатическим фактором является рельеф. Хотя он и относится к факторам местного значения, но нередко играет решающую роль в формировании пространственно-временного распределения облаков. Масштабы воздействия рельефа на климат зависят от высоты и протяженности горной системы. Все горные хребты обостряют циклоническую деятельность и увеличивают облачность. Различия в формах рельефа обусловливают более сложное и разнообразное распределение всех метеорологических величин. Так, над возвышенностями повторяемость конвективной облачности больше, чем над долинами и котловинами. Имеются различия в суточном и годовом ходе облаков для станций, расположенных в долинах и предгорьях. Наличие окраинных морей и крупных водоемов в теплый период приводит к ослаблению конвекции и, следовательно, к уменьшению повторяемости конвективных облаков.

Г.1.5 Области, указанные в Г.1.3, существенно различаются не только по характеру циркуляционных процессов, но и по свойствам подстилающей поверхности. Так, основную часть территории Западной Сибири занимает Западно-Сибирская равнина, и только с юго-востока она окаймлена горами; Восточная Сибирь представляет собой горную страну; территория Дальнего Востока также может быть охарактеризована как горная страна, на которой равнины располагаются только в межгорных впадинах, вдоль морских побережий и долин крупных рек.

Очевидно, что перечисленные факторы – циркуляция атмосферы и характер подстилающей поверхности, взаимодействуя, создают весьма сложную карту географического распределения кучево-дождевых облаков как по территории, так и от

года к году и внутри пожароопасного сезона. В связи с этим целесообразно рассматривать закономерности распределения кучево-дождевых облаков по крупным физико-географическим областям, таким как Европейская часть РФ, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Дальний Восток.

Г.2 Исследование климатических ресурсов облаков

Г.2.1 Изучение климатических ресурсов облаков, пригодных для АВ, позволяет сформулировать выводы о возможностях искусственного регулирования осадков в конкретном районе. Наиболее эффективными для АВ оказываются слоисто-дождевые (Ns), мощные кучевые (Cu cong) и кучево-дождевые (Cb) облака.

Получение сведений о ресурсах облаков сопряжено с известными трудностями. Во-первых, для получения надежных значений характеристик облаков требуются длинные ряды наблюдений. Во-вторых, условие пригодности для воздействий предполагает знание критериев пригодности, а они, как правило, могут быть установлены лишь в эксперименте.

Г.2.2 Изучение ресурсов облаков обычно выполняется в виде следующих этапов.

Г.2.2.1 На начальной стадии эксперимента на основании исследования физических свойств облаков и проведения отдельных опытов по засеву устанавливаются критерии пригодности облаков в первом приближении. При этом используются сведения, полученные в других аналогичных экспериментах.

Г.2.2.2 Затем в процессе самих воздействий или путем специальных системных исследований с помощью самолетных, радиолокационных и других средств определяется повторяемость облаков, пригодных для АВ.

Г.2.2.3 После получения в результате эксперимента критериев пригодности облаков во втором приближении производится корректировка данных об облачных ресурсах района.

Г.2.3 При проведении исследований ресурсов облаков в качестве критериев пригодности использовались следующие показатели: абсолютное количество, балльность и продолжительность существования облаков; повторяемость облачных систем, имеющих пригодные для воздействия облака; водозапасы облаков; повторяемость ситуаций, благоприятных для воздействия по данным натурных экспериментов или численного моделирования; количество осадков [58].

Г.2.3.1 Абсолютное количество облаков, пригодных для АВ, отнесенное к единицам площади и времени, является одним из наиболее совершенных показателей климатического ресурса.

Г.2.3.2 Косвенным показателем ресурсов может служить балльность, продолжительность и другие связанные с ними характеристики облаков. Среднемесячное количество дней с кучево-дождевой облачностью для пожароопасного сезона Сибири и Дальнего Востока приведено на рисунках Г.1 – Г3.

Г.2.3.3 Водозапас облаков рассматривается в качестве показателя ресурсов. Наиболее репрезентативен он для случая, когда известна его доля, которую можно реализовать в виде осадков естественным путем. Для слоистообразных облаков, не дающих естественных осадков, возможное количество дополнительных осадков можно оценить, если известны водозапас, коэффициент реализации водозапаса в осадки при засеве, продолжительность пребывания облаков над районом и скорость их смещения [8, 17, 20, 31, 53]. Для конвективных облаков разработана методика оценки водозапасов по радиолокационным наблюдениям и расчетам по методу слоя [18, 43].

Г.2.4 Следующим показателем облачных ресурсов является количество естественных осадков. На первых этапах работ по воздействиям господствовало мнение, что наиболее перспективными объектами воздействия являются облака, не дающие естественных осадков. Однако в ряде экспериментов было показано, что абсолютное количество дополнительных осадков при их засеве невелико в основном из-за малых водозапасов. Информативность этого показателя повышается, если рассматривать осадки только из облаков - объектов воздействия.

Г.2.5 При исследования климатических ресурсов облаков для и искусственного увеличения осадков следует выявить:

- тип осадкообразующих облачных систем и их повторяемость;
- вклад осадков из систем каждого типа в общую сумму осадков;
- возможное увеличение осадков из систем каждого типа, полученное на основании экспериментов по засеву и численного моделирования;
- степень покрытия облаками территории при каждом типе облачных систем.

Г.3 Количество осадков, необходимых для оценки эффективности ИВО

Г.3.1 Для практики тушения и для оценки эффективности самого способа ИВО важно знать, какое количество осадков может обеспечить полную ликвидацию лесного пожара. Наблюдения показали, что успех тушения зависит не от интенсивности горения, а

от степени заглубления огня в торф или подстилку. Чем больше на единице площади горючего материала, способного к горению, тем большее количество воды необходимо для ее смачивания до степени, при которой всякое горение прекращается. Количество воды, необходимое для тушения лесных низовых пожаров в основных типах лесов, которые в свою очередь характеризуются различным весом горючих материалов на единицу площади [61], приведено на рис.Г4.

Г.3.2 Данные получены для покрова и подстилки отдельно. Пожары, при которых горят только покров, сухая трава, сухие ветки, хвоя, листья, наблюдаются в основном весной, когда подстилка еще не просохла. Расход воды на тушение 1 $м^2$ горящей кромки таких пожаров в различных типах леса сравнительно невелик и колеблется в пределах от 1 до 3 л, что соответствует 1-3 мм выпадающих осадков. Отдельные замеры количества осадков, выпавших из одного облака после воздействия, не могут быть усреднены, т. к. они колеблются от 2-3 до 12 мм. Однако эти данные дают основание утверждать, что весенние пожары могут быть потушены искусственно вызванными осадками из одного облака до полной их ликвидации.

Г.3.3 Как показывает график (см. рисунок Г.4), при заглубившихся пожарах летом и осенью, когда горят покров и подстилка, количество влаги, необходимой для тушения огня, увеличивается по сравнению с весенними пожарами в 5-10 раз. В этом случае после выпадения осадков на пожар необходимо дотушивать оставшиеся очаги, обеспечивая полную его локализацию повторным засевом облаков.

Г.3.4 Для практики тушения лесных пожаров искусственно вызванными осадками важно установить те критерии, которые определяют вероятность выпадения осадков после засева облака реагентом. Как показали исследования, одним из таких критериев является вертикальная мощность облака, т.е. разность между высотами верхней и нижней границ ΔH. Было установлено, что чем больше вертикальная мощность облака, тем вероятнее успех вызывания из него осадков и выше их интенсивность. При ΔH = 1700-2000 м осадки бывают слабые и непродолжительные. При воздействиях на облака с ΔH от 2500 до 4000 м в 26 % выпадают ливневые осадки, в 55 % умеренные и в остальных случаях слабые. Облака с $\Delta H > 3500$ м дают при засеве, как правило, ливневые осадки, иногда град. Облака, образованные за счет конвективных потоков самого пожара, отличаются малой водностью, относительно высокой температурой по сравнению с окружающими слоями воздуха и поэтому при их засеве реагентами осадки бывают слабыми.

Г.3.5 Поля выпадения осадков имеют форму эллипса или овала, вытянутых вдоль направления ветра. Длина зоны осадков одного облака колеблется от 3 до 30 км, ширина –

от 2 до 18 км. Ширина зоны осадков почти всегда в1,5-2 раза превышает средний диаметр мощного кучевого облака (Cu cong).

Г.3.6 По продолжительности выпадения искусственно вызванные осадки наблюдаются: от минут до одного часа и более. В ряде случаев количество выпадающих осадков значительно превышает первоначальные запасы влаги в облаке. Это объясняется тем, что конвективное облако действует как своеобразный генератор, вовлекающий в облако парообразную влагу из окружающего воздуха. Конденсируя эту влагу, облако отдает ее в виде дождя.

Так, например, средний объем конвективного облака мощностью 2,5-3 км для Красноярского края составляет 9-10 км^3. Если принять среднюю водность облака 1 г/м^3, то из него может быть получено около 10 тыс. т воды с учетом коэффициента вымывания.

Приложение Д

(справочное)

Шкала для визуальной оценки силы ветра

(эквивалентной скорости на высоте 10 м)

Таблица Д.1

Сила ветра, балл	Словесное обозначение ветра	Скорость ветра, м/с	Признак – показатель силы ветра
0	Штиль	0,0	Дым поднимается почти отвесно. Вымпел и листья на деревьях неподвижны
1	Тихий	1,0	Флюгер не устанавливается по ветру. Колышутся отдельные листья. Дым поднимается наклонно, указывая направление ветра
2	Легкий	3,0	Ощущается легкое дуновение. Слегка колеблются флаги и вымпелы. Листья временами шелестят
3	Слабый	5,0	Листья и тонкие ветви деревьев постоянно колышутся. Высокая трава и пшеница начинают колебаться. Ветер развевает флаги
4	Умеренный	7,0	Качаются тонкие ветви деревьев, поднимается пыль. По траве и посевам пробегают волны. Вытягиваются флаги
5	Свежий	9,0	Качаются ветви и тонкие стволы деревьев. Вытягиваются флаги
6	Сильный	12,0	Качаются толстые ветви деревьев, шумит лес. Высокая трава и посевы ложатся на землю. Гудят телефонные провода
7	Крепкий	15,0	Качаются стволы деревьев, гнутся большие ветви и сучья. Ходьба против ветра заметно затруднена. Слышится свист ветра около строений и неподвижных предметов
8	Шторм	19,0	Качаются большие деревья, ломаются тонкие ветви и сухие листья. Движение против ветра заметно затруднено. Шум прибоя волн на побережье больших озер и морей слышен на значительном расстоянии
9	Сильный шторм	23,0	Наблюдаются небольшие повреждения строений. Ломаются большие сучья деревьев. Сдвигаются с места легкие предметы
10	Буря	27,0	Наблюдаются разрушения. Некоторые деревья сломаны
11	Сильная буря	31,1	Наблюдаются значительные разрушения, ломаются стволы деревьев
12	Ураган	Более 31,1	Наблюдаются катастрофические разрушения. Деревья вырываются с корнем
Примечание - Направление ветра определяется по направлению распространения дыма, наклону травы, ветвей деревьев, отклонению вымпела (флага). Скорость ветра оценивается по приведенным в таблице признакам [6].			

Приложение Е

(справочное)

Годовое количество (мм) жидких осадков

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение Ж

(справочное)

Число дней с осадками 0,1 мм и более.

Год.

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение И

(справочное)

Максимальная продолжительность (ч) осадков

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение К

(справочное)

Средняя продолжительность (ч) осадков в день с осадками

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение Л

(справочное)

Средняя многолетняя месячная сумма солнечной радиации (МДж/м^2) суммарной (а) и прямой на горизонтальную поверхность (б).

Июль

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение М

(справочное)

Средняя месячная температура воздуха

а – январь, б - июль

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение Н

(справочное)

Среднее число дней со скоростью ветра 8 м/с и более (а) и 15 м/с и более (б)

Авторы: И.Д.Копанев, Ц.А.Швер

Приложение П

(справочное)

Среднее месячное число дней с высокой пожарной опасностью (горимость III-IV классов) на территории России (май-сентябрь)

Авторы: Ю.А.Довгалюк, Е.В.Оренбургская, Т.Л.Угланова

Приложение Р

(справочное)

Число грозовых разрядов на землю (на 1 км^2 в год) на территории России (по Т.В.Лободину)

Библиография

[1] Техническая инструкция по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху. ИКАО. 2004.

[2] Безопасность при взрывных работах: Сборник документов. Серия 13. Вып.1. / Сост.: Субботин А.И., Гаврилов Н.И., Колесникова С.В. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2001.- 248 с.

[3] Инструкция о порядке учета, хранения и передачи средств активного воздействия одной специализированной организации другой специализированной организации. – Росгидромет, 1999.

[4] Правила безопасности при перевозке взрывчатых материалов автомобильным транспортом. Приказ Госгортехнадзора РФ № 57 от 08.11.94.

[5] РД-31121199-0199-96. Руководство по организации перевозки опасных грузов автомобильным транспортом. Москва, 1996.

[6] РД 52.37.615-2000. Инструкция. Порядок обеспечения безопасности работ по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы. / М.Т.Абшаев. - М.: Гидрометеоиздат, 2000. – 64 с.

[7] Единые правила безопасности при взрывных работах.- М.: НПО ОБТ, 1992.- С.96-107.

[8] Корнеев В.П. Разработка и внедрение комплекса самолетных средств воздействия на облака для оперативно-производственных работ. – Диссертация. – г.Долгопрудный, 2002.

[9] Башаринов А.Е., Шутко А.М. Измерения влажности покровов методами СВЧ-радиометрии. Метеорология и гидрология. – 1971, № 9. – С.17-23.

[10] Минакова Н.Е. Пособие по работе синоптиков в условиях недостаточного поступления информации. – М.: Гидрометеоиздат, 1999. – 64 с.

[11] Адамов П.Н. Местные признаки погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961.- 36 с.

[12] Баханов В.П. Генерация ледяных кристаллов хладореагентов для целей активных воздействий на переохлажденные облака и туманы. – ВНИИГМИ-МЦД. Обзор, Обнинск, 1981, вып.9.- 50 с.

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

[14] Плауде Н.О., Соловьев А.Д. Льдообразующие аэрозоли для воздействия на облака. - ВНИИГМИ-МЦД. Обзор, Обнинск, 1979.- 82 с.

[15] РД 52.11.637-2002. Методические указания. Проведение работ по искусственному увеличению атмосферных осадков самолетными методами. Сост.: Г.П.Берюлев, Б.И. Зимин, Ю.В.Мельничук, Б.П.Колосков, Б.Г.Данелян, Р.Ю.Рябова. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 32 с.

[16] Берюлев Г.П., Беляев В.П., Данелян Б.Г., Зимин Б.И., Колосков Б.П., Черников А.А. Оценка эффективности воздействий и количества дополнительных осадков из конвективных облаков. – Метеорология и гидрология, 1996, № 4.-,С. 66-86.

[17] Половина И.П. Воздействия на внутримассовые слоистообразные облака. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.- 216 с.

[18] Прихотько Г.Ф. Искусственные осадки из конвективных облаков. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.- С.121-147.

[19] Матвеев Л.Г. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.- 640 с.

[20] Мейсон Б.Дж. Физика облаков. Л.: Гидрометеоиздат, 1961.- 541 с.

[21] Планирование экспериментов по воздействию на облака с целью искусственного регулирования осадков. Составитель Корниенко Е.Е. - Гидрометеорология, сер. Метеорология, Обзорная информация, вып.1, ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, 1979.- 50 с.

[22] Мучник В.М. Физика грозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.- 352 с.

[23] Сталевич Д.Д. Об оптимальных условиях воздействия на капельные облака с помощью гигроскопических веществ. Тр.ГГО, 1961, вып.117, с.10-25.

[24] Гирс С.П., Довгалюк Ю.А. О механизмах заряжения облачных капель в теплых облаках. Обзор. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1975.- 51 с.

[25] Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электричество облаков. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.- 94 с.

[26] Клинго В.В., Козлов В.Н. К теоретическому обоснованию применения ионогенных гигроскопических реагентов для вызывания осадков. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2001, вып.3 (549).- С.11-19.

[27] Козлов В.Н., Лихачев А.В., Окунев С.М. Состав для рассеивания облаков и туманов. Патент РФ № 2090549, 1997 г..

[28] Козлов В.Н., Лихачев А.В., Окунев С.М. Пиротехнический состав для вызывания осадков. Патент РФ № 2090548, 1997 г.

[29] Козлов В.Н. и др. Пиротехнический состав для изменения атмосферных условий. Патент РФ № 2179800, 2001 г.

[30] Козлов В.Н. и др. Пиротехнический состав для изменения погодных условий. Патент РФ № 2181239, 2002 г.

[31] Берюлев Г.П., Зацепина Л.П., Зонтов Л.Б., Сергеев Б.Н., Серегин Ю.А., Черников А.А., Корниенко Е.Е., Максимов В.С., Хусид С.В. Опыт проведения работ по искусственному регулированию осадков в целях ослабления последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В сб. «Активные воздействия на гидрометеорологические процессы». Тр. Всесоюзной конференции 17-21 ноября 1987 г. Л.: Гидрометеоиздат, 1990.- С. 233-238.

[32] Беляев В.П., Диневич В.А., Зонтов Л.Б. результаты опытов по изучению процесса оседания аэрозольного облака в свободной атмосфере // Тр.ЦАО. – 1984 – вып.156. С.115-132.

[33] Бородин В.А. и др. Распылители жидкости. – М.: Машиностроение, 1967.

[34] Методические указания по организации и проведению работ по искусственному увеличению осадков в предгорных районах Узбекской СССР. М.: Гидрометеоиздат, 1986, 68 с.

[35] Временные методические указания по планированию, организации и проведению работ по искусственному увеличению осадков / Сост.: М.Ч.Залиханов – руководитель темы, Г.Г.Щукин и др. / - Нальчик, ВГИ, 1997. – 49 с.

[36] Инструкция по тушению лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков / Е.С.Арцыбашев, П.А.Губин, Н.С.Шишкин, Ю.П.Сумин, М.М.Добротворский, Э.П.Давиденко. – Л., ЛенНИИЛХ, 1974.

[37] Козлов В.Н. и др. Способ управления погодой. Патенты РФ № 2075284, 1997 г.; № 2191499, 2002 г.

[38] Методические указания по организации и проведению работ по по искусственному увеличению осадков на Украине. М.: Гидрометеоиздат, 1986.- 32 с.

[39] Абшаев М.Т. и др. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5, МРЛ-6 в системе градозащиты / М.Т.Абшаев, И.И.Бурцев, С.И.Ваксенбург, Г.В.Шевела - Л.: Гидрометеоиздат, 1980.- 229 с.

[40] РД 52.04.320-91. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993.- 357 с.

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

[42] Никандров В.Я. Искусственные воздействия на облака и туманы. Л.: Гидрометеоиздат, 1959.- 191 с.

[43] Корниенко Е.Е. Результаты эксперимента по воздействию на кучево-дождевые облака с целью искусственного регулирования осадков. Тр.УкрНИГМИ, 1982, вып.187.- С.3-25.

[44] РД 52.04.628-2001. Инструкция. Порядок проведения работ по искусственному вызыванию осадков из конвективных облаков при борьбе с лесными пожарами с борта легкомоторных воздушных судов // Сост.: В.Н.Козлов и др. / - СПб.: Гидрометеоиздат, 2202.- 24 с.

[45] Инструкция по авиационной охране лесов. – М.: Минлесхоз РСФСР, 1977, 128 с.

[46] Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 221 с.

[47] Инструкция по выполнению полетов для активного воздействия на облака с целью тушения лесных пожаров искусственными осадками // Основные нормативные акты МГА, регулирующие выполнение авиационных работ в отдельных отраслях народного хозяйства. – М.: Воздушный транспорт,1986. – С. 229-238.

[48] Кудашкин Г.Д. и др. Методические указания по проведению опытно-производственных работ по увеличению осадков из конвективных облаков. ГГО им. А.И.Воейкова. Л.- 1987. – 41 с.

[49] Воздушный кодекс Российской Федерации. – 2000 г.

[50] Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации. – 2000 г.

[51] Федеральные авиационные правила производства полетов ГА РФ. – 2004 г.

[52] Мелехов И.С. Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 272 с.

[53] Метод анализа лесопожарных сезонов. Сост.: Л.В.Столярчук, А.А.Смирнова. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – 44 с.

[54] Копанев И.Д., Швер Ц.А. Прикладные аспекты использования климатической и гидрологической информации для Сибири и Дальнего Востока. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 368 с.

[55] Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических районов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 390 с.

[56] Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: Пособие для лесных пожарных. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1996 – 80 с.

[57] Франк В.В. Лесные пожары и состояние атмосферы // Возникновение лесных пожаров – М.: Наука, 1964. – С. 83-102.

[58] Довгалюк Ю.А., Оренбургская Е.В., Угланова Т.Л. Характеристики ресурсных конвективных облаков над лесными пожароопасными районами азиатской части РСФСР и отдельными засушливыми районами Европейской части СССР. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991.- 88 с.

[59] Нестеров В.Г. Общее лесоводство. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 664 с.

[60] Лесные пожары и борьба с ними. – М.: Изд.АН СССР, 1963.- С.31-240.

[61] Вангенгейм Г.Я. Метеорологическая обстановка лесных пожаров на Севере в 1936-1937 гг. // Борьба с лесными пожарами авиа-наземным методом. – Л.: Гослестехиздат, 1939. – С. 77-104.

[62] Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, 1990. – 191 с.

[63] Никитина Е.А. Вероятность возникновения лесных пожаров при различном характере барического поля // Тр.ЦИП. – М.-Л.: 1963, вып.124. – С. 40-47.

[64] Филиппов А.Х. Грозы Восточной Сибири. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 76 с.

[65] Облака и облачная атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометеоиздат, 1989.- 647 с.

[66] Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации. Изд.2-е, Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1997.- 588 с.

[67] Мазин И.П., Шметер С.М. Облака. Строение и физика образования. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.- 279 с.

[68] Шишкин Н.С.Облака, осадки и грозовое электричество. Л.: Гидрометеоиздат, 1964.- 401 с.

[69] Арцыбашев Е.С. Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков. М.: Изд. «Лесная промышленность», 1973.- 88 с.

[70] Шметер С.М., Корнеев В.П. Изменения режима осадков с подветренной стороны от зоны активных воздействий на облака. Метеорология и гидрология, № 2, 2000.- С. 35-46.

[71] Клинго В.В., Козлов В.Н. Использование гигроскопических веществ для активных воздействий на облака и туманы. Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 2001, вып.3 (549.-, С. 239-249.

Подписи к рисункам

Рисунок 8.1 - Зависимость количества осадков от концентрации вводимых частиц при различных начальных условиях (r_0 и ΔH)

Рисунок 8.2 - Зависимость оптимального количества реагента M от $H_{вг}$ и r_0.
1 - r_0 = 30 мкм, 2 - r_0 = 60 мкм, 3 - r_0 = 100 мкм

Рисунок 8.3 - Время (t, мин) образования осадков в зависимости от условий воздействия (r_0, $H_{вг}$).
1 - r_0 = 20 мкм, 2 - r_0 = 30 мкм, 3 - r_0 = 60 мкм, 4 - r_0 = 100 мкм

Рисунок 8.4 - Номограммы для расчета величины R_2 (а) по известным $\bar{q}$ и $\Delta h^* = h_0 - H_{нг}$:
1, 2, 3, 4 - $\bar{q}$ = 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 г/м^3 соответственно и величины R_3 (б) по известным величинам $H_{нг}$ и осредненных величин относительной влажности ($\bar{f}$)между землей и $H_{нг}$:
1, 2, 3, 4, 5 - $\bar{f}$ = 90; 80; 70; 60; 50 % соответственно.

Рисунок 8.5 - Номограмма для расчета величины R_1 по известному $\Delta R = R_2 - R_3$

Рисунок 8.6 - Номограмма для оценки целесообразности введения реагента в облако по известным $t_{вг}$ и $\bar{w}$.
I – область $t_{вг}$ и $\bar{w}$, при которых введение реагента целесообразно;
II - область $t_{вг}$ и $\bar{w}$, при которых введение реагента нецелесообразно;
1, 2, 3, 4, 5 - $\bar{q}$ = 0,5; 0,4; 0,3; 0,1 г/м^3 соответственно

Рисунок 8.7 - Схема засева слоистообразных облаков

Рисунок 8.8 - Схема засева слоисто-дождевой облачности (As-Ns)
а – вертикальный разрез облака, б – горизонтальный разрез облака.

 - внешний видимый контур облачной системы As-Ns;

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0,6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1,6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

-------- - маршрут СМЛ;

А – направление движения облачности

Рисунок 8.9 - Схема засева слоистых и слоисто-дождевых облаков (Ns-As) с расположением между ними инверсионных слоев (а – вертикальный разрез, б – горизонтальный разрез).

 - внешний видимый контур слоистых и слоисто-дождевых облаков;

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0,6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1,6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

-------- - маршрут СМЛ;

$H_к$ – уровень конденсации;

А – направление движения облачности

Рисунок 8.10 - Номограмма для определения нормы расхода твердой углекислоты (М) по известным t и w: 1, 2, 3, 4 – t = -8,-12, –15, –25 ^{o}C соответственно

Рисунок 8.11 - Блок-схема операций по воздействию на конвективные облака.

Рисунок 8.12 - Схема засева одноячейкового мощно-кучевого облака (Cu Cong) а – вертикальный разрез облака, б – горизонтальный разрез облака.

 - видимая периферийная часть облака;

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0,6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1,6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

 - активная часть ЗФО, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 2,6$ ($\eta = 10^{-9}$ см$^{-1}$);

$H_{вв}$ – высота облачности видимая;
$H_{вр}$ – высота облачности радиолокационная;
$H_з$ – высота от земли до верхней части ЗФО;
$H_к$ – уровень конденсации;
Δh – высота от нулевой изотермы до верхней части ЗФО;
-------- - маршрут СМЛ;
А – направление движения облачности

Рисунок 8.13 - Схема засева системы мощно-кучевых облаков (Cu Cong)
а – вертикальный разрез облака, б – горизонтальный разрез облака.

 - видимая периферийная часть облака;

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0{,}6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1{,}6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

 - активная часть ЗФО, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 2{,}6$ ($\eta = 10^{-9}$ см$^{-1}$);

$H_к$ – уровень конденсации;
Δh – толщина инверсионного слоя;
А – направление движения облачности;
-------- - маршрут СМЛ

Рисунок 8.14 - Схема засева мощной кучево-дождевой облачности (Cb)
а – вертикальный разрез облака, б – горизонтальный разрез облака.

 - внешний видимый контур мощной кучево-дождевой облачности (Cb);

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0{,}6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1{,}6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

 - активная часть ЗФО, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 2{,}6$ ($\eta = 10^{-9}$ см$^{-1}$);

$H_к$ – уровень конденсации;
А – направление движения облачности;
-------- - маршрут СМЛ

Рисунок 8.15 - Схема засева многоячейковой мощной кучево-дождевой облачности (Cb)
а – вертикальный разрез облака, б – горизонтальный разрез облака.

 - внешний видимый контур мощной кучево-дождевой облачности (Cb);

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0{,}6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1{,}6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

 - активная часть ЗФО, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 2{,}6$ ($\eta = 10^{-9}$ см$^{-1}$);

$H_к$ – уровень конденсации;
А – направление движения облачности;
-------- - маршрут СМЛ

Рисунок 8.16 - Схема засева слоисто-кучево-дождевой облачности системы Ns-Ac-Cb
а – вертикальный разрез облака, б – горизонтальный разрез облака.

 - внешний видимый контур облачной системы Ns-Ac-Cb;

 - внешний контур радиолокационной отражаемости $\lg Z_d \approx 0,6$ ($\eta = 10^{-11}$см$^{-1}$);

 - зона формирования осадков, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 1,6$ ($\eta = 10^{-10}$см$^{-1}$);

 - активная часть ЗФО, ограниченная изоконтуром $\lg Z_d \approx 2,6$ ($\eta = 10^{-9}$ см$^{-1}$);

$H_к$ – уровень конденсации;
А – направление движения облачности;
-------- - маршрут СМЛ

Рисунок А.1 - Элементы лесного пожара [56]

Рисунок А.2 - Среднее годовое число дней с грозой на территории бывшего СССР [64]

Рисунок А.3 - Средняя годовая суммарная продолжительность гроз на территории бывшего СССР [64]

Рисунок А.4 - Распределение годового числа дней с грозой на юге Красноярского края и в Иркутской области [66]

Рисунок А.5 - Распределение годового числа дней с грозой на севере Красноярского края [66]

Рисунок А.6 - Распределение годового числа дней с грозой в северной части Якутии [66]

Рисунок А.7 - Распределение годового числа дней с грозой в Забайкалье [66]

Рисунок Б.1 - Схема развития лесного пожара при дивергенции и конвергенции воздушных течений [69]

Рисунок Г.1 - Среднее месячное число дней с кучево-дождевыми облаками ($\bar{n}$) за май-сентябрь по территории Западной Сибири [58]

Рисунок Г.2 - Среднее месячное число дней с кучево-дождевыми облаками ($\bar{n}$) за май-сентябрь по территории Восточной Сибири [58]

Рисунок Г.3 - Среднее месячное число дней с кучево-дождевыми облаками ($\bar{n}$) за май-сентябрь по территории Дальнего Востока [58]

Рисунок Г.4 - Минимальное количество воды (кг/м^2), необходимое для тушения горящего покрова и подстилки (а) и покрова (б) [69]

Лист регистрации изменений

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

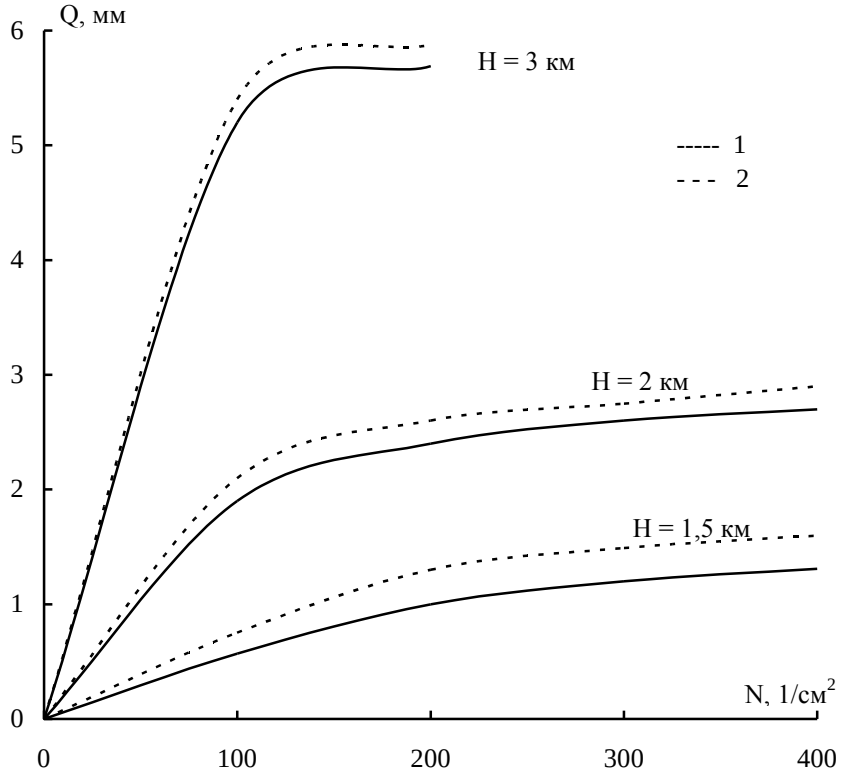


Рисунок 8.1

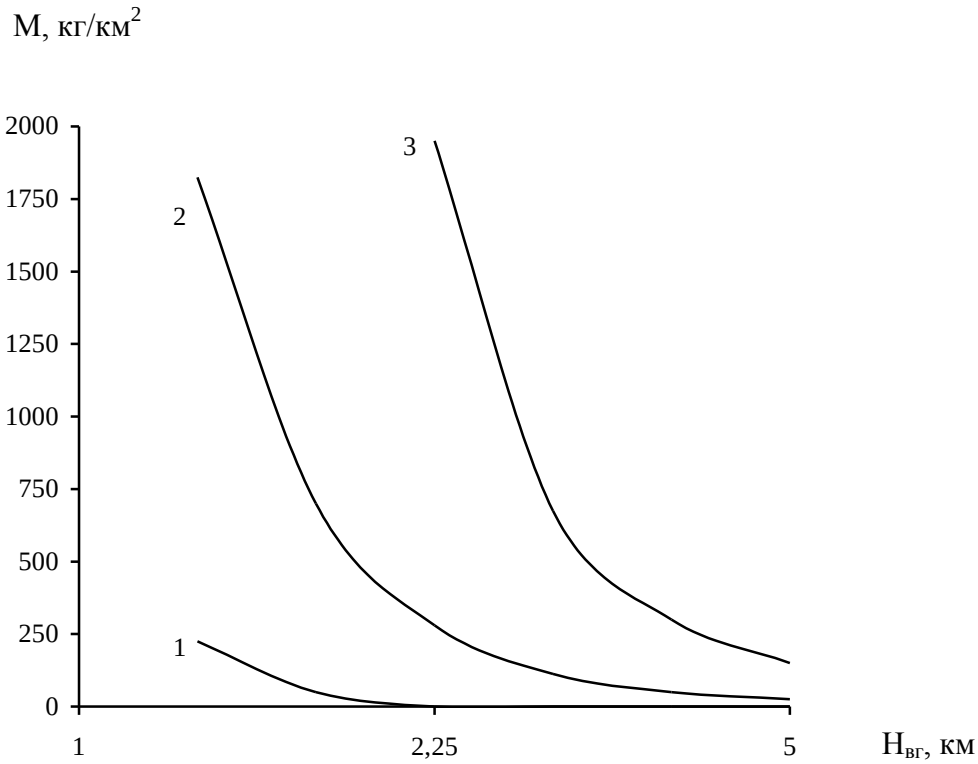


Рисунок 8.2

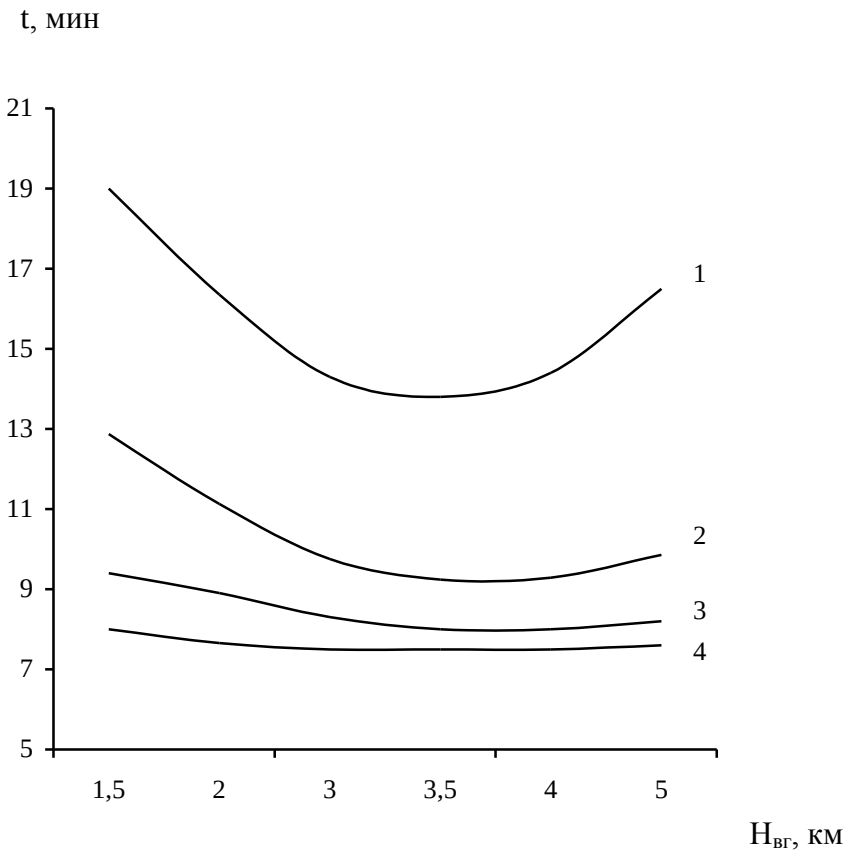
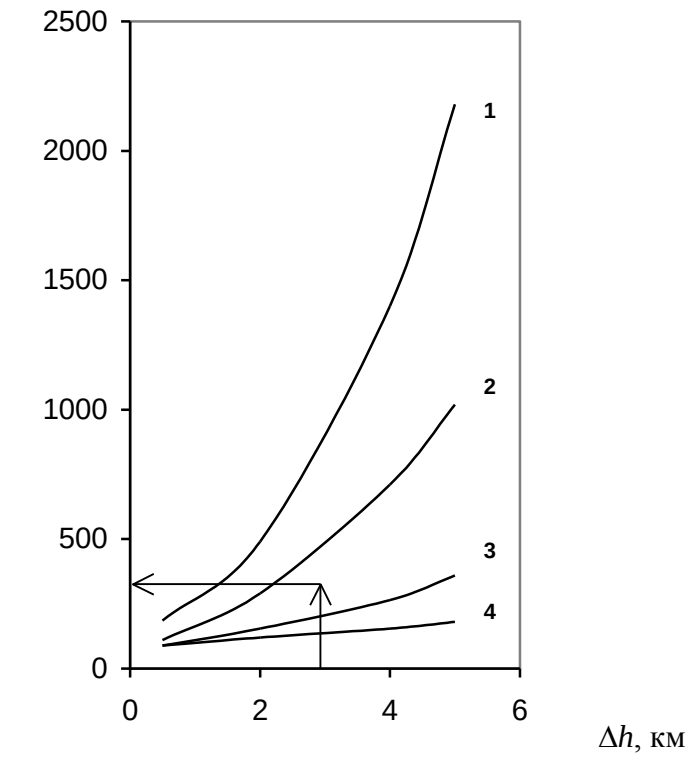


Рисунок 8.3

а)



б)

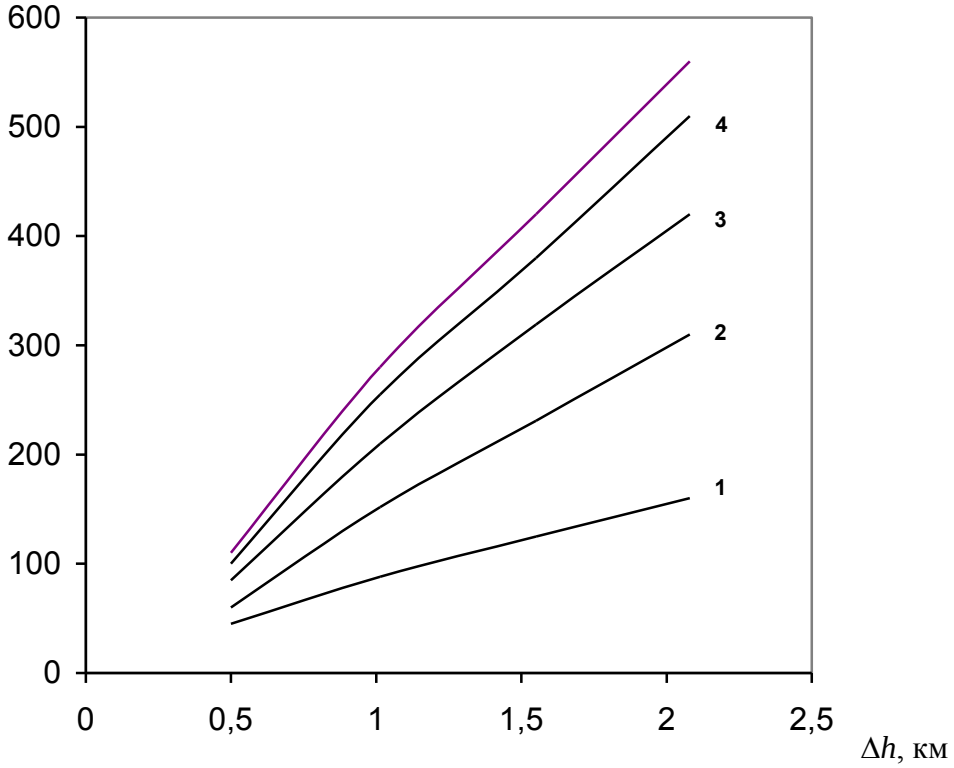


Рисунок 8.4

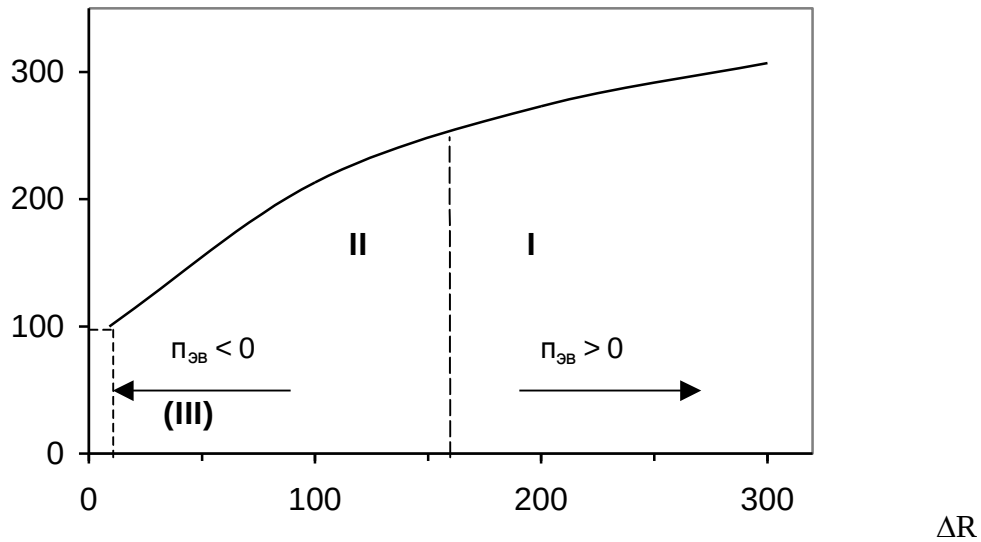


Рисунок 8.5

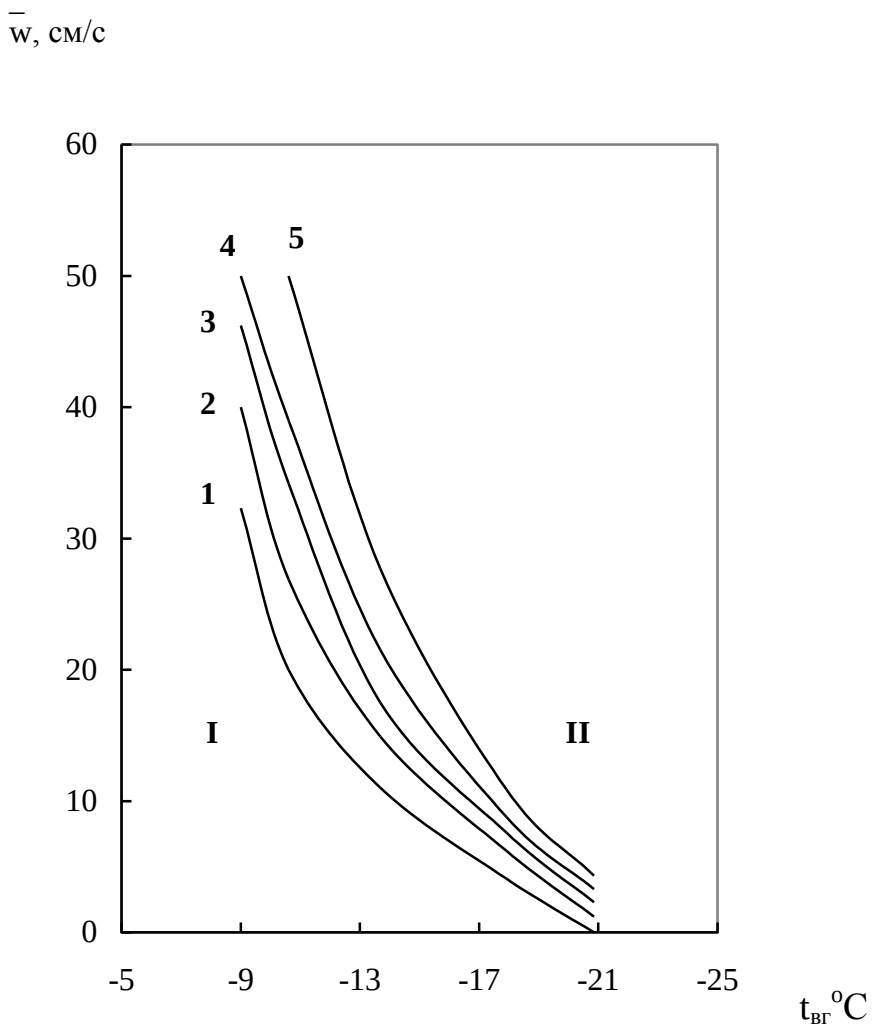


Рисунок 8.6

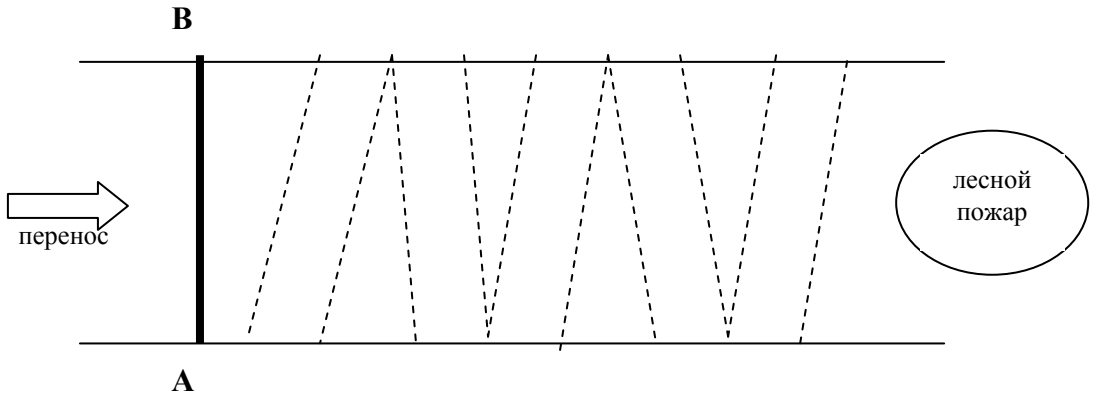


Рисунок 8.7

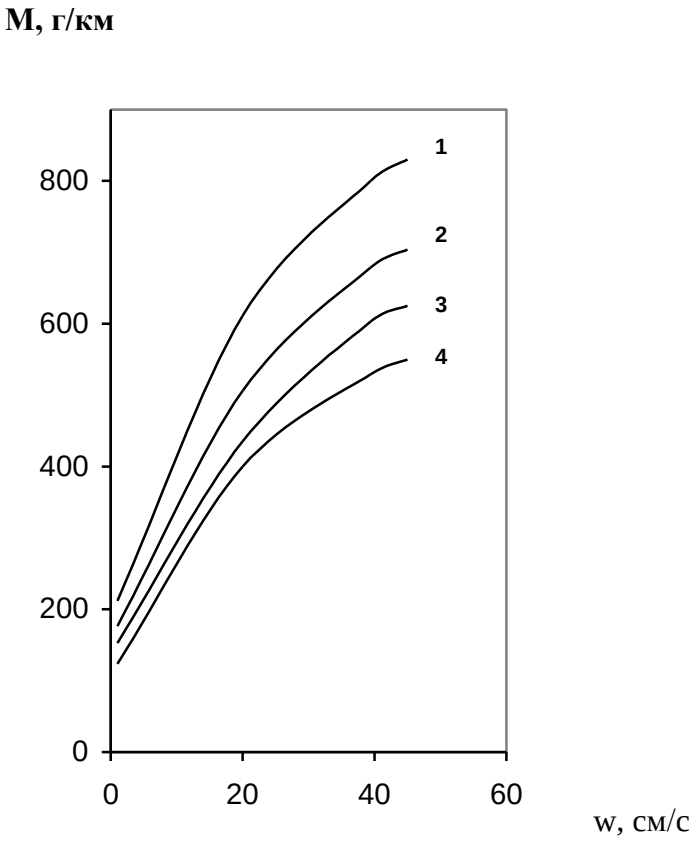


Рисунок 8.10

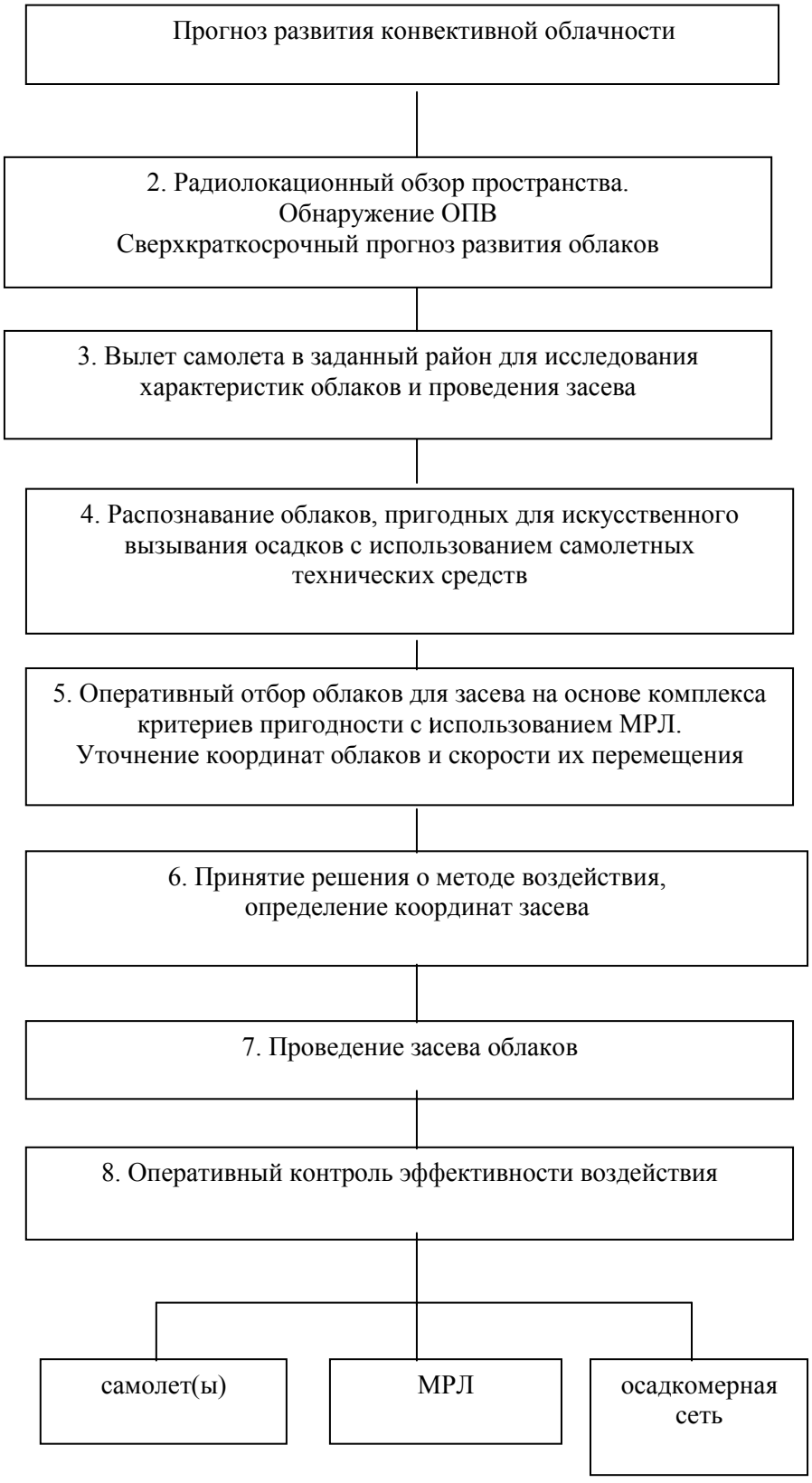

Прогноз развития конвективной облачности
2. Радиолокационный обзор пространства.
Обнаружение ОПВ
Сверхкраткосрочный прогноз развития облаков
3. Вылет самолета в заданный район для исследования характеристик облаков и проведения засева
4. Распознавание облаков, пригодных для искусственного вызывания осадков с использованием самолетных технических средств
5. Оперативный отбор облаков для засева на основе комплекса критериев пригодности с использованием МРЛ.
Уточнение координат облаков и скорости их перемещения
6. Принятие решения о методе воздействия, определение координат засева
7. Проведение засева облаков
8. Оперативный контроль эффективности воздействия
самолет(ы)
МРЛ
осадкомерная сеть

Рисунок 8.11

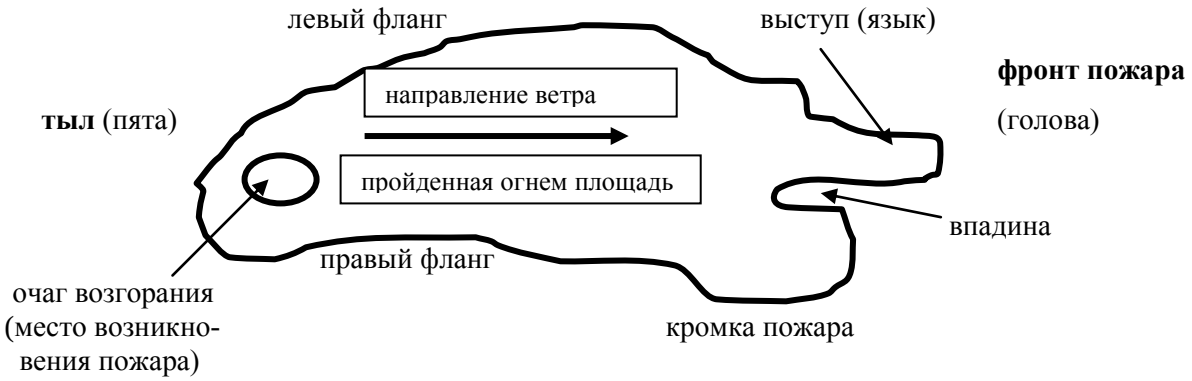

левый фланг
выступ (язык)
фронт пожара
(голова)
направление ветра
тыл (пята)
пройденная огнем площадь
впадина
правый фланг
очаг возгорания
(место возникно-
вения пожара)
кромка пожара

Рисунок А.1

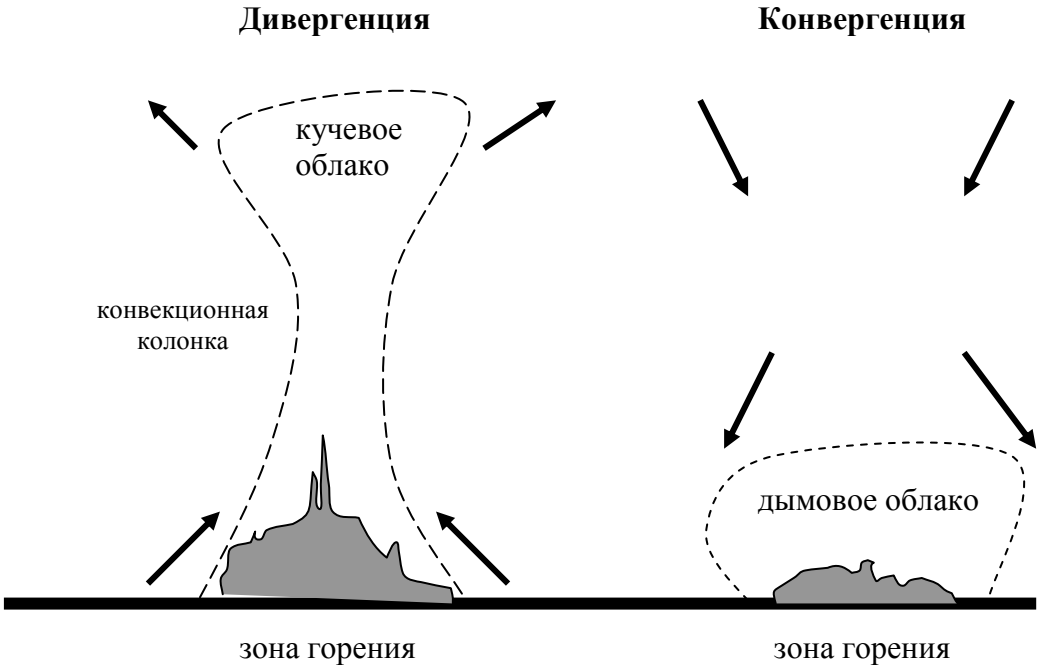
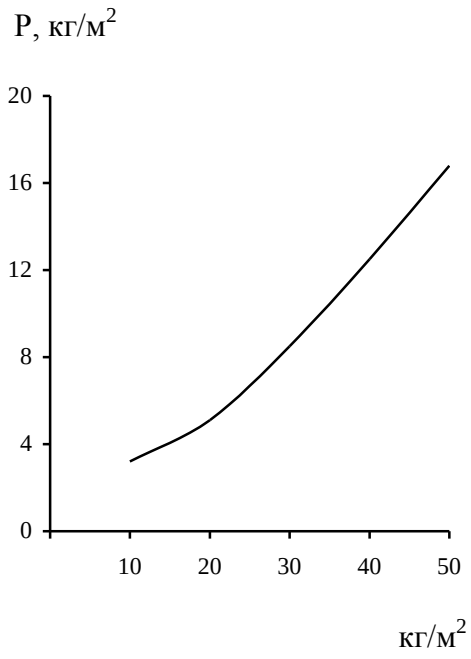
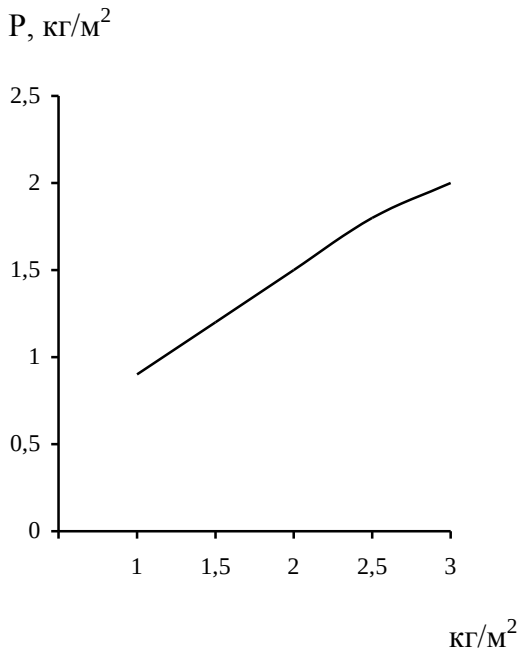

Дивергенция
Конвергенция
кучевое
облако
конвекционная
колонка
дымовое облако
зона горения
зона горения

Рисунок Б.1



а) Покров и подстилка



б) Покров

Рисунок Г.4