ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ **РД 52.37.731–2010**

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЫ

Нальчик
ООО «Редакция журнала «Эльбрус»
2010

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН	Государственным учреждением «Высокогорный геофизический институт» (ГУ «ВГИ») Росгидромета
2 РАЗРАБОТЧИКИ	М.Т. Абшаев, д-р физ.-мат. наук, проф.; А.М. Абшаев, канд. физ.-мат. наук, СНС; А.М. Малкарова, канд. физ.-мат. наук; В.А. Пометельников (приложение Е)
	с ГУ «НПО «Тайфун» 31.05.2010;
3 СОГЛАСОВАН	с Управлением геофизического мониторинга, активных воздействий и государственного надзора (УГМАВ) Росгидромета 15.06.2010
4 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ	Руководителем Росгидромета 15.06.2010 приказом № 194 от 22.06.2010
5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН	ЦМТР ГУ «НПО «Тайфун» за номером РД 52.37.731-2010 от 17.06.2010
6 ВЗАМЕН	РД 52.37.596-98 «Инструкция. Активное воздействие на градовые процессы»
7 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ	В основу настоящего РД положены результаты многолетнего опыта противоградовой защиты в Российской Федерации и странах СНГ, новейшие достижения в области развития методов и технических средств обнаружения и предотвращения града, а также патент Российской Федерации № 2369088 от 30.05.2008 на изобретение «Автоматизированный способ защиты от градобитий». Патентообладатель – ООО Научно-производственный центр «Антиград»

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения. 2
4 Общие положения 4
5 Порядок организации ПГЗ 6
6 Порядок радиолокационных наблюдений и распознавания ОВ 10
7 Порядок проведения АВ 13
7.1 Режимы работ и порядок их выполнения 13
7.2 Порядок выполнения противоградовых операций 15
7.3 Порядок засева ОВ различных категорий 18
7.3.1 Порядок засева ОВ I категории 18
7.3.2 Порядок засева ОВ II категории 19
7.3.3 Порядок засева ОВ III и IV категории с правосторонним развитием 21
7.3.4 Порядок засева ОВ III и IV категории с левосторонним развитием 22
7.3.5 Оперативный контроль результатов засева 25
7.4 Порядок нормирования расхода ПГИ 26
7.5 Порядок документирования противоградовых операций 29
7.6 Порядок контроля результатов АВ 30
8 Порядок обеспечения безопасности ПГЗ 31
Приложение А (справочное) Основные понятия о градовых процессах 32
Приложение Б (справочное) Физические основы и основные положения российской ракетной технологии ПГЗ . . 52
Приложение В (справочное) Возможности и ограничения российской автоматизированной ракетной технологии ПГЗ 57
Приложение Г (обязательное) Порядок подготовки радиолокатора МРЛ-5 и АСУ к проведению ПГЗ 59
Приложение Д (рекомендуемое) Показатели градоопасности облаков и методы измерения параметров градовых осадков . . . 71
Приложение Е (рекомендуемое) Критерии распознавания категорий ОВ с учетом высоты изотермы 0°С. 75
Приложение Ж (рекомендуемое) Формы отчетности 79
Библиография 83

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Организация и проведение противоградовой защиты

Дата введения – 2010-07-01

1 Область применения

Настоящий руководящий документ устанавливает порядок организации и проведения противоградовой защиты (ПГЗ) сельскохозяйственных культур, включая порядок проведения радиолокациионных наблюдений, распознавания объектов воздействия (ОВ), проведения операций по засеву градовых и градоопасных облаков, оперативного контроля физической эффективности засева ОВ, нормирования расхода противоградовых изделий (ПГИ) и документирования материалов активного воздействия (АВ) на градовые процессы.

Руководящий документ обязателен для применения в Военизированных службах (ВС) по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, а также других учреждениях, организациях и предприятиях, имеющих лицензию на применение российской автоматизированной ракетной технологии ПГЗ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

РД 3112199-0199-96 Руководство по организации перевозок опасных грузов автомобильным транспортом

РД 52.37.601-98 Наставление по ракетно-артиллерийскому обеспечению активных воздействий на гидрометеорологические процессы

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

РД 52.37.710-2008 Порядок применения противоградового комплекса «Алазань» для активных воздействий на метеорологические и другие геофизические процессы

РД 52.37.732–2010 Методы оценки эффективности активного воздействия на градовые процессы и порядок отчетности о проведении противоградовой защиты

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем руководящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **активное воздействие на градовый процесс**; АВ: Преднамеренное изменение естественного хода градового процесса (ГП) с целью предотвращения града путем химического, механического или иного искусственного воздействия.

3.1.2 **градобитие**: Нанесение градом повреждений сельскохозяйственным культурам, флоре, фауне, постройкам и другим объектам.

3.1.3 **засев облака**: Введение в облако льдообразующих, гигроскопических или иных реагентов с целью изменения его фазового состояния, микроструктуры, динамики электрических свойств и др.

3.1.4 **запретный сектор**: Сектор азимута или угла возвышения, в котором запрещается пуск ПГИ в целях обеспечения безопасности противоградовых стрельб.

3.1.5 **категория ОВ**: Степень градоопасности ОВ, от которой зависит порядок его засева.

3.1.6 **конвективная ячейка**; КЯ: Область радиоэха, ограниченная замкнутыми изолиниями радиолокационной отражаемости, имеющая одну конвективную вершину, и питающаяся преимущественно одним восходящим потоком.

3.1.7 **КЯ с правосторонним развитием**: КЯ, имеющая область восходящего потока и область нового роста на правом наветренном фланге и движущаяся вправо от ведущего потока, характерная преимущественно для градовых процессов Северного полушария.

3.1.8 **КЯ с левосторонним развитием**: КЯ, имеющая область восходящего потока и область нового роста на левом наветренном фланге и движущаяся влево от ведущего потока, характерная для градовых процессов Южного полушария.

3.1.9 **объект воздействия**; ОВ: КЯ, параметры которой соответствуют критериям АВ с целью предотвращения града, увеличения осадков и т.п.

3.1.10 **первое радиоэхо КЯ**: Радиоэхо вновь развивающейся КЯ, в которой размеры и концентрация частиц достигают значений, при которых их отраженный сигнал может быть обнаружен МРЛ.

3.1.11 **площадка засева**: Горизонтальная проекция на высоту засева облачного объема, в который вводится реагент с целью получения желаемого эффекта.

3.1.12 **противоградовая защита**; ПГЗ: Комплекс организационно-технических мероприятий, осуществляемых с целью защиты посевов, флоры, фауны, теплиц и других объектов от градобитий.

3.1.13 **противоградовая операция**: комплекс технологических действий, осуществляемых с целью предотвращения града.

3.1.14 **Росгидромет**: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

3.1.15 **степени готовности командного пункта (КП) и ракетного пункта воздействия (ПВ)**: Готовность № 3 - повседневное состояние готовности КП и ПВ в течение всего сезона ПГЗ, при котором оборудование КП и ПВ размещено на позициях и подготовлено к работе по АВ. Готовность № 2 - состояние готовности КП и ПВ, при котором осуществляется радиолокационное наблюдение за ОВ, ракетные установки заряжены. Готовность № 1 - состояние КП и ПВ, по которому осуществляется выполнение команд по АВ на градовые процессы (ГП).

3.1.16 **система ПГЗ**: комплекс технических средств, позволяющих осуществлять ПГЗ.

3.1.17 **тип ГП**: Семейство ГП, имеющие общие особенности в структуре и динамике развития КЯ и облачной системы в целом.

3.1.18 **одноячейковый ГП**: ГП с осесимметричными, не взаимодействующими между собой малоподвижными и короткоживущими КЯ, зарождающимися в любой части облачной системы.

3.1.19 **неупорядоченный многоячейковый ГП**: ГП с осесимметричными и несимметричными слабо взаимодействующими между собой КЯ, зарождающимися в любой части облачной системы и движущимися в разных направлениях с разной скоростью.

3.1.20 **упорядоченный многоячейковый ГП**: ГП с несимметричными, периодически возникающими на наветренном фланге и взаимодействующими между собой КЯ, движущимися в Северном полушарии преимущественно вправо, а в Южном полушарии влево от направления ведущего потока.

3.1.21 **ГП переходного (гибридного) типа**: ГП, имеющий в структуре и динамике развития особенности многоячейковых и суперячейковых ГП.

3.1.22 **суперячейковый ГП**: ГП, состоящий из одной мощной несимметричной КЯ, длительное время существующей в стадии квазистационарного состояния и движущейся в Северном полушарии преимущественно вправо, а в Южном полушарии влево от направления ведущего потока.

3.1.23 **ускорение осадкообразования**: Ускорение укрупнения облачных частиц до размера частиц осадков - физический принцип АВ с целью прерывания и предотвращения града, положенный в основу изложенной ниже технологии ПГЗ.

3.1.24 **эффект воздействия**: Реакция ОВ на проведенное АВ, проявляющаяся в виде изменений его физических параметров, свидетельствующих о физической эффективности АВ, и сокращения ущерба от града, характеризующего экономическую эффективность АВ.

3.2 В настоящем РД применены следующие сокращения:

АВ – активное воздействие;

АСУ – автоматизированная система управления противоградовыми операциями, состоящая из аппаратных и программных средств;

ВС – военизированная служба по АВ на метеорологические и другие геофизические процессы;

ВО – военизированный отряд по АВ;

ГП – градовый процесс;

ГУ – государственное учреждение;

ЗТ – защищаемая от градобитий территория;

МРЛ – метеорологический радиолокатор;

КП – командный пункт, с которого осуществляется управление АВ;

КТ – контрольная территория, используемая для оценки эффективности АВ;

КЯ – конвективная ячейка;

ОВ – объект воздействия;

ПВ – пункт воздействия - ракетный пункт, с которого проводится АВ;

ПГЗ – противоградовая защита;

ПГИ – противоградовое изделие (противоградовая ракета);

ПТ – прилегающая к ЗТ территория;

ПУ – ракетная противоградовая пусковая установка;

УВД – управление воздушным движением.

4 Общие положения

4.1 ПГЗ осуществляется учреждениями, организациями и предприятиями, имеющими лицензию Росгидромета, оформленную в соответствии с положением [1].

4.2 ПГЗ осуществляется по договорам (контрактам) с заказчиком, которым может быть любое физическое или юридическое лицо.

4.3 В договоре на проведение ПГЗ определяются площадь защиты, границы ЗТ, годы и календарные сроки защиты, вид защиты (опытная, производственная), ожидаемая эффективность (средняя за последние несколько лет), стоимость защиты 1 га, общая стоимость договора, порядок и методика контроля потерь от града, методы оценки физической и экономической эффективности. К договору должны быть приложены:

а) карта-схема ЗТ и ПТ с их границами, границами населенных пунктов и других объектов, в направлении которых должны быть введены запретные секторы, которые согласовываются с Заказчиком ПГЗ, наносятся на карту и на цифровом планшете применяемой АСУ;

б) таблица экспликации земель ЗТ с указанием профилирующих культур и занятых ими площадей;

в) имеющиеся статистические данные о потерях от града на ЗТ до ПГЗ для оценки эффективности ПГЗ;

г) используемый руководящий документ по АВ;

д) используемый руководящий документ по методам оценки эффективности ПГЗ.

4.4 Исполнитель договора (контракта) на проведение ПГЗ обязан строго соблюдать инструкции, распоряжения и руководящие документы, регламентирующие порядок приобретения, хранения, перевозки и эксплуатации ПГИ, порядок оценки эффективности ПГЗ в соответствии со следующими документами:

а) приобретение, хранение и использование ПГИ осуществляется в соответствии с положением [2];

б) организация противоградовых стрельб на территории Российской Федерации осуществляется в соответствии с инструкцией [3];

в) учет, хранение и передача ПГИ от одной специализированной организации другой осуществляется в соответствии с инструкцией [4];

г) перевозка ПГИ – в соответствии с РД-3112199-0199;

д) контроль хранения и применения ПГИ осуществляется местными органами МВД в соответствии с Распоряжением Правительства РФ [5];

е) эксплуатация ПГИ осуществляется в соответствии с 52.37.710;

ж) безопасность ПГЗ обеспечивается в соответствии с РД 52.37.615;

и) приобретение МРЛ и радиостанций осуществляется на основе разрешения Государственной комиссии по радиочастотам на право их эксплуатации, оформляемое в соответствии с инструкцией [6];

к) оценка эффективности ПГЗ осуществляется в соответствии с РД 52.37.732;

л) прогноз града, типа ГП, его интенсивности и мезорайона развития осуществляется в соответствии с [7].

5 Порядок организации ПГЗ

5.1 Организация ПГЗ предусматривает:

а) разработку проекта системы ПГЗ с привязкой технологии к реальным климатическим и физико-географическим условиям региона и площади ПГЗ с учетом приложений Б и В;

б) реализацию мероприятий по созданию системы ПГЗ, включая создание комплекса технических средств, подготовку персонала и необходимой документации;

в) подготовку системы ПГЗ к проведению АВ, включая подготовку комплекса технических средств, организацию работы противоградовых подразделений и порядка их взаимодействия.

5.2 Проект системы ПГЗ должен включать:

5.2.1 Карту-схему ЗТ с указанием позиций командных пунктов (КП) и ракетных пунктов воздействия (ПВ).

5.2.2 Таблицу потребности в технических средствах, включая:

а) метеорологические радиолокаторы;

б) автоматизированные системы управления (АСУ) противоградовыми операциями;

в) ракетные противоградовые пусковые установки (ПУ);

г) средства связи;

д) ожидаемый среднегодовой расход ПГИ;

е) транспорт, оргтехнику, бытовые принадлежности и материалы.

5.2.3 Штатное расписание обслуживающего персонала.

5.2.4 Перечень служебных и жилых помещений на КП и ПВ, предоставляемых Заказчиком и требующих строительства.

5.2.5 Календарный план выполнения проекта системы ПГЗ.

5.2.6 Оценку стоимости проекта системы ПГЗ.

5.2.7 Оценку ожидаемой экономической эффективности проекта системы ПГЗ.

5.3 Создание системы ПГЗ предусматривает:

5.3.1 Выбор позиций КП и ПВ, определение их координат (с ошибкой не более 100 м) и высоты над уровнем моря.

5.3.2 Выбор позиций ПВ осуществляется так, чтобы обеспечить:

а) покрытие зоной обстрела всей площади ЗТ;

б) минимум запретных секторов стрельбы и не простреливаемых участков;

в) возможность засева ОВ с правосторонним и левосторонним развитием. Для этого следует выдвинуть позиции ПВ в направлениях вторжения градовых облаков и создать зону предварительной обработки ОВ шириной от 10 до 15 км.

5.3.3 Строительство позиций КП и ПВ, включая:

а) помещение для размещения МРЛ, АСУ и средств связи;

б) центрального склада - хранилища ПГИ (около 60 м^2);

в) склада ПГИ (около 20 м^2) и по 2 бетонированные площадки (размером 2,5х2,5 м) на каждом ПВ для размещения ПУ;

г) мачт радиосвязи на КП и ПВ высотой от 10 до 15 м;

д) жилых помещений для персонала КП (на 15 чел.) и персонала ПВ (на 2 чел.).

5.3.4 Комплектование и подготовку персонала КП и ПВ, включая специалистов по воздействию, радиолокации, средствам автоматизации, радиосвязи и ракетной технике.

5.3.5 Монтаж и ввод в строй оборудования КП и ПВ:

а) монтаж, горизонтирование и ориентирование МРЛ;

б) монтаж АСУ, инсталляцию программного обеспечения АСУ;

в) градуировку, калибровку АСУ в соответствии с приложением Г;

г) привязку АСУ к региональным условиям, включая: регистрацию маски местных предметов, создание цифровой карты местности с позициями КП и ПВ, конфигурирование ПВ, ввод их запретных секторов,

ввод траекторных характеристик применяемых ПГИ, подготовку зон взаимодействия с органами авиации и т.д.;

д) монтаж на позициях ПВ, горизонтирование и ориентирование ПУ, калибровку усилия схода ракет с направляющих;

е) развертывание аппаратуры радиосвязи между КП и ПВ.

5.3.6 Организацию метеообеспечения ПГЗ, включая получение:

а) прогноза конвективной облачности, гроз и града;

б) данных радиозондирования атмосферы в стандартные сроки, содержащих сведения о высоте изотерм 0 °С H_0 и минус 6 °С H_{-6}, высоте тропопаузы, годографе ветра, направлении и скорости ведущего потока;

в) анализа синоптической ситуации в районе проведения ПГЗ, содержащего информацию о типе атмосферных фронтов, обуславливающих погоду в регионе, и прогнозируемом времени их прохождения;

г) спутниковой картины облачности региона.

Эту информацию следует получать ежедневно по согласованному расписанию из ближайшего Гидрометцентра. При отсутствии такой возможности необходимо организовать радиозондирование атмосферы, прием спутниковой и синоптической информации в противоградовом подразделении, установив соответствующее оборудование.

5.4 Подготовка системы ПГЗ к проведению АВ предусматривает:

5.4.1 Проверку готовности системы ПГЗ, включая:

а) проверку надежности функционирования МРЛ и АСУ суточным прогоном;

б) проверку надежности связи между КП и ПВ;

в) проверку готовности ракетных позиций и установок;

г) измерение сопротивления заземления технических средств радиолокации, связи, ракетных установок с составлением протокола измерений и принятием мер по уменьшению сопротивления заземления на объектах, где оно превышает 4 Ом.

5.4.2 Подготовку системы ПГЗ к проведению АВ, включая следующие мероприятия:

5.4.2.1 Подготовку трех дежурных смен КП. Каждая дежурная смена состоит из следующих специалистов:

– руководитель воздействия - руководитель смены;

– радиооператор по взаимодействию с ПВ (в зависимости от числа ПВ их может быть в смене один или два);

– радиооператор по взаимодействию с органами авиации;

– инженер по АСУ;

– инженер по радиолокации и средствам связи;

– инженер по ракетной технике.

5.4.2.2 Подготовку двух дежурных смен для каждого ПВ, состоящих из двух человек:

– руководителя смены - бойца 1 класса;

– бойца 2 класса.

Дежурные смены КП и ПВ комплектуются из специалистов, прошедших специальное обучение, имеющих опыт и аттестованных с допуском к работе на своем рабочем месте.

5.4.2.3 Проведение комплексных тренировок персонала КП и ПВ перед началом сезона ПГЗ с максимальной имитацией работы по АВ в течение не менее 5 дней с анализом и устранением выявленных недостатков.

5.4.2.4 Организацию круглосуточных наблюдений за развитием градоопасных и градовых облаков и поддержание постоянной готовности КП и ПВ к проведению АВ в течение всего сезона ПГЗ.

5.4.2.5 Организацию взаимодействия с органами авиации, включая подготовку:

а) инструкции по проведению противоградовых стрельб, согласованной с органами гражданской и военной авиации;

б) инструкции по взаимодействию с органами управления воздушным движением (УВД) в регионе;

в) карты-схемы взаимодействия с органами УВД, на которой на фоне схематической карты местности указаны позиции ПВ, радиусы их действия, авиатрассы и коридоры, проходящие в радиусе действия ПВ, границы зон взаимодействия, по которым может запрашиваться разрешение на пуск ПГИ в зависимости от наличия ОВ или запрещаться пуск ПГИ в зависимости от авиационной обстановки в регионе;

г) прямой круглосуточной связи между КП и органами УВД.

5.4.2.6 Оповещение населения, проживающего на ЗТ, о начале проведения ПГЗ с применением ПГИ через средства массовой информации.

6 Порядок радиолокационных наблюдений и распознавания ОВ

6.1 Ежедневно дежурный оператор должен устанавливать в программе применяемого АСУ данные радиозондирования атмосферы:

а) высоту изотермы 0 °С H_0, км;

б) высоту изотермы минус 6 °С H_{-6}, км;

в) высоту тропопаузы для целей штормооповещения $H_{тр}$, км;

г) скорость ведущего потока V, км/ч;

д) направление ведущего потока A, градус, откуда дует ветер;

е) высоту нижнего уровня двухуровневого сечения $H_1 = 2{,}5 \pm 0{,}5$ км;

ж) высоту засева облаков $H_2 = (H_0+1)$ км, варьирующую от 4 до 6 км, и используемую в АСУ по умолчанию при расчете координат пуска ПГИ.

6.2 Радиолокационные наблюдения за развитием облачности осуществляются с помощью АСУ круглосуточно в течение всего сезона ПГЗ по следующему регламенту:

а) при отсутствии облачности или наличии слоистообразной облачности через 1 ч;

б) при наличии конвективной облачности непрерывно.

6.3 Все циклы объемного обзора пространства записываются на жесткий диск независимо от режима наблюдений.

6.4 Анализ и оценку степени градоопасности облаков следует осуществлять в следующем порядке:

а) выбрать карту двухуровневого сечения или карту категорий ОВ;

б) выбрать удобный масштаб отображения облачности;

в) в каждом цикле обзора измерять и сохранять параметры наиболее мощных КЯ, нумеруя их в первом обзоре с запада на восток, с севера на юг, а в дальнейшем в хронологическом порядке;

г) определить категорию ОВ, определяющую степень градоопасности КЯ;

д) определить направление и скорость перемещения ОВ;

е) определить тип ГП в соответствии с [8, 9];

ж) провести анализ особенностей пространственного строения КЯ, обратив особое внимание на наличие и направление навеса радиоэха КЯ, его высоту и протяженность по серии вертикальных сечений в разных направлениях;

Навесом радиоэха называют область, нависающую над областью слабого радиоэха и расположенную на наветренном фланге КЯ. Навес радиоэха следует выделять по двухуровневому сечению КЯ как площадь повышенного радиоэха на уровне H_2, выступающую за пределы повышенного радиоэха на уровне H_1. В зависимости от стадии развития КЯ за область повышенного радиоэха принимают изоконтуры радиоэха с Z_{25}, Z_{35} и Z_{45} dBZ. Не следует принимать за навес радиоэха наклон облака и наковальню, направленные на подветренный фланг.

и) провести анализ закономерностей эволюции облачной системы, обратив особое внимание на место появления и диссипации КЯ путем просмотра анимации карты облачности по нескольким циклам обзора.

6.5 Распознавание градовых и градоопасных облаков и оценка степени их градоопасности осуществляется одноволновым и двухволновым радиолокационными методами в соответствии с [8]. При этом используются показатели градоопасности, признаки наличия крупного града и методы оценки размера и кинетической энергии града, представленные в приложении Д.

6.6 АВ проводится на градовые и градоопасные облака, имеющие тенденцию развития и перерастания в градовое состояние, именуемые в дальнейшем ОВ.

6.7 ОВ делятся на 4 категории:

6.7.1 ОВ I категории – новая потенциально градоопасная КЯ с максимумом радиоэха в слое от 0 до 5 км над уровнем изотермы 0 °С, имеющая тенденцию развития со скоростями прироста параметров:

$dZ_m/dt > 1$ dBZ/мин, $dH_{25}/dt > 0{,}1$ км/мин, $d\Delta q_m/dt > 0{,}2$ кг/м^{2}мин, $d\Delta M_{25} > 0$.

6.7.2 ОВ II категории – градоопасная КЯ, имеющая тенденцию развития со скоростями прироста параметров:

$dZ_m/dt > 0{,}5$ dBZ/мин, $dH_{35}/dt > 0{,}1$ км/мин, $d\Delta q_m/dt > 0{,}2$ кг/м^{2}мин, $d\Delta M_{25} > 0$.

6.7.3 ОВ III категории – градовая КЯ, из которой по радиолокационным данным выпадает град, а ее параметры имеют тенденцию роста или сохранения во времени.

6.7.4 ОВ IV категории: Сверхмощная градовая КЯ из которой, по радиолокационным данным, выпадает град катастрофической интенсивности.

6.8 Под тенденцией развития ОВ следует понимать увеличение во времени значений отражаемости $dZ_m/dt > 0$, высоты повышенного радиоэха $dH_{35}/dt > 0$, приведенной $d\Delta q_m/dt > 0$ и интегральной водности ОВ $d\Delta M/dt > 0$, а под тенденцией диссипации – уменьшение этих значений.

6.9 Распознавание ОВ различных категорий осуществляется по критериям градоопасности одномерных, двумерных и трехмерных параметров (таблица 1), характеризующим повышенное водосодержание переохлажденной части КЯ и наличие условия для зарождения и роста града. Учет изменения во времени значений параметров (скорости прироста или убывания параметров) характеризует тенденцию развития ОВ и возможность их перерастания в другие категории градоопасности.

Т а б л и ц а 1 – Критерии распознавания ОВ различных категорий

Категория ОВ	Критерии градоопасности					
I	$0 < \Delta H_{Zm} < 5$	$15 < Z_m < 45$	$\Delta q_m \geq 0{,}5$	$\Delta M_{25} > 10^3$	$d\Delta q_m/dt > 0{,}2$	$d\Delta M_{25} > 0$
II	$\Delta H_{35} > 3$	$Z_m \geq 45$	$\Delta q_m \geq 2$	$\Delta M_{35} > 2 \cdot 10^4$	$d\Delta q_m/dt > 0{,}2$	$d\Delta M_{35} > 0$
III	$\Delta H_{45} \geq 3$	$Z_m \geq 55$	$\Delta q_m > 8$	$\Delta M_{45} > 2 \cdot 10^4$	-	-
IV	$\Delta H_{45} > 4$	$Z_m > 65$	$\Delta q_m > 16$	$\Delta M_{55} > 2 \cdot 10^5$	-	-

Использованы следующие обозначения параметров и их размерности:

ΔH_{Zm}, км – высота максимума радиоэхо над уровнем изотермы 0 °С H_0;

Z_m, dBZ – максимальная отражаемость ОВ на длине волны λ = 10 см;

ΔH_{25}, ΔH_{35} и ΔH_{45}, км – превышение над уровнем H_0 высот верхней границы объемов радиоэха с Z_{10} = 25, 35 и 45 dBZ, соответственно;

Δq_m, кг/м^2 – максимальное значение приведенной водности выше уровня H_0;

ΔM_{25}, ΔM_{35}, ΔM_{45} и ΔM_{55}, т – интегральная водность объемов радиоэха выше уровня H_0 с Z_{10} = 25, 35, 45 и 55 dBZ, соответственно;

$d\Delta q_m/dt$, кг/м^{2}мин – скорость прироста приведенной водности КЯ выше уровня H_0;

dM_{25}/dt и dM_{35}/dt, т/мин – скорость прироста во времени интегральной водности объемов радиоэха выше уровня H_0 с Z_{10} = 25 и 35 dBZ, соответственно.

П р и м е ч а н и е – Допускается применение альтернативного варианта критериев засева, представленного в таблице Е.1.

7 Порядок проведения АВ

7.1 Режимы работ и порядок их выполнения

7.1.1 Работа по АВ осуществляется с помощью применяемого типа АСУ в режимах:

- ДЕЖУРСТВО;
- ВОЗДЕЙСТВИЕ;
- ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ.

7.1.2 Работа в режиме ДЕЖУРСТВО осуществляется круглосуточно в течение всего сезона ПГЗ («Готовность № 3») в следующем порядке:

7.1.2.1 Дежурный оператор КП:

1) принимает прогноз погоды по данным радиозондирования атмосферы и вводит в программу АСУ информацию по 6.1;

2) в случае прогноза «Град ожидается» направляет в органы УВД предварительный запрос о возможности проведения противоградовых стрельб;

3) осуществляет круглосуточное радиолокационное наблюдение за развитием ГП, обеспечивает обнаружение и распознавание ОВ;

4) осуществляет радиосвязь с ПВ по установленному руководителем АВ расписанию;

5) при развитии ОВ на ЗТ и вблизи неё докладывает об этом руководителю АВ и вызывает дежурную смену на рабочие места;

6) по указанию руководителя АВ передает на ПВ команду «Готовность № 2» и подает заявку в органы УВД о непосредственном начале противоградовых стрельб с указанием времени начала и ожидаемого конца;

7) получив разрешение органов УВД сообщает об этом руководителю АВ;

8) по окончании АВ снимает заявку на разрешение органов УВД.

7.1.2.2 Дежурная смена ПВ получив команду «Готовность № 2»:

1) расчехляет ПУ;

2) выносит со склада ПГИ, осматривает каждое ПГИ на предмет прямолинейности и отсутствия трещин на корпусе согласно РД 52.37.710;

3) записывает номер и серию каждого ПГИ и заряжает ПУ;

4) после зарядки ПУ докладывает на КП о готовности ПВ к АВ;

5) находится на дежурной связи с КП в режиме ожидания команд.

7.1.3 Работа в режиме ВОЗДЕЙСТВИЕ осуществляется при наличии ОВ, угрожающих ЗТ, всей дежурной сменой:

7.1.3.1 Руководитель АВ занимает рабочее место за компьютером АСУ и с учетом наличия ОВ дает указания:

а) запросить разрешение органов УВД на проведение АВ;

б) зарядить ПУ и привести ПВ в «Готовность № 1»;

в) перевести МРЛ на автономное электропитание (от дизеля);

г) персоналу КП занять рабочие места и приготовиться к проведению АВ;

д) выполняет операции по АВ и выдает команды на пуск ПГИ;

е) осуществляет руководство работой дежурных смен КП и ПВ.

7.1.3.2 Радиооператор по взаимодействию с органами авиации:

а) по указанию руководителя АВ запрашивает разрешение органов авиации на проведение противоградовых стрельб;

б) поддерживает радиосвязь с органами авиации во время АВ;

в) сообщает руководителю АВ о разрешении (запрете) органов авиации на проведение стрельб, а также обо всех изменениях в активации зон взаимодействия;

г) сообщает органам авиации об окончании АВ и отказе от активации зон;

д) регистрирует на магнитофон все переговоры с органами авиации, а также разрешения и запреты органов авиации в таблице взаимодействия с органами авиации (приложение Ж).

7.1.3.3 Радиооператор по взаимодействию с ПВ осуществляет:

а) радиоперекличку всех ПВ, сверку часов по системному времени, установленному в АСУ;

б) по указанию руководителя АВ дает команды «Готовность № 1», «Зарядить ПУ», «Вертикальный угол запуска ПГИ 00^0»;

в) принимает доклады о готовности ПВ к АВ и дает установку «Приготовиться к приему команд»;

г) передает на ПВ команды на пуск ПГИ, и, после их повтора бойцом ПВ, убедившись в правильности приема, дает команду «Огонь»;

д) контролирует и записывает время выполнения команд;

е) регистрирует сообщения ПВ о явлениях погоды;

ж) по окончании АВ дает команду ПВ «Отбой. Готовность № 2».

7.1.3.4 Дежурная смена ПВ, получив команду «Готовность № 1»:

а) расчехляет ПУ;

б) заряжает ПУ указанными с КП типами ПГИ;

в) докладывает на КП о готовности к проведению АВ, занимает рабочие места для приема и выполнения команд;

г) регистрирует в журнале и выполняет поступившие с КП команды на пуск ПГИ, докладывает о выполнении;

д) сообщает на КП о случаях аномального функционирования ПГИ, выпадении градовых и ливневых осадков на ПВ;

е) при получении команды «Отбой. Готовность № 2» разряжает и зачехляет ПУ, заносит ПГИ в склад и укладывает на стеллажи.

7.1.3.5 Персонал, обслуживающий средства радиолокации, связи, ракетной техники и автоматизации, в период АВ дежурит в зале воздействия, контролирует функционирование технических средств и оперативно устраняет возникшие неполадки.

7.2 Порядок выполнения противоградовых операций

АВ на ОВ, угрожающие ЗТ, осуществляется дежурной сменой в любое время суток в следующем порядке:

7.2.1 Утром при смене дежурства в АСУ вводится коррекция количества ПГИ на ПВ, с учетом их пополнения или вывоза с ПВ.

7.2.2 Перед началом АВ запрашивается разрешение органов УВД и согласно ему активируются (дезактивируются) зоны взаимодействия.

7.2.3 Решение об АВ принимает руководитель АВ с учетом:

а) категории ОВ;

б) местоположения и направления перемещения ОВ (вторжение на ЗТ, удаление или перемещение вдоль границы ЗТ);

в) типа ГП (одноячейковый, упорядоченный или неупорядоченный многоячейковый, суперячейковый, переходного типа), в зависимости от чего оценивается возможность распространения процесса градообразования на ЗТ и выбирается стратегия АВ;

г) целесообразности экономии ПГИ.

7.2.4 Засев ОВ, угрожающих ЗТ, осуществляется преимущественно в области нависающего радиоэха. Для проведения засева ОВ следует выполнить следующие операции:

а) вывести на экран АСУ двухуровневое сечение облаков на 10-сантиметровом канале МРЛ-5 с цифровой коррекцией радиолокационных сигналов на R^2, подавлением мешающих отражений от местных предметов на фоне карты местности с позициями и радиусом действия ПВ;

б) установить масштаб изображения, обеспечивающий охват ОВ и ПВ, которые могут его засеять;

в) измерить параметры ОВ, определить его категорию, направление и скорость перемещения;

г) определить наличие и направление навеса радиоэха на двухуровневом сечении по линии, соединяющей центры Z_{45} на уровнях высоты H_1 и H_2. В случаях, когда нет четко выраженного навеса радиоэха, за направление навеса радиоэха принимается направление перемещения ОВ;

д) на двухуровневом сечении, устанавливая курсор на точки перегиба, зафиксировать щелчком на левой клавиши мыши границы площадки засева (левую, фронтальную, правую и тыловую) в соответствии со схемами, представленными на рисунках 1 – 4;

е) ввести упреждение на скорость перемещения ОВ, выбрать режим засева, выработать команды на засев, передать команды на ПВ и проконтролировать их выполнение;

ж) измерить параметры ОВ в новом цикле обзора, оценить эволюцию ОВ по временному ходу его параметров, уточнить категорию ОВ и при соответствии критериям засева провести повторный засев;

и) провести засев других ОВ, если они угрожают ЗТ.

7.2.5 Площадку засева следует всегда выделять полностью, чтобы обеспечить расчет КПД засева и наглядное отображение степени

полноты засева площадки и невозможности засева из-за особенностей ее расположения относительно позиций ПВ, запретных секторов.

7.2.6 Двухуровневое сечение представляет собой карту максимума отражаемости облачного слоя от (H_0 + 1) км до (H_0 + 5) км, на фоне которого отображены изолинии Z_{10}, равной 45 и 55 dBZ в слое осадков (обычно на высоте 2 или 2,5 км над уровнем моря).

7.2.7 Коррекция позиции площадки засева на перемещение ОВ осуществляется ее переносом в направлении перемещения ОВ с учетом скорости его перемещения, затрат времени на получение двухуровневого сечения, выделение площадки засева, расчет, передачу и исполнение команд на пуск ПГИ и полета ПГИ до зоны засева, равного в сумме около 3 мин.

7.2.8 Засев ОВ любой категории при любом типе ГП осуществляется на уровне температуры минус (6 ± 3) °С, соответствующей порогу кристаллизующего действия применяемого реагента и максимумам скоростей роста, размножения и агрегации кристаллов. В случаях, когда нижняя граница нависающего или первого радиоэха превышает высоту уровня минус 6 °С на 1 км и более, засев осуществляется на уровне нижней границы нависающего радиоэха, ограниченном изолинией Z_{10} равной:

- 15 dBZ в ОВ I категории;
- 25 dBZ в ОВ II категории;
- 35 dBZ в ОВ III и IV категории.

7.2.9 В случае применения ПУ с веерным размещением направляющих в малонаселенной местности с небольшим числом запретных секторов целесообразно производить засев тройками ПГИ, а в густонаселенной местности с многочисленными запретными секторами – тройками, двойками и одиночными пусками ПГИ.

7.3 Порядок засева ОВ различных категорий

7.3.1 Порядок засева ОВ I категории

В ОВ I категории однократно засевается область нависающего радиоэха внутри изоконтура Z_{10} = 15 dBZ. Для этого необходимо:

а) измерить параметры ОВ и уточнить его категорию;

б) определить высоту засева. Для этого построить вертикальное сечение ОВ, проходящее через максимум его радиоэха по направлению перемещения. Засев осуществляется на уровне изотермы минус 6 °С. Если нижняя граница навеса радиоэха расположена выше этого уровня, то засев осуществляется на уровне нижней границы навеса радиоэха с Z = 15 dBZ;

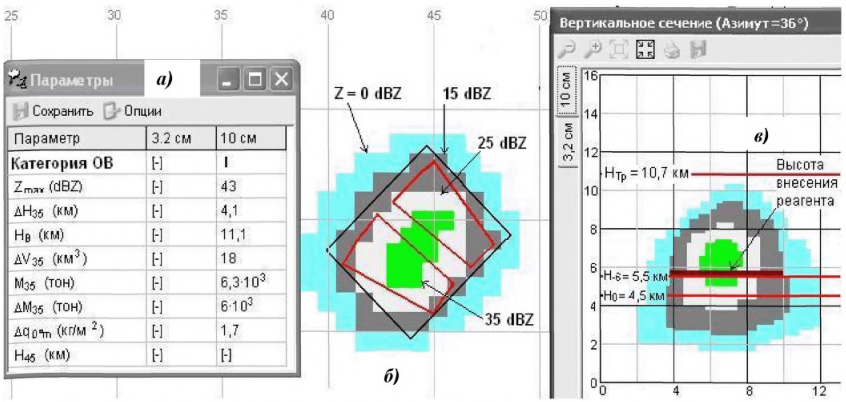
в) выделить границы площадки засева в соответствии с рисунком 1. Для этого на двухуровневом сечении выделить площадь, ограниченную изолинией Z = 15 dBZ;

г) замкнуть контур площадки засева по периметру;

д) ввести упреждение на скорость перемещения ОВ;

е) выработать команду на засев и передать на ПВ для исполнения;

ж) в следующем цикле обзора измерить параметры ОВ. Если обнаружена тенденция развития ОВ, провести повторный засев, а если нет тенденции развития, то засев прекратить.



а) параметры ОВ; б) схема засева на двухуровневом сечении ОВ;
в) схема засева на вертикальном сечении ОВ.

Рисунок 1 – Схема засева ОВ I категории

Время выработки, передачи и исполнения команды на засев ОВ I категории не должно превышать 1 мин.

В случае АВ на многоячейковые ГП в первую очередь следует засевать ОВ I категории, а потом более мощные ОВ

7.3.2 Порядок засева ОВ II категории

В ОВ II категории следует засевать фронтальный и наветренный фланги нависающего радиоэха двукратно с интервалом от 6 до 7 мин (через цикл обзора) на уровне изотермы минус 6 °С. Если нижняя граница навеса радиоэха расположена выше этого уровня, то засев осуществляется на уровне нижней границы навеса радиоэха с Z = 25 dBZ. Для этого необходимо:

а) измерить параметры ОВ, направление и скорость перемещения;

б) определить наличие навеса радиоэха и его направление;

в) определить высоту нижней границы навеса радиоэха по вертикальному сечению, проходящему через максимум радиоэха в направлении максимального выступа навеса;

г) выделить площадку засева в области нависающего радиоэха ОВ, фиксируя ее границы по точкам перегиба в соответствии с рисунком 2:

– *тыловую границу* – по фронтальной границе изолинии Z_{10}=35 dBZ;

– *левую границу* – параллельно направлению навеса радиоэха по касательной к левой границе изолинии Z_{10} = 35 dBZ;

– *правую границу* – параллельно направлению навеса радиоэха по касательной к правой границе изолинии Z_{10} = 15 dBZ;

– *фронтальную границу* – по фронтальной границе радиоэха.

д) ввести упреждение на перемещение ОВ;

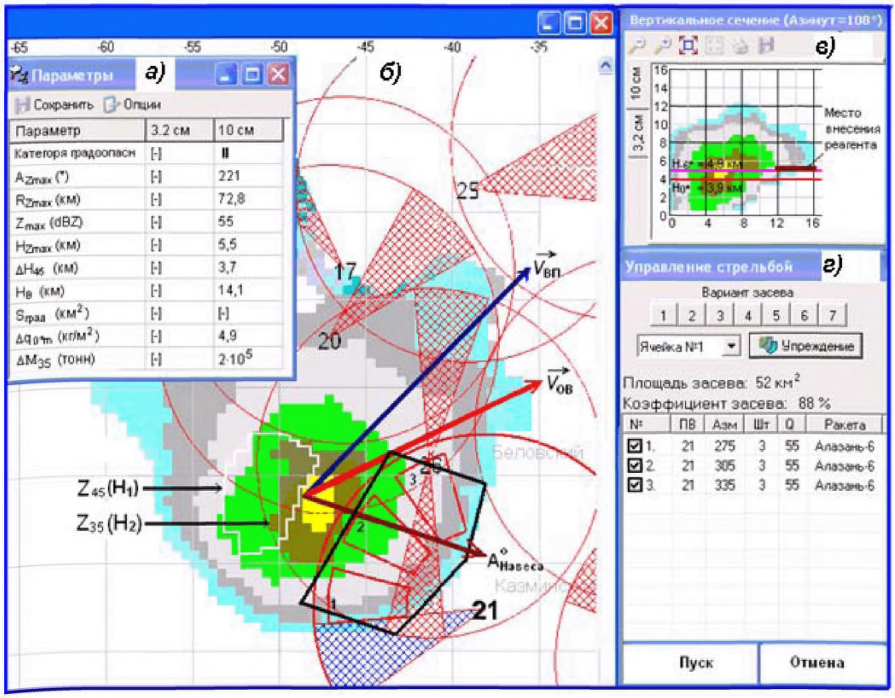
е) определить режим засева и выработать команды на засев с максимальным охватом выделенной площадки и особенно ее наветренного фланга;

ж) передать команды на ПВ для исполнения;

и) в следующем цикле обзора измерить параметры ОВ и с учетом тенденции его развития, принять решение о периодичности дальнейшего засева:

– в случае увеличения Z_m и высоты изолинии Z_{10} = 45 dBZ повторить операции от б) до ж) в этом же цикле обзора;

– если тенденции развития ОВ не обнаружено, то повторный засев выполнить через 1 цикл обзора.



а) параметры ОВ; б) схема засева на двухуровневом сечении ОВ; в) место засева на вертикальном сечении ОВ; г) команды на засев; $\vec{V}_{ПТ}$ – вектор ведущего потока; $\vec{V}_{ОВ}$ – вектор перемещения ОВ; $A^{\circ}_{Навеса}$ – направление навеса радиоэха.

Рисунок 2 – Схема засева ОВ II категории

7.3.3 Порядок засева ОВ III и IV категории с правосторонним развитием

В ОВ III и IV категории засеваются области нового роста (области будущего градообразования), расположенные обычно на фронтальном и наветренном флангах нависающего радиоэха и окружающих их фидерных облаках на уровне изотермы минус 6 °С. Если нижняя граница навеса радиоэха расположена выше этого уровня, то засев осуществляется на уровне нижней границы навеса радиоэха с Z = 35 dBZ. Для этого необходимо:

а) измерить параметры ОВ, направление и скорость перемещения и уточнить категорию ОВ;

б) определить наличие навеса радиоэха, его направление и высоту нижней границы по вертикальному сечению, проходящему через максимум радиоэха в направлении максимального навеса;

в) выделить контуры площадки засева, фиксируя ее границы по точкам перегиба, как показано на рисунке 3:

– *тыловую границу* – по фронтальной границе изолинии Z_{10}=35 dBZ;

– *левую границу* – параллельно направлению навеса радиоэха по касательной к левой границе изолинии Z_{10} = 55 dBZ;

– *фронтальную границу* – впереди фронтальной границы изолинии Z_{10} = 0 dBZ, расширенной по направлению навеса радиоэха на 5 км;

– *правую границу* – вдоль линии тыловой границы навеса радиоэха, начиная от изолинии Z_{10} = 35 dBZ, до границы радиоэха, расширенной навстречу вектору ведущего потока на 5 км.

г) замкнуть контур площадки засева по периметру;

д) ввести упреждение на перемещение ОВ;

е) выбрать вариант засева в соответствии с 7.4.3:

– *массированный засев* в случае мощных ГП с Z_m > 60 dBZ;

– *экономичный засев* в случае ОВ I и II категории;

– *нормальный засев* во всех остальных случаях.

ж) выработать команды на засев с максимальным охватом выделенной площадки и, в первую очередь, ее наветренного фланга;

и) передать команды на ПВ для исполнения;

к) в следующем цикле обзора измерить параметры ОВ, уточнить категорию ОВ и при необходимости повторить операции от в) до и);

л) ОВ III категории засеваются трехкратно с интервалом около 7 мин (т.е., через один цикл обзора), а в случае большой мощности и тенденции развития – с интервалом около 3,5 мин (в каждом цикле обзора);

м) ОВ IV категории засеваются четырехкратно в каждом цикле обзора;

н) каждый засев осуществляется с повторением операций от а) до и).

7.3.4 Порядок засева ОВ III и IV категории с левосторонним развитием

7.3.4.1 Выполнить операции по перечислениям а) - е) 7.3.3 со сдвигом площадки засева на левый наветренный фланг. Границы площадки засева выделить в соответствии с рисунком 4*г*:

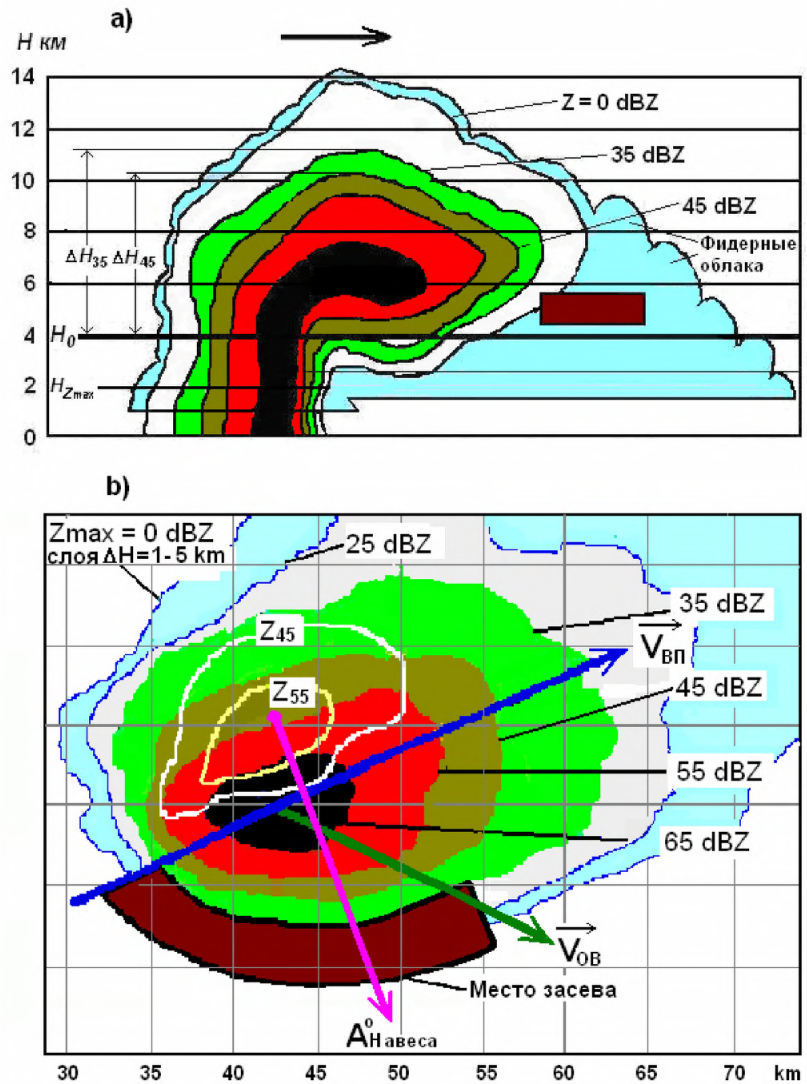
а) *тыловую границу* – по фронтальной границе изолинии Z_{10} = 35 dBZ;

б) *правую границу* – параллельно направлению навеса радиоэха по касательной к левой границе изолинии Z_{10} = 55 dBZ;

в) *фронтальную границу* – впереди фронтальной границы изолинии Z_{10} = 0 dBZ, расширенной по направлению навеса радиоэха на 5 км;

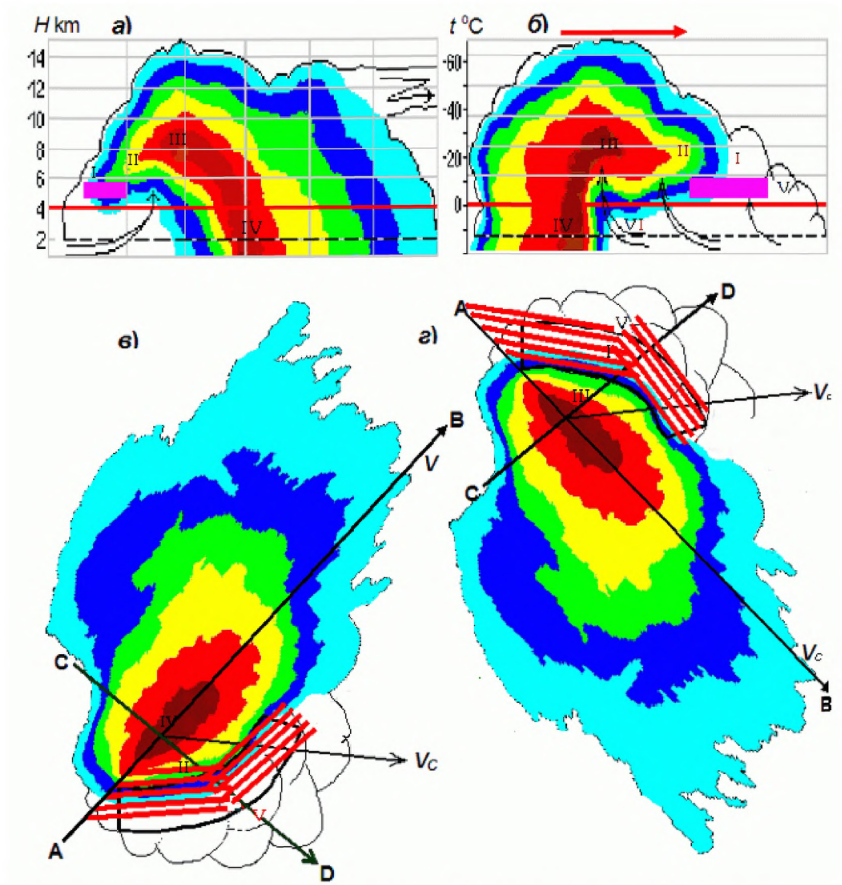
г) *левую границу* – вдоль линии тыловой границы навеса радиоэха, начиная от изолинии Z_{10} = 35 dBZ до границы радиоэха, расширенной навстречу вектору ведущего потока на 5 км.

7.3.4.2 Следует учесть, что при разделении мощных КЯ на две, КЯ расположенная с левой стороны относительно направления перемещения КЯ обычно имеет левостороннее развитие, а правая - правостороннее. Такое явление, зачастую, отмечается и в результате АВ.



а) на вертикальном сечении ОВ; б) на двухуровневом сечении ОВ. Остальные обозначения те же, что и на рисунке 2.

Рисунок 3 – Схема засева ОВ III и IV категории



а) вертикальный разрез ОВ, поперечный направлению перемещения;

б) вертикальный разрез ОВ в направлении перемещения облака;

в) горизонтальный разрез на высоте засева в случае правостороннего развития; *г*) горизонтальный разрез на высоте засева в случае левостороннего развития; I - зона формирования условий для зарождения града; II - зона зарождения града; III - зона роста града; VI – зона выпадения града; V - зона восходящих потоков. Траектории засева показаны жирными линиями.

Рисунок 4 – Схема засева суперячейкового облака – ОВ IV категории с правосторонним (*а*, *б*, *в*) и левосторонним (*а*, *б*, *г*) развитием

7.3.5 Оперативный контроль результатов засева

7.3.5.1 В процессе засева ОВ осуществляется контроль эффективности засева по изменению во времени параметров и категорий засеянных ОВ, а также изолиний радиолокационной отражаемости на двухуровневом сечении.

7.3.5.2 Оценку эффективности засева ОВ разных категорий осуществляют дифференцировано по признакам, характерным для каждой категории засеянных ОВ:

7.3.5.3 *Засев ОВ I категории* считается успешным и прекращается, если через два цикла обзора после однократного засева отмечается тенденция диссипации, выражающаяся в размывании радиоэха ОВ, уменьшении площади и высоты повышенного радиоэха до $\Delta H_{35} < 2$ км, уменьшение приведенной водности до $\Delta q < 0{,}5$ кг/м^2 и максимальной отражаемости до $Z_m < 35$ dBZ.

7.3.5.4 *Засев ОВ II категории* считается успешным и прекращается, если через два цикла обзора после двукратного засева отмечается тенденция диссипации, выражающаяся в уменьшении параметров ОВ до следующих критериальных значений:

$$Z_m < 45 \text{ dBZ}; \Delta H_{45} < 2 \text{ км}; \Delta q_m < 2 \text{ кг/м}^2; \Delta M_{35} < 10^4 \text{ т и } \Delta H_{Zm} < 0.$$

7.3.5.5 *Засев ОВ III и IV категорий* считается успешным и прекращается при достижении через один цикл обзора после трех- и четырехкратного засева, соответственно, следующих эффектов:

а) исчезновение навеса радиоэха и характерной упорядоченной структуры радиоэха суперячейки или градообразующей ячейки многоячейкового ГП;

б) прекращение выпадения града, определяемое по исчезновению на двухуровневом сечении изолиний $Z_{10} = 65$ и $Z_{10} = 55$ dBZ, уменьшение площади внутри изолинии $Z_{10} = 45$ dBZ, а также исчезновению града на картах размера d_m и потока кинетической энергии $\dot{E}$ града.

в) уменьшение параметров ОВ до критериальных значений:

$\Delta H_{45} \leq 2$ км; $Z_m < 55$ dBZ; $\Delta q < 4$ кг/м^2; $\Delta M_{55} = 0$; $\Delta M_{45} \leq 10^4$ т; $\dot{E} \leq 0{,}1$ Дж/м^{2}с.

АВ на ОВ III и IV категории можно считать положительным, если достигнуто сокращение ширины полосы выпадения града, уменьшение

размера и кинетической энергии града, снижение категории ОВ, разделение ОВ IV категории на два или несколько ОВ II и III категории.

7.3.5.6 Если указанные эффекты не достигнуты, или изменилась категория ОВ, то засев следует продолжить, уточнив категорию ОВ, в соответствии со схемой засева ОВ установленной категории.

7.3.5.7 После завершения АВ с помощью применяемого АСУ построить карту кинетической энергии града или карту интенсивных осадков за период наблюдения ГП и передать ее в группу наземного контроля для оценки площадей выпадения и ущерба от града.

7.4 Порядок нормирования расхода ПГИ

7.4.1 Нормирование расхода ПГИ осуществляется с расчетом, чтобы начальная концентрация льдообразующих частиц в трассах засева была не менее 10^{11} $м^{-3}$, а по возможности достигала $5 \cdot 10^{11}$ $м^{-3}$, что, согласно теоретическим данным, обеспечивает резкое повышение эффективности засева.

7.4.2 Для обеспечения этой концентрации при засеве ОВ IV категории и близких к ним по параметрам ОВ III категории повторные засевы осуществляются учащенно во времени и в пространстве дозировкой ПГИ типа «Алазань-6»:

а) с интервалом времени между повторными засевами около 3,5 мин;

б) с расстоянием между серединами трасс засева, равным 0,5 км.

Для этого ПГИ «Алазань-6» должны запускаться веерно с шагом по азимуту между «тройками ПГИ» в 5 градусов, как показано на рисунке 5*а)*. В зависимости от размещения ПВ можно использовать схему засева, показанную на рисунке 5*б)*. С учетом разброса траекторий ПГИ семейства «Алазань», пауз между их пусками и перемещения ОВ достаточно дублировать запуск троек ПГИ без перенаведения ПУ по азимуту.

В случае применения ПГИ, у которых выход активных льдообразующих частиц значительно больше (в 3 раза и более), чем у ПГИ «Алазань-6», расстояние между серединами трасс засева может быть увеличено до 1 км.

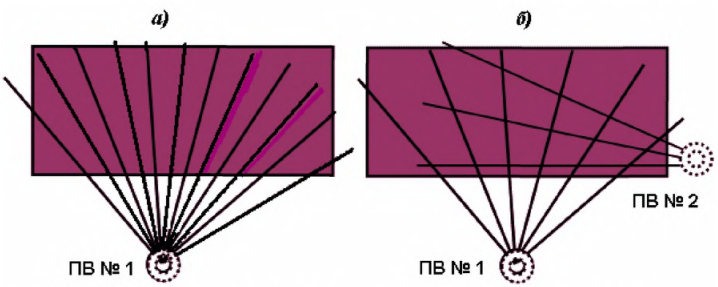


Рисунок 5 – Схемы запуска ПГИ при засеве ОВ IV категории

7.4.3 При засеве ОВ различных категорий следует использовать следующие три режима засева:

а) *режим массированного засева*, предусматривающий покрытие трассами реагента всей зоны засева с коэффициентом засева *K* равным от 80 % до 100 % и интервалом между повторными засевами не более 4 мин (т.е. в каждом цикле обзора). Такой режим рекомендуется для засева ОВ 4 категории и ОВ III категории, имеющих параметры близкие к параметрам ОВ 4 категории (например, Z_m > 60 dBZ, ΔH_{45} > 5 км);

б) *режим экономичного засева*, предусматривающий покрытие трассами засева с коэффициентом засева *K* равным от 30 % до 50 % и интервалом между повторными засевами около 7 мин (т.е. через один цикл обзора). Такой режим рекомендуется для засева ОВ I и II категории;

в) *режим нормального засева*, предусматривающий покрытие трассами реагента основной части зоны засева с коэффициентом засева *K* равным от 50 % до 80 %, рекомендуемый при засеве ОВ III категории средней и слабой интенсивности.

7.4.4 Нормы расхода ПГИ на засев одного ОВ рассчитываются по формуле:

$$N_i = K_i \frac{S_i}{\sigma_i \gamma}, \qquad (1)$$

где N_i - число ПГИ, требуемых на засев ОВ *i*-й категории;

K_i - кратность засева ОВ *i*-й категории;

S_i - площадь проекции объема засева на горизонтальную поверхность в км^2;

σ_j - площадь, засеваемая одним ПГИ, равная 6 км^2 для «Алазань-6», и 9 км^2 для ПГИ «Ас»;

γ - коэффициент эффективности использования трасс диспергирования реагента, равный в среднем 0,7.

7.4.5 Средние нормы расхода ПГИ на засев ОВ *i*-й категории приведены в таблице 2 и рассчитаны исходя из:

а) многолетних данных о размерах зон засева ОВ *i*-й категории;

б) многолетних данных о расходе ПГИ на ОВ разных категорий;

в) кратности засева ОВ различных категорий;

г) точности доставки реагента.

Т а б л и ц а 2 – Средние нормы расхода ПГИ на засев ОВ разных категорий

Категория ОВ	Площадь горизонтального сечения зоны засева S_i, км^2			Кратность засева K_i	Средний расход ПГИ $\overline{N}_i$, шт., типов	
	минимальная	максимальная	средняя		Алазань-6	Ас, Алан-3, Алазань-9
I	3	25	8	1	5	4
II	6	30	18	2	15	12
III	6	50	22	3	24	21
IV	25	200	80	4	100	80

7.4.6 Суммарный годовой расход ПГИ N_Σ рассчитывается по формуле:

$$N_\Sigma = G\sum_{i=1}^{4} \overline{n}_i \overline{N}_i , \qquad (2)$$

где G - коэффициент градоопасности года защиты, который варьирует от 0,3 до 3,0;

$\overline{n}_i$ - среднегодовое число засеваемых ОВ *i*-й категории.

7.4.7 Среднегодовая норма расхода ПГИ рассчитывается по формуле 2 при G = 1. В годы повышенной градоопасности расход ПГИ увеличится в G раз, а в годы пониженной градоопасности уменьшится в G раз.

7.5 Порядок документирования противоградовых операций

7.5.1 После окончания АВ дежурной сменой КП осуществляется электронное документирование материалов АВ, которое согласно приложению Ж включает:

а) отчет по АВ;

б) таблицу стрельб;

в) таблицу взаимодействия с органами авиации;

г) фрагменты засева;

д) карту кинетической энергии града или карту интенсивных осадков;

е) прогноз на день с АВ.

7.5.2 Документирование осуществляется в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемого типа АСУ.

7.5.3 Радиооператор по взаимодействию с ПВ сверяет выполнение команд на запуск ПГИ, поданных на ПВ, по форме таблицы, представленной в приложении Ж.

7.5.4 Материалы АВ за каждый день сохраняются в электронном виде и сдаются на DVD дисках в архив службы. В случае АВ на ОВ IV категории с крупными градобитиями на ЗТ отчет об АВ печатается на бумажный носитель и направляется для анализа научно-методическому руководителю (ГУ «ВГИ»).

7.5.5 Первичная радиолокационная информация и информация об АВ сохраняются на DVD диски, которые сдаются в архив службы, а также направляются ГУ «ВГИ» вместе с годовым отчетом ВС о производственной деятельности для межсезонного обучения персонала, анализа материалов АВ и исследования региональных особенностей ГП.

7.5.6 После окончания смены осуществляется передача дежурства следующей смене с информированием о состоянии технических средств радиолокации, связи и ракетной техники с указанием неисправностей, если они имеются, а также о наличии ПГИ на ПВ.

7.6 Порядок контроля результатов АВ

7.6.1 Для оценки результатов АВ не более чем в 5-дневный срок организуется обследование ЗТ с целью уточнения:

а) места и времени выпадения града;

б) площади градобития и степени повреждения сельхозкультур;

в) характеристик градовых осадков (размер града, толщина слоя);

г) характеристик сопутствующих явлений (ливневые дожди, ветер, смыв почвы, паводки, сели и т.п.).

7.6.2 Обследование ЗТ и оценка ущерба группой специалистов из представителей ВС, Заказчика и пострадавших от градобития хозяйств с выездом на место градобития.

7.6.3 Результаты обследования ЗТ с картой маршрута объезда, границами выпадения града, площадями повреждений, характеристиками града и сопутствующих явлений, а также результаты сравнения радиолокационных и наземных (фактических) данных об осадках включаются в отчет по АВ.

7.6.4 По результатам обследования составляются телеграммы об АВ и передаются Заказчику, в Росгидромет и ГУ «ВГИ».

7.6.5 Оценка физической и экономической эффективности ПГЗ и статистической значимости достигнутого эффекта осуществляется в соответствии с РД 52.37.732.

8 Порядок обеспечения безопасности ПГЗ

8.1 При подготовке и проведении ПГЗ осуществляются мероприятия, направленные на обеспечение безопасности обслуживающего персонала, населения, народнохозяйственных объектов, а также полетов воздушных судов.

8.2 Безопасность персонала, осуществляющего АВ с проведением противоградовых стрельб, обеспечивается путем реализации мер, установленных приказами и распоряжениями Росгидромета и руководящими документами, регламентирующими порядок применения противоградовых комплексов: РД 52.37.710, РД 52.37.601 и РД 52.37.615.

8.3 Безопасность полетов воздушных судов в районе проведения противоградовых стрельб обеспечивается выполнением противоградовыми подразделениями и органами УВД требований, изложенных в инструкции [3].

8.4 Безопасность населения и народнохозяйственных объектов в районах проведения противоградовых стрельб обеспечивается проведением следующих мероприятий:

8.4.1 Оповещением населения перед началом сезона и в ходе ПГЗ через средства массовой информации, выпуском специальных памяток о противоградовых стрельбах и о порядке действий в случаях обнаружения на земле аномально функционировавших ПГИ.

8.4.2 Установлением запретных секторов пуска ПГИ в направлениях городов, АЭС, аэропортов и государственных границ в соответствии с РД 52.37.710.

8.4.3 Установлением запретных углов возвышения, при которых высота самоликвидации ПГИ над уровнем земли должна быть не ниже 1000 м, а максимальная высота их полета не выше 8000 м.

8.4.4 Обеспечением надежности функционирования ПГИ путем:

а) организации хранения, перевозки и эксплуатации противоградовых комплексов в соответствии с требованиями нормативных документов [2 - 5];

б) систематического контроля исправности применяемых ПГИ и ПУ;

в) применения ПГИ в пределах гарантийных сроков их годности.

8.4.5 Исключением возможности несанкционированного применения противоградовых комплексов посторонними людьми и не по назначению.

Приложение А
(справочное)

Основные понятия о ГП

А.1 Классификация ГП

А.1.1 ГП в зависимости от термодинамических условий и пространственной структуры ветра в атмосфере имеют различную ячейковую структуру, различное пространственное строение КЯ и различные закономерности их эволюции во времени.

А.1.2 По особенностям структуры и динамики развития ГП делятся [9] на следующие основные типы (рисунок А.1):

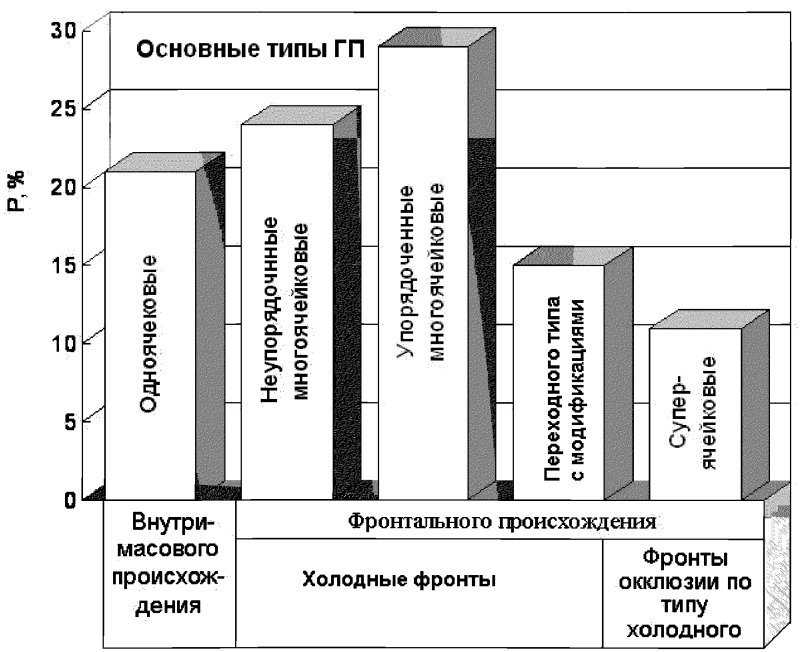


Рисунок А.1 – Повторяемость Р, % основных типов ГП на Северном Кавказе и синоптические ситуации, при которых они наблюдаются

– одноячейковые ГП, облачная система которых состоит из осесимметричных, не взаимодействующих между собой малоподвижных и короткоживущих КЯ, зарождающихся в любой части облачной системы;

– неупорядоченные многоячейковые ГП, облачная система которых состоит из осесимметричных и несимметричных слабо взаимодействующих между собой КЯ, зарождающихся в любой части облачной системы и движущихся в разных направлениях с разной скоростью;

– упорядоченные многоячейковые ГП, облачная система которых состоит из несимметричных периодически зарождающихся на наветренном фланге, взаимодействующих между собой КЯ, движущихся в Северном полушарии преимущественно вправо, а в Южном полушарии влево от направления ведущего потока;

– ГП переходного типа с модификациями, имеющими в структуре и динамике развития особенности упорядоченных многоячейковых и суперячейковых ГП;

– суперячейковые ГП, состоящие из одной мощной несимметричной КЯ, длительное время существующей в стадии квазистационарного состояния и движущейся в Северном полушарии преимущественно вправо, а в Южном полушарии - влево от направления ведущего потока.

А.1.3 Град может выпадать также из отдельных КЯ фронтальной полосы грозовых очагов, предшествующих формированию того или иного типа ГП.

А.1.4 Повторяемость ГП различных типов зависит от региональных условий и может изменяться от года к году. Наименьшую повторяемость (от 5 % до 10 % случаев) имеют суперячейковые ГП (рисунок А.1), но в ряде регионов они дают от 60 % до 80 % ущерба от градобитий.

А.1.5 Несимметричные КЯ ГП по особенностям строения и эволюции во времени делятся (рисунок А.2) на два класса [10]:

а) с правосторонним развитием (рисунок А.2), имеющие область восходящего потока и область нового роста на правом наветренном фланге и движущиеся вправо от ведущего потока, характерные

преимущественно для ГП Северного полушария, но отмечающиеся и в Южном полушарии;

б) с левосторонним развитием, имеющие область восходящего потока и область нового роста на левом наветренном фланге и движущиеся влево от ведущего потока, чаще встречающиеся в ГП Южного полушария, но отмечающиеся и в Северном полушарии.

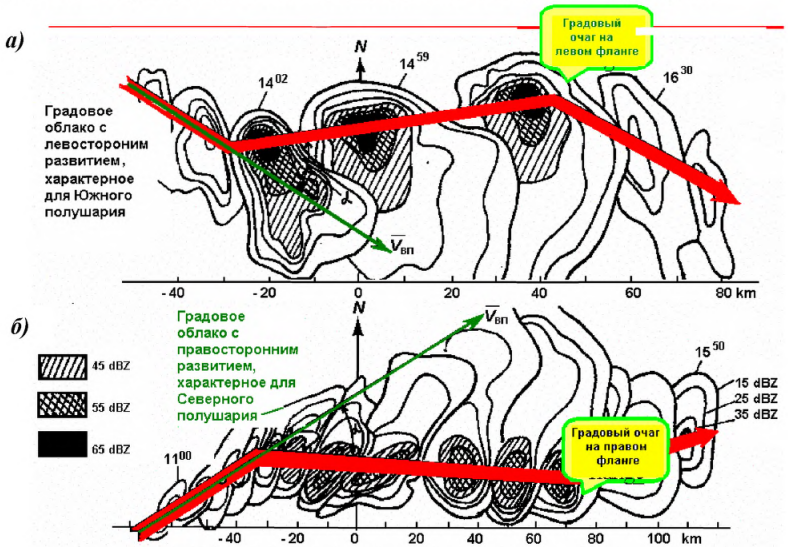


Рисунок А.2 – Структура радиоэха суперячейковых облаков с левосторонним *а)* и правосторонним *б)* развитием в указанные моменты времени

А.1.6 ***Одноячейковые ГП*** развиваются в малоградиентных полях пониженного и повышенного давления в дни с малыми скоростями ветра во всем слое облакообразования ($V_{ВП}$ < 30 км/ч) и малыми сдвигами ветра ($\gamma < 10^{-3}$ с$^{-1}$) и имеют следующие особенности [9]:

а) облачная система обычно состоит из нескольких одновременно существующих пространственно изолированных (иногда и не изолированных) и не взаимодействующих между собой осесимметричных КЯ, имеющих разные стадии развития (рисунок А.3);

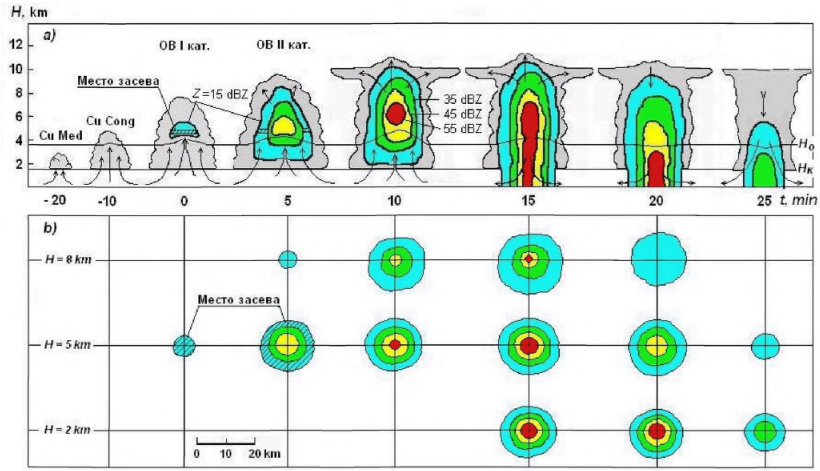
б) радиоэхо КЯ в горизонтальном сечении имеет округлую форму и поперечные размеры порядка от 5 до 15 км, а в вертикальном сечении -

осесимметричную форму, которая существенно трансформируется во времени и может служить показателем стадии развития;

в) первое радиоэхо КЯ появляется после длительного (от 20 до 30 мин) развития конвективного облака и конденсационного роста облачных частиц. Оно зарождается на стадии начала коагуляционного роста частиц над зоной восходящего потока в виде накрывающего его сверху навеса и обнаруживается МРЛ, когда размеры облачных частиц достигают более 100 мкм;

г) первое радиоэхо градообразующих КЯ зарождается в области отрицательных температур на высотах от 4 до 7 км над уровнем моря;

д) после появления первого радиоэха высоко зарождающихся КЯ отмечается быстрый (взрывной) рост мощности радиоэха, поперечных размеров и вертикальной протяженности радиоэха (в первую очередь максимума достигает высота повышенного радиоэха), и зачастую через 5 - 10 мин обнаруживается град, а через 10 - 15 мин отмечается максимальная высота радиоэха (H_B);



а) эволюция во времени вертикального сечения радиоэха КЯ;

б) эволюция во времени горизонтальных сечений радиоэха КЯ на высотах 2, 5 и 8 км. Рекомендуемое место засева указано штриховкой.

Рисунок А.3 – Схема эволюции отдельной КЯ в одноячейковых ГП

е) после достижения максимума развития область повышенного радиоэха с частицами осадков начинает распространяться вниз в область восходящих потоков, выпадающие осадки подавляют восходящие потоки и стимулируют нисходящие потоки, которые ведут к разрушению КЯ. Поэтому КЯ этого типа ГП являются короткоживущими (от 20 до 40 мин);

ж) указателем зоны восходящих потоков является область «слабого радиоэха», в которой восходящие потоки выносят облачные частицы на большие высоты, а продукты конденсации и сублимации не успевают за время подъема вырасти до размеров, создающих обнаружимое радиоэхо;

и) КЯ малоподвижны, но могут перемещаться с относительно малыми скоростями (от 5 до 25 км/ч) по разным направлениям и с разными скоростями (под влиянием орографической циркуляции);

к) при разрушении одной КЯ в другом месте зарождаются новые;

л) количество одновременно существующих КЯ обычно тем меньше, чем большей мощности достигают они в своем развитии;

м) место зарождения новых КЯ носит случайный характер и определяется контактной конвекцией, обусловленной характером рельефа и подстилающей поверхности. В условиях Северного Кавказа развитие одноячейковых ГП зачастую начинается над горами в первой половине дня и постепенно их развитие перемещается (во второй половине дня) в предгорья и примыкающую равнину. Новые КЯ зарождаются независимо от местоположения предыдущих и слабо дрейфуют над местностью с разной скоростью и по разным направлениям;

н) вследствие короткого времени жизни и малой подвижности КЯ град из них обычно выпадает локальными пятнами с поперечными размерами от 0,1 до 6 км.

А.1.7 Облачные системы **многоячейковых ГП** состоят из нескольких одновременно существующих КЯ, находящихся на разных стадиях развития, имеющих поперечные размеры порядка от 20 до 90 км и высоты радиоэха от 10 до 14 км. В зависимости от пространственной структуры ветра в атмосфере могут реализоваться три различных по строению и динамике развития подтипа многоячейковых ГП: упорядоченные, неупорядоченные и слабо организованные [9].

А.1.7.1 *Неупорядоченные многоячейковые ГП* являются переходным типом процессов от одноячейковых к упорядоченным многоячейковым. Они развиваются в дни, когда направление ветра в атмосфере изменяется с высотой (например, в приземном слое - восточный, в слое от 3 до 5 км – юго-западный, в слое от 5 до 8 км - северо-западный и т.п.), а его скорость значительна на всех высотах. Такая структура ветра обусловливает асимметрию конвективных ячеек (КЯ), находящихся на периферии облачной системы, разное направление наклона и навеса их радиоэха и даже разные направления и скорости перемещения. Их особенностями является следующее:

а) облачная система состоит из нескольких, а зачастую из множества слабо взаимодействующих между собой КЯ, находящихся на разных стадиях развития;

б) КЯ в зависимости от своего местоположения могут иметь разное строение: находящиеся в центре облачной системы преимущественно осесимметричны, а на периферии облачной системы обычно имеют несимметричное строение и навес радиоэха, указывающий на местоположение восходящего потока (рисунок А.4);

в) направление навеса радиоэха для разных КЯ обычно различно и связано с направлением действующего на них потока, поэтому навес радиоэха КЯ может быть ориентирован как вправо, так и влево от ведущего потока. Соответственно, КЯ могут иметь правостороннее либо левостороннее развитие;

г) КЯ могут возникать в любой части облачной системы и иметь различные направления и скорости перемещения;

д) место возникновения новых КЯ и диссипации старых трудно предсказать, что осложняет АВ на них;

е) направление и скорость перемещения КЯ может существенно отличаться;

ж) град может выпадать пятнами из малоподвижных КЯ и полосами из несимметричных перемещающихся КЯ.

А.1.7.2 *Упорядоченные многоячейковые ГП* имеют фронтальное происхождение и развиваются в дни, когда направление ветра в слое облакообразования почти не меняется, а его скорость растет с высотой. Скорость ведущего потока $V_{ВП}$ варьирует от 40 до 100 км/ч Сдвиг ветра обычно умеренный от 10^{-4} до $5 \cdot 10^{-3}$ $с^{-1}$. Наличие такого сдвига ветра

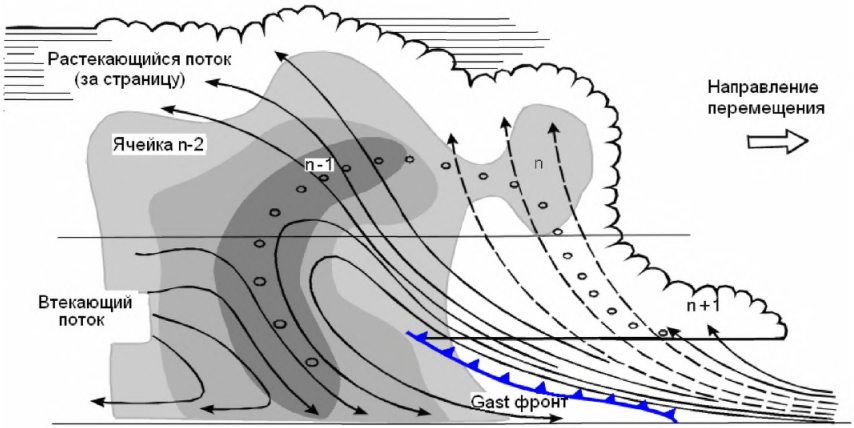
обусловливает асимметричность КЯ и в отличие от КЯ одноячейковых ГП, обеспечивается лишь частичное торможение восходящих потоков выпадающими осадками и более продолжительное существование КЯ. Они представляют собой класс хорошо организованных по структуре и динамике развития ГП, имеющих следующие отличительные особенности:

а) облачная система обычно состоит из трех и более несимметричных взаимодействующих между собой КЯ и периодически обновляется за счет развития новых КЯ;

б) новые КЯ обычно зарождаются наветренном фланге облачной системы (в Северном полушарии на правом наветренном фланге, а в Южном полушарии на левом наветренном фланге), а диссипация старых КЯ происходит на подветренном фланге;

в) усиление очередной КЯ приводит к зарождению на ее правом фланге новой КЯ, которая, быстро развиваясь, своими осадками частично подавляет восходящий поток, питающий предыдущую (материнскую) КЯ, приводит к ее ослаблению и диссипации;

г) периодичность появления новых КЯ в условиях Северного Кавказа составляет от 10 до 30 мин;



n, n - 1, n + 1 – номера КЯ

Рисунок А.4 – Схема ячейковой структуры облачной системы упорядоченного многоячейкового ГП по Браунингу и Футу [11]

д) за время существования упорядоченных многоячейковых ГП может развиваться несколько, а иногда и десятки КЯ;

е) КЯ многоячейкового ГП имеют структуру и поведение, подобные одноячейковым ГП, но при этом имеют значительную асимметричность и наклон в направлении перемещения или вправо от него в виде навеса мощного радиоэха, являющегося указателем области восходящих потоков, выделяемой в структуре радиоэха как область слабого радиоэха. Время существования этой области составляет от 10 до 20 мин, а скорость восходящих потоков может достигать от 20 до 40 м/с;

ж) градовый очаг располагается преимущественно на наветренной стороне КЯ, а область восходящего потока - впереди и правее градового очага. Градовый очаг имеет наклон в сторону зоны восходящих потоков, образуя над ней навес мощного радиоэха;

и) навес радиоэха градовых КЯ обычно направлен вправо от направления смещения облачной системы и вправо от направления перемещения КЯ;

к) первое радиоэхо градовых КЯ обычно зарождается выше уровня изотермы 0 °С (на высотах от 4 до 8 км);

л) направление перемещения облачной системы (т. е. из распространения процесса облакообразования) отклоняется вправо от направления ведущего потока на угол β, варьирующий в пределах от 5° до 40° (он складывается из перемещения КЯ и периодического развития новых КЯ на правом фланге);

м) КЯ движутся влево от облачной системы (под углом от 0° до 30°), но вправо от ведущего потока (на угол от 5° до 40°, который тем больше, чем интенсивнее ГП;

н) скорость перемещения облачной системы от 2 до 2,5 раз меньше скорости ведущего потока, а КЯ отстают от него примерно от 1,5 до 2 раз. Причем слабые КЯ увлекаются ведущим потоком, а мощные градовые КЯ отстают от него и движутся вправо;

о) скорость перемещения КЯ варьирует в пределах от 30 до 50 км/ч, достигая иногда 80 км/ч;

п) градобития при этих ГП могут наблюдаться из нескольких КЯ, каждая из которых дает полосу града обычно от 3 до 10 км шириной и от 10 до 50 км длиной, поэтому градобития охватывают значительную территорию.

А.1.8 ***ГП переходного типа*** *с модификациями* также относятся к классу хорошо организованных ГП, промежуточных между упорядоченными многоячейковыми и суперячейковыми и развиваются в дни с высокой конвективной неустойчивостью и повышенным влагосодержанием атмосферы, когда ветер одного направления нарастает с высотой, но в приземном слое имеет направление, отличное от ветра в среднем слое облакообразования. Их развитию благоприятствует прохождение холодных фронтов и фронтов окклюзии по типу холодного. Эти ГП сопровождаются интенсивными градобитиями и имеют [9] четыре подтипа:

А.1.8.1 *Первый подтип* ГП переходного типа на стадиях развития и диссипации обычно состоит из 2 или 3 КЯ и имеет особенности упорядоченного многоячейкового процесса, а на втором этапе, на стадии максимального развития, отмечается достаточно длительное существование одной мощной КЯ, имеющей особенности структуры и динамики развития суперячейки (рисунок А.6).

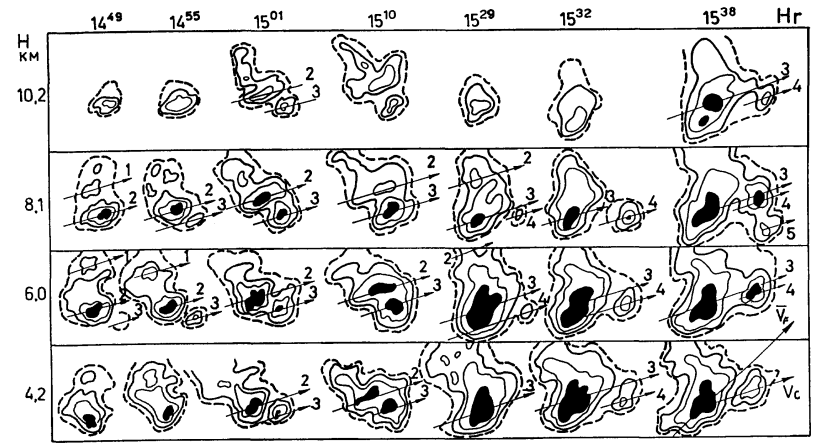


Рисунок А.5 – Характерная картина эволюции ГП переходного типа первого подтипа (стрелками показано направление перемещения КЯ с указанными номерами)

На третьем этапе суперячейка трансформируется в упорядоченный многоячейковый ГП. КЯ в нем, как и в случае упорядоченных многоячейковых ГП, несимметричны, имеют навес радиоэха,

ориентированный вправо от направления перемещения на угол φ от 0° до 40°. Направление перемещения КЯ на стадии максимального развития отклоняется вправо от ведущего потока на угол от 0° до 30°;

А.1.8.2 *Второй подтип* ГП переходного типа состоит из нескольких периодически возникающих на правом фланге новых КЯ, но в отличие от упорядоченных многоячейковых ГП КЯ пространственно разнесены (их радиоэхо изолировано друг от друга). Структура и динамика развития каждой КЯ при этом напоминает особенности суперячеек с навесом радиоэха и квазинепрерывным обновлением во фронтальной правофланговой части. На Северном Кавказе в течение дня может наблюдаться от 5 до 7 таких КЯ, каждая из которых дает полосу града. Новые КЯ формируются позади и справа от предыдущей на удалении от 20 до 30 км и с периодичностью от 40 до 60 мин. Полосы осадков из каждой КЯ обычно параллельны друг другу и ориентированы вправо от ведущего потока, а процесс облако-градообразования отклоняется вправо от ведущего потока на угол до 90°;

А.1.8.3 *Третий подтип* ГП переходного типа на первом этапе имеет структуру и особенности суперячейки со значительным отклонением навеса радиоэха вправо от направления перемещения. В дальнейшем навес радиоэха постепенно разворачивается по направлению перемещения, а на наветренном фланге формируется новый навес радиоэха (иначе говоря, вторая область восходящих потоков). Два навеса радиоэха одновременно существуют в течение 10 - 20 мин, после чего старый навес исчезает. За время существования ГП может наблюдаться несколько таких циклов. Навес радиоэха формируется на наветренном фланге под углом 90° к направлению перемещения шторма, потом разворачивается до направления перемещения. В это время формируется на наветренном фланге новый навес, который также начинает разворачиваться на подветренную сторону. Подобные ротации зоны восходящих потоков с цикличностью около 90 мин отмечаются и в мощных многоячейковых ГП;

А.1.8.4 *В четвертом подтипе* ГП переходного типа после появления двух зон питания суперячейки в области нового навеса радиоэха формируется новая КЯ, которая быстро усиливается и превращается в суперячейку, а старая оттесняется на подветренный фланг и диссипирует. После этого вновь наблюдается суперячейковый ГП. Полоса градовых осадков при этом непрерывна, но имеет изломы.

А.1.9 ***Суперячейковые ГП*** обычно формируются при прохождении фронтов окклюзии по типу холодного в дни с умеренной и сильной конвективной неустойчивостью, высоким влагосодержанием атмосферы особенно в приземном слое, где формируется восходящий поток. Ветер (со средним и сильным сдвигом) имеет одно направление в среднем и верхнем слое облакообразования и разворот в нижнем слое тропосферы примерно на 90° (с юго-восточного на юго-западный). Такая структура ветра благоприятствует пространственному разделению области восходящих потоков и выпадающих осадков, исключая, тем самым, подавление восходящих потоков осадками и обеспечивая длительное существование суперячейки. Суперячейковые ГП являются наиболее мощными среди ГП и имеют [9] следующие особенности:

а) облачная система состоит их одной сверхмощной КЯ, имеющей обычно эллиптическую форму, с характерными горизонтальными размерами от 30 до 50 км и высотой от 11 до 16 км;

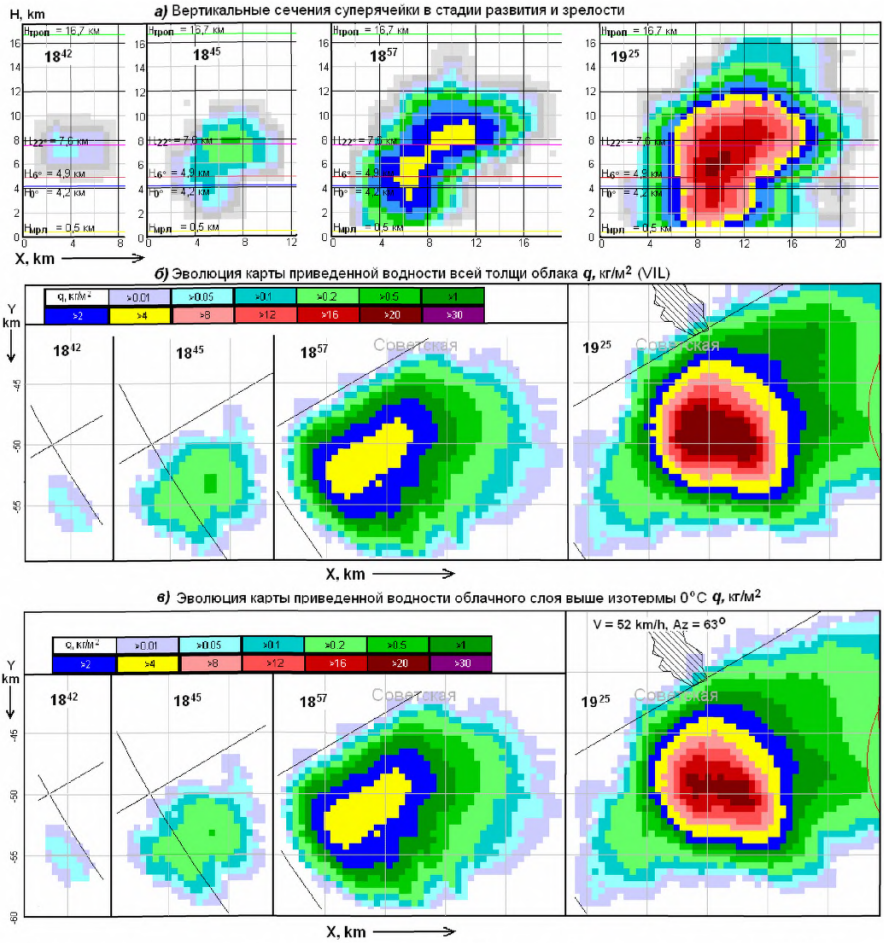
б) характерной особенностью суперячеек является наличие на наветренном фланге обширного навеса радиоэха (рисунок А.6). Навес радиоэха является указателем наличия мощного восходящего потока, скорость которого *W* составляет от 20 до 40 м/с. Основание области восходящего потока выделяется в виде области слабого радиоэха, ограниченного во фронтальной и правофланговой частях высокими градиентами отражаемости и крюком радиоэха в приземном слое, а сверху накрывается навесом мощного радиоэха (иногда и свесом радиоэха). Область навеса радиоэха может изменяться в размерах, но сохраняется продолжительное время;

в) градовый очаг и зона повышенного радиоэха в суперячейке сдвинуты на наветренный фланг и располагаются на стыке с зоной мощных восходящих потоков и частично накрывают ее (рисунок А.6);

г) развитию суперячеек обычно предшествует облачная система из нескольких КЯ или фронтальная полоса грозовых очагов. При этом суперячейка формируется из новой КЯ, зарождающейся на правом фланге и несколько впереди облачной системы;

д) после формирования суперячейка приобретает хорошо организованную структуру, которая сохраняется в течение длительной стадии квазистационарного состояния, в которой она без существенных изменений характеристик может существовать до нескольких часов. В этой стадии суперячейка перемещается почти прямолинейно со скоростью примерно в 2 раза меньше скорости ведущего потока, отклоняясь от

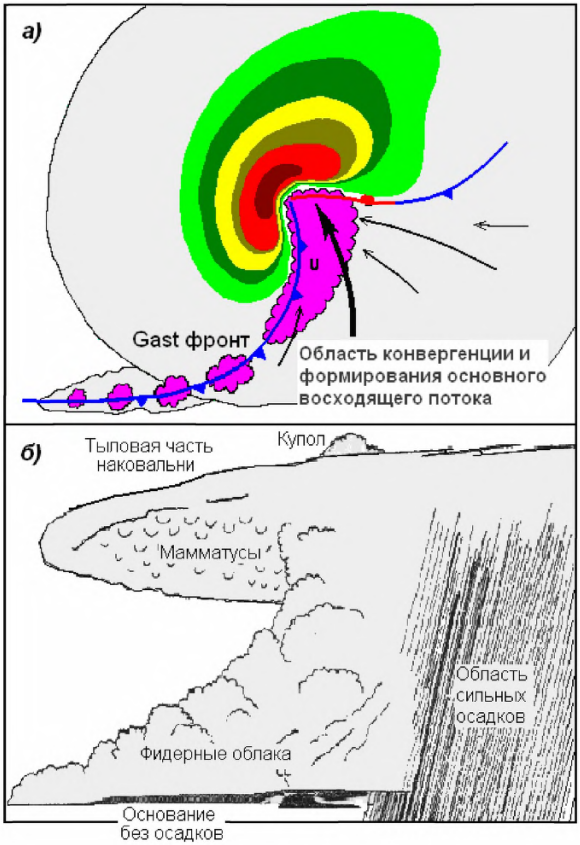
направления ведущего потока на угол от 10° до 90°: вправо – в случае правостороннего развития и влево – в случае левостороннего развития;



а) вертикальные сечения в изолиниях Z: в период зарождения в 18^{42}, в стадии развития в 18^{45} и 18^{57} и в стадии зрелости в 19^{25}; б) карты приведенной водности всей толщи облака; в) карты приведенной водности переохлажденного слоя облака.

Рисунок А.6 – Эволюция структуры радиоэха суперячейки в процессе развития до стадии зрелости

е) по мере развития суперячейки все другие КЯ распадаются, и к моменту ее максимального развития в радиусе нескольких десятков км других КЯ не наблюдается. В течение одного дня может наблюдаться от 2 до 4 суперячейковых облаков, разнесенных во времени зарождения от 1 до 2 ч и в пространстве от 30 до 70 км [9].



а) вид сверху; б) вид сбоку

Рисунок А.7 – Схема облачной системы суперячейкового облака [11]

А.1.9.1 Суперячейковый ГП обычно сопровождается катастрофическими градобитиями на площади шириной от 10 до 15 км и длиной от нескольких десятков км до 200 км. Диаметр выпадающего града может иногда достигать 6 см и более.

А.1.9.2 Большая продолжительность жизни суперячеек обусловлена также тем, что интенсивные градовые и ливневые осадки на наветренном фланге стимулируют формирование мощного нисходящего потока, который, растекаясь у поверхности земли, образует мезофронт (Gast фронт на рисунке А.7), распространяющийся впереди зоны осадков и обусловливающий вынужденный подъем предоблачного воздуха, скорость которого значительно возрастает выше уровня конденсации за счет выделения теплоты конденсации и обеспечивает интенсивное градообразование. Выпадение интенсивных осадков поддерживает существование мезофронта, который стимулирует формирование мощной струи восходящего потока. Такой устойчивый процесс градообразования имеет непрерывное распространение в пространстве за счет квазинепрерывного обновления во фронтальной части и разрушения в тыловой. Обновление во фронтальной части происходит дискретно [9, 11 - 12] за счет развития с периодичностью от 2 до 5 мин фидерных облаков, первое радиоэхо которых возникает на наветренном фланге навеса радиоэха и сливается с ним по мере развития.

А.2 Стадии градообразования

А.2.1 Процесс градообразования, независимо от типа и структуры облаков, условно делится на четыре стадии [9, 10, 13]:

- формирование условий зарождения града;
- зарождение града (образование зародышей градин);
- рост града;
- выпадение града.

А.2.2 *Стадия формирования условий зарождения града* проходит в развивающемся конвективном облаке в течение длительного времени, которое варьирует от 20 до 40 мин в зависимости от термодинамического состояния атмосферы. На этой стадии происходит формирование струи восходящего потока, увеличение водности мелкокапельной фракции ($q_{мф,}$ г/м^3) и конденсационный рост частиц. Увеличиваясь во времени, скорости восходящих потоков достигают значений $W \approx 5$ - 7 м/с. Мелкокапельная водность облака достигает 2 - 4 г/м^3 (почти адиабатического значения), концентрация облачных капель достигает значения $10^8 < N < 10^9$ м$^{-3}$, а максимальный диаметр капель 100 мкм при модальном значении около 10 мкм.

Задолго до зарождения первого радиоэха в верхней части облака на естественных ядрах сублимации и за счет автозасева из наковальни зрелых *Cв* появляются кристаллы, могущие длительное время (от 15 до 20 мин) расти за счет перегонки пара с капель, а в дальнейшем за счет обзернения превращаются в крупу миллиметровых размеров. Эта сстадия завершается формированием микрофизических и динамических условий для зарождения осадков, появлением зародышей осадков, началом их гравитационного роста и зарождением первого радиоэха с Z_{10} около 15 dBZ. В зрелых несимметричных градовых облаках эта стадия проходит в фидерных облаках, первое радиоэхо которых сливается с фронтальной частью навеса радиоэха основного облака. При зарождении первого радиоэха в переохлажденной части облака осадкообразование идет через ледяную фазу, и КЯ могут достигать градового состояния, а при его зарождении вблизи 0°С и ниже образуются осадки в виде дождя и КЯ редко перерастают в градовое состояние. Более быстрый механизм роста ледяных частиц (по Бержерону-Финдайзену) обеспечивает более быстрое развитие градоопасных КЯ в сравнении с не градоопасными.

А.2.3 *Стадия зарождения града* проходит в области слабых (до 5 м/с), но нарастающих во времени восходящих потоках, на крупе или каплях, возникающих на гигантских ядрах конденсации. К концу стадии зарождения града концентрация облачных капель диаметром от 5 до 150 мкм составляет $10^8 < N_K < 10^9$ м$^{-3}$, капельная водность от 0,5 до 4,0 г/м^3, а концентрация крупы диаметром 0,6 до 2 мм достигает $10^3 < N_{Kp} < 10^4$ м$^{-3}$ [14 - 15].

А.2.3.1 Зародышами града являются крупа либо замерзшая капля диаметром около 1 мм [14 - 15] с различной их повторяемостью. Формирование обоих типов зародышей начинается на начальной стадии градообразования задолго до появления первого радиоэха и требует длительного времени.

А.2.3.2 Крупяные зародыши града могут образоваться путем роста и обзернения кристаллов, появляющихся на ранних стадиях развития в верхней части КЯ. При этом они могут попадать в более благоприятные условия роста, опускаясь вдоль границ восходящего потока [11, 14], а также с проникающими локальными струями нисходящих потоков. Длительность стадии формирования (от 20 до 40 мин) вполне достаточна для дендритного роста, обзернения и превращения кристаллов в снежную крупу. Эффективным источником снежной крупы может быть также

автозасев или засев из наковальни соседних облаков агрегатами кристаллов, которые быстро (за время от 3 до 5 мин) превращаются в крупу за счет обзернения.

А.2.3.3 Источником капельных зародышей являются четыре процесса [14]:

а) на начальной стадии градообразования - зарождение крупных капель на гигантских и сверхгигантских ядрах конденсации, их рост и замерзание;

б) на последующих стадиях - слияние мелких капель при соударениях, но это длительный процесс, проходящий при $5 < W < 20$ м/с, мелкокапельной водности $2 < q_{мф} < 4$ г/м^3 и температуре $0 < t < -12$ °С;

в) таяние крупы, опускающейся ниже уровня изотермы 0 °С, и подъем капель в зону зарождения и роста града восходящими потоками;

г) срыв капель размером от 0,8 до 2,0 мм с растущих градин или тающих градин, которые являются мощным генератором таких капель.

Последний механизм может быть очень эффективен при повышенной водности мелкокапельной фракции. Концентрация капельных зародышей града тем больше, чем больше водность и температура в зоне роста града.

А.2.3.4 Первыми крупными частицами в развивающихся градоопасных облаках, создающими первое радиоэхо, является снежная крупа [12]. Она же зарождается в фидерных облаках зрелых градовых КЯ и, втягиваясь в основное облако, превращается в град. Наиболее быстрое зарождение града отмечается путем обзернения агрегатов плоских кристаллов и замерзания срывающихся с растущих градин капель при $5 < W < 15$ м/с, мелкокапельной водности $1 < q_{мф} < 2$ г/м^3 и температуре ниже минус 20°С [14].

Капельные зародыши, сформировавшиеся из растаявшей крупы и срывающихся с градин капель, являются вторичными и могут появляться после зарождения крупы и града.

А.2.3.5 Концентрация зародышей града в градовых облаках практически всегда избыточна и превышает концентрацию выпадающих градин в 100 - 1000 раз.

А.2.4 *Стадия роста града* проходит в усиливающихся во времени восходящих потоках [11, 13] при температуре от 0 до минус 30 °С путем коагуляции с переохлажденной мелкокапельной фракцией.

А.2.4.1 В процессе роста града реализуется множество сложных микрофизических эффектов [14]:

– срыв крупных капель с растущих градин, часть которых замерзает и становится зародышами града, а другая часть захватывается растущими градинами;

– размножение кристаллов по Халлету-Моссопу;

– агрегация кристаллов и их обзернение;

– столкновение растущих градин и зародышей града, ведущее к смерзанию либо отскоку с разбрызгиванием имеющейся на них воды, сколу кристаллов и др.

А.2.4.2 Эти процессы ведут к сложной и крайне неоднородной микроструктуре зоны роста града, порождают огромные концентрации зародышей града. В областях восходящих потоков со скоростью $10 < W < 15$ м/с концентрация крупы (снежной и ледяной) достигает $10^3 < N_{Kp} < 10^4$, а концентрация крупных капель (около 1 мм) достигает 10^3 м$^{-3}$ [14]. При этом крупные капли концентрируются в зонах повышенных водностей и температуры, а крупа в зонах малых водностей. По мере увеличения концентрации крупы и крупных капель водность мелкокапельной фракции $q_{мф}$ быстро (за 3 - 4 мин) уменьшается до $0,5 < q_{мф} < 1,5$ г/м^3. Концентрация кристаллов и агрегатов кристаллов достигает 10^3 - 10^4 м$^{-3}$ и 10^2 - 10^3 м$^{-3}$, соответственно, возрастая в областях пониженных значений температуры, водности и скорости восходящих потоков. Значительные пространственно-временные вариации $q_{мф}$, N и d приводят к изменению режимов роста градин и образованию их слоистой структуры.

А.2.4.3 Зависание некоторой части зародышей града, а впоследствии растущих градин выше уровня максимума скорости восходящего потока (H_{Wm}), и увеличение W_m во времени обеспечивает их удержание в зоне повышенной водности на длительное время, необходимое для роста града до больших размеров.

А.2.4.4 Рост града носит избирательный характер [13], в результате чего менее 1 % зародышей вырастают в градины. Условием избирательности является баланс скоростей гравитационного падения градин V_g и восходящего потока W_m, а также скоростей роста града и нарастания восходящего потока, т. е.:

$$V_g \leq W_m, \qquad (А.1)$$

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{dW_m}{dt}. \qquad (A.2)$$

При нарушении этого баланса зародыши града или растущие градины будут либо выброшены из зоны роста града вверх (при $V_g < W_m$), либо выпадут из нее (при $V_g > W_m$), не достигнув больших размеров. Поэтому не все зародыши града могут дорасти до крупных размеров. Это зависит от начальных размеров, места появления и последующих траекторий движения зародышей. Поздно появившиеся мелкие зародыши с большой вероятностью будут выброшены в верхнюю часть облака, а рано появившиеся и быстро растущие зародыши не будут удерживаться восходящим потоком, и выпадут (о чем свидетельствует выпадение отдельных крупных капель из навеса радиоэха суперячеек). Большое количество этих капель может приводить к предотвращению роста града, за счет вымывания зоны «формирования» и зоны зарождения града.

А.2.5 *Стадия выпадения града* начинается в момент, когда скорость падения градин (V_g) превысит скорость восходящего потока (W_m). При этом происходит обрушение градового очага в виде вертикальных полос. Обрушение начинается с узких конусов, постепенно расширяющихся во времени. Град начинает выпадать, преодолевая восходящий поток, и продолжает интенсивно расти до уровня изотермы 0°С. В теплой части атмосферы за счет таяния градин и срыва с них капель воды повышается доля дождевой компоненты, и образуются смешанные осадки, хотя зачастую первыми достигают поверхности земли наиболее крупные градины.

А.2.6 В соответствии со стадиями градообразования в структуре радиоэха градовых облаков выделяются четыре зоны [13, 16]:

А.2.6.1 *Зона формирования I*, которая представляет собой переохлажденную часть области нового роста градового облака, где происходит формирование условий для зарождения града: формируются восходящие потоки, идет накопление жидкокапельной влаги, происходит преимущественно конденсационный рост облачных частиц постепенно переходящий в коагуляционный рост. Зона формирования расположена в фидерных облаках зрелых градовых КЯ и во вновь развивающихся КЯ одноячейковых ГП в интервале температур от минус 5 до минус 20°С и имеет радиолокационную отражаемость $Z_{10} < 15$ dBZ;

А.2.6.2 *Зона зарождения града* ***II***, которая представляет собой переохлажденную часть области нового роста градового облака и расположена во фронтальной части навеса радиоэха несимметричных градовых КЯ и области первого радиоэха одноячейковых ГП в относительно слабом, но усиливающемся во времени восходящем потоке (от 2 до 7 м/с), преимущественно в интервале температур от минус 5 °С до минус 30 °С, где начался интенсивный коагуляционный рост облачных частиц, имеющая радиолокационную отражаемость $15 < Z_{10} < 45$ dBZ;

А.2.6.3 *Зона роста града* ***III***, представляет собой область высокого содержания зародышей града и растущих градин, расположенную в навесе радиоэха в усиливающихся во времени восходящих потоках, в интервале температур от 0°С до минус 40°С, имеющая радиолокационную отражаемость $Z_{10} > 45$ dBZ;

А.2.6.4 *Зона выпадения града* ***IV***, представляет собой область локализации выпадающего (наиболее крупного) града и нисходящих потоков, расположенную в слое от поверхности земли до уровня изотермы минус 15°С, имеющую радиолокационную отражаемость $Z_{10} >$ 55 dBZ.

А.3 Распространение процесса градообразования в пространстве

А.3.1 Распространение процесса градообразования в пространстве в зависимости от типа ГП может реализоваться в 3 вариантах [9, 11, 16]:

- *дискретном;*
- *непрерывном;*
- *дискретно-непрерывном.*

А.3.2 В одноячейковых ГП все стадии градообразования последовательно проходят в одном объеме пространства в одной КЯ, потом - в следующей КЯ, и процесс градообразования имеет *дискретное распространение*.

А.3.3 В суперячейковых ГП все четыре стадии градообразования проходят одновременно в разных точках пространства:

а) формирование условий для зарождения града происходит в фидерных облаках у ведущего края навеса радиоэха основного облака;

б) зона зарождения града располагается во фронтальной части навеса радиоэха;

в) зона роста града располагается в средней и тыловой частях навеса радиоэха;

г) зона выпадения града располагается в столбе максимального радиоэха.

Квазинепрерывное обновление зоны формирования и последовательная смена стадий градообразования в каждой точке пространства обеспечивают *непрерывное распространение процесса градообразования* в пространстве и непрерывную полосу града на поверхности земли.

А.3.4 В многоячейковых ГП процесс градообразования имеет *дискретно-непрерывное распространение*: дискретное за счет периодического зарождения новых КЯ на наветренном фланге, непрерывное за счет непрерывности распространения градообразования в каждой КЯ.

Зоны формирования условий для зарождения града в многоячейковых ГП располагаются во вновь зарождающихся КЯ и в фидерных облаках у ведущего края навеса радиоэха зрелых градовых КЯ. Зоны зарождения, роста и выпадения града располагаются в зрелых КЯ так же, как и в суперячейке.

А.3.5 Время градообразования в фиксированной точке пространства от момента появления первого радиоэха до появления града диаметром 1,5 см составляет в среднем 8 мин, варьируя в пределах от 5 до 25 мин [9, 17].

Приложение Б
(справочное)

Физические основы и основные положения российской автоматизированной ракетной технологии ПГЗ

Б.1 На основе результатов многолетних исследований ГП и опыта применения разных вариантов методов предотвращения града, основанных на разных физических концепциях (теория конкуренции [18, 19], комбинированный засев кристаллизующими и гигроскопическими реагентами [20], динамическое воздействие [21, 22] и др.) выработаны и апробированы на практике ПГЗ физические основы современной российской автоматизированной ракетной технологии ПГЗ, которые заключаются в следующем:

Б.2 ***Физический принцип воздействия*** – ускорение осадкообразования в областях будущего градообразования развивающихся и зрелых градовых облаков путем их массированного засева кристаллизующими реагентами [10, 16, 22] с целью:

а) вымывания областей нового роста (зон формирования и зарождения града) преждевременными осадками;

б) динамического подавления слабых восходящих потоков преждевременными осадками;

в) понижения траектории растущих градин;

г) создания благоприятных условий конкуренции естественных зародышей града с искусственными, созданными на ранних стадиях градообразования одновременно с естественными.

Б.2.1 Избирательность роста града является слабым звеном в цепи градообразования. Даже небольшое ускорение (или замедление) роста частиц за счет АВ может нарушить баланс скоростей, указанный в А.2.4.4, и, следовательно, нарушить условия роста града и привести к предотвращению градообразования за счет преждевременного выпадения осадков [13].

Б.2.2 Ускорение осадкообразования стимулируется путем создания столь высокой начальной концентрации искусственных кристаллизующих частиц (порядка 10^{11} $м^{-3}$), которая неминуемо приведет к агрегации образующихся кристаллов. Последующее обзернение агрегатов

кристаллов облачными каплями приводит к образованию больших концентраций снежной крупы миллиметровых размеров за время 6 - 8 мин после засева. В таких же незасеянных *Cu Cong* крупа образуется через 20 - 24 мин в гораздо меньших концентрациях и на больших высотах [12].

Б.2.3 Ускорение формирования крупы нарушает баланс скоростей, необходимый для поддержания ее в зоне роста, так как восходящие потоки нарастают более медленно. Крупа выпадает, не вступая в процесс градообразования, и обеспечивает вымывание и резкое сокращение жидкокапельной водности засеянного объема, динамические эффекты подавления восходящего потока за счет аэродинамического торможения и охлаждения воздуха при таянии крупы ниже изотермы 0°С, а также испарения осадков в подоблачном слое.

Б.2.4 Механизм ускорения осадкообразования [13, 16] может обеспечить положительный эффект при засеве областей слабых восходящих потоков с $2 < W < 6$ м/с. При позднем засеве, когда восходящие потоки достигают $6 < W < 10$ м/с, образующаяся крупа может задержаться в зоне роста града и привести к увеличению массы градовых осадков. В случае засева в областях с $W > 10$ м/с образующаяся крупа может выбрасываться из зоны роста вверх. При слишком раннем засеве, когда фидерные облака не созрели, условия для реализации механизма агрегации и обзернения кристаллов не оптимальны.

Таким образом, для предотвращения градообразования решающее значение имеют время засева, место засева и дозировка реагента.

Б.3 ***Концептуальные модели ОВ*** **–** осесимметричные и несимметричные КЯ одноячейковых, многоячейковых, суперячейковых и переходного типа градовых облаков с правосторонним и левосторонним развитием.

Б.3.1 Независимо от типа ГП АВ с целью прерывания и предотвращения градобитий проводится в областях нового роста на зону формирования условий градообразования (I) и зону зарождения (II), т.е. во всех случаях на объемы с идентичной микрофизикой. АВ на зону роста (III) и зону выпадения града (IV) не осуществляется ввиду неэффективности и бесполезности.

Б.3.2 В одноячейковых ГП область нового роста расположена во вновь развивающихся КЯ. В суперячейковых ГП обновление происходит в виде квазинепрерывного распространения фронтальной части навеса

радиоэха, а в многоячейковых - в виде квазинепрерывного распространения фронтальной части навеса радиоэха градообразующих КЯ и развития новых КЯ на наветренном фланге [9].

Б.3.3 *Схемы засева ОВ* дифференцируются [13] в соответствии со стадией развития и типом ГП с учетом:

а) его структуры и динамики развития;

б) характера распространения процесса градообразования в пространстве (дискретно, непрерывно, дискретно-непрерывно);

в) пространственного и взаимного положения зон зарождения, роста, выпадения града и зоны восходящих потоков с учетом вариантов ГП с правосторонним и левосторонним развитием.

Б.3.4 Прерывание дискретного распространения процесса градообразования при одноячейковых ГП осуществляется путем своевременного обнаружения и предотвращения развития высоко зарождающихся новых КЯ на стадии их первого радиоэха и в ближайшие 2 - 4 мин после его зарождения.

Б.3.5 Стратегия прерывания дискретно-непрерывного распространения процесса градообразования при многоячейковых ГП предусматривает в первую очередь засев вновь зарождающихся КЯ и последующее прерывание выпадения града из зрелой градообразующей КЯ. Это обусловлено тем, что новая КЯ через несколько мин после зарождения ее первого радиоэха может достигнуть градовой стадии и породить следующую КЯ, и это будет периодически повторяться в течение всего периода эволюции упорядоченного многоячейкового ГП.

Б.3.6 Прерывание процесса градообразования в суперячейковых ГП осуществляется путем засева обновляющейся фронтальной части их навеса радиоэха и ближайших к ней фидерных облаков. Засев следует проводить с учетом пространственной ориентации навеса радиоэха:

– на правом наветренном фланге в случае КЯ с правосторонним развитием;

– на левом наветренном фланге в случае суперячеек с левосторонним развитием.

Б.3.7 В случае неупорядоченных многоячейковых ГП с направлениями навеса радиоэха КЯ влево и вправо от ведущего потока (в зависимости от их местоположения в облачной системе) место засева определяется реальным направлением навеса радиоэха каждой КЯ.

Б.4 ***Методы распознавания градовых и градоопасных облаков*** – одноволновый и двухволновый радиолокационные методы, основанные на измерениях одномерных, двумерных и трехмерных параметров облаков [17].

Б.5 ***ОВ*** **–** независимо от типа градовых ГП [10, 23] подразделяются на 4 категории (см. раздел 6.7).

Б.6 ***Критерии засева*** – основаны на измерении одномерных, двумерных и трехмерных параметров облаков (см. таблицу 1).

Б.7 ***Место засева***:

а) высокозарождающееся первое радиоэхо потенциально-градоопасных КЯ (ОВ I категории);

б) фронтальная часть градоопасных КЯ (ОВ II категории);

в) фронтальная часть навеса радиоэха и его наветренный фланг зрелых градовых облаков (ОВ III и IV категорий).

Засев осуществляется по всей площади горизонтального сечения области будущего градообразования (области нового роста), которая в зависимости от типа ГП и стадии его развития может достигать от 10 до 200 км^2 [10, 23].

Б.8 ***Схемы засева ОВ*** **–** дифференцированы с учетом стадии развития и особенностей структуры ГП различных типов [10, 13, 16] применительно к Северному и Южному полушариям (см. рисунки 1 – 4).

Б.9 ***Высота засева*** – облачный слой от уровня изотермы минус 6°С до минус 10°С, благоприятный для роста, агрегации и размножения кристаллов и соответствующий порогу кристаллизующей эффективности применяемых реагентов. В случае зарождения первого радиоэха новых градоопасных КЯ и навеса радиоэха зрелых градовых штормов выше этого слоя засев осуществляется на уровне нижней границы первого радиоэха и навеса радиоэха, ограниченном изолинией Z_{10} = 15 dBZ.

Б.10 ***Время засева*** – засев должен осуществляться в течение времени от 1 до 2 мин после идентификации ОВ.

Б.11 ***Дозировка реагента*** – начальная концентрация кристаллов должна быть не менее 10^{11} м$^{-3}$ [24, 25]. Расстояние между точечными и линейными источниками засева не более 0,5 - 1,0 км друг от друга, чтобы обеспечить слияние объемов засева за счет турбулентной диффузии за время не более 1 мин.

Б.11.1 В течение первых 5 мин после засева происходит серьезная трансформация всех микрофизических параметров облачной среды (полей температуры, плотности водяного пара, размера облачных капель, жидкокапельной водности и т.д.), формирование и конденсационный рост ледяных кристаллов до размеров, когда начинается их коагуляционный рост (60 - 80 мкм), увеличение ледности за счет обеднения капельной водности облака и т.д. [25].

Б.11.2 Влияние засева на ход микрофизических процессов снижается по мере увеличения турбулентности в объеме засева, и эффекты засева исчезают тем быстрее, чем больше коэффициент турбулентной диффузии (т.е. облако быстрее «забывает» засев).

Б.11.3 Увеличение начальной концентрации льдообразующих частиц до $5 \cdot 10^{11}$ м$^{-3}$ по данным теоретического моделирования приводит к резкому повышению реакции облака на засев. При наблюдающейся в реальных условиях водности и турбулентности начальная концентрация льдообразующих ядер $n_0 \geq 10^{11}$ м$^{-3}$ является ключевой для повышения эффективности предотвращения града [24 - 25].

Б.11.4 Для повышения эффективности предотвращения града из мощных и быстротечных ГП рекомендуется осуществлять массированный засев за счет более частого внесения ПГИ или повышения льдообразующей эффективности ПГИ.

Б.12 ***Кратность засева*** **–** ОВ I категории следует засевать однократно, ОВ II категории – двукратно, ОВ III категории – трехкратно, ОВ IV категории – четырехкратно.

Б.13 ***Периодичность засева*** **–** 3,5 или 7 мин в зависимости от категории и мощности ОВ (см. раздел 7).

Б.14 ***Средства засева*** **–** ракетный противоградовый комплекс «Алазань» и вновь создаваемые малогабаритные комплексы.

Б.15 ***Управление засевом*** осуществляется с помощью АСУ, обеспечивающей обнаружение конвективной облачности, измерение комплекса одномерных, двумерных и трехмерных параметров облаков, распознавание ОВ, выработку команд на ракетный засев и контроль физической эффективности засева.

Приложение В
(справочное)

Возможности и ограничения российской автоматизированной технологии ПГЗ

В.1 Российская автоматизированная технология ПГЗ имеет более высокую эффективность, чем альтернативные технологии с применением авиации, артиллерии и наземных генераторов, но не может гарантировать 100 процентной эффективности ПГЗ.

В.2 Основные причины этого заключаются в следующем:

В.2.1 *Недостаточная изученность механизма образования града*, обусловленная сложностью взаимосвязанных термодинамических, микрофизических и электрических процессов в облаках различной структуры, влиянием на эти процессы глобальной циркуляции атмосферы, пространственной структуры ветра, орографии, трудностью прямых экспериментальных исследований внутри облачных процессов и отсутствием адекватных теоретических моделей.

В.2.2 *Ограничения метода АВ*, связанные с большим временем последействия кристаллизующего реагента (от 6 до 8 мин), трудностью выбора точного места внесения реагента в ряде случаев так как применяемые МРЛ не обнаруживают фидерные облака, зоны конвергенции и восходящих потоков.

В.2.3 *Объективные факторы*:

а) острый дефицит времени при АВ на быстротечные ГП, когда на выполнение всех противоградовых операций имеется не более 2 мин;

б) при низкой высоте изотермы 0°С мелкий град и ледяная крупа выпадают почти из каждого кучево-дождевого облака.

В.2.4 *Несоответствие применяемых технических средств* требованиям технологии и *невозможность полной реализации* физических принципов АВ.

В.2.5 *Субъективные факторы*: ошибки персонала при выполнении сложной цепочки противоградовых операций, недозасев ОВ, не точный засев и т.д.

В.2.6 *Организационные проблемы*: запретные сектора стрельб, запреты органов авиации, недостаточная протяженность зоны предварительной обработки для засева вторгающихся на ЗТ мощных градовых облаков с правосторонним и левосторонним развитием, нехватка ПГИ на требуемый по технологии засев ОВ из-за недостаточного объема финансирования и др.

В.3 *В результате совокупного влияния* всех этих факторов эффективность ПГЗ может варьировать от 60 % до 98 %.

В.4 Для дальнейшего повышения эффективности и надежности ПГЗ требуется:

В.4.1 Дальнейшее развитие физических принципов и технологии АВ на градовые процессы на основе теоретического моделирования и комплексных экспериментальных исследований градовых процессов.

В.4.2 Совершенствования применяемых технических средств ПГЗ с целью обеспечения полной реализации требований технологии АВ, включая:

– повышение информативности применяемых МРЛ в части введения в них доплеровской, поляризационной и радиометрической информации;

– совершенствование применяемых систем управления противоградовыми операциями и качества средств связи;

– применение автоматизированных ПУ с целью повышения оперативности и точности засева (особенно мощных ГП);

– повышение льдообразующей эффективности и радиуса действия ПГИ, сокращение радиуса их «мертвой» зоны, повышение быстродействия и снижение порога кристаллизующего действия реагентов и т.д.

6.4.3 Дальнейшее повышение квалификации персонала по АВ, включая руководителей воздействия и техников ракетных пунктов с целью устранения субъективных факторов.

6.4.4 Устранение организационных проблем, перечисленных в п. Б.2.6.

Приложение Г
(обязательное)

Порядок подготовки и применения МРЛ и АСУ

Г.1 Размещение МРЛ осуществляется на открытых возвышенных местах с учетом:

а) возможности радиолокационного обзора ЗТ и ПТ в радиусе не менее 100 км при углах закрытия не более 1,0°;

б) исключения возможности облучения жилых и служебных помещений на КП;

в) обеспечения электромагнитной совместимости МРЛ с близко расположенными радиотехническими средствами;

г) минимизации затрат на строительство подъездных путей, линий электропередачи, связи и водоснабжения.

Г.2 Горизонтирование и ориентирование МРЛ осуществляется в соответствии с руководством [8]. **Градуировка АСУ** осуществляется в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемой АСУ.

Г.3 Абсолютная калибровка МРЛ осуществляется по стандартной мишени путем измерения наклонной дальности и мощности радиоэха мишени с помощью СВЧ PIN-диодных аттенюаторов МРЛ. Мишень следует поднимать на удалении от 3 до 5 км от МРЛ до высоты от 0,5 до 1,0 км на шаре-пилоте, наполненном водородом или гелием.

Г.3.1 В качестве стандартной мишени следует использовать полый алюминиевый шар радиусом r = 15,25 см, имеющемся в комплект ЗИП МРЛ-5. Может использоваться также матерчатый надувной шар с известным диаметром, обклеенный толстой алюминиевой фольгой.

Г.3.2 Перед калибровкой по мишени необходимо тщательно настроить приемное устройство и проградуировать СВЧ аттенюаторы МРЛ-5.

Г.3.3 Расчет константы МРЛ по данным стандартной мишени осуществляется по формуле:

$$C_{\lambda i} = \frac{10^{0,1N} R^4 c\tau\theta^2}{3,54\sigma} \qquad (Г.1)$$

или $$10lgC_{\lambda i} = N + 40lgR + 10lg\tau + 20lg\theta - 10lg\sigma + 99,3, \qquad (Г.2)$$

где C_λ - константа (метеорологический потенциал) МРЛ на длине волны λ, см^3;

N – мощность радиоэха стандартной мишени, усредненная по множеству измерений (от 15 до 20), из которых исключены случаи явно заниженных и явно завышенных измерений, dB;

R – наклонная дальность мишени, см;

c – скорость света, см/с;

τ - длительность импульса, с;

θ - ширина диаграммы направленности излучения антенны на уровне половинной мощности, радиан;

$\sigma = \pi r^2$ – поперечное сечение обратного рассеяния сферической мишени радиуса r, см^2.

Г.3.4 В случае калибровки по мишени, отпущенной в свободный полет, осуществляются непрерывные измерения R *и* N в режиме сопровождения мишени до исчезновения отраженного сигнала на уровне шумов, и строится кривая зависимости N от R, которая может быть аппроксимирована законом R^4. При этом значение C_λ может быть рассчитано с высокой точностью по формуле

$$10lgC_{10} = N + 40lgR - const, \qquad (Г.3)$$

где значение N может быть взято на расстоянии $R = 10^6$ см, и $const$ = 17,92 при r равном 15,25 см, $\theta = 1{,}5°$ и длительности импульса $\tau = 2$ мкс.

Г.3.5 Расчет константы МРЛ по данным инструментальных измерений параметров МРЛ (таблица Г.1) осуществляется по формуле:

$$C_\lambda = \frac{P_\tau G^2 \lambda^2 c \tau \theta^2}{P_0 \cdot 4^5 \pi^2 \ln 2 \cdot 10^{0,1\zeta}}, \qquad (Г.4)$$

или $10lgC_\lambda = 10lgP\tau - 10lgP_0 + 20lgG + 20lg\lambda + 10lg\tau + 20lg\theta - \zeta + 66{,}32$, (Г.5)

где $P\tau$ - импульсная мощность передатчика МРЛ, Вт;

G - коэффициент усиления антенны;

λ - длина волны, см;

ζ - суммарные потери в волноводном тракте на прием и передачу, dB;

P_0 - чувствительность приемного устройства, Вт.

Т а б л и ц а Г. 1 – Параметры МРЛ-5 при $\tau = 2$ мкс, $F = 250$ Гц, снятом малом зеркале антенны и замене ЛБВ на малошумящие СВЧ усилители

Обозначение и размерность параметра	Значение для канала		Параметр	Значение параметра в dB	
	1-го	2-го		для 1-го канала	для 2-го канала
λ, см	3,13	10,15	$20lg\lambda$	9,91	20,13
$P\tau$, кВт	150	500	$10lgP\tau$	51,80	57,00
P_0, Вт	$2{,}5\cdot10^{-14}$	$1{,}6\cdot10^{-14}$	$10lgP_0$	-136,00	-138,00
τ, сек	$2\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-6}$	$10lg\tau$	-57,00	-57,00
G, dB	$1{,}29\cdot10^{5}$	$1{,}44\cdot10^{4}$	$20lgG$	102,25	83,16
θ, градус	0,5	1,5	$20lg\theta$	-41,13	-31,6
ζ, dB	6	5	ζ	6,00	5,00
C_λ, см^3	$1{,}64\cdot10^{26}$	$1{,}26\cdot10^{27}$	$10lgC_\lambda$	262,15	271,01

Г.3.6 Расчета констант на обоих каналах радиолокатора МРЛ-5 по данным инструментальных измерений (таблицы Г.1) удобно осуществлять по формуле Г.5:

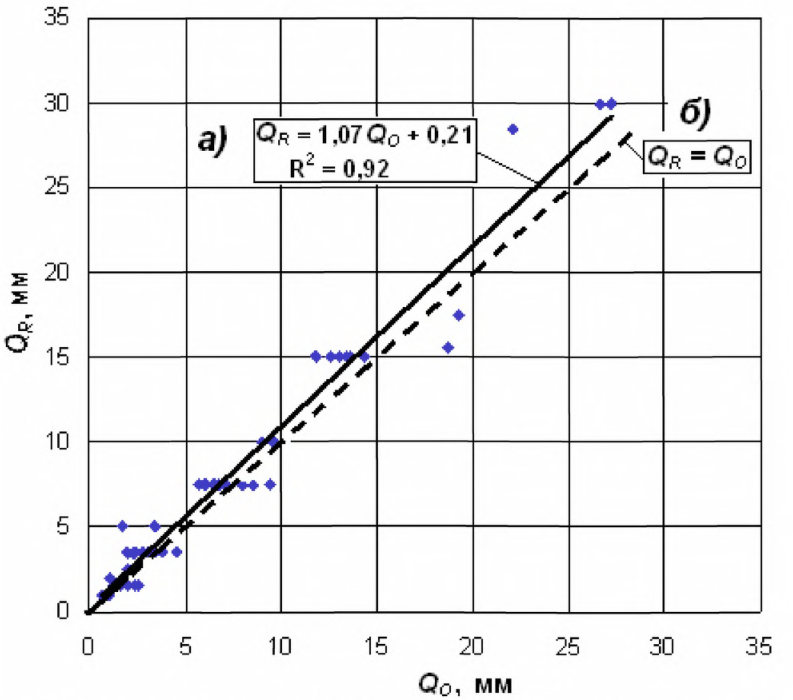
$10lgC_{3,2} = 51{,}8 + 136 + 102{,}25 + 9{,}91 - 57 - 41{,}13 - 6 + 66{,}32 = 262$ dB;

$10lgC_{10} = 57 + 138 + 83{,}16 + 20{,}13 - 57 - 31{,}6 - 5 + 66{,}32 \approx 271$ dB.

Учитывая, что этот расчет выполнен при наиболее оптимальной настройке всех систем МРЛ-5 и максимально возможном коэффициенте усиления антенны, реальные константы МРЛ-5 могут быть не более: $10lgC_{10} \approx 270$ dB; $10lgC_{3,2} \approx 260$ dB.

Г.3.7 Константа МРЛ, характеризующая его метеорологический потенциал, может варьировать в зависимости от изменений характеристик волноводного тракта и приемо-передающих устройств, поэтому показания разных МРЛ на одни и те же облака могут отличаться. Для исключения этого калибровку МРЛ следует проверять по реальным осадкам в следующем порядке:

а) по данным измерений количества осадков с помощью автоматизированного МРЛ и наземной сети осадкомеров, расположенных в радиусе 50 км от МРЛ, построить график, показанный на рисунке Г.1;



а) сплошная линия – линия тренда экспериментальных данных; б) линия согласования данных радиолокационных и осадкомерных измерений.

Рисунок Г.1 – Количество осадков в мм по данным радиолокационных Q_R и осадкомерных Q_O измерений

б) провести линию тренда экспериментальных данных (сплошная линия), и линию биссектрисы (пунктир), обеспечивающей совпадение данных радиолокационных и наземных измерений;

в) рассчитать поправку на константу МРЛ по отклонению линии тренда от линии совпадения данных об осадках по формуле:

$$\Delta(10\,\lg C_\lambda) = \Delta Z = 16\,(\lg Q_R - \lg Q_O)\,, \qquad (Г.6)$$

где $\Delta(10\lg C_\lambda)$ и ΔZ – величина поправки на значения константы МРЛ и радиолокационной отражаемости, необходимая для согласования радиолокационных и осадкомерных измерений количества осадков,

усредненная по достаточно большому количеству измерений (рекомендуется более 20 измерений в разных осадках);

г) ввести поправку на константу МРЛ, сохранив ее знак.

Примечание – Пример расчета поправки на константу МРЛ:

– на рисунке Г.1 взять значение Q_O равным 20 мм/ч;

– рассчитать значение Q_R в этой же точке: Q_R = 1,07 Q_O +0,21 ≈ 21,61 мм/ч;

– подставить в формулу Г.1 найденные значения Q_R и Q_O и рассчитать величину поправки на значения константы МРЛ:

$$\Delta(10 \lg C_\lambda) = 16\,(\lg Q_R - \lg Q_O) \approx 16\,(1{,}335 - 1{,}301) \approx 0{,}5\ dB.$$

Г.3.8 Контроль стабильности показаний МРЛ осуществляется по данным автокалибровки МРЛ в каждом цикле обзора по совокупности реперных целей, выбираемых в разных азимутах и удалениях. Для этого после градуировки и калибровки МРЛ необходимо записать на применяемой АСУ файл местников, и значение средней отражаемости совокупности местников, полученное на АСУ, внести это значение в акт калибровки МРЛ и в систему автоматического введения поправок на изменение потенциала МРЛ в каждом цикле обзора.

Г.4 Расчет радиолокационной отражаемости (Z, dBZ) в АСУ должен осуществляться автоматически по формулам:

$$Z_{3,2n} = 115{,}3 + N_{3,2n} + \Delta N_{3,2авк} + 2k_R + 2\sum_{i=1}^{n-1}(k_\Gamma + k_o + k_{oc})\Delta R + 20 \lg R_n - 10 \lg C_{3,2}; \quad (Г.7)$$

$$Z_{10n} = 135{,}7 + N_{10n} + \Delta N_{10авк} + 2k_R + 2\sum_{i=1}^{n-1}(k_\Gamma + k_o + k_{oc})\Delta R + 20 \lg R_n - 10 \lg C_{10}, \quad (Г.8)$$

где $Z_{3,2n}$ и Z_{10n} – радиолокационная отражаемость на длинах волн 3,2 и 10 см в n-м канале дальности, dBZ;

$N_{3,2n}$ и N_{10n} – мощность радиоэха на этих же длинах волн, dB;

$\Delta N_{3,2авк}$ и $\Delta N_{10авк}$ - поправки на изменение потенциала МРЛ по данным автокалибровки (или измерениям на репер), dB;

k_R - ослабление в ветрозащитном укрытии антенны (Radom), dB;

$k_г$, k_o и $k_{ос}$ – коэффициенты ослабления в газах атмосферы, облаках и осадках, соответственно, dB/км.

Г.4.1 ***Ослабление в Radom*** (k_R) зависит от толщины пленки воды на его поверхности, являющейся функцией интенсивности осадков J над ним. По данным Государственных испытаний МРЛ-5:

– на λ = 10 см ослабление в Radom не превышает 0,4 dB даже в осадках интенсивностью J более 50 мм/ч и может не учитываться;

– на λ = 3,2 см расчет ослабления в Radom рассчитывается по формуле

$$k_R = 0{,}042J + 0{,}74. \quad (Г.9)$$

Г.4.2 ***Ослабление в газах атмосферы*** $k_г$ рассчитывается путем его суммирования на пути распространения радиолуча с учетом угла зондирования α и дальности R. Для углов обзора $\alpha \le 18°$ и $R \le 200$ км расчет может осуществляться [26] с ошибкой не более 0,2 dB по формулам:

для λ = 3,2 см: $$k_{3,2Г} = 1{,}722\left\{\left(0{,}4 + 3{,}45e^{-\frac{\alpha}{1{,}8}}\right)\left(1 - e^{-R/\left[27{,}8+154e^{-\frac{\alpha}{2{,}2}}\right]}\right)\right\}; \quad (Г.10)$$

для λ = 10 см: $$k_{10Г} = \left(0{,}4 + 3{,}45e^{-\frac{\alpha}{1{,}8}}\right)\left(1 - e^{-R/\left[27{,}8+154e^{-\frac{\alpha}{2{,}2}}\right]}\right). \quad (Г.11)$$

Г.4.3 ***Ослабление в облаках и осадках*** $k_{ос}$:

– на λ = 10 см может не учитываться, так как даже в осадках интенсивностью 60 мм/ч протяженностью 40 км оно не превышает 1 dB;

– на λ = 3,2 см рассчитывается [17] по радиальному распределению значений Z_{10n}, либо $Z_{3,2n}$:

$$k_{3,2n} = 10^{0{,}063\ Z10n - 3{,}32}\ \text{dB/км}; \quad (Г.12)$$

$$k_{3,2n} = 10^{0{,}062Z3{,}2n - 3{,}32}\ \text{dB/км}; \quad (Г.13)$$

Г.5 Расчет высот радиоэха метеоцелей осуществляется с учетом «кривизны радиолуча» при нормальной рефракции, полуширины диаграммы направленности излучения, а также высоты стояния МРЛ над уровнем моря $H_{МРЛ}$, км:

– высота над уровнем моря: $H = R\sin\alpha + 5{,}8\cdot10^{-5}R^2 + H_{МРЛ}$; (Г.14)

– высота верхней границы: $H_B = R\sin\alpha + 5{,}8\cdot10^{-5}R^2 - R\sin(\theta/2) + H_{МРЛ}$; (Г.15)

– высота нижней границы: $H_H = R\sin\alpha + 5{,}8\cdot10^{-5}R^2 + R\sin(\theta/2) + H_{МРЛ}$, (Г.16)

где R – расстояние от МРЛ, км;

α - вертикальный угол зондирования;

$\theta/2$ - полуширина диаграммы направленности излучения антенны на уровне половинной мощности, град.

Приемлем 2-й вариант расчета высоты радиолуча с учетом его кривизны относительно поверхности земли по модели, согласно которой

радиус Земли $r_З$ равен 6371,032 км, а эффективный радиус кривизны радиолуча $r_{ЭЗ} = 4/3r_З = 8500$ км [26];

$$H = [R^2 + 7{,}225 \cdot 10^7 + 2R \cdot 8500 \cdot \sin\alpha]^{0,5} - 8500 + H_{МРЛ}; \quad (Г.17)$$

$$H_B = [R^2 + 7{,}225 \cdot 10^7 + 2R \cdot 8500 \cdot \sin\alpha]^{0,5} - 8500 - R\sin\theta/2 + H_{МРЛ}; \quad (Г.18)$$

$$H_H = [R^2 + 7{,}225 \cdot 10^7 + 2R \cdot 8500 \cdot \sin\alpha]^{0,5} - 8500 + R\sin\theta/2 + H_{МРЛ}, \quad (Г.19)$$

Расхождения в значениях высот, рассчитанных по обоим методам, не превышают 30 м в диапазоне H до 20 км и R до 200 км при всех углах зондирования α.

Г.6 Расчет горизонтальной дальности метеоцелей R_G, км в стандартной атмосфере может выполняться также по двум вариантам:

– без учета кривизны радиолуча: $H_G = R \cdot \cos\alpha$; (Г.20)

– с учетом кривизны радиолуча: $H^*_G = r_{ЭЗ} \sin^{-1}\left(\frac{R\cos\theta}{r_э + H}\right)$. (Г.21)

Учитывая, что разность $H_G - H^*_G$ в радиусе до 200 км и в слое высот от 0 до 20 км не превышает 300 м, в целях упрощения расчет R_G осуществляют по формуле (Г.20).

Г.7 Измерения радиолокационных параметров облаков осуществляются с помощью АСУ в точке курсора или в выделенном оператором объеме.

Г.7.1 Для распознавания градовых облаков и ОВ и проведения противоградовых операций следует измерять (см. рисунок Г.2) следующие параметры:

- координаты максимума радиоэха: A_m и R_m, км;
- максимальную отражаемость: Z_m, dBZ;
- высоты в км: максимальной отражаемости H_{Zm}, верхней границы радиоэха H_B, верхней границы изолиний отражаемости H_{25}, H_{35}, H_{45}, H_{55}, H_{65};
- превышения высот над уровнем 0°С в км: ΔH_{Zm}, ΔH_{25}, ΔH_{35}, ΔH_{45}, ΔH_{55}, ΔH_{65};
- направление А, град (куда движется ОВ) и скорость перемещения V, км/ч;
- объемы выделенной части облака с $Z_{10} > 25$, 35, 45, 55, 65 dBZ выше уровня изотермы 0°С ΔV_{25}, ΔV_{35}, ΔV_{45}, ΔV_{55}, ΔV_{65}, км^3;

- максимальное значение приведенной водности облака q_m, кг/м^2;
- максимальное значение приведенной водности облачного слоя выше уровня изотермы 0°С Δq_m, кг/м^2;
- интегральные водности облачного слоя выше уровня 0 °С с Z_{10} > 25, 35, 45, 55, 65 dBZ: ΔM_{25}; ΔM_{35}; ΔM_{45} ... ΔM_{65}, т;
- площадь радиоэха $S_{рад}$, площадь выпадения дождя $S_{дож}$ и площадь выпадения града $S_{град}$, км^2.

Г.7.2 Значения Z_m и ее координат A_m и R_m измеряются в точке абсолютного максимума радиоэха.

Г.7.3 Все высоты (H_{Zm}, H_B, H_{35}, H_{45} ...), а также превышения высот над уровнем 0°С (ΔH_{Zm}, ΔH_B, ΔH_{35}, ΔH_{45} ..., измеряются в области максимума их значений.

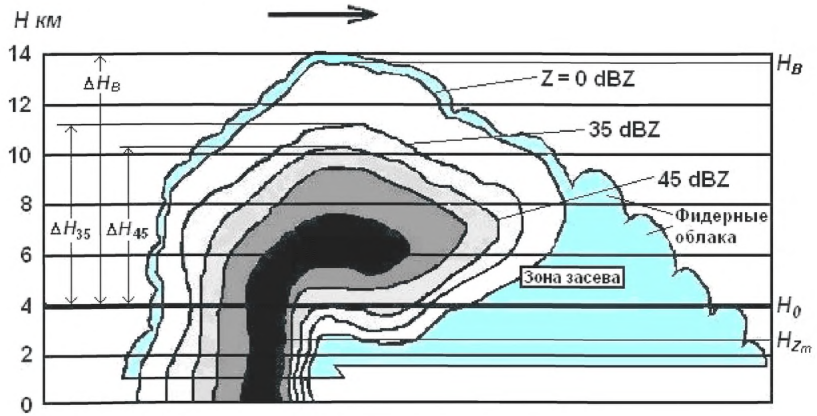


Рисунок Г.2 – Схема измерения высот на вертикальном сечении градового облака

Г.7.4 Расчет мгновенной скорости и направления перемещения ОВ выполняется по смещению центра масс интегрального водосодержания слоя облачности выше уровня 3 км за период между последовательными циклами обзора по формулам:

$$V = \frac{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}{\Delta t}, \qquad (Г.22)$$

$$A = arctg\frac{\Delta X}{\Delta Y}, \qquad (Г.23)$$

где ΔX и ΔY – смещение центра масс по осям X и Y;

Δt - время между двумя последовательными циклами обзора.

Г.7.5 Расчет средней скорости и направления перемещения ОВ осуществляется по аналогии за период между несколькими циклами обзора.

Г.7.6 Измерение объемов ΔV_{35}, ΔV_{45}, ΔV_{55}, ΔV_{65} , а также приведенной q_m, Δq_m и интегральной водности ΔM_{35}; ΔM_{45}; ΔM_{55} и ΔM_{65} осуществляется путем выделения ОВ в рамку таким образом, чтобы внутри ее помещался изоконтур с Z_{10} = 25 dBZ.

Г.7.7 Площадь радиоэха ($S_{рад}$, км^2) рассчитывается по карте максимальной отражаемости, а площади дождевых ($S_{дож}$, км^2) и градовых осадков ($S_{град}$, км^2) по карте максимальной отражаемости приземного слоя радиоэха протяженностью 2 км.

Г.8 Оценка тенденции развития ОВ осуществляется по приращению (убыванию) значений Z_m, ΔH_{Zi}, Δq_m, и ΔM_{Zi} в последующем цикле обзора по сравнению с предыдущим:

- при $dZ/dt > 0$, $dH_{Zi}/dt > 0$ или $d\Delta q_m/dt > 0$, $dM_{Zi}/dt > 0$ присваивается тенденция «Усиление»;
- при $dZ/dt < 0$, $dH_{Zi}/dt < 0$ или $d\Delta q_m/dt < 0$, $dM_{Zi}/dt < 0$ присваивается тенденция «Ослабление»;
- в других комбинациях значений dZ/dt, dH_{Zi}/dt, $d\Delta q_m/dt$ и dM_{Zi}/dt, считается, что «Развития нет».

Г.9 Построение карт осадков осуществляется путем расчета характеристик осадков в каждой ячейке площади обзора, ограниченной протяженностью канала дальности, равной 0,5 км и шириной шага по азимуту, равной 1 градус.

Г.9.1 Интенсивность осадков I, мм/ч теплого периода года в n-м канале дальности рассчитывается, согласно [23], по алгоритму

$$\lg I_n = \begin{cases} \lg I_{nД} & при\ Z_n < 45 \\ (1-k)\cdot \lg I_{nД} + k\cdot \lg I_{nГ} & при\ 45 \le Z_n \le 65 \\ \lg I_{nГ} & при\ Z_n > 65 \end{cases}, \qquad (Г.24)$$

где эмпирический коэффициент k = (0,04·Z_n - 1,7) учитывает увеличение доли градовой фракции в смешанных осадках при Z > 45 dBZ;

$I_{пД}$ и $I_{пГ}$ – дождевая и градовая составляющие смешанных осадков в n-ом канале дальности, рассчитываемые по формулам:

$$lg\, I_{пД} = 0{,}0624 \cdot Z_n - 1{,}432, \quad (Г.25)$$

$$\lg I_{пГ} = 0{,}065 \cdot Z_n - 2{,}28. \quad (Г.26)$$

Г.9.2 Расчет количества осадков Q_{nj}, мм в n-м канале дальности и j-м секторе азимута осуществляется по формуле

$$Q_n = \sum_{m=1}^{\infty} I_{njm} \Delta t_m, \quad (Г.27)$$

где I_{njm} – интенсивность осадков в n-м канале дальности j-м секторе азимута и m-ом цикле обзора, рассчитанная по формулам (Г.24 – Г.26);

m – число циклов обзора с осадками в n-м канале дальности и j-м секторе азимута;

Δt - период времени между циклами обзора.

Г.10 Характеристики градовых осадков могут рассчитываться одноволновым и двухволновым методами [17, 23] по следующим формулам:

Г.10.1 Максимальный размер града d_m, см:

– по одноволновому методу на λ = 10 см:

$$d_{mn} = (0{,}2 \cdot Z_{10} - 10); \quad (Г.28)$$

– по двухволновому методу:

$$d_{mn} = 10^{0{,}027 Z_{10n} - 0{,}027 Z_{3{,}2n} + 0{,}076}. \quad (Г.29)$$

Г.10.2 Плотность потока кинетической энергии града $\dot{E}$, Дж/м^{2}с:

– по одноволновому методу на λ = 10 см:

$$lg\, \dot{E}_n = 0{,}086 Z_{10n} - 5{,}25; \quad (Г.30)$$

– по двухволновому методу:

$$\lg \dot{E}_n = 0{,}025 Z_{3{,}2n} + 0{,}075 Z_{10n} - 5{,}87. \quad (Г.31)$$

Г.10.3 Значения $\dot{E}$ следует рассчитывать:

– при H_0 < 2,0 км в области Z_n > 45 dBZ;

– при 2,0 ≤ H_0 ≤ 3,5 км в области Z_n > 50 dBZ;

– при H_0 > 3,5 км в области Z_n > 55 dBZ.

Г.10.4 Кинетическая энергия града E, Дж/м^2:

– по одноволновому методу на λ = 10 см:

$$E_n = \sum_{m=1}^{\infty} 10^{(0,086 Z_{10n} - 5,25)} \Delta t_m ; \qquad (Г.32)$$

– по двухволновому методу:

$$E_n = \sum_{m=1}^{\infty} 10^{(0,025 Z_{3,2n} + 0,075 Z_{10n} - 5,87)} \Delta t_m . \qquad (Г.33)$$

Г.10.5 Степень повреждения сельхозкультур от градобитий K, % рассчитывается по корреляционным связям между кинетической энергией града и повреждаемостью разных видов сельхозкультур [23]:

– пшеницы: $K_{ПШ} = (56 lgE - 58)$; (Г.34)

– кукурузы: $K_K = (66 lgE - 90)$;. (Г.35)

– винограда: $K_{ВИН} = (100 lgE - 145)$. (Г.36)

Г.11 Расчет приведенной водности вертикального столба с площадью основания 1 м^2 (q и Δq кг/м^2) осуществляется путем суммирования водности единичного объема по всем слоям облака и слоям выше изотермы 0°С:

$$q_{nj} = \sum_{i=1}^{\infty} q_{n\,j} \cdot \Delta H_i \qquad (Г.37)$$

где ΔH_i – вертикальная протяженность i-того слоя облака;

q_{ni} – водность единичного объема облака, г/м^3, рассчитываемая по алгоритму:

$$q_{nj} = \begin{cases} q_{njД} & при\ Z_{10n} < 45 \\ (1-k) \cdot q_{njД} + k \cdot q_{njГ} & при\ 45 \le Z_{10n} \le 65 \\ q_{njГ} & при\ Z_{10n} > 65 \end{cases} \qquad (Г.38)$$

где $k = (0,04 Z_n - 1,7)$ – константа, зависящая от соотношения дождевой $q_{njД}$ и градовой $q_{njГ}$ фракций в n-ом канале дальности и j-ом секторе азимута;

Значения $q_{niД}$ и $q_{niГ}$ рассчитываются в АСУ по формулам [23, 27]:

$$\left.\begin{aligned} q_{n\,jД} &= 10^{0,05 Z_{10n} - 2,4} \\ q_{n\,jГ} &= 10^{0,058 Z_{10n} - 3,25} \end{aligned}\right\} . \qquad (Г.39)$$

Г.12 Расчет интегрального водосодержания всего объема облака M_{Zi} и его переохлажденной части ΔM_{Zi}, т осуществляется путем интегрирования водности q_{nj} по всей площади радиоэха, ограниченной Z_i, и всем слоям от основания радиоэха до вершины или от уровня изотерм 0 °С до вершины [27]:

$$\left.\begin{aligned} M_{Zi} &= \sum_{i=1}^{m} q_{nj}(Z_i)\cdot S_{Z_i} \\ \Delta M_{Zi} &= \sum_{i=1}^{m} \Delta q_{nj}(Z_i)\cdot S_{Z_i} \end{aligned}\right\}, \qquad (Г.40)$$

где $q_{nj}(Z_i)$ – значение водности в n-ом канале дальности и j-ом секторе азимута внутри изоконтура с заданной отражаемостью Z_i равной 15, 25, 35 … 65 dBZ;

S_{Zi} – площадь внутри изоконтура с заданным значением Z_i.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Показатели градоопасности облаков и методы измерения параметров градовых осадков

Д.1 В результате многолетних радиолокационных исследований облаков в разных регионах с помощью импульсных некогерентных МРЛ [10 - 12, 14 - 16, 21 - 22, 26 и др.] установлено, что вероятность выпадения града из кучево-дождевых облаков увеличивается с ростом:

- высоты верхней границы облаков H_B, км;
- максимальной отражаемости облака Z_m, dBZ;
- высоты максимальной отражаемости H_{Zm}, км на стадии развития;
- высоты слоя повышенной отражаемости H_{Zi}, км;
- площади повышенной отражаемости облака Z_m, dBZ;
- превышения верхней границы изолинии 45 dBZ над уровнем изотермы 0°С ΔH_{45}, км.

Однако каждый из перечисленных параметров имеет области неоднозначности в разделении градовых и ливневых облаков и распознавании развивающихся потенциально градоопасных облаков среди неопасных. Поэтому оценка градоопасности облаков осуществляется [8, 17] на основе совместного использования нескольких параметров и алгоритмов расчета вероятности выпадения града с применением разделяющих функций типа:

$$Y_1 = \prod_{i=1}^{n} \frac{\rho_г(X_i)}{\rho_н(X_i)} = \prod_{i=1}^{n} A X_i^b, \qquad (Д.1)$$

$$Y_2 = \lg \prod_{i=1}^{n} \frac{\rho_н(X_i)}{\rho_г(X_i)} = 0{,}23Z + 4{,}7\lg\Delta H_{\Delta Z} + 1{,}8\lg\Delta H_B - 14 \qquad (Д.2)$$

с решающими правилами:

- $Y_1 > 1$ или $Y_2 > 0$ - облако градовое;
- $Y_1 < 1$ или $Y_2 < 0$ - облако не градовое.

Д.2 Наиболее простыми и эффективными одноволновыми показателями градоопасности облаков являются такие параметры, как максимальная отражаемость Z_m и высота зоны повышенной отражаемости ΔH_{45}, характеризующие наличие повышенного

водосодержания переохлажденного слоя облака и являющееся необходимым и достаточным условием для зарождения и роста града [17, 23]. Вероятность выпадения града повышается с увеличением значений Z_m и ΔH_{45}. Простое произведение этих двух параметров ($Z_m \cdot \Delta H_{45}$) может служить еще более адекватным показателем наличия града, так как неявно характеризует содержание воды в области отрицательных температур (т.е. в зоне роста града). Еще более целесообразно непосредственное измерение приведенной Δq_m и интегральной ΔM_{45} водности переохлажденного слоя облаков, характеризующих водосодержание зоны роста града.

Д.3 Приведенная q_m и интегральная водность M_{Zi} в градовых облаках, как правило, превышает их значения в ливневых облаках [16, 23, 27]. Приведенная водность градовых облаков q_m варьирует в пределах от 8 до 50 кг/м^2, в ливневых дождях в пределах от 0,5 до 10 кг/м^2, а в дождях из слоисто-дождевой облачности обычно меньше 0,5 кг/м^2. Интегральная водность градовых облаков M_{15} варьирует в пределах от 10^5 до $5 \cdot 10^6$ т, достигая в случае града катастрофической интенсивности $M_{Zi} \approx 6 \cdot 10^6$ т.

Д.4 Частотная зависимость рассеяния радиоволн обеспечивает возможность обнаружения града двухволновым методом по критерию $Z_{3,2} - Z_{10} < 5$ dBZ, так как отражаемость на $\lambda = 10$ см в диапазоне размеров рассевающих частиц от 0,5 до 5 см увеличивается значительно быстрее, чем на $\lambda = 3{,}2$ см. Двухволновый метод позволяет более корректно определить размер и кинетическую энергию града при введении коррекции на ослабление на $\lambda = 3{,}2$ см в соответствии с пунктом Г.4.3.

Д.5 Поляризационные, доплеровские и радиолокационно-радиометрические методы обнаружения града в данном РД не рассматриваются в связи с тем, что в противоградовых службах в настоящее время используются радиолокаторы МРЛ-5, не имеющие поляризационной, доплеровской и радиометрической приставок.

Д.6 В оперативной практике ПГЗ рекомендуется распознавание градовых облаков следует осуществлять по следующим наиболее простым критериям:

$$Z_m \begin{cases} > 55 \text{ dBZ и } \Delta H_{45} > 3 \text{ км при } H_0 > 3 \text{ км;} \\ > 50 \text{ dBZ и } \Delta H_{45} > 2{,}5 \text{ км при } 2 < H_0 < 3 \text{ км;} \\ > 45 \text{ dBZ и } \Delta H_{35} > 2{,}5 \text{ км при } H_0 < 2 \text{ км;} \end{cases}$$

$\Delta q_m > 8$ кг/м^2;

$\Delta M_{45} > 10^5$ т;

$Z_{3,2} - Z_{10} < 5$ dBZ.

Д.7 Показателями крупного града (диаметром более 3 см) служит сочетание следующих критериев:

- $Z_m > 70$ dBZ;
- $\Delta H_{55} > 5$ км;
- $\Delta q_m > 30$ кг/м^2;
- $\Delta M_{45} > 10^6$ т;
- $Z_{3,2} - Z_{10} < 15$ dBZ;
- а также характерные особенности в структуре радиоэха:

1) наличие навеса мощного радиоэха (иногда со свесом) с обширной областью слабого радиоэха, свидетельствующей о наличии мощной струи восходящего потока и возможности длительного нахождения зародышей града в слое роста града;

2) наличие крюка радиоэха в нижнем слое, окаймляющего восходящий поток и свидетельствующего о наличии зоны конвергенции и вращении восходящего потока;

3) высокие градиенты отражаемости на переднем фланге осадков в приземном слое на границе слабого радиоэха;

4) наличие характерного радиального выступа (шипа) радиоэха с $Z_{10} < 30$ dBZ за градовым очагом на средних высотах протяженностью от 10 до 30 км, который формируется за счет тройного рассеяния радиолокационного излучения [26]: в градовом очаге рассеяние вперед с отклонением к земле, потом отражение от земли в направлении градового очага и, наконец, рассеяние градовым очагом в направлении МРЛ, т.е. градовый очаг → земля → градовый очаг → МРЛ.

По мере тангенциального смещения мощного градового облака относительно МРЛ этот выступ также смещается, располагаясь радиально от МРЛ за градовым очагом. Ширина сектора выступа изменяется соответственно изменению ширины градового очага с Z_{10} более 65 dBZ (рисунок Д.1). Следует отметить, что шип радиоэха обнаруживается не во всех случаях интенсивного града, а при определенных условиях рефракции радиоволн.

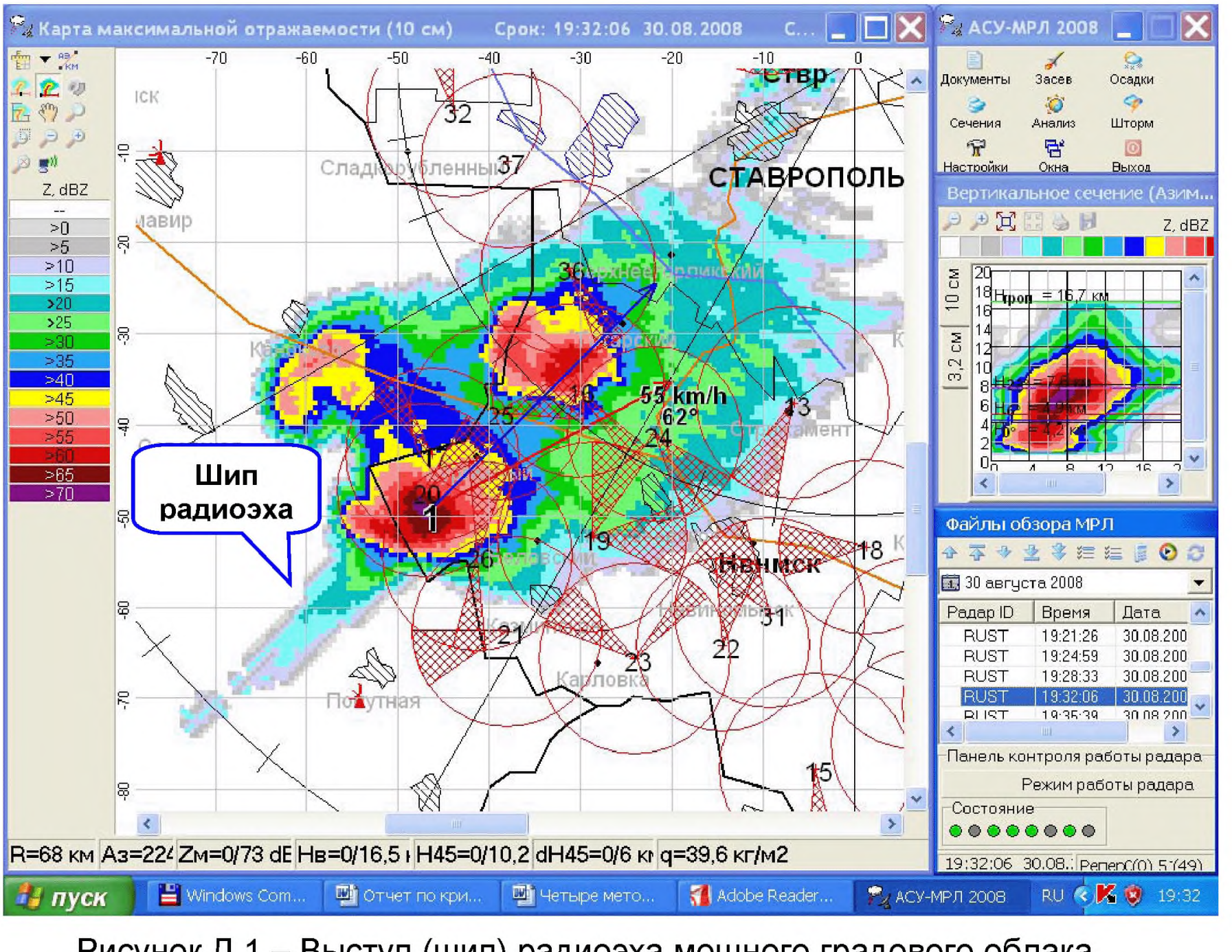


Рисунок Д.1 – Выступ (шип) радиоэха мощного градового облака. 30.08.2008 г.

.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Критерии распознавания категорий ОВ с учетом высоты изотермы 0°С H_0

Е.1 Вероятность выпадения града на земле в значительной степени зависит от высоты изотермы 0°С H_0. Летом при H_0 равном и более 3 км мелкий град обычно успевает растаять в теплой части атмосферы, а весной и осенью при H_0 от 1 до 2 км достигает поверхности земли. На основе статистических данных Северо-Кавказской ВС [28] о вероятности выпадения града в зависимости от высоты H_0 распознавание категорий ОВ может определяться по критериям, представленным в таблице Е.1:

Т а б л и ц а Е. 1 – Критерии распознавания категорий ОВ с учетом высоты H_0, км

Категория ОВ	Критерии градоопасности		Степень градоопасности в зависимости от высоты повышенного радиоэха H_{30}	
			$< 1{,}5\ H_0$	$\geq 2\ H_0$
I	$H_{30} > 2H_0$	$25 < Z_m < 45$ dBZ	0,1 - 0,2	0,3 – 0,4
II		$Z_m \geq 45$ dBZ	0,3 - 0,4	0,6 – 0,8
III	$H_{45} > 2H_0$	$Z_m \geq 55$ dBZ	0,9 – 1,0	
IV		$Z_m > 65$ dBZ		
где H_{30} и H_{45} – высоты над уровнем моря верхней границы радиоэха с $Z_{10} = 30$ и 45 dBZ.				

Е.2 Для распознавания ОВ различных категорий может быть использована схема, представленная на рисунке Е.1, на котором показаны типичные формы радиоэха облаков в виде вертикальных сечений в изолиниях Z_{10}, сгруппированные по 4 категориям ОВ в 4 группы по возрастанию степени градоопасности (сверху вниз и слева направо). ОВ I и II категории представляют КЯ девяти разрядов, сгруппированные в две вертикальные колонки:

– в первой колонке представлены вертикальные сечения КЯ 2, 4, 6 и 8 разрядов со значениями $H_{\Delta Z} \leq 1{,}5\ H_0$, степень градоопасности которых варьирует от 0,1 до 0,4;

– во второй колонке представлены вертикальные сечения КЯ 1, 3, 5, 7 и 9 разрядов, со значениями $H_{\Delta Z} > 2\ H_0$, степень градоопасности которых варьирует от 0,2 до 0,8.

Если $H_{\Delta Z} > 1{,}5\ H_0$, но не превышает $2\ H_0$, то на уровне $1{,}5\ H_0$ оценивается площадь, ограниченная изолинией 35 dBZ (S_{35}):

– при $S_{35} < 25$ км^2 КЯ следует относить к четному разряду левой колонки;

– при $S_{35} > 25$ км^2 КЯ следует относить к нечетному разряду второй колонки.

ОВ III и IV категории, имеющие разряды с 10 по 14, представлены в правой колонке рисунка Е.1.

Е.3 Оценку градоопасности и тенденцию развития облаков следует осуществлять по горизонтальному сечению на высоте $2\ H_0$:

а) если на уровне $2\ H_0$ нет изоконтура 30 dBZ, то можно считать, что ОВ нет;

б) если на уровне $2\ H_0$ обнаружена КЯ с изоконтуром $Z = 30$ dBZ, то эта КЯ считается ОВ, который следует засеять;

в) КЯ с изоконтуром $Z = 55$ dBZ можно считать ОВ III категории;

г) КЯ с изоконтуром $Z = 65$ dBZ можно считать ОВ IV категории;

д) степень градоопасности облаков повышается по мере появления на уровне $2\ H_0$ изоконтуров с $Z = 35, 45, 55$ dBZ и понижается по мере их исчезновения;

е) градоопасность не меняется, если от обзора к обзору нет таких изменений.

Е.4 КЯ, представленные на рисунке Е.1, являются ОВ, и их следует засеять в соответствии с разделом 7.4.3:

а) *в режиме экономичного засева* – все КЯ, вошедшие в первую колонку и 1 разряд второй правой колонки, если они имеют тенденцию развития. Засев прекращается, когда верхняя граница изоконтура 30 dBZ опустится ниже $2\ H_0$;

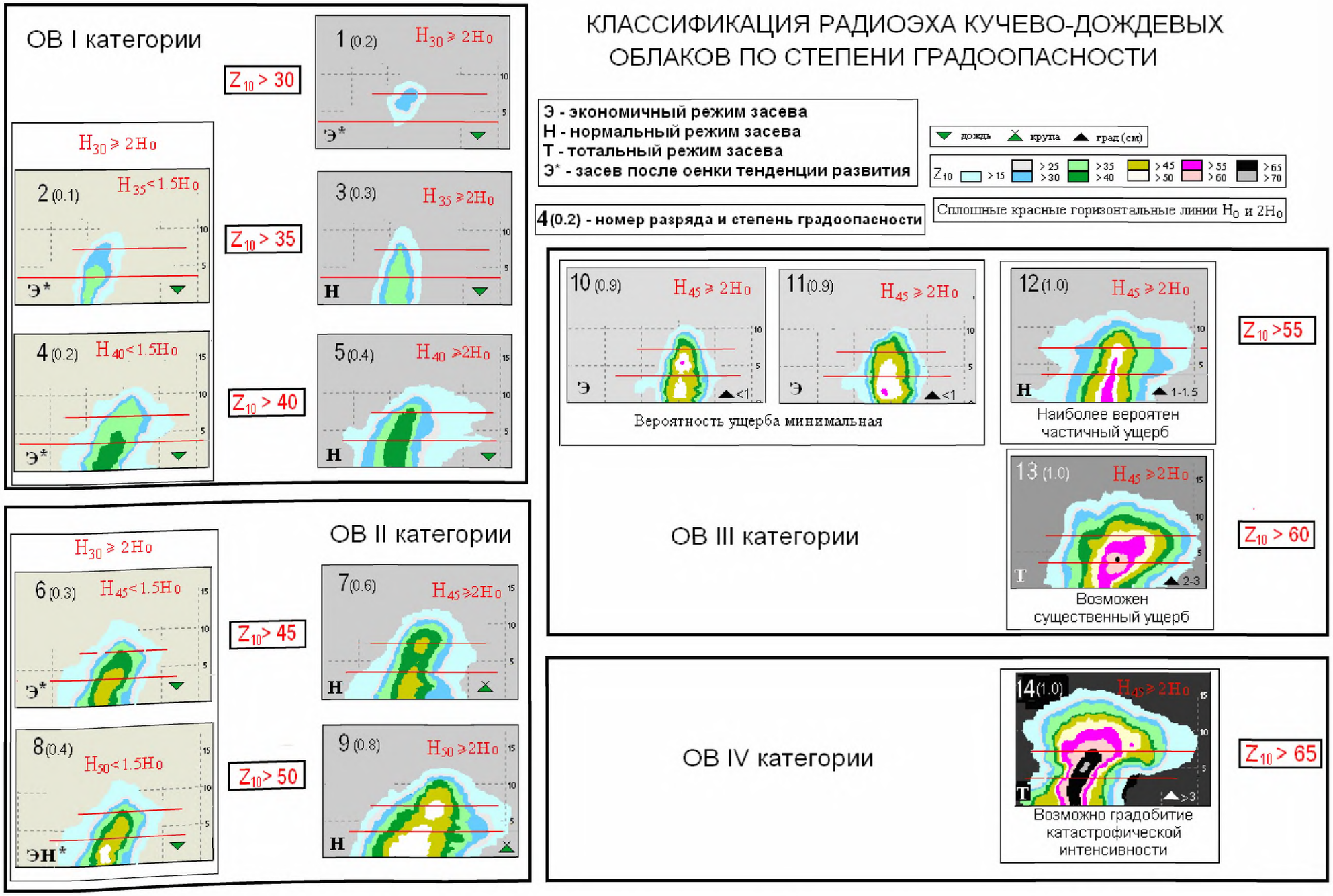


Рисунок Е.1 – Схема классификации радиоэха ОВ различных категорий [28]

б) *в режиме нормального засева* – остальные КЯ, второй колонки, засев которых прекращается, когда верхняя граница изоконтура 30 dBZ опустится ниже 2 H_0), а также ОВ III категории 10, 11 и 12 разрядов, засев которых прекращается, когда исчезнет изоконтур 55 dBZ или его верхняя граница опустится ниже H_0;

в) *в режиме тотального засева* – ОВ III категории 13 разряда и ОВ IV категории.

Е.5 Границы площадок засева выделяются в зависимости от категории ОВ в соответствии с рисунками 1, 2 и 3. Засев прекращается, когда верхняя граница изоконтура 55 dBZ будет ниже H_0 или изоконтур 55 dBZ исчезнет.

Е.6 Заявка на получение разрешения органов авиации на запуск ПГИ подается при обнаружении на ЗТ и вблизи ее изоконтура 30 dBZ на уровне 2 H_0 в двух последовательных циклах обзора, а сообщение об отказе от разрешения посылается при исчезновении упомянутого изоконтура.

Е.7 В целях исключения ошибок в калибровке МРЛ следует проверить калибровку МРЛ по осадкам. Оперативный контроль и корректировку потенциала МРЛ рекомендуется осуществлять в следующем порядке:

а) понизить константу МРЛ до тех пор, пока не исчезнет изоконтур 55 dBZ на ливневой дождь с крупой, надежно подтверждаемый наземными данными;

б) повысить константу МРЛ до тех пор, пока появится изоконтур 55 dBZ в случае выпадения града размером более 1 см;

в) учитывая, что при $H_{45} < 1{,}5\ H_0$ в структуре радиоэха развивающейся КЯ изоконтура 55 dBZ не должно быть, следует понизить константу МРЛ до тех пор, пока не исчезнет изоконтур 55 dBZ.

Е.8 Контроль и корректировку потенциала МРЛ по осадкам целесообразно проводить по данным наблюдений на равнинной местности, чтобы исключить возможность влияния радиоэха местных предметов.

Приложение Ж
(рекомендуемое)

Формы и пример заполнения отчета по АВ

Форма 1

УТВЕРЖДАЮ
Командир Чамлыкского ВО
_____ И.И. Иванов
« 17 » июня 2010 г.

Отчет № 05 по АВ,
проведенному Чамлыкским отрядом Краснодарской ВС
« 16 » июня 2010 г.

Сведения об АВ:

Время проведения АВ, ч:мин-ч:мин	Тип ГП	Число засеянных ОВ, шт.					Расход ПГИ, шт.		
		I	II	III	IV	Всего	Алазань	Ас	Всего
17:06 - 19:00	неупорядоченный многоячейковый	0	2	3	1	6	152	-	152

Сведения о выпадении града:
Место выпадения града: На ПТ: западнее г. Невинномысск, а также на ЗТ
Максимальный размер града, см: до 1,5 см
Слой града: от 2 до 4 см, быстро растаял
Время выпадения града, ч: мин: $17^{06} – 18^{10}$, $18^{18} – 18^{50}$
Сопутствующие явления погоды: гроза, сильный ливень, шквалистый ветер

Сведения о градобитиях:

Место градобития	Площадь повреждений $S_г$, га			
	всего	на 100 %	частично	приведенная к 100 %
На ЗТ	215,2	127,4	87,8	198,9
На КТ	340	247	93	290
На ПТ	510	380	130	425

Заключение об успешности АВ:
Успешно на ОВ №: 1 - 3 и 6
Не полностью успешно на ОВ №: 4
Неуспешно на ОВ №: 5

Причины неуспешного АВ:
Наличие запретных секторов и не простреливаемых участков на ЗТ.
Не хватило ПГИ на ПВ № 7
Руководитель воздействия _____
подпись, инициалы и фамилия

Форма 2

Таблица стрельб

при АВ № 00 от « » _____ 201_ г.

Номер команды	Время, ч:мин:с	Номер ОВ	Номер ПВ	Тип ПГИ	Координаты, град.		Кол-во ПГИ, шт.	Примечание*
					Азимут	Угол		
1	14:03:38	1	26	Алазань-6	25	55	3	
2	14:03:38	2	26	Алазань-6	55	55	3	
3	14:03:38	2	26	Алазань-6	85	55	3	
4	14:23:57	5	7	Алазань-6	255	55	3	
5	14:23:57	5	7	Алазань-6	210	55	3	
6	14:23:57	5	7	Алазань-6	240	55	3	
7	14:33:57	6	7	Алазань-6	40	55	3	
8	14:34:08	6	7	Алазань-6	70	55	3	
9	14:34:08	6	9	Алазань-6	35	50	3	
10	14:38:20	5	10	Ас	15 - 75	65	6	
11	14:42:10	5	10	Ас	50 - 80	65	4	

*В примечании указывают данные об отмене команды, ее неисполнении и аномальном функционировании ПГИ.

Дежурный радиооператор
по взаимодействию с ПВ _____
подпись, инициалы и фамилия

Форма 3

Таблица взаимодействия с органами авиации

при АВ № 00 « » _____ 201_ г.

Время ч:мин	Сведения о разрешении (запрете) по секторам взаимодействия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14:00	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
14:30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15:50	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
16:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания

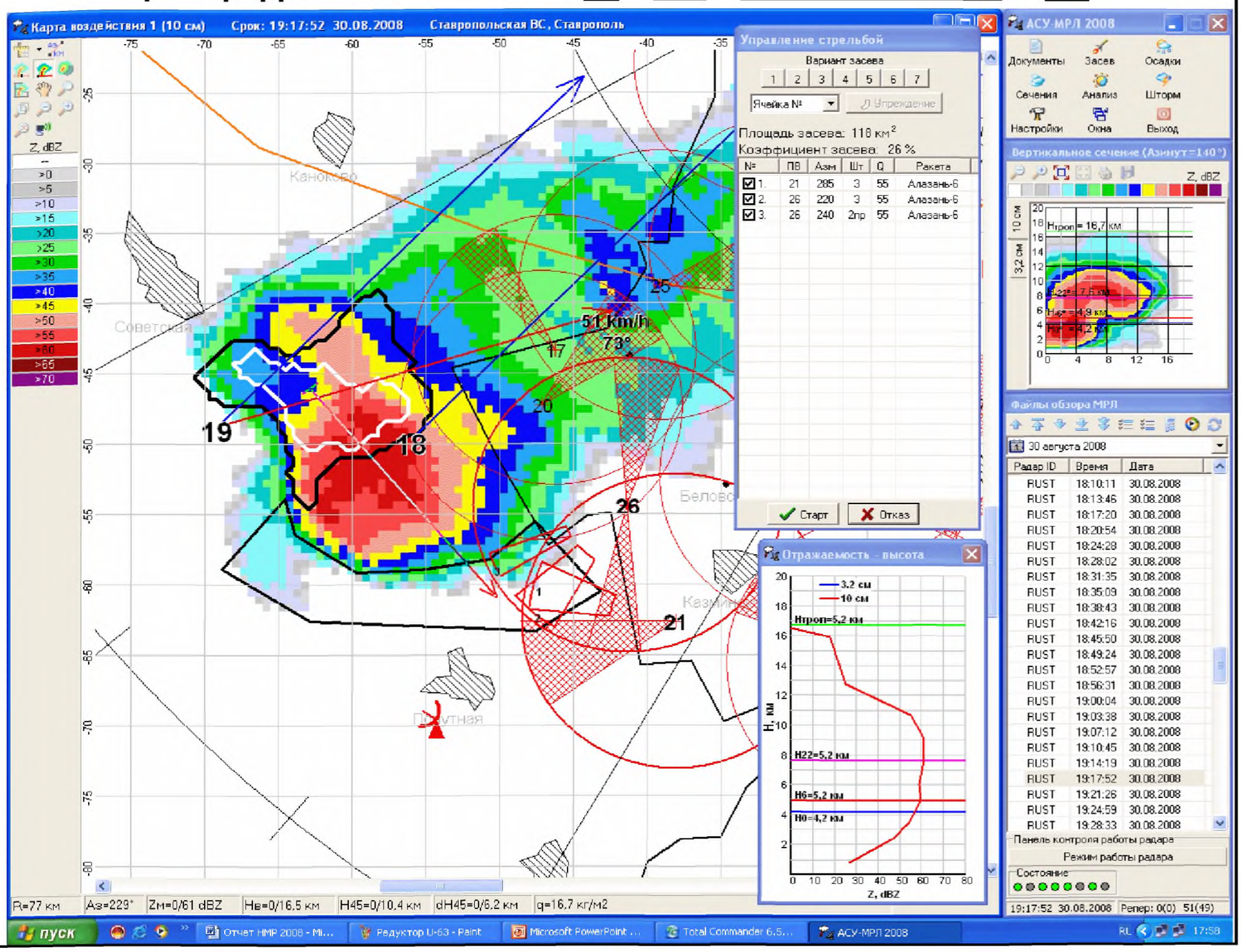
1 Знак + означает, что запуск ПГИ в данном секторе разрешен.

2 Знак – означает, что запуск ПГИ в данном секторе запрещен.

Дежурный радиооператор
по взаимодействию с органами авиации _____
подпись, инициалы и фамилия

Форма 4

Пример фрагмента засева № 00 « ___ » _____ 20___ г.

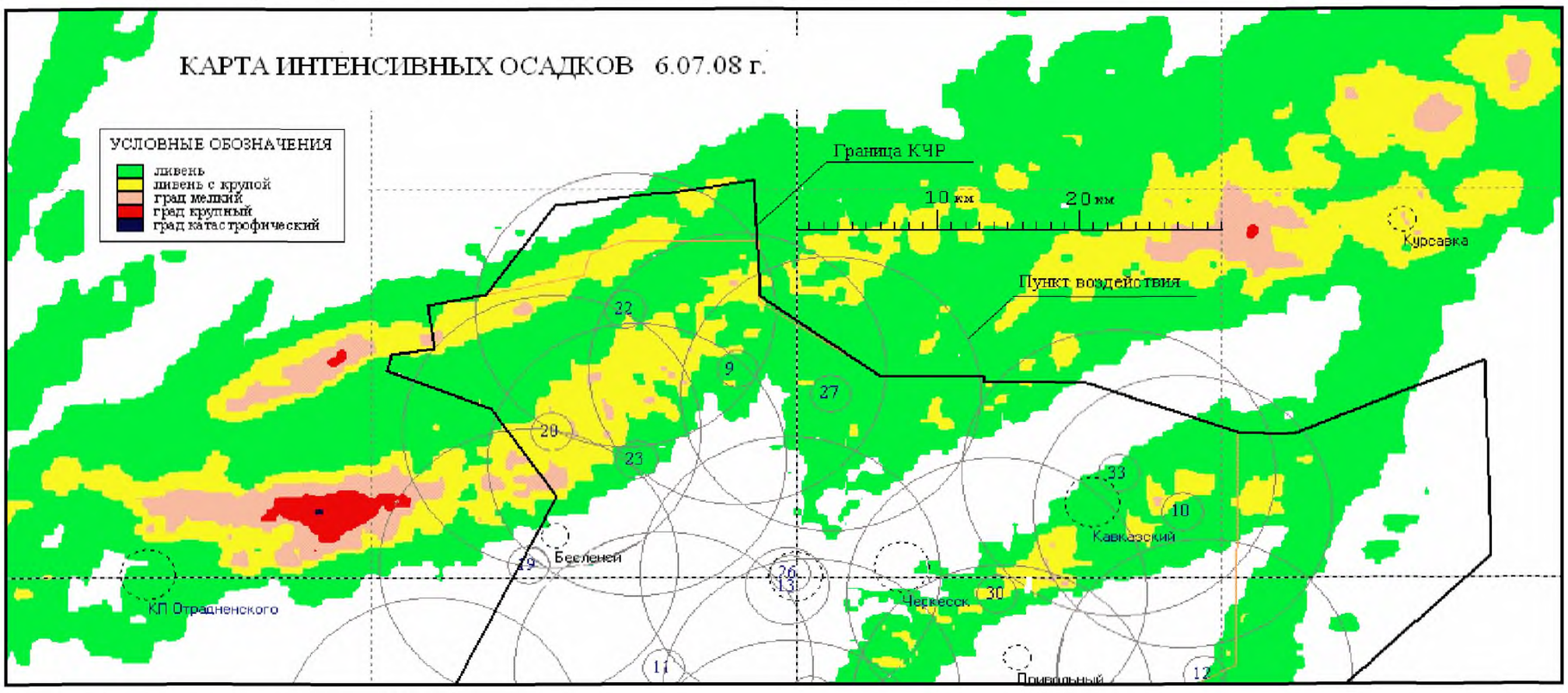


Руководитель АВ _____

подпись, инициалы и фамилия

Форма 5

Пример карты интенсивных осадков « __ » _____ 20___ г.

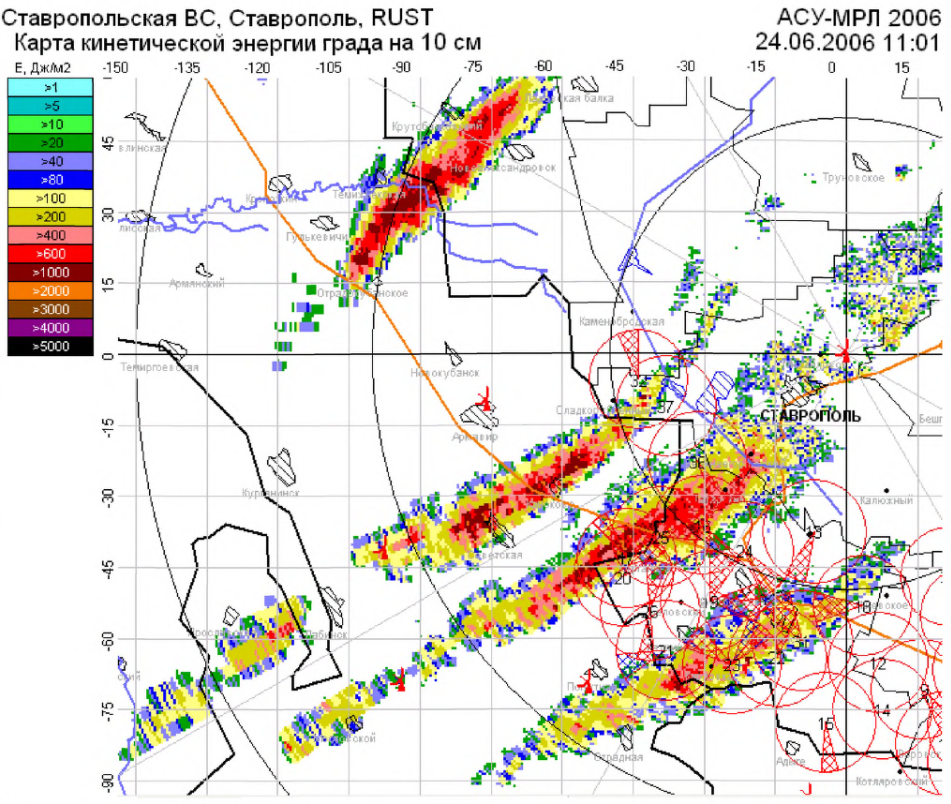


Руководитель АВ _____

подпись, инициалы и фамилия

Форма 6

Пример карты кинетической энергии градовых осадков « __ » _____ 20___ г.



Руководитель воздействия _____
подпись инициалы и фамилия

Форма 7

Пример прогноза на « » _____ 20___ г.

Погода района проведения ПГЗ «__» _____ 20___ г. обусловлена прохождением холодного фронта с запада во второй половине дня и затоком холода на высотах. По данным радиозондирования и синоптических карт высота изотермы 0°С равна 3,3 км, высота изотермы минус 6°С равна 4,2 км, высота тропопаузы равна 11,4 км, прогностическое направление ведущего потока равно 230 градусов, а его скорость равна 55 км/ч. Максимальная скорость восходящих потоков W_m равна 16 м/с на уровне температуры t_{Wm} равной минус 13 °С. Ожидается развитие конвективной облачности, грозы, ливни, во второй половине дня град.

Библиография

[1] Положение о лицензировании выполнения работ по активному воздействию на гидрометеорологические процессы и явления. Утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 13.08.2006 г. № 497.

[2] Положение о приобретении, хранении и использовании средств АВ специализированными организациями активного воздействия на метеорологические и другие геофизические процессы. Постановление Правительства РФ от 15 мая 1999 г. № 807.

[3] Инструкция по организации и проведению противоградовых стрельб на территории Российской Федерации. Утверждена приказом Министра обороны РФ, Министра транспорта РФ, Руководителем Росгидромета от 15.05.2001 № 220/89/51.

[4] Инструкция о порядке учета, хранения и передачи средств активного воздействия одной специализированной организацией другой специализированной организации. Приказ Росгидромета от 7.12.1999 г. № 141.

[5] Распоряжение Правительства РФ местным органам МВД на право контроля хранения и применения ракетно-артиллерийских комплексов специализированными службами Росгидромета от 18.12.1992 г. № 2392 р.

[6] Инструкция по заполнению бланка формы № 1 «Тактико-технические данные РЭС» (третья редакция). Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ). Москва, 2003. – 53 с.

[7] Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Беленцова В.А., Мальбахова Н.М. Опасные конвективные явления и их прогноз в условиях сложного рельефа. – М.: Гидрометеоиздат, 1991. – 425 с.

[8] Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Ваксенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 230 с.

[9] Абшаев М.Т. Структура и динамика развития градовых процессов // Тр. ВГИ. – 1982. – Вып.53. – С. 6-22.

[10] Абшаев М.Т. Автоматизированная ракетная технология подавления града и результаты ее применения в различных регионах мира // Труды Междун. конф. по АВ на гидрометеорологические процессы. – Чебоксары, 2000. – С. 23 – 32.

[11] Foote B., Browning K.A., K.A. Borland, S.A. Chengnon et al, 1977: Hail. A review of Hail Science and Hail Suppression. Meteor. Monog. No 38, Edited by G.B. Foote and C.A. Knight. Amer. Met. Soc. Boston, Mass. – P. 277.

[12] Krauss, T.W. and M. English, 1984: Hailstorm Seeding Experiment in Alberta. 9th Intern. Cloud Physics Conf., Tallinn, USSR, V. III. – P. 707-711.

[13] Абшаев М.Т. Новый метод воздействия на градовые процессы // Труды Всес. конф. по АВ на гидрометеорологические процессы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – С. 118 - 126.

[14] Heymsfield, A.J., 1984: Processes of hydrometeor development in Oklahoma Convective Clouds // J. Atm. Sci. – V.41, N19. – P. 2811-2835.

[15] Knight., C.A., and P. Squires, (editors), 1982: Hailstorms of the Central High Plains. Vol. I: The National Hail Research Experiment. Colorado Assoc. Univ. Press, Boulder, CO. – 282 pp.

[16] Abshaev M.T., Abshaev A.M., Sulakvelidze G.K., Burtsev I.I., Malkarova A.M. ets. Development of rocket and artillery technology for hail suppression. – In the book «Achievements in Weather Modification», UAE, Abu Dhabi, 2006. – P. 109-127.

[17] Абшаев М.Т. Радиолокационное обнаружение града // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1982. – Том 18, № 5. – С. 483 - 494.

[18] Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 412 с.

[19] Методика АВ на градовые процессы и результаты опытов в Алазанской долине / А.В. Бухникашвили, И.И. Гайворонский, А.И. Карцивадзе, Б.И. Кизирия, А.М. Окуджава, А.А. Орджоникидзе, Ю.А. Серегин // Труды Всес. совещ. по АВ на градовые процессы. – Тбилиси, 1964. – С. 76 - 87.

[20] Бартишвили И.Г., Бартишвили Г.С., Гудушаури Ш.Л., Ломинадзе В.П. К вопросу одновременного (комбинированного) воздействия на теплую и переохлажденную часть облака с целью предотвращения града // Труды ЗакНИГМИ. – 1967. – Вып. 2. – С. 7 - 22.

[21] Вульфсон Н.И., Левин Л.М. Разрушение развивающихся кучевых облаков с помощью взрывов // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. – 1972. – Т. 8, N 2. – С.156-166.

[22] Report of the Meeting of experts to review the present status of hail suppression. WMO. Weather Modification Program. Hail Suppression Research. Nalchik, Russia, 27 Sept. - 2 October 2003. - P. 140.

[23] Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Оценка эффективности предотвращения града. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2006. – 279 с.

[24] Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Садыхов Я.А. О распространении искусственного аэрозоля в мощных конвективных облаках // Метеорология и гидрология. – 2003. - № 9. – С. 28-36.

[25] Жекамухов М.К., Абшаев А.М. Численное моделирование трансформации микрофизических параметров мощных конвективных облаков при АВ на градовые процессы // Тр. Молдавской противоградовой службы. - Кишинев, 2004. – Вып. 6. – С. 59-83.

[26] Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 512 с.

[27] Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Мизиева Ж.Ю. Радиолокационные исследования водосодержания кучево-дождевых облаков // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2009. - Том 45, № 6. – С. 731 - 736.

[28] Чочаев Х.Х. Радиолокационные характеристики конвективных облаков: проблемы измерений и анализа. – Нальчик.: Полиграфсервис и Т, 2009. – 77 с.

Лист регистрации изменений

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