

**В.П. Горбатенко, В.И. Слуцкий, Л.Н. Бычкова**



**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
РАДИОЛОКАТОР МРЛ-5:  
ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ.  
ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ  
ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**В.П. Горбатенко, В.И. Слуцкий,  
Л.Н. Бычкова**

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
РАДИОЛОКАТОР МРЛ-5:  
ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ.  
ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ  
ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ**

***Учебное пособие***

**Томск  
2007**

**УДК 551.501.8(075.8)**  
**ББК 26.23**  
**Г 67**

**Горбатенко В.П., Слуцкий В.И., Бычкова Л.Н.**  
**Г 67 Метеорологический радиолокатор МРЛ-5: производство наблюдений. Диагноз и прогноз опасных явлений погоды: Учебное пособие. – Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. – 120 с.**

**ISBN 5-91302-025-X**

В учебном пособии детально описаны методика и техника производства радиолокационных измерений применительно к метеорологическому радиолокатору МРЛ-5. Особое внимание уделено технологии взаимодействия радиометеоролога и дежурного синоптика по вопросам прогноза опасных атмосферных явлений.

Для студентов вузов и техникумов метеорологического профиля, может быть полезно начинающим техникам-радиометеорологам.

**УДК 551.501.8(075.8)**  
**ББК 26.23**

**Рецензенты:**

**д-р физ.-мат. наук, зав. каф. метеорологии и климатологии ТГУ**  
**проф. Г.О. Задзе; канд. геогр. наук, науч. сотр. отдела радиометеорологии**  
**ГУ «Центральная аэрологическая обсерватория» Н.И. Серебрянник**

*Издание осуществлено при финансовой поддержке РФФИ,  
проект 07-05-00668а.*

**ISBN 5-91302-025-X**

**© В.П. Горбатенко, В.И. Слуцкий, Л.Н. Бычкова, 2007**

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

### **Сокращения**

- АКСОПРИ** – автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации
- АМРК** – автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс
- АМСГ** – авиационная метеорологическая станция, гражданская
- БЗ** – ближняя зона (пространство в радиусе 40 км от МРЛ)
- БК** – большой квадрат размером 60×60 км (объединение четырех малых)
- БОМО** – блок обработки многоконтурного отображения
- ВПП** – взлетно-посадочная полоса
- ВСВ** – всемирное скоординированное время
- ГТО** – Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
- ГМС** – гидрометеорологическая станция
- ГСТ** – глобальная система телесвязи
- ДЗ** – дальняя зона (пространство в радиусе от 40 до 300 км от МРЛ)
- ДМРЛ** – доплеровский метеорологический радиолокатор
- ИДВ** – индикатор «дальность – высота»
- ИКО** – индикатор кругового обзора
- МАРС** – многофункциональная автоматизированная радиолокационная сеть
- МВД** – метеорологическая дальность видимости
- МЕКОМ** – транспортная корпоративная компьютерная сеть для циркулярного распространения метеоинформации
- МК** – малый квадрат (30×30 км)
- МРЛ** – метеорологический радиолокатор
- НГМС** – национальная гидрометслужба
- ОЯ** – опасное явление (гроза, град, смерч, шквал, сильный ливень и др.)
- ПВК** – программно-вычислительный комплекс
- ПУИ** – панель управления индикатором
- ПУМ** – панель управления МРЛ (синоним – пульт управления МРЛ)
- ПУП** – панель управления приводом
- ПУП-П** – панель управления приемопередатчиком
- РКО** – радиозоо конвективной облачности
- РКСО** – радиозоо конвективной и слоистой облачности
- РОСГИДРОМЕТ** – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России

PCO – радиозоха слоистой облачности  
УВД – управление воздушным движением  
УГКС – Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ  
ЦАО – Центральная аэрологическая обсерватория РФ  
ЭЛТ – электронно-лучевая трубка  
ЭМП – электромагнитное поле  
RADOB – radar observation (радиолокационные наблюдения), название кода  
NEXRAD – Next-Generation Radar (радары следующего поколения), название сети  
доплеровских радиолокаторов в США  
NCDC – Национальный климатический центр данных США

## Условные обозначения

$\varepsilon$  – угол возвышения (вертикальный угол, угол места)  
 $\varepsilon_{\text{опт}}$  – оптимальный угол возвышения, при котором суммарная площадь облачно-  
сти максимальна  
 $\theta$  – ширина угла диаграммы направленности  
 $\tau$  – длительность зондирующего импульса  
 $c$  – скорость распространения радиоволн ( $c = 300\,000$  км/с)  
 $D$  – наклонная дальность  
 $S$  – горизонтальное удаление  
 $H_0$  – высота верхней границы облаков  
 $H_{22}$  – высота изотермы  $-22^\circ\text{C}$   
 $H_0$  – высота нулевой изотермы  
 $Z$  – радиолокационная отражаемость,  $\text{мм}^6/\text{мм}^3$ , дБ (если измеряется относительно  
 $Z_0 = 1 \text{ мм}^6/\text{мм}^3$ )  
 $\lg Z$  – радиолокационная отражаемость (логарифмическая шкала)  
 $\lg Z_{\text{хар}}$  – характерная радиолокационная отражаемость (логарифмическая шкала)  
 $\eta$  – эффективная площадь рассеяния,  $\text{см}^2$ ,  $\text{м}^2$   
 $I$  – интенсивность осадков  
 $\lambda$  – длина волны  
 $m$  – коэффициент преломления радиоволн  
 $d_i$  – диаметр  $i$ -й частицы облака  
 $N$  – концентрация облачных частиц  
 $t_\theta$  – фактическое значение температуры воздуха по данным АМСГ  
 $\tau$  – критерий грозоопасности  
 $P_0$  – стандартная мощность, с которой сравнивают мощность принятого сигнала  
 $P_1$  – мощность принятого сигнала

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В системе метеорологической службы радиолокация является основным средством получения информации об облачности и осадках в трехмерном пространстве. Радиолокаторы используются для штормового оповещения в сложных погодных условиях главным образом авиации, органов МЧС и подразделений гражданской защиты.

Совместное решение администрации Томского авиапредприятия и Западно-Сибирского Управления гидрометеорологической службы о необходимости установки радиолокатора в аэропорту г. Томска было вызвано требованиями гражданской авиации к качеству и заблаговременности прогнозов. В результате этого в декабре 1980 г. на авиаметеорологической станции «Томск» был установлен метеорологический радиолокатор МРЛ-2, проводились ежечасные круглосуточные наблюдения за облачностью. В июне 1992 г. МРЛ-2 был демонтирован и установлен МРЛ-5.

Программа и учебно-производственный план подготовки метеорологов (направление) в Томском государственном университете предусматривают проведение производственной практики по радиометеорологии как завершающего этапа изучения специального курса, входящего в цикл дисциплин по методам исследования атмосферы. База практики – МРЛ-5, включенный в состав измерительной аппаратуры на авиаметеорологической станции «Томск».

Основной руководящий документ «Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5» объемом, предусматривает работу на различных модификациях МРЛ.

Цель учебного пособия – существенно облегчить студенту изучение оперативной работы на МРЛ с акцентом на технику выполнения операций. Для эффективного достижения цели авторы стремились к краткости, аргументированности и наглядности представления необходимой информации. Перед каждым посещением

МРЛ практикант сможет ясно представить ту часть работы, которую ему необходимо усвоить за предстоящую смену.

Учебное пособие не противоречит указаниям нормативных документов Гидрометеослужбы Российской Федерации, в которых инструктивно изложены основные положения, регламентирующие работу инженерно-технического персонала, обслуживающего МРЛ. В некоторых случаях рассмотрены теоретические вопросы в дополнение к тем, которые ранее были изложены в лекциях и на лабораторных занятиях. Авторы используют методику изучения радиометеорологии в Казахском (В.С. Чередниченко) и Пермском (Н.А. Калинин) государственных университетах. Многочисленные рисунки и фотографии достаточно полно иллюстрируют систему управления МРЛ. Четко изложена последовательность действий оператора. Описаны также вспомогательные таблицы и графики, применяемые для обработки наблюдений.

Особое внимание уделено вопросам интерпретации «картинок» радиозаха, диагноза и прогноза опасных атмосферных явлений, связанных с конвективной облачностью (ливневые осадки, гроза, град, шквал), а также атмосферных явлений, формирующих условия плохой видимости (снегопады).

В заключительном разделе изложены перспективы развития метеорологической радиолокации в России.

Одной из поставленных авторами задач является попытка сформировать у студентов ощущение необходимости усовершенствования существующих методов прогноза, которые он сможет реализовать при творческом выполнении курсовых или дипломных работ на основе новых накопленных радиолокационных и метеорологических наблюдений. Такие работы с положительным результатом уже имеются, благодаря творческому взаимодействию коллективов АМСГ «Томск» и кафедры метеорологии и климатологии Томского государственного университета.

Авторы признательны заслуженному метеорологу России, кандидату географических наук ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» Р.А. Ягудину за ценные советы и замечания.

## **1. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ**

### **1.1. Воздействие электромагнитных полей на организм человека**

Электромагнитное поле (ЭМП) оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Опасность воздействия ЭМП усугубляется тем, что они невидимы и их воздействие не обнаруживается органами чувств. Интенсивность облучения зависит от мощности источника ЭМП и от расстояния до рабочего места.

Биологический эффект облучения ЭМП зависит от интенсивности излучения, продолжительности облучения, длины волны, характера излучения (непрерывное, импульсное). Механизм биологического действия полей радиочастот связывается с их тепловым и нетепловым (специфическим) эффектом. Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, а также локальным избирательным нагревом тканей (органов) вследствие перехода электромагнитной энергии в тепловую за счет диэлектрических потерь в них. Диэлектрические потери в тканях увеличиваются с возрастанием частоты колебаний. Тепловой эффект пропорционален интенсивности облучения.

Биологическая активность ЭМП СВЧ зависит от длины волны. Наибольшее воздействие оказывают дециметровые волны, наименьшее – миллиметровые. Волны миллиметрового диапазона поглощаются поверхностными слоями кожи, сантиметрового – кожей и подкожной клетчаткой, дециметровые – внутренними органами.

ЭМП могут вызвать острые и хронические поражения. Поражения сказываются в нарушениях нервной системы, сердечно-сосудистой системы, системы кроветворения, других органов. В результате длительного воздействия ЭМП развивается хроническое заболевание, обусловленное изменениями нервной системы. Субъективные ощущения, возникающие при этом, – быстрая утом-



ляемость, головные боли, изменения частоты пульса. Наблюдаются трофические явления – выпадение волос, ломкость ногтей и др. Имеют место изменения со стороны костного мозга. Облучение может вызвать катаракту (помутнение хрусталика глаза).

*Нормирование интенсивности облучения ЭМП.* Документом, регламентирующим допустимые уровни электромагнитного облучения, является ГОСТ 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Предельно допустимая напряженность ЭМП на рабочих местах персонала, связанного профессионально с воздействием ЭМП, не должна превышать в течение рабочего дня нормируемых значений по электрической и магнитной составляющим.

*Средства защиты от воздействия ЭМП.* Для защиты персонала необходимо использовать следующие способы и средства:

- 1) уменьшение напряженности и ППЭ ЭМП посредством использования согласованных нагрузок и поглотителей мощности;
- 2) экранирование рабочего места;
- 3) удаление рабочего места от источника ЭМП;
- 4) рациональное размещение в рабочем помещении оборудования, излучающего ЭМП;
- 5) установление рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала;
- 6) применение средств предупреждающей сигнализации (световая, звуковая и т.д.);
- 7) применение средств индивидуальной защиты.

## **1.2. Общие требования по технике безопасности**

К работам по эксплуатационно-техническому обслуживанию СВЧ аппаратуры МРЛ допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование.

Каждый работник должен изучить требования пожаро- и взрывобезопасности, соблюдать их и уметь применять имеющиеся в аппаратных средства первичного пожаротушения.

Каждый работник должен знать порядок уведомления администрации предприятия о случаях травмирования работников, об авариях и неисправностях оборудования, приспособлений и тому подобных чрезвычайных происшествий и ситуаций, для чего на рабочих местах должны быть списки телефонов ответственных лиц руководящего состава предприятия, скорой помощи, пожарной охраны и милиции.

За нарушение требований инструкции по охране труда работники предприятий привлекаются к дисциплинарной, административной, а в отдельных случаях к материальной и уголовной ответственности в порядке, установленном действующим законодательством.

### **1.3. Требования безопасности во время работы**

Лицо из оперативного персонала во время своего дежурства является ответственным за правильное обслуживание и безаварийную работу всего оборудования на порученном ему участке.

Лица, не имеющие отношения к обслуживанию оборудования РРС и не выполняющие работы по нарядам или распоряжениям, могут допускаться в технические помещения станции в сопровождении и под надзором работника из числа дежурной смены.

После окончания работы на метеорологическом радиолокаторе (МРЛ) угол места антенны устанавливать не менее  $10^\circ$ .

По окончании работы привести рабочее место в порядок, проверить наличие оперативной документации и инструкций.

### **1.4. Требования безопасности в аварийных ситуациях**

1. При возникновении неисправностей оборудования, инструмента, травмировании работник обязан, в зависимости от конкретного случая, прекратить производимые работы, принять меры к устранению неисправностей, поставить в известность руководителя, вызвать аварийно-спасательную службу.

2. При несчастном случае с товарищем по работе работник должен уметь оказать ему первую (доврачебную) помощь, вызвать при необходимости врача.

3. О травме сообщить руководству, обратиться к врачу.

### **1.5. Дополнительные требования безопасности во время прохождения производственной практики**

1. Соблюдать осторожность при выходе из пригородного автобуса. Соблюдать правила дорожного движения, например при передвижении по трассе следует идти навстречу движущемуся автотранспорту по обочине дороги.

2. Во избежание прицепа клеща по территории МРЛ передвигаться строго по дорожкам. Периодически производить осмотр одежды и открытых частей тела. При обнаружении клеща не пытаться его брать руками и давить. Необходимо осторожно поместить его в емкость и сдать в лабораторию.

3. При подъеме по железной лестнице на второй этаж здания МРЛ быть предельно осторожным. Рекомендуется надевать обувь на сплошной подошве.

4. В рабочем помещении соблюдать порядок и дисциплину. Выполнять требования дежурного радиотехника.

5. Не производить включения приемопередающего устройства МРЛ и другой аппаратуры без разрешения и присмотра дежурного радиотехника.

6. Недопустим подъем на крышу здания во время работы передатчика.

7. Для выполнения инструкции по противопожарной безопасности запрещается курить во всех помещениях здания и оставлять без присмотра включенную бытовую технику.

В случае возникновения пожара: сообщить в дежурную охрану по тел. 13-01, 13-80, а также дежурному синоптику, руководителю группы, начальнику АМСГ; немедленно отключить питающее напряжение 380 В (на щите МРЛ-5); обесточить здание (выключить рубильник на распределительном щите в коридоре); принять меры по эвакуации людей, тушению пожара (только сухими углекислотными огнетушителями) и сохранности материальных ценностей.

## **2. ОЦЕНКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МРЛ-5**

### **2.1. Принцип действия радиолокатора**

Метеорологический радиолокатор (в англоязычной литературе используется термин *gadar*, от *Radio Detection*) предназначен для обнаружения облачных полей и зон осадков, гроз и градовых очагов в облаках. Метеорологический радиолокатор МРЛ-5 относится к классу импульсных радиолокаторов специального назначения с совмещенной приемопередающей антенной. МРЛ-5 – сложнейшее радиоэлектронное устройство, которое позволяет обнаружить облака и осадки, измерить мощность отраженного сигнала от заданного объема. Принятые радиозхосигналы преобразуются в видеосигналы, они отображаются на световом индикаторе – на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), которая обладает свойством послесвечения. В результате на экране формируется «картинка», которая в зависимости от поставленной задачи дает представление о расположении объектов, их размерах в горизонтальной или вертикальной плоскости. Степень яркости «картинки» на экране в целом или отдельных ее частях обусловлена величиной мощности принятого эхосигнала. Визуально яркость «пятна» тем больше, чем мощнее эхосигнал.

Принцип действия импульсного некогерентного радиолокатора заключается в том, что электромагнитная энергия сверхвысокочастотного диапазона радиоволн излучается в виде кратковременных импульсов ( $\tau = 1-2$  мкс) большой, свыше 100 КВт, мощности. Излучение импульсов происходит узконаправленной параболической антенной, которая фокусирует электромагнитное излучение в весьма узкий радиолуч с шириной диаграммы направленности, как правило, не более  $0,5^\circ$ . Когда импульс встречает на своем пути цель, часть его энергии рассеивается по направлению к приемнику, который располагается рядом с передатчиком и работает вместе с ним

на одну антенну. Принятый сигнал, или радиосхо, очень слаб по сравнению с посылаемым импульсом, поскольку волна ослабляется пропорционально квадрату пройденного расстояния, и цель отражает только маленькую долю приходящей волны.

После значительного его усиления, сначала антенной, а затем приемником, и после детектирования он поступает на устройство визуального отображения информации, на ЭЛТ. Временная развертка ЭЛТ запускается синхронно с импульсом передатчика, в промежутке между импульсами передатчика работает приемник.

Отраженный от цели сигнал появляется на некотором расстоянии от начала развертки и представляет собой промежуток времени, необходимый для прохождения лучом двойного пути между приемопередающим устройством и отражающей его целью. Если известны угол места и азимут луча, излучаемого антенной, то можно определить положение цели в трехмерном пространстве.

Основными объектами, формирующими радиосхо в атмосфере, являются водяные и ледяные частицы, из которых состоят облака и осадки.

В отличие от сплошных (самолеты, например), метеорологические объекты (облака, дождь, снег) по характеру отражения относятся к объемным (или объемно-распределенным), т.е. отраженный сигнал формируется большой совокупностью капель или снежинок.

Этот объем (рис. 1) ограничен шириной угла диаграммы направленности  $\theta$  и имеет пространственную протяженность  $c\tau/2$ , где  $\tau$  – длительность зондирующего импульса;  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн. Антенная система МРЛ-5 формирует узкую диаграмму направленности, однако отражающий объем пространства обычно очень велик и растет пропорционально квадрату расстояния  $R^2$ . Например, если  $R = 40$  км,  $\theta = 0,5$ ,  $\tau = 1$  мкс, то отражающий объем облака равен  $1,43 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup>, а эхосигнал будет создаваться  $10^{10}$  частицами (при средней концентрации – несколько сотен частиц в 1 м<sup>3</sup>).

Величина радиолокационной отражаемости облаков и осадков – основной источник информации о пространственном распределении полей облачности и зон выпадения осадков, а также их физических

характеристик. В результате теоретических и экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости мощности принятого сигнала от радиолокационной отражаемости.

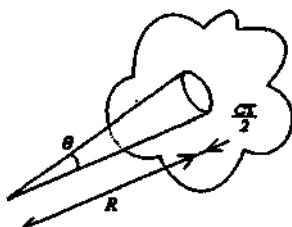


Рис. 1. Формирование радиосэха облачными частицами

В радиолокационной метеорологии общепринято фундаментальное понятие – радиолокационная отражаемость  $Z$  (способность метеорологической цели отразить радиоволну), которая измеряется в  $\text{мм}^6/\text{м}^3$ :

$$Z = \sum_{i=1}^n d_i^6 \left| \frac{(m_i^2 - 1)}{(m_i^2 + 2)} \right|^2,$$

где  $m$  – коэффициент преломления радиоволн;  $d_i$  – диаметр  $i$ -й частицы;  $n$  – концентрация облачных частиц.

Формула (1) справедлива при  $\lambda \gg d$ .

Для сферической частицы величина  $|(m^2 - 1)/(m^2 + 2)|$  равна 0,93, если частица из воды, и 0,19, если частица ледяная, т.е. при одинаковых размерах водные облака или жидкие осадки отражают в 4,9 раза эффективнее, чем облака с ледяной фазой или твердыми осадками. В реальных условиях расчет значительно сложнее, так как гидрометры могут существенно отличаться от сферы и значительно сложнее по структуре (замерзающая капля, тающая градинка и др.).

Величина  $Z$  является чисто метеорологической характеристикой, не зависящей от параметров МРЛ, в свою очередь, эффективная площадь рассеяния объема гидрометров  $\eta$  ( $\text{см}^2$ ,  $\text{м}^2$ ) рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{\pi^2}{\lambda^4} Z,$$

где  $\lambda$  – длина радиоволны.

Для облаков характерный диапазон значений  $Z$  может изменяться на 12 порядков, величина  $Z$  варьирует в интервале от  $10^5$  до  $10^7$  мм<sup>6</sup>/м<sup>3</sup>, поэтому на практике вместо  $Z$  применяется  $\lg Z$ , часто используется и другая единица – децибелл:

$$Z = 10(\lg Z / \lg Z_0),$$

где  $Z_0 = 1$  мм<sup>6</sup>/м<sup>3</sup>.

Далее радиолокационная отражаемость обозначается  $\lg Z$  или  $Z$  (дБ).

Подчеркнем, что сильная зависимость величины отраженного сигнала от размера частиц ( $d^6$ ) приводит к тому, что при радиолокационном наблюдении за облаками и осадками выделяются наиболее крупнокапельные области, поэтому радиолокационные изображения далеко не всегда совпадают с визуальными контурами объекта.

Зондирующий луч с помощью подвижной антенны может «просматривать» всю полусферу воздушного пространства, в центре которой – радиолокатор. Следовательно, с помощью МРЛ теоретически, в зависимости от технических параметров (мощность передатчика, чувствительность приемника, разрешающая способность и др.), можно получить информацию со всей полусферы.

Однако измерение, обработка и передача такого колоссального объема практически невозможны. Поэтому разработана методика, которая позволяет получить ограниченную дискретную, но достаточно надежную информацию «Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5» при существенном сокращении всего процесса одного сеанса наблюдений.

## **2.2. Этапы процесса радиолокационного зондирования атмосферы**

В соответствии с методикой наблюдений и обработки и с указаниями «Руководства по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5» радиолокационное зондирование делится на 3 этапа:

1. Наблюдения и первичная обработка в дальней зоне.
2. Наблюдения и первичная обработка в ближней зоне.
3. Диагноз и прогноз опасных атмосферных явлений.

Рассмотрим каждый из них более подробно.

### ***Этап 1. Наблюдения и первичная обработка в дальней зоне***

На этом этапе решаются две задачи:

1. Оценка геометрии облаков и зон осадков, т.е. определение контуров полей облачности и осадков над контролируемой территорией, а также определение высот верхней и нижней границ облаков. Основным критерий наличия осадков – радиозоха, достигшее поверхности Земли.

2. Распределение радиолокационной отражаемости в трехмерном пространстве атмосферы на территории, занятой облачностью в дискретных точках.

Привязка к местности осуществляется с помощью стандартной координатной сетки со стороной 30 км (в дальнейшем – малый квадрат). Ячейка 30×30 км – минимальный масштаб осреднения результатов измерений в горизонтальной плоскости.

Для решения первой задачи на МРЛ устанавливается режим вращения антенны вокруг вертикальной оси при заданном угле возвышения ( $\varepsilon$ ), изображение индицируется на индикаторе в координатах «Наклонная дальность – Азимут».

При анализе это изображение трактуется как горизонтальный разрез облачности на различных высотах, однако работа в таком режиме только при  $\varepsilon = 0$  «картинка» дает изображение в горизон-



тальной плоскости. При  $\varepsilon > 0$  изображение на экране представляет собой «картинку» на боковой поверхности «перевернутого» конуса, вершина которого совпадает с антенной МРЛ, а боковая поверхность приподнята на угол  $\varepsilon$ .

В табл. 1 приведены значения разностей между наклонной дальностью  $D$  и горизонтальным удалением  $S$  при разных ситуациях.

Сравнительный анализ данных свидетельствует, что максимальная разность  $(D-S)$  в реальных условиях не превышает 3 км. Следовательно, при определении горизонтальных координат методом осреднения в квадратах  $30 \times 30$  км можно вполне пренебречь погрешностями  $(D-S)$ .

Таблица 1

Разность  $D-S$  значений наклонной дальности и горизонтального  
удаления при разных углах возвышения  $\varepsilon^\circ$  на различных расстояниях  $D$

| $D$ , км                 | 20  | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\varepsilon = 5^\circ$  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $(D-S)$ , км             | 0,1 | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,7  |
| $H$ , км                 | 1,8 | 3,6  | 5,4  | 7,4  | 9,3  | 11,3 | 13,4 | 15,5 | 17,6 |
| $\varepsilon = 10^\circ$ |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $(D-S)$ , км             | 0,3 | 0,6  | 0,9  | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 2,1  | 2,4  | 2,7  |
| $H$ , км                 | 3,5 | 7,0  | 10,6 | 14,3 | 18,0 | 21,7 | 25,5 | —    | —    |
| $\varepsilon = 15^\circ$ |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $(D-S)$ , км             | 0,7 | 1,4  | 2,0  | 2,7  | 3,4  | —    | —    | —    | —    |
| $H$ , км                 | 5,2 | 10,4 | 15,7 | 21,1 | 26,5 | —    | —    | —    | —    |

Определение высот верхней и нижней границ облаков основано на решении задач «радиолокационного треугольника» (рис. 2):

$$H = D \sin(\varepsilon) + \gamma D^2,$$

где  $H$  – высота границы облака, км;  $D$  – наклонная дальность, км;  $\varepsilon$  – угол возвышения (угол места), град;  $\gamma D^2$  – поправка на кривизну Земли и рефракцию радиоволн,  $\gamma = 6 \cdot 10^{-5}$ , км<sup>-2</sup>.

Производные от формулы (4) применяются при расчете углов возвышения, если заданы высота и горизонтальное удаление, например:

$$\varepsilon = \arccos(S/D).$$

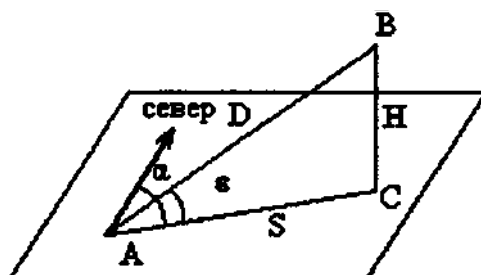


Рис. 2. Радиолокационный треугольник

Наблюдения при малых значениях  $\epsilon$  связаны с проблемой усложнения метеорологической интерпретации. Радиозохо при малых  $\epsilon$  формируется не только облаками и осадками, но и рельефом земли (холмы, горы, сопки), а также искусственными сооружениями, находящимися вблизи МРЛ (мачты, башни, высокие здания), это радиозохо называют «местниками». Они создают углы закрытия, часто намного превышающие нулевые. В связи с этим увеличивается минимальная высота обнаружения облачности, расположенной в азимуте высоких местных предметов.

Радиозохо «местников» имеет яркую постоянную конфигурацию, этим оно отличается от осадков и конвективных ячеек.

При вводе в эксплуатацию МРЛ обязательно определяется закрытость горизонта (рис. 3), строится график закрытости в координатах азимута (по оси  $X$ ) и угла места (по оси  $Y$ ), а также план-схема расположения «местников».

Такая наглядная документация помогает радиометеорологу объективно анализировать информацию, полученную при малых  $\epsilon$ . График закрытости корректируется при изменении расположения «местников».

На близких расстояниях радиозохо искажается также «боковым лепестком» диаграммы направленности (рис. 4). На экране при малых углах возвышения возможно появление «ложного радиозоха», созданного «боковым лепестком».

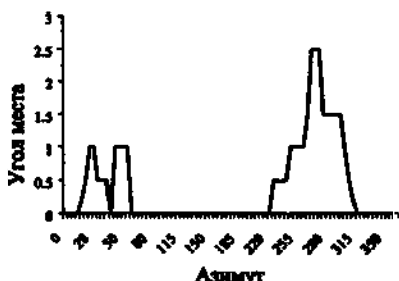


Рис. 3. График закрытости горизонта в районе МРЛ-5, АМСГ «Томск»

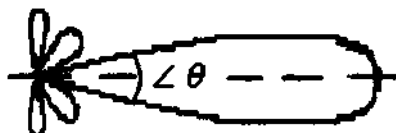


Рис. 4. Диаграмма направленности и боковые лепестки параболической антенны

По этим двум причинам при малых углах возвышения формируется «мертвая зона», в пределах которой радиолокационные измерения могут быть сильно искажены. Измерение границ облаков может быть произведено только за пределами «мертвой зоны», протяженность которой изменяется от 1 до 4 км (а в некоторых случаях до 8 км) в зависимости от места установки станции и рельефа местности (на АМСГ «Томск» – 5 км). В пределах «мертвой зоны» невозможно разделить сигналы, отраженные от облаков и местных предметов.

Предельная дальность обнаружения облачности и осадков ограничивается дальностью прямой радиовидимости, которая зависит от технических параметров МРЛ, в частности от его энергетического потенциала. На рис. 5 показана зависимость ( $\lg Z_{\text{мин}}$ ) от расстояния при заданном потенциале.

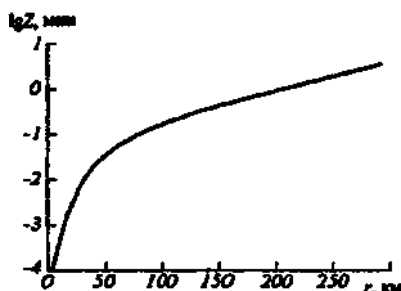


Рис. 5. Минимально обнаруживаемая радиолокационная отражаемость в зависимости от расстояния при заданном потенциале

Сферичность Земли и рефракции радиоволн оказывают влияние на эффект зондирования, нижние слои атмосферы по мере удаления «уходят за горизонт». В принципе, радиолокатор может принимать отраженный сигнал только от облаков, расположенных выше линии радиогоризонта (рис. 6).

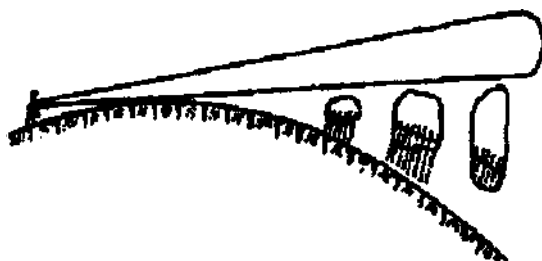


Рис. 6. Диаграмма направленности и радиогоризонт

По паспорту дальность действия МРЛ-5 – 300 км, однако, начиная с расстояния 100 км от радиолокатора, не обеспечивается определение нижней границы облачности, если она ниже 500 м. По этой же причине на расстояниях свыше 100 км нельзя измерить интенсивность осадков.

С помощью МРЛ невозможно определение нижней (а возможно, и верхней) границы облачности, если она ниже  $H_{\text{мин}}$ , указанной в табл. 2. Ниже этих высот «не видно» и зон выпадающих осадков.

Таблица 2

Значения высот, «ухащивающие» за горизонт, в зависимости от расстояния до объекта при угле возвышения  $\varepsilon = 0^\circ$

|                      |    |    |     |     |     |     |      |      |      |
|----------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| $D$ , км             | 20 | 40 | 60  | 80  | 100 | 120 | 140  | 160  | 180  |
| $H_{\text{мин}}$ , м | 24 | 96 | 216 | 384 | 600 | 864 | 1176 | 1536 | 1944 |

С увеличением расстояния от радиолокатора уменьшается и его разрешающая способность по угловым координатам. Под разрешающей способностью по направлению (по угловым координатам) понимается минимальный угол между направлениями на два объекта, находящихся на одинаковой дальности, при котором радиолокатор различает их как отдельные. Разрешающая способность по направлению улучшается при сужении радиолуча. С увеличением расстояния до объекта наблюдения диаграмма направленности антенны становится широкой, точность измерения высоты и площади радиоэха ухудшается (табл. 3).

Таблица 3

Факторы ослабления сигнала и их учет

| Фактор ослабления                                  | Учет                                                                                         |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Расстояние ( $R$ ) от МРЛ до метеобъекта           | Автоматически корректируется при измерениях. Величина мощности обратно пропорциональна $R^2$ |
| Осадки на защитном куполе антенны                  | Приблизительно, при обработке по критерию «сухой» или «мокрой» расчетным таблицам            |
| Наличие облаков и осадков между МРЛ и метеобъектом | Количественная оценка отсутствует                                                            |

Например, на расстоянии 30 км при  $\varepsilon = 1^\circ$  линейные размеры сечения диаграммы направленности антенны составляют 0,5 км, а на расстоянии 300 км они увеличиваются в 10 раз и равны примерно 5 км. Отсюда следует, что качество радиолокационной информации

о высотах и площадях метеообъектов по мере удаления от МРЛ ухудшается.

Известно, что мощность принимаемого антенной сигнала при заданном энергетическом потенциале радиолокатора зависит не только от величины радиолокационной отражаемости метеообъекта. Сигнал ослабляется пленкой осадков на защитном «радиопрозрачном» куполе, облаками и осадками, расположенными между МРЛ и метеообъектом и пройденным расстоянием (см. табл. 3).

Увеличение расстояния может настолько уменьшить отраженный сигнал, что он станет меньше чувствительности приемника, такой сигнал не будет зафиксирован. Из-за сильного ослабления радиоволн в облаках и осадках радиолокатор может не обнаружить облаков, отражаемость которых позволила бы сделать это при отсутствии ослабления.

Например, при измерении радиолокационной отражаемости облака, расположенного за зоной выпадающих осадков, МРЛ всегда будет давать несколько заниженное значение (табл. 4).

Таблица 4

Ослабление радиоволн с  $\lambda = 3,2$  см в осадках  
разной интенсивности

|                     |       |       |       |       |       |      |     |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| Интенсивность, мм/ч | 0,25  | 1,25  | 2,5   | 12,5  | 25,0  | 50,0 | 100 |
| Ослабление, дБ/км   | 0,002 | 0,012 | 0,032 | 0,238 | 0,555 | 1,26 | 2,8 |

## *Этап 2. Наблюдения и первичная обработка в ближней зоне*

На МРЛ устанавливается режим сканирования антенны в заданном азимуте. Изображение индицируется на индикаторе в координатах «Наклонная дальность – Азимут». Производятся те же измерения, что и на первом этапе, но более детально, независимо от наличия сплошной облачности нижнего яруса, исследуются вертикальные разрезы наиболее опасных зон облачности с учетом информации, полученной на горизонтальном разрезе. В процессе выполнения измерений и их первичной обработки производится ориентировочное определение типа облачности по радиолокационной классификации.

Второй этап завершает процесс измерений, а все результаты, перенесенные с экранов МРЛ на Карту радиолокационной информации (бланк Ф-2), подвергаются дальнейшей обработке, анализу, интерпретации и прогнозу метеорологических условий.

### ***Этап 3. Диагноз и прогноз опасных атмосферных явлений***

Понятия «диагноз» и «прогноз» в радиометеорологии несколько отличаются от общепринятых в синоптической метеорологии. Сканс измерений по МРЛ, выполненный в заданный срок  $T_0$ , в принципе, дает картину распределения радиоэха в трехмерном пространстве, т.е. диагноз радиолокационной отражаемости  $IgZ$ . На основе этой информации осуществляется вероятностный метеорологический прогноз поля облачности и осадков, а также опасных атмосферных явлений на контролируемой территории в этот же момент времени  $T_0$ .

Оправдываемость такого прогноза (в стандартной терминологии – диагноза) метеорологических условий обусловлена изученностью взаимодействия электромагнитного излучения с облачной атмосферой. Лабораторные и длительные комплексные натурные эксперименты позволили установить приближенные общие физико-статистические связи между радиолокационными и метеорологическими параметрами.

Численные результаты этих связей оформлены в виде таблиц и графиков. Очень важная работа по уточнению полуэмпирических формул, графиков и таблиц в различных районах и сезоны года продолжается.

Учитывая информацию предыдущих наблюдений, рассчитываются пути перемещения и тенденция (размеры и интенсивность) развития локализованных опасных очагов атмосферных явлений, т.е. формулируется прогноз ( $T_1 > T_0$ ) для отдельных пунктов или воздушных трасс.

Качество общего прогноза штормовых погодных условий на основе анализа общей аэросиноптической ситуации с учетом радио-

локационных данных, безусловно, улучшается, особенно сверхкраткосрочного прогноза, так как МРЛ фиксирует опасные мезомасштабные метеорологические объекты, которые «не уловлены» стандартной метеорологической сетью (табл. 5). Здесь проявляется одно из главных преимуществ МРЛ – большая скорость получения информации на значительной территории, что особенно важно при существующей плотности метеорологической сети.

Таблица 5

Масштабы метеорологических процессов

| Характеристика         | Масштаб                 |                  |                |                    |
|------------------------|-------------------------|------------------|----------------|--------------------|
|                        | Макро-<br>(планетарный) | Синоптический    | Мезо-          | Микро-             |
| Горизонтальный масштаб | 10 000 км               | 100–1 000 км     | 100–10 км      | <1 км              |
| Временной масштаб      | 1 000 000 с<br>(278 ч)  | 100 000 с (28 ч) | 10 000–1 000 с | <100 с<br>(<2 мин) |

Данные этой таблицы свидетельствуют о том, что из «ячеек сети» могут «ускользнуть» процессы мезомасштаба, а для контроля микромасштабных процессов практически никакая метеорологическая сеть станций не поможет, нужны другие средства контроля, в частности эффективное использование метеорологических радиолокаторов.

Плотность метеорологической сети районов Западной Сибири иллюстрирована табл. 6, из которой видно, что сеть Томской области самая редкая.

Таблица 6

Плотность метеорологической сети станций по Западной Сибири (01.01.1979 г.)

| Область, край  | Площадь, тыс. км <sup>2</sup> | Количество станций | Плотность сети, тыс. км <sup>2</sup> /1 ст. |
|----------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------------|
| Томская        | 316,9                         | 23                 | 13,8                                        |
| Новосибирская  | 178,2                         | 35                 | 5,1                                         |
| Кемеровская    | 95,5                          | 21                 | 4,5                                         |
| Алтайский край | 169,1                         | 32                 | 5,3                                         |

На Западе стандартная метеорологическая сеть предусматривает расстояние между станциями 10 км.



### 2.3. Типы радиозха облачности

Наблюдения на МРЛ следует отнести к классу инструментально-визуальных метеорологических наблюдений. Человек выполняет не только простые технические операции по управлению МРЛ (нажимает кнопки, переключатели, тумблеры). Он вручную производит «оконтуривание» полей облачности и зон осадков, а главное – принимает целенаправленные решения о необходимости детализации радиолокационных измерений в определенных участках атмосферы на основе профессионально глубоких знаний физики облаков и осадков, определяет тип облачности, оценивает вероятность наличия опасных явлений. Все это связано с творчеством и глубокими знаниями физики облаков и осадков.

Уже на первом и втором этапах оператор на основе визуальных оценок с учетом величин высот нижней и верхней границ облачности, распределения по вертикали радиолокационной отражаемости, величины площади облачных полей должен определить тип радиозха и оконтурить каждый тип радиозха в отдельности, а если это невозможно, то указать преобладающий тип радиозха.

Руководство предусматривает три типа радиозха, причем установлена определенная аббревиатура, которую следует записывать при обработке:

РСО – радиозхо слоистообразной облачности;

РКО – радиозхо конвентивной облачности;

РКСО – радиозхо конвентивной и слоистообразной облачности.

В целом, данная типизация разделяет облачность на две большие группы (радиозхо слоистообразной облачности, радиозхо кучевообразной облачности) и выделяет случаи их сочетания (радиозхо кучевообразной и слоистообразной облачности).

Детализация изображения радиозха уточняется указанием «сплошное» или «несплошное». Радиозхо, которое не достигает земли, принято называть приподнятым. Следует иметь в виду, что на индикаторе могут высвечиваться различные виды «ложных» радиозхо (с точки зрения решаемой задачи), которые надо уметь отличать от радиозха облачности и зон осадков. В «Руководстве...»

такое радиозоо называется аномальным, оно может обнаруживаться в любое время года на расстояниях от 3 до 200 км.

К аномальным относятся:

- радиозоо при наличии условий сверхрефракции, когда радиоволны распространяются по атмосферному «волноводу». В этом случае различные наземные объекты становятся радиолокационными целями на аномально больших расстояниях и не относятся к ряду «местников»;

- радиозоо в виде тонких линий и полос. Причины их появления связывают с линией ветрового сдвига, повышением концентрации пыли и пыльцы растений, с выбросами самолетов, создающими пассивные помехи.

- дискретно-когерентное радиозоо в виде светящихся точек. Источником таких отражений в основном являются птицы и насекомые;

- радиозоо летательных аппаратов (самолеты, вертолеты и др.).

### 3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МРЛ-5

Метеорологический радиолокатор МРЛ-5 имеет два отдельных канала – 3,2 см (I канал) и 10 см (II канал). Для режима штормового оповещения используется только I канал, а режим обслуживания подразделений градозащиты реализуется главным образом при совместной работе обоих каналов.

МРЛ-5 выпускается в передвижном (рис. 7, а) и стационарном (рис. 7, б) вариантах. Стационарный вариант МРЛ-5 размещается на втором этаже специально построенного или типового здания. Антенная система находится на крыше здания, она помещена под радиопрозрачный купол, обеспечивающий защиту приводов и параболических отражателей от ветровых нагрузок и от воздействия атмосферных явлений. Диаметр ветрозащитного купола 600 см. Аппаратура размещена в двух изолированных комнатах. Одну из них занимает аппаратная, другую – пульт управления МРЛ. Питание аппаратуры производится от промышленной трехфазной сети 50 Гц, 380 В либо от автономной трехфазной сети 50 Гц, 220 В, вырабатываемой дизельной электростанцией ЭСД-20.

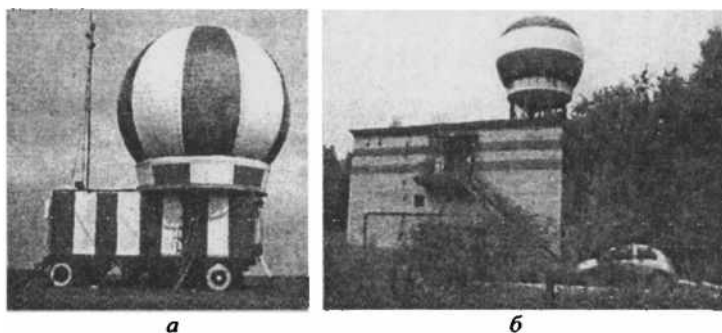


Рис. 7. МРЛ-5: а – передвижной вариант, б – стационарный вариант

При первичной установке МРЛ-5, кроме выполнения различных радиотехнических требований, обязательно производится ориентирование антенны и установка ее по уровню для обеспечения достоверности измерения угловых координат.

При проведении регламентных и ремонтных работ МРЛ-5 работает в режиме «Настройка», включение приемопередающей аппаратуры осуществляется непосредственно с лицевой панели передатчиков и приемников.

В режиме «Работа» управление МРЛ-5 осуществляется с «Рабочего места радиометеоролога» (пульта управления).

Пульт управления (рис. 8, на вклейке) состоит из ряда вертикальных стоек и горизонтальных панелей, на которых расположены:

- 1) световое табло с информацией об основных данных радиолокатора;
- 2) схема углов закрытия радиообзора для МРЛ-5 «Томск»;
- 3) схема принадлежности ячейки (квадрата  $30 \times 30$  км) к той или иной зоне;
- 4) совмещенный индикатор индикатор кругового обзора «ИКО – ИДВ» (основной);
- 5) панели приемопередатчиков I (слева) и II (справа) каналов с приборами контроля технических параметров МРЛ;
- 6) совмещенный индикатор «ИКО/ИДВ» (для фоторегистрации);
- 7) распределительный щит и кнопка «Сеть» для подачи и отключения напряжения;
- 8) ручка для корректировки положения антенны (угла места) в ручном режиме;
- 9) панель управления индикатором (ПУИ);
- 10) панель управления антенной;
- 11) ручка для корректировки положения антенны (азимута) в ручном режиме;
- 12) блок обработки многоконтурного отображения (БОМО);
- 13) панель с индикатором типа А и аттенюаторами;
- 14) панель управления индикатором.

### 3.1. Панель приемопередатчика

Панель приемопередатчика предназначена для управления приемопередающей аппаратурой и контроля ее параметров в режиме «Работа» (рис. 9, на вклейке).

Четыре измерительных прибора обеспечивают оперативный контроль технических параметров МРЛ:

- энергетический потенциал;
- чувствительность приемника;
- частота;
- мощность передатчика.

Предусмотрена автоматическая и ручная настройка усиления приемника (тумблер «РРУ/АСУ») и частоты (тумблер «РРЧ/АСЧ»). При установке тумблера в положение «АСУ» («АСЧ») подстройка производится автоматически. При установке переключателей в положение «РРУ» или «РРЧ» подстройка производится вручную при помощи кнопок «меньше» и «больше».

При нормальной работе приемопередающих устройств показания стрелок приборов, указывающих значения потенциала и мощности передатчика, находятся в красном секторе. На этой панели смонтированы сигнальные лампочки:

– «Авария» загорается при поступлении сигнала с передающего или приемного устройства.

– «П» загорается при нормальных значениях мощности передатчиков и чувствительности приемных устройств, т.е. в случае готовности приемопередающей аппаратуры к работе.

– При нажатии кнопки «Вкл» включаются накальные цепи передатчика и приемника, загорается сигнальная лампа «Накал».

Через 5–7 мин происходит включение анодных источников, загорается лампа «Анод».

Мощность принятого сигнала зависит также от мощности передатчика и чувствительности приемника. При наблюдении важно обеспечить постоянство этих характеристик.

### 3.2. Индикаторы и управление ими

Индикатором называется устройство, преобразующее электрические сигналы в видимые, позволяющие производить отсчет координат цели.

В РЛС получили самое широкое распространение осциллографические индикаторы, в которых используется электронно-лучевая трубка. С выхода приемника преобразованные и усиленные сигналы (видеоимпульсы) поступают на индикатор. По использованию и определяемым координатам индикаторы делятся на три группы:

- индикаторы кругового обзора (ИКО);
- индикаторы «дальность – высота» (ИДВ);
- амплитудные индикаторы (индикаторы типа А).

На МРЛ-5 установлены 3 индикатора: индикатор типа А и два совмещенных «ИКО/ИДВ». Основным рабочим каналом является первый (длина волны 3 см), позволяющий измерять радиолокационные характеристики слоистообразной и кучевообразной облачности. Работа на втором канале (длина волны 10 см), производится в случае аварийного выхода из строя первого канала, при этом измеряются характеристики только кучеводождевой облачности и связанных с ней опасных явлений (гроза, град) для их фоторегистрации и архивирования.

Индикатор типа А (рис. 10, на вклейке) предназначен для определения удаленности цели и измерения величины мощности принятого экосигнала, что дает возможность наблюдать радиозо метеобъектов в координатах «амплитуда – дальность».

Индикатор типа А используется при настройке аппаратуры, для визуального наблюдения за наличием поступающего сигнала и его мощностью по величине амплитуды, в оперативной работе используется редко. В индикаторе применена электронно-лучевая трубка с диаметром экрана 450 мм.

Индикатор «ИКО/ИДВ» (рис. 11, на вклейке) обеспечивает воспроизведение видеосигналов и совмещает в себе функции индикатора кругового обзора в полярных координатах «азимут – наклон

ная дальность» и индикатора вертикального сканирования в координатах «горизонтальная дальность – высота».

ИКО предназначен для отображения «картинки» в горизонтальной плоскости в координатах «дальность» (расстояние от центра круга) и «азимут» (угол между северным меридианом и направлением на объект) при заданном угле места (угол возвышения над горизонтальной плоскостью) (рис. 12, *а*). ИДВ предназначен для отображения «картинки» в вертикальной плоскости в координатах «горизонтальное удаление» и «высота» при заданном азимуте (рис. 12, *б*).

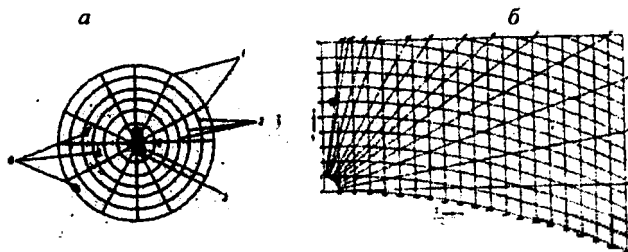


Рис. 12. Метки на индикаторах: *а* – на ИКО: 1 – метки азимута, 2 – метки дальности, 3 – изображение местников, 4 – изображение цели; *б* – на ИДВ метки для определения высоты объекта и его удаления от радиолокатора

Режим работы индикатора, установка параметров и регулировка осуществляются оператором с панели управления индикатором (рис. 13, на вклейке), на которой расположены клавиши, кнопки, тумблеры, позволяющие:

- включить и отключить индикаторные устройства;
- выбрать режим индикатора (ИКО или ИДВ);
- установить масштаб ИКО или ИДВ и электронные метки дальности;
- регулировать фокусировку и яркость экосигнала;
- центрировать начало развертки луча в случае несовпадения начала луча развертки на ИКО с центром экрана или несовпадения начала развертки на ИДВ с вершиной угла прямоугольного трафарета, нанесенного на экран индикатора.

В режиме ИКО можно установить различные масштабы дальности: 25; 50; 100 и 300 км. В режиме ИДВ предусмотрены следующие отношения масштабов: «высота – дальность» – 6,25/12,5; 12,5/25; 25/50; 50/100 км. Расположение меток дальности на экране индикатора зависит от масштаба, установленного на панели управления индикатором.

На ИКО отсчет горизонтальной дальности производится по концентрическим окружностям, отсчет азимута – по положению изучаемого метеорообъекта относительно севера.

На ИДВ отсчет горизонтальной дальности и высоты производится по горизонтальным и вертикальным линиям, нанесенным на трафаретный прямоугольник шкалы индикатора.

В рабочем режиме масштаб ИДВ составляет 25/50 км. На экране индикатора до 100 км (с точностью  $\pm 100\text{м}$ ) отображается подвижная мерцающая метка маркера дальности. Управление перемещением маркера по экрану в намеченную точку осуществляется оператором с помощью устройства «дальность маркера» (рис. 14, на вклейке), состоящего из трех рядов переключателей, на которых устанавливаются, соответственно, десятки (верхний ряд), единицы (средний ряд), десятые доли (нижний ряд) километра. Информация о положении маркера отражается на световом табло (рис. 16, на вклейке). Расположение меток дальности на экране индикатора зависит от масштаба, установленного на панели управления индикатором.

Индикатор «ИКО/ИДВ» обеспечивает воспроизведение видеосигналов I и II каналов РЛС, но в связи с тем что в режиме штурмооповещения используется только I канал, в рабочем состоянии ручка «Переключатель» должна быть установлена в положение «Автономное», а тумблер в положении «ИМ». Тумблер «Длительность» всегда установлен в положение «2 МКС».

### 3.3. Управление движением антенны

Электропривод МРЛ-5 позволяет изменять положение антенны по азимуту и углу места (вертикальному углу). Управление электроприводом осуществляется с помощью клавиш, тумблеров и по-



тенциометров, расположенных на специальной панели (рис. 15, на вклейке), предусмотрено автоматическое и ручное управление (режим «Доворот»). В автоматическом режиме антенна радиолокатора может работать в трех режимах:

1. Круговое вращение (I программа) вокруг вертикальной оси при заданном угле возвышения ( $\epsilon^\circ$ ) с регулируемой скоростью от 0 до 6 об/мин. Изображение луча высвечивается на ИКО.

2. Сканирование по вертикали при заданном азимуте (II программа) в пределах от  $-1$  до  $95^\circ$  с регулируемым периодом сканирования от 24 до 72 с. Изображение индицируется на ИДВ.

3. Сканирование в секторе как по азимуту («Сканирование», кнопка «АЗ»), так и по углу места («Сканирование», кнопка «УМ») в любом секторе шириной  $45^\circ$  и регулируемым периодом от 12 до 36 с. В режиме «Доворот» при вращении ручек должны изменяться азимут с регулируемой скоростью до  $36^\circ/\text{с}$  или угол места с регулируемой скоростью до  $15^\circ/\text{с}$ . Положение антенны отражается на стрелочных циферблатах (см. рис. 15, на вклейке). Кроме того, сведения о значениях углов высвечиваются на световом табло (см. рис. 16, на вклейке).

Ручки для ручного управления антенной расположены на передней боковой поверхности панели, управляющей движением антенны.

### 3.4. Световое табло

Световое табло (см. рис. 16, на вклейке) обеспечивает оперативный съем информации и ряда технических параметров:

- дата (число, месяц, год);
- время (ч, мин);
- номер работающего канала (канал I или II);
- знак нормы энергетического потенциала РЛС;
- уровень изоза через 6 дБ;
- масштаб (в зависимости от выбранного на ИКО или ИДВ);
- азимут (горизонтальный угол, град.);
- угол наклона антенны (вертикальный угол, град.);

- горизонтальная и наклонная дальность (км);
- высота выбранной на индикаторе цели (км).

### **3.5. Панель для измерения радиолокационной отражаемости**

На рис. 17 (на вклейке) изображена панель управления аттенуаторами (клавишами ступеней изозха), которая предназначена для измерения мощности радиоэха метеоцелей.

В панель вмонтированы клавиши с надписью, кратной 6 дБ, от 0 до 42 дБ. Нажатие любой из клавиш ослабляет эхосигнал, поступающий на индикатор, на величину, указанную на соответствующей клавише. Следовательно, визуально уменьшается яркость изображения эхосигнала.

Принцип измерения заключается в том, чтобы найти такую пару соседних клавиш, чтобы при нажатии клавиши с меньшим числом изозха еще было видно на экране, а при нажатии соседней клавиши (с большим числом) – исчезало.

Измерение осуществляется следующим образом: при обнаружении метеоцели, путем последовательного нажатия клавиш ослабляем изображение до тех пор, пока оно не исчезнет на фоне шумовых сигналов. Например, если оно исчезло при нажатой клавише «36», а при клавише «30» еще было, то  $Z = 30$  дБ.

### **3.6. Блок обработки многоконтурного отображения**

Блок БОМО предназначен для автоматического выделения градовых очагов (в виде яркостной отметки на фоне многоконтурного отображения видеосигналов) на фоне дождя (панель БОМО изображена на рис. 18, на вклейке). При установке соответствующих режимов работы оконтуриваются зоны радиоэха градовых очагов, что позволяет оценить их структуру, поперечные размеры и точные координаты.

## **4. ТЕХНИКА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ**

### **4.1. Принадлежности и таблицы для первичной обработки**

#### **4.1.1. Шаблон**

Шаблон предназначен для первичной обработки во время проведения радиолокационных измерений. Он служит для переноса контуров облачности и зон осадков с экрана ИКО, привязки изображений облачности конкретной территории и записи измерений.

Шаблон представляет собой прозрачный круг из плексигласа, вся площадь которого разделена на квадраты со стороной 30 км и concentрическими окружностями с радиусами, кратными 30 км. Пространство между соседними окружностями называется «зоной». Номер зоны соответствует расстоянию от МРЛ до середины зоны. Каждый квадрат должен быть отнесен к определенной зоне. Иногда площадь одного квадрата может находиться в двух соседних зонах. Чтобы определить, к какой именно зоне следует отнести этот квадрат, необходимо воспользоваться имеющейся у оператора схемой соответствия зон и ячеек. Для повышения скорости обработки применена своеобразная оцифровка. Номера зон нанесены по обе стороны от центра на диаметрах с дискретностью 60 км, по вертикали, начиная с 45 км, а по горизонтали – с 75 км.

Шаблон неподвижно накладывается на экран ИКО, при этом вертикальный диаметр должен точно совпадать с направлением север–юг экрана.

Зарисовка контуров и все записи на шаблоне производятся стеклографом или маркером. После окончания наблюдений данные с шаблона переносятся на бланк Ф-2 с помощью светового столика. При переносе данных необходимо строго совместить центры, вертикальные и горизонтальные линии бланка Ф-2 и шаблона.

### 4.1.2. Карта радиолокационных измерений

Бланк Ф-2 (рис. 19) предназначен для зарисовки контуров границ облачности и зон осадков и записи их основных характеристик. По информации, зафиксированной на бланке, производится основной анализ ситуации (диагноз), рассчитываются некоторые прогностические показатели, составляется телеграмма по результатам радиолокационного наблюдения за данный срок. Бланки Ф-2 с соответствующей информацией хранятся на станции (бессрочно), служат для архивации.

В верхней рамке бланка предусмотрено место для записи признаков данных (сезон, дата, время, номер бланка), значений метеорологического потенциала МРЛ ( $\Pi_m$ ), температуры воздуха ( $t_\phi$ ), высоты нулевой изотермы ( $H_0$ ), изотермы  $-22^\circ\text{C}$  ( $H_{22}$ ), высоты радиолокационной отражаемости на третьем уровне ( $H_{123}$ ) и комплексного показателя вероятности грозы ( $Y_m$ ). Пример заполнения верхней части бланка Ф-2:

|               |              |               |             |                |                 |              |      |
|---------------|--------------|---------------|-------------|----------------|-----------------|--------------|------|
| Сезон: теплый | $\Pi_m = 60$ | $t_\phi = 14$ | $H_0 = 2,0$ | $H_{22} = 4,5$ | $H_{123} = 4,0$ | $Y_m = 7,62$ | № 15 |
| Томск         |              |               |             | Дата 08.07.06. |                 |              |      |

Масштаб 180 км

| Этап   | Время       |         |
|--------|-------------|---------|
|        | По Гринвичу | Местное |
| Начало | 14:05       | 22:05   |
| Конец  | 14:15       | 22:15   |

Значения высот записываются в километрах, время – по Гринвичу (в часах и минутах) и местное (летнее или зимнее).

Левая часть бланка предназначена для характеристики облачности и зон осадков в горизонтальной плоскости. На ней нанесена схема расположения населенных пунктов в радиусе 180 км. Вся площадь разделена сеткой с ячейками  $30 \times 30$  км (малые квадраты).

Каждые 4 квадрата жирными линиями объединены в большие квадраты  $60 \times 60$  км. В левом верхнем углу каждого проставлен постоянный номер (от № 24 до № 76). Номера квадратов возрастают с запада на восток и с севера на юг.



На плане нанесены окружность с радиусом 180 км, а на ее внешней стороне указаны значения азимутов с оцифровкой через 20° с промежуточными отметками через 10°. Кроме того, нанесены окружности с радиусами 90 и 30 км.

Правая часть бланка предназначена для характеристики вертикальной структуры облачности. Здесь размещены четыре прямоугольника. По горизонтальной шкале прямоугольника нанесены значения горизонтального удаления от 0 до 40 км с оцифровкой через 10 км, а по вертикальной шкале нанесены значения высот от 0 до 14 км с оцифровкой через 2 км.

Таким образом, левая часть отражает разрез облачности и зон осадков в горизонтальной плоскости в радиусе до 180 км, а правая часть – вертикальные разрезы (для 4 азимутов) в радиусе до 40 км.

В самом нижнем левом углу предусмотрено место для записи измеренной величины  $\lg Z_{\text{нр}}$  (характерной отражаемости),  $\Delta Z$  (тенденции характерной отражаемости) и  $\Delta S$  (тенденции площади радиозоха), значений  $t_1$ ,  $t_2$  (моменты времени, необходимые для определения скорости и направления радиозоха), а также значений видимости в ближней и дальней зонах. Наглядный пример записи представлен в табл. 7.

Таблица 7

Фрагмент бланка Ф-2

| Тенденция | $\lg Z_{\text{нр}}$ | $\Delta Z$ | $\Delta S$ |
|-----------|---------------------|------------|------------|
|           | 2,4                 | +          | +          |
|           | 1,0                 | 0          | 0          |
| Скорость  | $t_1$               | $t_2$      | $\Delta t$ |
|           | 13:00               | 14:00      | 60 мин     |
| Видимость | БЗ                  |            |            |
|           | ДЗ                  |            |            |

$t_1$  – время обведения контура радиозоха на ИКО в предыдущий срок наблюдения;  $t_2$  – время обведения контура радиозоха на ИКО в текущий срок наблюдения;  $\Delta t$  – их разность.

Для удобства и оперативности на бланке записывают текст телеграммы по коду RADOB.

На бланке с учетом масштаба нанесены 28 населенных пунктов (табл. 8), в центре расположен Томск (место установки МРЛ).

Таблица 8

**Населенные пункты на карте радиолокационной информации АМСГ «Томск»**

| Название |              |              | Название |              |                   | Название |              |             |
|----------|--------------|--------------|----------|--------------|-------------------|----------|--------------|-------------|
| №        | Бланк<br>Ф-2 | Полное       | №        | Бланк<br>Ф-2 | Полное            | №        | Бланк<br>Ф-2 | Полное      |
| 24       | Стг          | Суйга        | 44       | Лвр          | Лавровка          | 64       | Бол          | Болотное    |
| 24       | Бат          | Батурино     | 45       | Ули          | Улановка          | 64       | Юрг          | Юрга        |
| 23       | Мол          | Молчаново    | 53       | жв           | Кожениково        | 66       | Брз          | Барзас      |
| 31       | Бкч          | Бакчар       | 54       | Крл          | Курлек            | 63       | Мшк          | Мошково     |
| 34       | Кяр          | Красный Яр   | 56       | Ял           | Ял                | 75       | Кыр          | Кемерово    |
| 35       | Гор          | Городок      | 57       | Мар          | Маринск           | 74       | Тог          | Тогучин     |
| 36       | Прмск        | Первомайское | 55       | Тйг          | Тайга             | 65       | Тпк          | Топки       |
| 45       | Мал          | Малиновка    | 55       | Алж          | Андреево-Судженск | 72       | Нас          | Новосибирск |
| 46       | Зыр          | Зырянка      | 57       | Тлж          | Тяжинский         |          |              |             |
| 45       | Мзл          | Мазалово     | 55       | Яшк          | Яшкино            |          |              |             |

### 4.1.3. Расчетные таблицы

Ниже приведены фрагменты таблиц, которые применяются при обработке радиолокационных измерений на первом этапе, и краткие комментарии к ним.

Табл. 9 предназначена для определения высоты верхней границы радиозоха в конкретной зоне при различных углах возвышения антенны.

Таблица 9

**Высота радиозоха ( $H$ ) на различных расстояниях в зависимости от угла возвышения антенны ( $\varepsilon^\circ$ )**

| $\varepsilon^\circ$ | № зоны – расстояние до центра ячейки, км |    |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|------------------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | 45                                       | 75 | 105 | 135 | 165 | 195 | 225 | 255 | 285 |
|                     | $H$ , км                                 |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,2                 | <1                                       | <1 | 1   | 1   | 2   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 0,5                 | <1                                       | 1  | 2   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 6   |
| 1,0                 | 1                                        | 2  | 2   | 3   | 5   | 6   | 7   | 8   | 7   |
| 1,5                 | 1                                        | 2  | 4   | 5   | 6   | 8   | 9   | 11  | 10  |

Расчеты высоты произведены согласно формуле (4). Высота радиозаха возрастает с увеличением расстояния и угла возвышения. Углы возвышения антенны изменяются через  $0,5^\circ$  до  $4^\circ$ , а далее через  $1^\circ$ . В оперативной работе значения высот округлены с точностью до целых.

Табл. 10 предназначена для определения необходимого угла возвышения антенны по значениям номера зоны и высоты стандартного уровня и установки этого угла для производства наблюдений.

Таблица 10

Углы возвышения антенны при различных расстояниях в зависимости от высоты стандартного уровня ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ )

| Стандартный уровень |               | Высота уровня | $45^\circ$ |
|---------------------|---------------|---------------|------------|
| 1                   | $H_2$         | 2             | 2,3        |
|                     | $H_1(H_{0C})$ | 1(0-0,5)      | 1,1        |
| 2                   | $H_3$         | 3             | 3,7        |
|                     | $H_2$         | 1             | 1,1        |
|                     | $H_1(H_{0C})$ | 1(0,5-1)      | 0,3        |
| 3                   | $H_3$         | 4             | 5,0        |
|                     | $H_2(H_{0C})$ | 2, 3, 4       | 2,3        |
|                     | $H_1$         | 1             | 1,1        |

Нижняя строчка в каждой из групп – это высота первого уровня (уровня осадков), расположенного на высотах 0,5–1 км. В зависимости от положения высоты нулевой изотермы  $H_2$  (которая может меняться) таблица разделена на три части.

Например, в ситуации, когда высота нулевой изотермы ( $H_{0C}$ ) равна 1 км (см. табл. 10) и уровни  $H_1$  и  $H_2$  совпадают, то измерение отражаемости на уровне осадков ( $H_1$ ) производим в слое 0,5–1 км, а отражаемость на втором уровне  $H_2$  измеряем на высоте 1 км. Отражаемость на третьем уровне определяется как  $H_3 = H_2 + 2$  км и равна 3 км. Если в переходный период высота нулевой изотермы изменяется в пределах от 0 до 0,5 км (см. табл. 10), то измерение отражаемости производим на одном уровне  $H_1$ . Но при обнаружении радиозаха кучевых облаков измерение производится на двух уровнях:  $H_1 = 1$  км и  $H_2 = 2$  км. Уровень  $H_3$  отсутствует, так как развивающаяся кучево-дождевая облачность его не достигает.



Табл. 10 используется во всех других случаях, когда  $H_{0C} \geq 2$  км. Например,  $H_{0C} = 4$  км, тогда производим измерение отражаемости на высоте  $H_1$ , равной 1 км,  $H_2$ , равной 4 км, и  $H_3$ , равной 6 км (4 км + 2 км). Если высота  $H_{0C}$  не целое число, то к  $H_2$  прибавляется значение  $2 \div 2,5$  км с таким расчетом, чтобы значение  $H_3$  было целым числом. При необходимости, например, если  $H_2 = 2,7$  км,  $H_3 = 2,7 + 2,5 = 5,2$  т.е. округляется до целого числа ( $H_3 = 5$  км) для удобства в оперативной работе.

Для определения значений радиолокационной отражаемости  $lgZ$  применяются четыре таблицы (табл. 11–14) для дальней зоны (ДЗ) и ближней зоны (БЗ), причем отдельно для двух состояний радиопрозрачного колпака (сухого и мокрого). Мокрое состояние колпака выбирается в случае наличия над МРЛ атмосферных осадков. Все расчеты произведены для постоянного в течение всего процесса измерений потенциала  $\Pi_n = 55$ . В указанных таблицах приведены расчетные значения  $lgZ$  по измеренным системой изоэха значениям  $Z$  с учетом ослабления сигнала в зависимости от расстояния и состояния купола покрытия антенны. Естественно, мокрый купол ослабляет сигнал сильнее, чем сухой, поэтому значения  $lgZ$  для равных расстояний при мокром колпаке больше.

Таблица 11

**$lgZ$  на различных расстояниях в зависимости от измеренных  $Z$ .**  
Дальняя зона. Колпак сухой

| $Z$ ,<br>дБ | № зоны – расстояние до центра ячейки, км |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 45                                       | 75   | 105  | 135  | 165  | 195  | 225  | 255  | 285  |
| 0           | -2,2                                     | -1,8 | -1,5 | -1,2 | -1,1 | -0,9 | -0,8 | -0,7 | -0,6 |
| 6           | -1,6                                     | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,5 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | 0,0  |
| 12          | -1,0                                     | -0,6 | -0,3 | 0,0  | 0,1  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  |

Таблица 12

**$lgZ$  на различных расстояниях в зависимости от измеренных  $Z$ .**  
Ближняя зона. Колпак сухой

| $Z$ ,<br>дБ | № зоны – расстояние до центра ячейки, км |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 5                                        | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 0           | -4,2                                     | -3,6 | -3,3 | -3,0 | -2,8 | -2,6 | -2,4 | -2,3 | -2,2 | -2,1 |
| 6           | -3,6                                     | -3,0 | -2,7 | -2,4 | -2,2 | -2,0 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,5 |
| 12          | -3,0                                     | -2,4 | -2,1 | -1,8 | -1,6 | -1,4 | -1,2 | -1,1 | -1,0 | -0,9 |

**Таблица 13**

**$LgZ$  на различных расстояниях в зависимости от измеренных  $Z$ .**  
**Дальняя зона. Колпак мокрый**

| $Z$ ,<br>дБ | № зоны – расстояние до центра ячейки, км |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-------------|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|             | 45                                       | 75   | 105  | 135  | 165  | 195  | 225  | 255  | 285 |
| 0           | -1,6                                     | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,5 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | 0,0 |
| 6           | -1,0                                     | -0,6 | -0,3 | 0,0  | 0,1  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6 |
| 12          | -0,4                                     | 0,0  | 0,3  | 0,6  | 0,7  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2 |

**Таблица 14**

**$LgZ$  на различных расстояниях в зависимости от измеренных  $Z$ .**  
**Ближняя зона. Колпак мокрый**

| $Z$ ,<br>дБ | № зоны – расстояние до центра ячейки, км |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 5                                        | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 0           | -3,6                                     | -3,0 | -2,7 | -2,4 | -2,2 | -2,0 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,5 |
| 6           | -3,0                                     | -2,4 | -2,1 | -1,8 | -1,6 | -1,4 | -1,2 | -1,1 | -1,0 | -0,9 |
| 12          | -2,4                                     | -1,8 | -1,5 | -1,2 | -1,0 | -0,8 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | -0,3 |

При анализе радиозха в летний период используются только положительные значения  $lgZ$ , а в остальные периоды – как положительные, так и отрицательные значения.

## 4.2. Включение аппаратуры и проверка ее работоспособности

Работа начинается с подачи напряжения и включения различных блоков МРЛ. С этой целью необходимо произвести ряд последовательных операций.

1. На распределительном щите (рис. 20, на вклейке) нажать кнопку «Сеть».

При нормальной работе аппаратуры:

- в аппаратной комнате появляется характерный шум, возникающий при работе вентиляторов, находящихся в различных блоках МРЛ;

- подсвечиваются приборы контроля на панели приемопередатчика (см. рис. 9, на вклейке);

– автоматически включается световое табло на пульте управления (см. рис. 8, на вклейке).

2. На панели уравнивания приемопередатчиком (ПУП-П) (см. рис. 16, на вклейке) нажать кнопку «Вкл», в результате:

- загорается сигнальная лампочка «Накал»;
- через 5–7 мин загорается сигнальная лампочка «Анод»;
- включаются контрольно-измерительные приборы.

При нормальной работе приемопередающих устройств показания приборов должны быть в пределах указанных в табл. 15.

Если стрелки приборов «Усиление» и «Частота» находятся вне окрашенных секторов, то необходимо в ручном режиме произвести настройку, для этого:

- тумблеры «АПЧ – РРЧ» и «РРУ – АСУ» (или один из них) установить в положение РРЧ и РРУ;
- нажатием кнопок «больше» «меньше» установить стрелки приборов в соответствующее положение;
- установить тумблеры «АПЧ – РРЧ» и «РРУ – АСУ» в положение АРЧ и АСУ.

Таблица 15

**Показания приборов при нормальной работе**

| № | Прибор              | Положение стрелки |
|---|---------------------|-------------------|
| 1 | «Контроль усиления» | В красном секторе |
| 2 | «Контроль ПЧ»       | В красном секторе |
| 3 | «Мощность»          | 160 кВт           |
| 4 | «Коэффициент шума»  | 4–5               |
| 5 | «Потенциал»         | Не менее 50 мкА   |

При нормальных значениях мощности передатчиков и чувствительности приемных устройств на световом табло должна загореться буква П. В противном случае необходимо обратиться за помощью к инженеру по радиолокации.

3. На панели управления индикатором (см. рис. 13, на вклейке):

- нажать клавишу «Вкл» индикатора I канала;
- тумблер «ИКО/ИДВ» установить в положение ИКО. Через 40 с на экране индикатора появится развертка – светящийся радиус;

- ручкой «Фокус» добиться наилучшего качества изображения;
- визуально проверить совпадение начала луча-развертки ИКО с центром экрана;

- тумблер «ИКО/ИДВ» установить в положение ИДВ;
- визуально проверить совпадение начала развертки ИДВ с вершиной угла прямоугольного трафарета, нанесенного на экран индикатора.

- при несовпадении регулировку произвести с панели управления индикатором (в левом верхнем углу панели расположены гнезда регулировки положения центров на ИКО и ИДВ по вертикали  $Y$  и горизонтали  $X$ ).

- проверить concentричность меток дальности; т.е. равноудаленность окружностей от центра экрана в режиме ИКО, в случае наличия нарушения сообщить инженеру по радиолокации;

- установить ручкой «Яркость» едва различимую на экране линию развертки;

- вывести потенциометр «Видео» до упора против часовой стрелки, затем, слегка поворачивая ручку потенциометра по часовой стрелке, добиться появления на линии развертки легких признаков наличия шумовой дорожки (едва различимые мерцания на фоне однородно светящегося луча).

#### 4. На панели управления приводом (см. рис. 15, на вклейке):

- нажать кнопку «Вкл»;

- проверить работоспособность (возможность изменения углов) привода в режимах «Доворот» «Программа I» вращением соответствующих ручек. Ручки расположены на переднем торце панели управления приводом (ПУП).

В режиме «Доворот» антенна изменяет свое положение по вертикали на ИДВ и по азимуту на ИКО. «Программа I» обеспечивает вращение антенны в автоматическом режиме на ИКО.

### 4.3. Последовательность измерений

#### 4.3.1. Дальняя зона

На первом этапе оценивается общая характеристика облачности по территории контролируемого района. Рекомендуется определенный порядок выполнения операций:

1. На индикаторе «ИКО/ИДВ» установить шаблон.
2. На панели управления индикатором (ПУИ):
  - установить масштаб 300 км, для этого нажать «300» из группы клавиш «Масштаб ИКО».
  - включить кнопку «1» из группы клавиш «Программа»;
  - включить кнопку «Пуск», обеспечив работу антенны в режиме кругового вращения со скоростью 6 об/мин;
3. При наличии облачности определить оптимальный угол возвышения ( $\varepsilon_{\text{опт}}$ ), при котором на ИКО наблюдается максимальная суммарная площадь облачности. Для этого в интервале углов возвышения  $0,5 + 3,0^\circ$  с дискретностью  $0,5^\circ$  визуально оценить «картинки» с точки зрения величины площади, занятой облаками при разных углах.

На панели управления приводом:

- ручкой «Доворот–Угол места» последовательно устанавливать вертикальные углы 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0, контролируя достоверность по круговой шкале «угол места». На основе визуального сравнительного анализа площади облачности при разных углах возвышения определить значение  $\varepsilon_{\text{опт}}$ ;
  - визуально проконтролировать правильность установления угла возвышения на световом табло;
  - стеклографом на шаблоне зарисовывать наблюдаемые на ИКО контуры радиоэха (контуры облачности).
4. Определить высоты ( $H_0$ ) верхней границы облаков, для чего:
    - установить ручкой «Доворот–Угол места» угол, равный  $14^\circ$ . Это угол (примерно), при котором зондирующий луч производит горизонтальное сечение атмосферы выше облачности. При этом на

ИКО в дальней зоне (далее 40 км) радиозоха не должно наблюдаться, а наблюдаемое в ближней зоне анализируется позднее;

- ручкой «Доворот–Угол места» последовательно уменьшать угол, начиная от  $14^\circ$  с дискретностью  $1^\circ$ , а от  $4^\circ$  – дискретностью  $0,5^\circ$ ;

- первое появление радиозоха в любом малом квадрате свидетельствует об индикации верхней границы облака, высоту которой надо измерить.

Для определения численного значения  $H_z$  необходимо выполнить следующие операции:

- а) в соответствующем квадрате зафиксировать «в уме» значения  $\epsilon$  и  $N_z$  зоны по шаблону;

- б) по таблице (прил. 1) определить величину  $H_z$  с точностью до 1 км и записать ее на шаблоне в левый верхний угол малого квадрата.

Продолжая уменьшать угол возвышения, выполнить п. «а» и «б» для всех квадратов, в которых обнаружены облака.

#### 5. Определить $\lg Z$ на стандартных уровнях.

Численное определение величин  $\lg Z$  на стандартных высотах осуществляется в квадратах, занятых радиозохом, последовательно на  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$ , в следующем порядке:

- рассчитать высоты уровней  $H_2$  и  $H_3$ ;

- по высоте уровня  $H_1$  и номеру зоны определить угол  $\epsilon$ , который следует установить для измерения  $\lg Z$  в заданной точке (объеме) облачного пространства (см. прил. 2);

- ручкой «Доворот–Угол места» установить значение  $\epsilon$ ;

- с помощью системы ступенчатого изозоха (см. рис. 17, на вклейке) определить номер ступени, при которой на экране ИКО еще сохраняется сигнал от облачности в заданном квадрате;

- по номеру ступени и номеру зоны, которой принадлежит анализируемая ячейка, определить радиолокационную отражаемость  $\lg Z$  по табл. 1, 2 (прил. 3), если колпак сухой, или табл. 3, 4 (прил. 3), если колпак мокрый;

- записать на шаблоне величину  $\lg Z$  в правый нижний угол квадрата.

Данные пункты выполнить для всех квадратов, занятых радиозохом.

### 4.3.2. Ближняя зона

В ближней зоне радиолокационные наблюдения производятся в вертикальной плоскости по заданным азимутам в каждом из секторов  $0-90^\circ$ ,  $90-180^\circ$ ,  $180-270^\circ$ ,  $270-360^\circ$ . До процедуры наблюдения в БЗ необходимо определить точные азимуты, в которых будут проводиться измерения.

Преимущество должны получить те азимуты, в которых находится приближающееся радиозоха. Затем принимаются во внимание ячейки РКО с максимальными высотами и максимальными значениями отражаемости на любом уровне. В случае наличия только радиозоха слоистой облачности (РСО) преимущество отдаётся азимутам, совпадающим с направлением воздушных коридоров для выполнения взлета и посадки.

Для выбора азимутов по особенностям горизонтального распределения максимальной отражаемости в радиусе до 40 км необходимо:

- ручкой «Доворот–Угол места» установить такой угол  $\varepsilon$ , при котором на расстояниях до 40 км на ИКО наблюдается радиозоха;
- последовательно уменьшая уровень изозха на экране ИКО, оставить сигналы только с  $\lg Z \geq 1,2$  летом, а зимой  $\lg Z \geq 0,7$  для радиозоха кучевой облачности;
- выбрать азимуты с максимальными значениями  $\lg Z$  и на шаблоне ИКО отметить точками их положение;
- в случае наличия только слоистообразной облачности выбрать азимут, в котором наблюдаются наибольшая площадь или направление ВПП.

Для каждого выбранного азимута на панели управления индикатором выполнить следующие операции:

- ручкой «Доворот–Азимут» установить первый из выбранных азимутов с точностью до  $1^\circ$ ;
- тумблер «ИКО/ИДВ» (см. рис. 13, на вклейке) переключить в положение ИДВ;
- установить масштаб 25/50 км нажатием соответствующей кнопки на этой же панели;

- сканирующий режим работы антенны осуществить в ручном режиме поворотом ручки «Доворот–Угол места»;
- на панели индикатора (см. рис. 13, на вклейке) тумблер «Маркер» поставить в положение «Вкл»;
- измерить верхнюю границу облаков, для чего установить кнопками «Дальность маркера» светящуюся метку (расположенную на луче) так, чтобы она касалась наиболее высокой области радиозха;
- снять значение высоты на световом табло «Высота» (см. рис. 16, на вклейке);
- измерить нижнюю границу облаков, для чего установить светящуюся метку кнопками «Дальность маркера» так, чтобы она касалась самой низкой области радиозха;
- снять значение высоты на световом табло «Высота» (см. рис. 16, на вклейке).

Высота РКО, если его верхняя граница замаскирована облаками верхнего или среднего яруса, определяется на удалении, где отмечается зона максимальной отражаемости – «ядро» РКО.

Масштаб 50:100 км применяется для вертикального разреза в направлении опасного радиозха, если такое радиозхо наблюдалось на расстоянии более 50 км. На бланке формы Ф-2 делается пометка, что для данного азимута применялся масштаб 50:100 км.

На бланке Ф-2 зарисовать наблюдаемые на ИДВ контуры радиозха (контуры облачности) в каждом из четырех азимутов.

#### 4.4. Выключение аппаратуры

Когда все наблюдения выполнены, для полного выключения станции необходимо выполнить следующие операции:

- нажать кнопку «Откл» на панели управления приводом;
- нажать кнопку «Откл» на панели управления индикатором (исчезнет развертка на экране);



– нажать кнопку «Откл» на панели приемопередатчика I (погаснут сигнальные лампочки «Накал» и «Анод», отключение внешней сети 380 В произойдет автоматически через несколько минут).

При экстренном отключении (например, гроза над станцией) – нажать красную кнопку «Сеть» на распределительном щите.

После завершения наблюдений на ИКО и ИДВ шаблон перенести на световой столик, на котором включить подсветку. Совместить центры дальней зоны бланка Ф-2 и шаблона. Информацию с дальней зоны шаблона скопировать на бланк Ф-2. Все рисунки на бланке формы Ф-2 необходимо делать шариковой ручкой.

## 5. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ В РАДИОМЕТЕОРОЛОГИИ

Международным стандартом регламентируется радиолокационная классификация облаков, которая связана, с одной стороны, с типами радиозеха (см. п. 2.3), а с другой, – выборочно – с общепринятой генетико-морфологической классификацией форм облаков, использующейся в метеорологической практике. Каждый вид облачности обозначается определенной латинской буквой, которые в отдельности или в различных сочетаниях используются при кодировке облачности в телеграммах с информацией радиолокационного зондирования атмосферы (код RADOB – radar observation). Радиолокационная классификация делит все облака на пять видов (табл. 16).

Таблица 16  
Радиолокационная классификация облачности

| Вид      | Критерий                      | Форма облаков      |
|----------|-------------------------------|--------------------|
| <i>C</i> | Облака верхнего яруса         | <i>Cl, Cs, Cc</i>  |
| <i>A</i> | Облака среднего яруса         | <i>As, Ac</i>      |
| <i>S</i> | Слоистые облака нижнего яруса | <i>St, Sc</i>      |
| <i>N</i> | Слоисто-дождевые облака       | <i>Ns</i>          |
| <i>Q</i> | Облака вертикального развития | <i>Cu cong, Cb</i> |

Краткая характеристика различных видов:

С) Располагаются на высотах 6–9 км. Величина отражаемости от таких облаков наименьшая, по сравнению с другими типами облачности. Горизонтальная и вертикальная протяженности невелики. Из-за малой отражаемости радиус уверенного обнаружения таких облаков составляет летом около 80 км.

А) Горизонтальные размеры немного меньше, чем у вида *N*, но больше, чем у вида *S*. По вертикали наблюдаются на высотах 3–5 км. Величина отражаемости однородна по вертикали и горизонтали, не превышает отражаемости облаков нижнего яруса.

С) Протяженность немногим более 100 км, часто не превышает нескольких десятков километров. Ограничения в радиусе наблюдения связаны с небольшой высотой облачности. По вертикали простираются до 2 км. Могут сливаться со средним ярусом. Величина отражаемости невелика и однородна по вертикали и горизонтали.

Н) Радиозоо слоистодождевой облачности занимает большие площади и имеет довольно близкие величины отражаемости по горизонтали. Вертикальная протяженность зоны радиозоа достигает 7–10 км. Обнаруживается до расстояний 200 км и более в зависимости от сезона.

Q) Для них характерны небольшие горизонтальные размеры ( $10 \times 10$  км) и большая вертикальная протяженность.

Взаимосвязь типизации радиозоа и классификации облаков очевидна. Все сочетания слоистообразных облаков (А–S, С–А, С–А–N, А–N) PCO, радиозоо облаков вертикального развития входит в состав радиозоа конвективной облачности (РКО). Сочетание слоистообразных облаков и облаков вертикального развития (С–А–Q, А–N–Q и т.д.) образуют смешанный тип радиозоа конвективной и слоистой облачности (РКСО).

## 5.1. Определение формы облаков по типу радиозоа

Поскольку на основе информации МРЛ распознаются только пять видов облачности, то при анализе характеристик конкретного радиозоа необходимо:

- 1) идентифицировать его принадлежность к одному из перечисленных видов;
- 2) помнить, что одновременно могут наблюдаться несколько видов облачности;
- 3) учитывать признаки, позволяющие идентифицировать не только виды облачности, но и их сочетания.

Во время снятия поля высот, измерения радиолокационной отражаемости оператор постоянно анализирует изображение с целью наиболее объективного определения типа радиозоа, а затем и вида

облачности. Эта часть работы требует концентрации внимания, большой сосредоточенности, хорошей памяти и пространственного воображения.

Вид облаков определяют по:

- пространственному распределению радиозха по площади, наблюдаемой на ИКО;
- пространственному распределению высоты верхней границы облаков;
- пространственному распределению отражаемости на уровне, расположенном на 2 км выше нулевой изотермы.

## **5.2. Методика распознавания радиолокационных изображений облачности**

Для правильной интерпретации и типизации радиозха различных облаков необходимо учитывать механизмы их образования и развития, которые обуславливают характерные особенности в геометрическом и микрофизическом строении и, следовательно, в отраженных сигналах.

Основными параметрами для классификации радиозха служат его конфигурация, горизонтальные и вертикальные размеры, значения радиолокационной отражаемости на разных уровнях, высота приподнятости радиозха над поверхностью земли, наличие явлений погоды, однозначно связанных с тем или иным видом облачности (дождь ливневого или обложного характера, гроза или град).

### ***5.2.1. Характерные признаки различных видов облаков на экране ИДВ***

Первая задача анализа заключается в том, чтобы определиться с типами радиозха на каждом разрезе, вторая – определить тип облачности, которому принадлежит данное радиозхо, третья – определить наличие опасных явлений, которые связаны только с конвективной облачностью.

Возможны три следующие ситуации:

- наблюдаются только изолированные области радиоэха конвективных облаков;
- наблюдается только радиоэхо слоистообразной облачности;
- наблюдается радиоэхо и конвективной, и слоистообразной облачности.

В первом случае, когда наблюдается только РКО (рис. 21), идентификация основана на их характерной форме (ширина соизмерима с высотой), на наличии, как правило, более яркой области внутри и больших значений  $IgZ$  на втором и третьем уровнях. Но не всегда перечисленные факторы имеют место одновременно. Так, яркая область и большие значения  $IgZ$  характерны для  $Cb$ , находящихся в стадии зрелости. К концу стадии максимального развития и на стадии диссипации контуры искажаются за счет разрушения и эволюции  $Cb$  в высококучевые и перисто-кучевые облака.

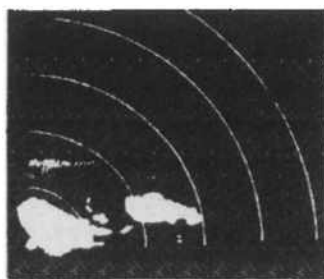


Рис. 21. Радиоэхо кучевого облака  $Cb$  на ИДВ (тип РКО)

Особое внимание уделяется кучевообразным облакам. При наблюдении РКСО или РСО необходимо каждый раз проверять, имеются ли ячейки, занятые РКО. С этой целью необходимо ввести несколько ступеней изоэха до тех пор, пока картина радиоэха на ИКО не будет представлять собой отдельные очаги или небольшие полосы.

При этом выбор последней ступени изоэха считается правильным, если площадь радиоэха кучевообразных облаков не будет практиче-

ски уменьшаться при дальнейшем введении изоэха. Центры этих очагов или полюс отмечаются крестиками или обводятся контуром.

Часто при выделении РКО величина отраженного сигнала на уровне  $H_2$  в слоисто-дождевых облаках сопоставима с величиной  $\lg Z_2$  в кучево-дождевых облаках. Это происходит ввиду того, что сигнал отражается от области нулевой изотермы. Окончательное суждение о наличии РКО необходимо сделать после анализа распределения высот и отражаемостей на ИКО, картин радиоэха на ИДВ. Необходимо помнить, что радиоэхо некоторых облаков может быть обнаружено только в пределах определенных расстояний (см. табл. 2). Приведем несколько примеров идентификации облачности в БЗ. Рис. 21 иллюстрирует наличие РКО.

Идентификация обоснована их характерной формой, шириной, соизмеримой с высотой, наличием более яркой области внутри, большими значениями  $\lg Z$  на втором и третьем уровнях. Характер осадков (интенсивность, продолжительность, пространственные размеры) являются полезной информацией для идентификации радиоэха. Если РКО распространяется до земли, то это указывает на наличие осадков ливневого характера.

На рис. 22, 23 представленные картины радиоэха являются наиболее типичными для слоистообразных облаков.

Верхняя граница радиоэха ровная, его горизонтальная протяженность превышает вертикальную мощность, не имеет выделяющихся ярких областей. Иногда радиоэхо распадается на несколько горизонтальных слоев, что свидетельствует о наличии облачности слоистых форм разного яруса.

Если из облачности выпадают осадки не ливневого характера, значит, радиоэхо принадлежит облачности  $Ns$ ,  $St$  или  $As$  (соответственно,  $N$ ,  $S$  или  $A$ ). Известно, что из  $Ns$  выпадают обложные осадки, они довольно интенсивные, и эта интенсивность мало меняется по территории (здесь можно использовать и информацию ДЗ о пространственных размерах осадков). Для этой формы облачности характерно наличие яркой горизонтально расположенной полосы на уровне  $0^\circ$  изотермы. Вертикальная мощность радиоэха такой облачности — до 6 км.

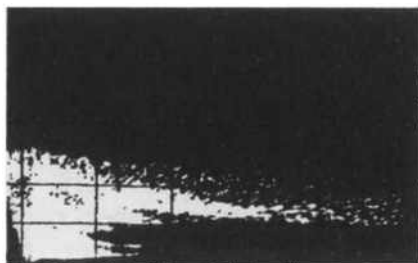


Рис. 22. Радиозэхо слоистообразных облаков  
 $C-A-S$  на ИДВ (тип PCO)

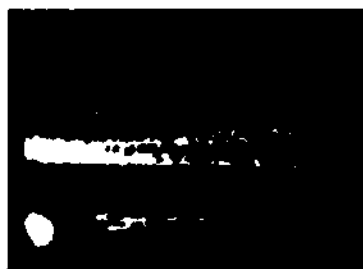


Рис. 23. Радиозэхо (тип PCO) слоистообразных облаков на ИДВ:  
 $A$  – облака среднего яруса;  $S$  – облака нижнего яруса

Если же выпадают слабые морозящие осадки, а вертикальная мощность радиозэхо не превышает 2–2,5 км, то это радиозэхо слоистой облачности нижнего яруса, которую следует идентифицировать как  $S$ . Иногда облачность нижнего яруса сливается с облачностью среднего яруса, в то время как выпадают слабые морозящие осадки. В этом случае высота верхней границы радиозэхо должна быть около 5–6 км. Тогда такое радиозэхо можно идентифицировать как  $A-S$ .

Если на вертикальном разрезе видимое изображение радиозэхо имеет четкие верхние и нижние границы (облачность расположена на высотах от 2 до 6 км), распространяется практически на всю ближнюю зону, то это облака среднего яруса  $Ac$  или  $As$  (вид  $A$ ).

Облака верхнего яруса имеют те же опознавательные признаки, что и облака среднего яруса, но располагаются на высотах от 6 до 12 км. Для идентификации облаков по измерениям в БЗ рекомендуется применение метода детерминированных описаний радиолокационных характеристик отдельных форм облаков.

### ***5.2.2. Характерные признаки различных видов облаков на экране ИКО***

Для определения вида облаков, радиозоха которых видно на экранах ИКО и ИДВ, служат следующие признаки (табл. 17):

- пространственное распределение радиозоха по площади, наблюдаемой на ИКО;
- пространственное распределение высоты верхней границы облаков;
- пространственное распределение отражаемости на уровне, расположенном на 2 км выше нулевой изотермы.

Первым критерием для анализа информации в дальней зоне являются сведения о возможности обнаружения радиозоха того или иного типа облачности в зависимости от расстояния (табл. 18). Например, облачность верхнего яруса обнаруживается зимой на расстоянии 40 км, а летом – 80 км. Следовательно, если на расстоянии 250–300 км наблюдается радиозох с высотой верхней границы 7–8 км, то, скорее всего, оно не принадлежит облачности верхнего яруса, несмотря на то что высоты верхней границы ей соответствуют. Более вероятно, что это облачность вида Q.

Вторым критерием является площадь, которую занимает радиозох, а также особенности его распределения по этой площади. Если на любом расстоянии от МРЛ наблюдается радиозох с приблизительной площадью 30×30 км (рис. 23), с высотой верхней границы более 4 км, то наиболее вероятно, что это радиозох конвективных облаков, даже если величины lgZ малы.



**Таблица 17**

**Классификация облачности по радиолокационным признакам  
на ИДВ на расстоянии до 40 км**

| Форма<br>облаков  | Картина радиозла<br>облаков (ИДВ)                                                                                    | Диапазон вероятных<br>значений высоты<br>границ радиозла, км |                 | Вертикальный<br>профиль<br>отражаемости                                                    | lgZ     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                   |                                                                                                                      | НГ                                                           | ВГ              |                                                                                            |         |
| <i>St, Sc</i>     | Сплошная полоса,<br>которая для <i>Sc</i> по<br>мере увеличения<br>расстояния приоб-<br>ретает ячеистую<br>структуру | 0,1–1,5                                                      | 0,8–2,3         | Незначитель-<br>ные изменения<br>с высотой                                                 | 0...1,5 |
| <i>As, Ac</i>     | Сплошная полоса,<br>которая для <i>Ac</i> по<br>мере увеличения<br>расстояния приоб-<br>ретает ячеистую<br>структуру | 2,0–5,0                                                      | 3,0–6,0         | Не анализиру-<br>ется                                                                      |         |
| <i>Cl, Cs, Cc</i> | Полоса с игольча-<br>той структурой                                                                                  | 6–7                                                          | 7–12            | Не анализиру-<br>ется                                                                      |         |
| <i>Ns</i>         | Сплошная область                                                                                                     | От земли                                                     | 3–6             | Четко выра-<br>женный мак-<br>симум<br>на высоте,<br>близкой к<br>уровню изо-<br>термы 0°C | 0...2,5 |
| <i>Cu, Cb</i>     | Вертикально вытя-<br>нутые области<br>радиозла                                                                       | От 0,6                                                       | 4–12<br>и более | Значения на<br>всех уровнях<br>примерно<br>одинаковы                                       | 0...5,0 |

**Таблица 18**

**Предельный радиус обнаружения облаков разных форм, км**

| Сезон | Вид      |          |            |          |            |          |          |
|-------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|----------|
|       | <i>C</i> | <i>A</i> | <i>C-A</i> | <i>S</i> | <i>A-N</i> | <i>N</i> | <i>Q</i> |
| Лето  | 80       | 200      | 200        | 120      | 250        | 250      | 300      |
| Зима  | 40       | 80       | 80         | 80       | 200        | 200      | 200      |

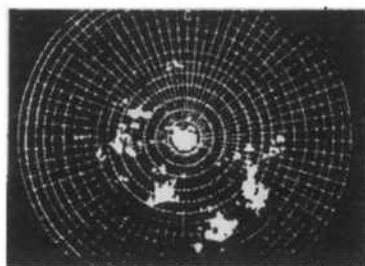


Рис. 23. Радиозоха не сплошной кучевообразной облачности (тип РКО) на экране ИКО дальности

Малые величины  $IgZ$  (близкие к 0) могут определяться стадией развития облака, большим расстоянием до облака ( $\geq 200$  км) или сильным ослаблением осадками, выпадающими вблизи МРЛ. Облачность типа  $Ns$ , имея такую же высоту верхней границы, занимает большие площади (рис. 24).

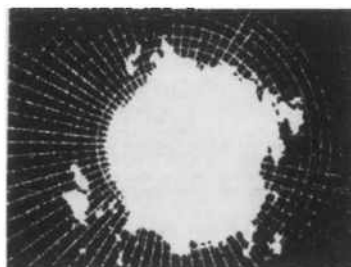


Рис. 24. Маскированные в слоистых кучеводождевые облака (тип РКСО) на ИКО. На значительном удалении от центра отдельные очаги  $Q$

При наличии нескольких форм облачности одновременно необходимо учитывать, что в квадратах с конвективной облачностью высота верхней границы радиозоха несколько выше, чем в квадратах с РСО. Это происходит при наличии мощной конвекции, когда развивающаяся конвективная облачность достигает высот, превышающих высоту слоистообразных облаков.

Важную информацию о типах облачности можно получить, анализируя значения  $\lg Z$  на трех уровнях. Если  $\lg Z$  на уровне  $H_2$  больше или равен 1,5, то в этом квадрате имеется конвективная ячейка, даже если отражаемость на уровне  $H_3$  не измерялась (например, из-за ее малой величины).

Такой вывод делают на том основании, что никакая другая облачность, даже  $Ns$ , не имеет такой величины  $\lg Z$  на уровне  $H_2$ . Наличие данных об отражаемости на уровнях  $H_2$  и  $H_3$ , независимо от величины, однозначно указывает на наличие конвективной ячейки в анализируемом квадрате, так как все другие типы облачности, наблюдающиеся на высотах около 6 км, имеют слабую отражаемость, измерение которой затруднено. На этом же основании, если измерена величина  $\lg Z$  только на уровне  $H_3$ , считается, что в квадрате имеется конвективная ячейка. Полезно привлекать данные анализа в БЗ и знать общий процесс эволюции радиоэха (например, что было в предыдущий срок, какова тенденция его развития). Следует помнить, что при отсутствии конвективной облачности радиоэхо в радиусе действия МРЛ более однородно по площади, менее изменчиво по высотам.

Данные анализа в БЗ служат вспомогательной информацией для интерпретации радиоэха дальней зоны. Если в ДЗ конвективные ячейки не наблюдаются, то идентификацию радиоэха ведут на основе данных о радиусе возможного обнаружения облачности разных типов, высоты верхней границы, занимаемой площади, величины  $\lg Z$ . В радиусе до 100 км важной является информация об осадках: их пространственном распределении и интенсивности.

Картина облачной системы  $As-Ns$  на ИКО имеет вид обширной области радиоэха без резко очерченных границ. Высота верхней границы облачной системы  $As-Ns$  примерно постоянна для всей площади их распространения. Распределение высоты верхней границы радиоэха следующее: при одинаковой дальности поле высоты верхней границы радиоэха однородно, но по мере увеличения дальности высота радиоэха убывает. Начиная с некоторого расстояния от МРЛ, верхняя часть облака, отражаемость которого мала, радиолокатором не обнаруживается.

Картина радиозха облачной системы  $As-Cb-Ac$  на ИКО обычно имеет вид полосы или нескольких полос. При больших углах возвышения антенны радиозха данной системы имеет вид «пелены» до расстояний, на которых обнаруживаются  $As$ ,  $Ac$ , так как оно создается не только конвективными облаками, но и облаками среднего яруса. Во время наблюдений на МРЛ конвективные облака в системе  $As-Cb-Ac$  находятся на разных стадиях развития. Это обстоятельство объясняет неоднородный характер поля высоты верхней границы данной облачности.

Картина радиозха обычной системы  $As-Ns-Cb$  на ИКО представляет собой большую область без резко очерченных границ, которая по мере увеличения расстояния (более 100–150 км) может переходить в отдельные полосы или ячейки. На расстоянии свыше 100–150 км обычно наблюдаются только  $Cb$ .

Пространственное распределение высоты верхней границы радиозха  $Cb$  зависит от интенсивности конвекции в радиусе наблюдений. При слаборазвитой конвекции верхняя граница облачного массива располагается на одинаковой высоте. В этом случае, как уже отмечалось, следует ожидать монотонного понижения верхней границы радиозха с увеличением расстояния. При сильно развитой конвекции и формировании кучево-дождевых облаков отмечается неоднородное поле высоты верхней границы радиозха даже на одинаковых расстояниях.

Облачные системы  $St-Sc-Ac$ , возникающие в теплой устойчивой воздушной массе, представляют собой сплошной массив облаков, простирающихся по горизонтали на сотни и даже тысячи километров. Однако в силу незначительной отражаемости таких облаков появление радиозха от них возможно только на расстояниях, не превышающих 100 км.

На ИКО радиозха таких облаков под меняющимися углами возвышения антенны имеет вид отдельных или концентрических колец. В первом случае такая картина характеризует одноярусную облачность, во втором – многоярусную. Высота верхней границы данного облачного массива примерно постоянна, а поскольку даль-

ность обнаружения этих облаков невелика, высота верхней границы радиоэха также мало изменяется в пространстве.

Таблица 19

Классификация основных типов облачных систем по радиолокационным данным на ИКО > 40 км

| Тип облачной системы     | Характер распределения радиоэха по площади                                                                                              | Характер распределения высоты границы радиоэха                                                                                                                      | Характер распределения отражаемости радиоэха, диапазон значений $\lg Z$ |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <i>As-Ns</i> (PCO)       | Большая площадь без резко очерченных границ                                                                                             | Однородное поле на разных расстояниях с монотонным уменьшением $H_m$ по мере увеличения дальности                                                                   | Однородное поле: $\lg Z = -1-1$                                         |
| <i>As-Ns-Cb</i> (PKCO)   | Большая облачность без резко очерченных границ, которая по мере увеличения расстояния переходит в отдельные небольшие полосы или ячейки | Два вида распределения: однородное поле на разных расстояниях с монотонным уменьшением $H_m = 5-9$ км; неоднородное поле на одинаковых расстояниях: $H_m = 5-13$ км | Неоднородное поле: $\lg Z = -1-5$                                       |
| <i>As-Cb-Ac</i>          | Полоса или несколько полос                                                                                                              | Неоднородное поле: $H_m = 1-6$ км                                                                                                                                   | Неоднородное поле: $\lg Z = 1-5$                                        |
| <i>St, Sc, Ac</i> (PCO)  | Отдельные или концентрические кольца                                                                                                    | Однородное поле: $H_m = 1-6$ км                                                                                                                                     | Однородное поле: $\lg Z = -3-0$                                         |
| <i>Cu cong, Cb</i> (PKO) | Хаотически разбросанные полосы или ячейки                                                                                               | Неоднородное поле: $H_m = 5-13$ км                                                                                                                                  | Неоднородное поле: $\lg Z = 1-5$                                        |

Картина радиоэха облаков неустойчивой холодной массы типа *Cu med*, *Cu cong*, *Cb* на ИКО при наблюдении под оптимальным углом возвышения представляет собой хаотически разбросанные ячейки или локальные полосы, образованные группами ячеек.

Из сказанного следует, что для определения типа облачной системы в ряде случаев достаточно использовать особенности пространственного распределения одного из радиолокационных признаков – площади, высоты или отражаемости. Так, для облачных систем *As-Cb-Ac*, *St-Sc-Ac* и *Cu cong*, *Cb* однозначным признаком определения их типа является картина распределения радиозха на площади. Однако для систем *As-Ns*, *As-Ns-Cb* этот признак является недостаточным. В этом случае для анализа необходимо привлекать дополнительную информацию в виде карты распределения высоты радиозха. Часто можно ограничиться двумя этими признаками, например, когда поле высоты неоднородно даже при одинаковой дальности. Такое распределение высоты при наличии соответствующих картин ИКО характерно только для системы *As-Ns-Cb*, но нередко картины распределения высоты в системах *As-Ns* и *As-Ns-Cb* идентичны, т.е. высота верхней границы радиозха убывает с расстоянием. В этих случаях следует использовать третий признак – картину распределения отражаемости, которая, как уже указывалось, позволит практически однозначно отличить систему *As-Ns-Cb* от системы *As-Ns*.

На ИКО облака среднего яруса *As*, *Ac* (вид *A*), облака верхнего яруса *Ci*, *Cs*, *Cc* (вид *C*) и их сочетания занимают значительные площади во всех направлениях от центра. Дальность обнаружения таких облаков зависит от их мощности. Для идентификации типа облаков по измерениям в ДЗ можно воспользоваться табл. 19.

## 6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 6.1. Диагноз и прогноз опасных атмосферных явлений

Понятия «диагноз» и «прогноз» в радиометеорологии несколько отличаются от общепринятых в синоптической метеорологии.

Сеанс измерений по МРЛ, выполненный в заданный срок ( $T_0$ ), дает вертикальный профиль радиолокационной отражаемости в различных квадратах и трехмерную картину геометрии распределения облачности, включая верхнюю и нижнюю высоту ее границ, причем диагностируется радиолокационное «видение» облака, которое отличается от визуального, так как МРЛ в основном фиксирует ту часть облака, где концентрируются крупные частицы.

Прогноз опасных явлений по наблюдениям МРЛ состоит из двух этапов:

1. Количественный анализ вертикального профиля радиолокационной отражаемости является основой для вероятностного метеорологического прогноза опасных атмосферных явлений на контролируемой территории в этот же момент времени  $T_0$ , а не в будущий  $T_1 > T_0$ .

2. По оценкам перемещения возможных очагов опасных явлений и тенденции их развития выполняется инерционный прогноз для отдельных пунктов или воздушной трассы, который используется с учетом общей синоптической ситуации.

Заметим, что по данным МРЛ возможно выявление только тех опасных явлений, которые связаны с конвективной облачностью. Целью анализа первичных радиолокационных данных является определение в каждой ячейке  $30 \times 30$  км или зоне РКО наиболее опасного явления. Эти опасные явления делят на три группы:

- 1) градоопасные  $Cb$  и грозовые облака с градом  $\Delta$ ;
- 2) грозоопасные облака  $R$  и ливневый дождь с грозой  $R, \nabla$ ;
- 3) негрозовые конвективные облака  $Q$  и ливни  $\nabla$ .

Важным моментом данной классификации является то, что к первой группе относят не только облака, из которых выпадает град, но и облака, сопровождающиеся грозой, но из которых в данный момент град может и не выпадать. Соответственно, ко второй группе относят не только облака, сопровождающиеся грозовыми разрядами и ливнем, или сухие грозы, но также кучево-дождевые облака в предгрозовой стадии.

Обнаружение опасных явлений производится на основе применения автономных или комплексных критериев.

Применение таких критериев сводится к сравнению значений отражаемости на различных уровнях, зафиксированных в ячейках с РКО, с установленными критериальными значениями  $LgZ$ .

Анализ информации МРЛ на наличие опасных явлений ведут одновременно с идентификацией радиоэха. Для этого, установив, что в квадрате  $30 \times 30$  км дальней зоны имеют место кучево-дождевые облака, оценивают возможность использования автономного критерия либо вычисляют комплексный критерий.

### **6.1.1. Гроза**

Для распознавания грозоопасных облаков с ливневыми осадками в качестве автономного критерия используют параметр  $lgZ$  на уровнях изотермы  $0^{\circ}\text{C}$  и изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$ . Если значения  $lgZ$  на этих уровнях меняются в пределах некоторого определенного интервала, то можно с высокой вероятностью говорить о наличии грозы, но следует помнить, что в каждом географическом районе величина этого критерия разная.

На практике обнаружить опасное явление только с помощью автономного критерия удастся редко ввиду малого количества случаев со столь высокими значениями отражаемостей. Для Томска, например, автономный критерий для распознаваний явлений второй группы не обнаружен. Следовательно, необходимо использовать дополнительные средства анализа, чтобы различать явле-



ния, и тогда обнаружение грозоопасных  $C_b$  производится на основе использования комплексных критериев.

Одним из таких критериев является комплексный критерий  $Y$  – критерий грозоопасности, учитывающий величину  $\lg Z$  на уровне  $H_2$  и высоту верхней границы радиоэха одновременно:

$$Y = H \cdot \lg Z_3.$$

В зависимости от конкретной величины  $Y$  в указанных пределах возможна идентификация опасных явлений с разной степенью вероятности (табл. 20). Так, кроме грозы с вероятностью 90% принято идентифицировать грозы с вероятностью 70–90%, ливневые осадки с вероятностью 70%, а также кучево-дождевую облачность без явлений.

Таблица 20

Идентификация опасных явлений с разной степенью вероятности

| Условие                                          | Y  |     |       |       |      |      |
|--------------------------------------------------|----|-----|-------|-------|------|------|
|                                                  | <6 | 6–9 | 10–19 | 20–24 | ≥ 25 | ≥ 35 |
| Радиус ≤ 200 км                                  | Q  | ∇)  | (R)   | R)    | R    | ▲    |
| Радиус до 200 км<br>$ \lg Z_3 - \lg Z_2  \leq 1$ | Q  | ∇)  | R)    | R     | R    | ▲    |
| Радиус > 200 км                                  | Q  | ∇)  | R)    | R     | R    | ▲    |

*Примечание.* Q – кучево-дождевое облако без явлений; ∇) – ливневые осадки с вероятностью около 70% на расстоянии более 90 км; (R) – гроза с вероятностью менее 70%; R) – гроза с вероятностью 70–90%; R – гроза с вероятностью более 90%; ▲ – град.

Однако на АМСГ «Томск» и этот метод для прогноза гроз используется только в переходные сезоны года.

Для прогноза грозы в летние месяцы на АМСГ «Томск» нашел применение прогноз гроз, основанный на расчетах значений  $Y_{\text{критическое}}$  ( $Y_{\text{кр}}$ ), для расчета которого используются статистические данные о наименьших значениях  $\lg Z_{\text{min}}$  в данном регионе при грозе:

$$Y_{\text{кр}(R)} = H - 22^\circ\text{C} \cdot \lg Z_{\text{min}}.$$

Значение  $Y_{\text{гр}}$  зависит от месяца и высоты изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$  (табл. 1–3, прил. 4). Если  $Y \geq Y_{\text{гр}}$ , то ставим знак грозы, а вероятность, с которой она прогнозируется, определяется по графику (рис. 1, 2, прил. 4) и отмечается на бланке Ф-2, в той ячейке, где она определена. Если  $Y < Y_{\text{гр}}$ , то при отсутствии осадков ставится знак  $\mathcal{Q}$  (кучевое облако без явлений).

По окончании грозового периода (май – август) инженером-метеорологом проводится работа по сопоставлению данных наземных станций о фактических грозах с данными МРЛ в радиусе 180 км.

### 6.1.2. Град

Для ближней и дальней зоны критерии градоносного кучево-дождевого облака указаны в табл. 21. Эти критерии имеют высокую степень надежности. При диагнозе «град» его вероятность составит 90–95%. В ячейке, где обнаружено явление, ставится знак града  $\Delta$ , и его интенсивность, определяемая по таблице, указывается справа внизу от знака.

Таблица 21  
Критерии градоносного кучево-дождевого облака

| $R$ | $H$       | $\lg Z_2$                                                  | $\lg Z_3$ | $\lg Z_4$ | Интенсивность |
|-----|-----------|------------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| 300 | $\geq 10$ | 2,8                                                        | 2,8       | 2,8       | $\Delta 6$    |
| 300 | Любая     | $\lg Z = 4,0$ (на любом уровне)                            |           |           | $\Delta 8$    |
| 300 | 10        | $\lg Z = 3,7$ (на любом уровне)                            |           |           | $\Delta 6-8$  |
| 300 | Любая     | $Y = H \cdot \lg Z_3 \geq 3,5$                             |           |           | $\Delta 8-6$  |
| 60  | Любая     | $\lg Z_{\text{мин}} \geq 2,8$ $H_{\text{мин}} > H_0 + 1,4$ |           |           | $\Delta 8-6$  |

### 6.1.3. Шквал

Шквал – это резкое усиление ветра, часто сопровождающееся изменением направления. Зона порывистости часто наблюдается впереди грозового  $Cb$  в 10–15 км от выпадающих осадков. Шквал в 75% наблюдается на холодных фронтах, остальные случаи на

теплых фронтах. Ширина полосы достаточно узкая, порядка 200 м, поэтому зафиксировать такое явление трудно. Оправдываемость этого метода в разные годы различная в зависимости от количества случаев шквала.

Для определения положения шквала используется специальная методика по определению шквалов с использованием данных МРЛ. Местоположение шквала обычно связывают с полосой облачности (реже с отдельными облаками), перемещающейся со скоростью более 60 км/ч. Для идентификации шквала учитывают значения высоты верхней границы облаков, отражаемости на третьем уровне  $\lg Z_3$  и скорости перемещения облачной системы.

Для того чтобы дать прогноз «шквал», необходимо:

1) рассчитать величину

$$X = \lg Z_3 + 0,04 V_p,$$

где  $V_p$  – скорость перемещения радиоэха или скорость ветра на поверхности 700 гПа.

Скорость перемещения радиоэха определяет оператор, скорость ветра на высоте изобарической поверхности 700 гПа запрашивается у синоптика;

2) на графике (рис. 1, прил. 5) выбрать ситуацию «фронт» (кривая Б) или «без фронта» (кривая А);

3) по соответствующей оси графика найти точку с координатами ( $X, H$ ), где  $H$  – высота верхней границы облачности. Если анализируемая точка лежит ниже сравниваемой кривой, то дается прогноз «без шквала», если выше – то «шквал»;

4) найти скорость ветра при шквале при помощи таблицы (табл. 1, прил. 5) по значению  $H, \lg Z_3$  и  $V_p$  (м/с);

5) если по таблице определено значение скорости 19 м/с, то в прогнозе дать 17–21 м/с (т.е.  $\pm 2$  м/с).

#### 6.1.4. Ливни

Для интерпретации ливневых осадков учитывается удаленность РКО. Если РКО находится на удалении до 100 км, а  $\lg Z_1 \geq 0$ , при

этом значения  $Y < Y_{\text{кр}}(R)$ , то в данной ячейке ставится знак ливня –  $\nabla$  с его интенсивностью (табл. 22).

Таблица 22

**Оценка теоретической мгновенной максимальной интенсивности  
жидких осадков по радиолокационной отражаемости**

| $\lg Z, \text{мм}^6/\text{м}^3$ | Качественная оценка интенсивности радиозха |
|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,0–1,1                         | Слабая                                     |
| 1,2–2,7                         | Умеренная                                  |
| 2,8–3,9                         | Сильная                                    |
| > 3,9                           | Очень сильная                              |

Знак  $Q$  ставится во всех ячейках с РКО, где не обнаружено явлений. Крестиком помечается максимальная отражаемость в каждой ячейке  $30 \times 30$  км с РКО.

## 6.2. Выявление зон, занятых осадками, в разные периоды года

**Теплый период.** В этот период года осадки выявляются в радиусе 90 км. Зоны, занятые обложными осадками, выделяются на бланке Ф-2 пунктирной линией. Для этого отмечаются контуры радиозха с отражаемостью  $\lg Z_1 \geq 0,0$  в слое  $H_1$ , расположенном выше земной поверхности и ниже уровня таяния. Середина слоя  $H_1$  располагается на высоте, равной примерно 1 км. Угол возвышения антенны МРЛ должен составлять  $0,2-1^\circ$  при среднем значении  $0,5^\circ$ . Такая величина ( $0,2-1^\circ$ ) выбирается для того, чтобы избежать влияния отраженных от местных предметов сигналов на измерение величин отражаемости от зон осадков.

**Переходный период.** В эти периоды года зоны, занятые осадками, выявляются в радиусе 50–60 км, для чего пунктирной линией отмечаются контуры радиозха с отражаемостью  $\lg Z_1 \geq 0,0$  в слое  $H_1$  при  $\varepsilon = 0,2-1^\circ$ . Если нет возможности оценить интенсивность осадков, на бланке надо указать слово «осадки», не уточняя их характера. Данные об отражаемости на расстояниях свыше 60 км должны за-

писываться в правый верхний угол ячейки, однако на этих же расстояниях возможна запись и в правом нижнем углу ячейки.

Известно, что при максимальной температуре воздуха от  $-2$  до  $+3^{\circ}\text{C}$  может выпадать либо дождь, либо снег с дождем, либо переохлажденный дождь. По одним радиолокационным данным в таких ситуациях нельзя точно определить характер выпадающих осадков. Дополнительным радиолокационным критерием обложных жидких осадков в этот период может служить положение нулевой изотермы, которая при выпадении жидких осадков должна находиться на высотах не ниже 500 м. Положение нулевой изотермы иногда можно определить по появлению яркой линии на ИДВ. Для определения положения яркой линии необходимо ввести 2–4 ступени изозха.

Если при  $t$  от  $-2$  до  $+3^{\circ}\text{C}$  по одним радиолокационным данным нельзя определить вид выпадающих осадков и разделить их на твердые и жидкие, то на картах представления можно написать «осадки» или поставить значок смешанных осадков (обложных со значением  $\lg Z \geq 0,6$  или ливневых при обнаружении явно выраженного РКО с  $\lg Z \geq 0,7$ ).

*Холодный период.* В холодный период на расстояниях свыше 30 км зонами осадков будут считаться все зоны радиоэха, зафиксированные при углах возвышения антенны  $\varepsilon = 0,2-1^{\circ}$  в радиусе 90 км и достигающие поверхности земли, с отражаемостью  $\lg Z_1 \geq -0,3$ .

Радиоэхо зоны слабых осадков, в которой  $\lg Z_1$  меньше  $-0,3$  (от  $-0,5$  до  $-1,5$ ), на расстояниях свыше 40 км невозможно отличить от радиоэха облаков, и поэтому зона слабых осадков в холодный период фиксируется только в ближней зоне при вертикальных разрезах на ИДВ. Положение зон снегопада в радиусе до 100 км иногда легко уточняется с помощью данных, получаемых при вертикальных разрезах на ИДВ (масштаб 50:100). В случае отсутствия высоких «местников» на ИДВ зона радиоэхо облачности, которое сливается с радиоэхо поверхности земли, должна считаться зоной выпадения снега.

### **6.3. Определение метеорологической дальности видимости в осадках**

Метеорологическая дальность видимости (МДВ) – одна из важнейших характеристик, определяющих безопасность взлета и посадки самолетов. Дальность видимости, особенно ее критические значения, близкие к минимумам погоды, тесно связаны с наличием или отсутствием таких атмосферных явлений, как дымки, туманы, осадки, причем снегопады обуславливают значительно большее ухудшение видимости по сравнению с другими видами осадков. Территория Томской области входит в зону повышенной повторяемости ухудшения видимости менее 1 000 м.

Метеорологические радиолокаторы используются для наблюдения за пространственно-временной динамикой зон осадков, в том числе снегопадов, и косвенной оценки МДВ в них. Систематическая работа по использованию радиолокационной информации для диагноза и прогноза метеорологической дальности видимости в осадках за холодный период на АМСГ «Томск» проводится с 1989 г. Измерение отражаемости  $lgZ_1$  производится на удалении 5–10 км при углах возвышения антенны 0,2–10°, что соответствует 100–500 м над поверхностью земли в зависимости от расстояния. Следовательно, МРЛ при такой установке антенны, к сожалению, не отражает влияния метелей, которые играют существенную роль в формировании МДВ.

Наблюдения за видимостью на аэродроме «Томск» проводятся с использованием инструментальных средств (ФИ-1) или визуально по дневным и ночным ориентирам. Инструментальные наблюдения производятся при МДВ 2 000 м и менее. Определение МДВ производится через каждые 30 мин, а при видимости менее 1 000 м – непрерывно. Для осадков, тумана, дымки значение интенсивности явления жестко связывается с МДВ (слабая при МДВ более 2 км, умеренная – 1–2 км, сильная – менее 1 км). Значения видимости в жидких осадках не определяются.

В зимний и переходные периоды определяется видимость в снегопадах (табл. 23). По результатам сравнений данных МРЛ и

наблюдателей АМСГ Томск получено, что по интенсивности снегопады распределяются следующим образом: сильные – 3; умеренные – 31; слабые – 66%.

Таблица 23  
Видимость при снегопадах по данным МРЛ-5 «Томск»

|           |             |                  |                  |                 |                |                |            |
|-----------|-------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|------------|
| $\lg Z_1$ | $\leq -1,0$ | $-0,9 \div -0,6$ | $-0,5 \div -0,2$ | $-0,1 \div 0,3$ | $0,4 \div 0,7$ | $0,8 \div 1,2$ | $\geq 1,3$ |
| МДВ, км   | $> 5,0$     | $2,5 \div 5,0$   | $2,0 \div 2,4$   | $1,5 \div 1,9$  | $1,0 \div 1,4$ | $0,5 \div 0,9$ | $< 0,5$    |

Ниже приведены результаты комплексного анализа радиолокационной отражаемости и метеорологической дальности видимости (МДВ) при снегопадах, различных по виду и интенсивности, на основе материалов АМСГ «Томск». В итоге представлены переводные таблицы, на входе которых – градации радиолокационной отражаемости, а на выходе – градации МДВ с учетом вида снегопадов. Полученные результаты используются в оперативной работе метеорологического радиолокатора (МРЛ-5) для холодного и переходных сезонов года.

Табл. 24 используется в переходные сезоны, когда большая вероятность выпадения смешанных осадков или мокрого снега. Кроме того, ее рекомендуется применять в зимний период при температурах воздуха выше  $-2^{\circ}\text{C}$ , предполагая, что в зимних температурных инверсиях, характерных для Сибири, формируются слои с положительными температурами.

Таблица 24  
Видимость при снегопадах в мокром и сухом снеге по данным МРЛ-5 «Томск»

| Мокрый снег      |                | Сухой снег       |                |
|------------------|----------------|------------------|----------------|
| $\lg Z_1$        | МДВ, км        | $\lg Z_1$        | МДВ, км        |
| $\leq -0,6$      | $\geq 2,5$     | $\leq -0,7$      | $\geq 2,5$     |
| $-0,5 \div -0,3$ | $2,0 \div 2,4$ | $-0,6 \div -0,3$ | $2,0 \div 2,4$ |
| $-0,2 \div 0,2$  | $1,5 \div 1,9$ | $-0,2 \div 0,1$  | $1,5 \div 1,9$ |
| $0,3 \div 0,7$   | $1,0 \div 1,4$ | $0,2 \div 0,4$   | $1,0 \div 1,4$ |
| $0,8 \div 1,2$   | $0,5 \div 0,9$ | $0,5 \div 1,2$   | $0,5 \div 0,9$ |
| $\geq 1,3$       | $< 0,5$        | $\geq 1,3$       | $< 0,5$        |

## 6.4. Пример анализа

В прил. 6 представлены данные наблюдений МРЛ АМСГ «Томск» (08 ч 2 июля 2006 г.). Число и срок наблюдений по гринвичскому и местному времени внесены в таблицу, расположенную в правом верхнем углу дальней зоны.

Анализ начинается с ближней зоны, поскольку там больше информации и она подробнее. В ближней зоне имеются наблюдения в четырех направлениях. Азимут каждого направления указан над соответствующим разрезом.

Следует отметить три задачи анализа, которые заключаются в определении:

- 1) типов радиоэха на каждом разрезе,
- 2) типов облачности, которому принадлежит данное радиоэхо,
- 3) наличия опасных явлений, которые связаны только с конвективной облачностью.

Возможны три ситуации, при которых наблюдаются: только изолированные РКО; только РСО; РКСО.

В первом случае, когда наблюдается только РКО, идентификация основана на их характерной форме (ширина сопоставима с высотой), наличии, как правило, яркой области внутри, довольно больших  $\lg Z$  и особенностях распределения этого параметра с высотой, когда на уровне  $H_2$  он остается таким же, как и на уровне  $H_1$ . Не всегда перечисленные факторы имеют место одновременно. Так, яркая область и большие  $\lg Z$  характерны для *Cb*, находящихся в стадии зрелости. В то же время контуры такого радиоэха становятся своеобразными уже со стадии зарождения. А к концу стадии максимального развития и на стадии диссипации они искажаются за счет разрушения и эволюции *Cb* в высококучевые и перисто-кучевые облака.

Если РКО распространяется до земли, то это указывает на наличие осадков ливневого характера, интенсивность которых определяется по величине  $\lg Z$  на уровне  $H_1$ . Характер осадков (интенсивность, продолжительность, пространственные размеры) является тоже информацией для идентификации радиоэха.



Если радиозоха не имеет выделенных ярких областей и не меняется или мало меняется в разных частях радиозоха, верхняя граница радиозоха ровная и иногда распадается на несколько горизонтальных слоев, то это радиозохо слоистообразных облаков. Необходимо определить, к какому ярусу или ярусам оно относится. Если из облачности выпадают осадки (естественно, не ливневого характера) и величина  $\lg Z_1 \geq 0$ , то это значит, что радиозохо может принадлежать облачности типа *Ns*, *St* или *As* (соответственно *N*, *S* или *A*). Как мы знаем, из *Ns* выпадают обложные осадки, они довольно интенсивные и эта интенсивность мало меняется по территории (здесь можно использовать и информацию дальней зоны о пространственных размерах осадков). Мощность радиозоха такой облачности до 7 км и более (облачность *C-A-N*).

Если же выпадают слабые морозящие осадки, а вертикальная мощность радиозоха не превышает 3 км, то это радиозохо облачности нижнего яруса и ее следует идентифицировать как *S*. Иногда облачность нижнего яруса сливается с облачностью среднего яруса, в то время как выпадают слабые морозящие осадки. В этом случае высота верхней границы радиозоха должна быть около 5–6 км. Тогда такое радиозохо можно идентифицировать как *A-S*.

Если из PCO осадки не выпадают, то его идентификация сводится к определению яруса, что делают на основе данных о высоте нижней и верхней границ радиозоха. Если оно имеет нижнюю границу около 0,5 км, а верхнюю около 2–3 км, то это облачность нижнего яруса *S*, если 2–3 и 4–5 км соответственно, то это радиозохо облачности среднего яруса *A* и если нижняя граница радиозоха выше 6 км, то это облачность верхнего яруса *C*. Радиозохо облачности среднего и верхнего яруса «сужается» с удалением от МРЛ быстрее, чем радиозохо нижнего яруса.

Часто радиозохо облачности двух или даже трех ярусов невозможно разделить на экране ИДВ. Тогда ее идентифицируют как облачность двух ярусов, например *A-S*, если высота нижней границы была около 1 км, а верхней – около 5 км, или *C-A* при высоте нижней границы более 2 км, а верхней выше 6 км. Возможны и другие сочетания.

Наиболее сложным считается анализ РКСО. В этом случае конвективные облака замаскированы облачностью других типов, чаще всего *Ns*. Наличие конвективных ячеек среди РСО определяют в первую очередь по наличию яркой части радиозха, которая является сердцевинной конвективной ячейки.

Кроме того, значения  $lgZ$  в этом месте обычно велики на всех высотах, во всяком случае, они больше, чем в остальной части радиозха. И наконец, очень часто показательным является ход верхней границы радиозха. Ровный ее ход над слоистым облаком сменяется значительным подъемом над конвективной ячейкой. Этот критерий особенно важен, когда величины  $lgZ$  невелики. Указанием на конвективную облачность могут служить ливневые осадки.

Анализ начинают с того, что устанавливают на основе вышеперечисленных критериев местонахождение конвективных ячеек и анализируют их, как это принято для РКО. Оставшуюся часть радиозха идентифицируют, как РСО, соответствующими приемами.

На вертикальном разрезе (прил. 6) в направлении  $20^\circ$  имеется однородный довольно ровный контур верхней границы радиозха на высоте 9,6 км (помечено крестиком), нижняя граница достигает земли, следовательно, из облака выпадают осадки. На основе анализа высоты верхней границы и распределения значений радиолокационной отражаемости (выделение более яркой части радиозха) определены следующие формы облачности: слоистообразная всех уровней, дающая слабый дождь (зона осадков наблюдается до 50 км) и маскированная кучево-дождевая облачность (*C-A-S-Q*) с ливневым дождем слабой интенсивности, расположенным, как и зона наибольшей отражаемости РКО, на удалении 15 км. Для маскированной кучево-дождевой облачности величины отражаемости измерены (место помечено крестиком) на уровнях  $H_1$  и  $H_2$ , а для обложных осадков только на уровне  $H_1$ . Положение наибольшей отражаемости в зоне РКО отмечено вертикальной извилистой линией, расположенной на удалении 15 км от МРЛ. Результаты определения высот верхней и нижней границ радиозха записаны в виде дроби и расположены выше рисунка вертикального разреза с

указанием формы облачности (слева от дроби) и явления с его интенсивностью (справа от дроби).

Наблюдаемое в азимуте  $145^\circ$  радиоэхо можно идентифицировать как РКО (облачность  $Q$ ). Ширина радиоэха соизмерима с высотой, выделена зона достаточно больших  $\lg Z$  на всех уровнях. Передний край кучево-дождевого облака находится на расстоянии 10 км, его протяженность вместе с наковальной составляет 25 км. Верхняя граница радиоэха находится на высоте 10,0 км, а нижняя – достигает земли, что говорит о том, что из облака выпадают осадки. Учитывая параметры радиоэха, необходимо проверить, не сопутствуют ли ему опасные явления. Проверка осуществляется с помощью критерия  $Y$ :

$$Y = H_{\text{max}} \cdot \lg Z_3 = 10 \cdot 1,9 = 19,0.$$

Полученное значение  $Y$  превышает  $Y_{\text{кр}}$ , рассчитанное для анализируемого дня и составляющее 8,4. Величина различия между значениями свидетельствует о том, что вероятность грозы составляет более 90%. Интенсивность грозы определяется по значению радиолокационной отражаемости на уровне  $H_3$ , равному 1,9. Интенсивность грозы умеренная и обозначается символом  $R_4$ . Рядом с грозой следует поставить знак сильных ливневых осадков, так как его интенсивность выше, чем у грозы. Все характеристики облака указывают на то, что облако находится в стадии зрелости.

В азимуте  $220^\circ$  наблюдается слоистообразная облачность всех уровней ( $C-A-S$ ). Верхняя граница облачности составляет 10,0 км. Конвективных ячеек не обнаружено. Значение радиолокационной отражаемости на уровне  $H_1$  составляет 0,6, что соответствует слабому обложному дождю, согласно табл. 27. Наличие осадков подтверждается и характером радиоэха, нижняя граница которого простирается до земли. Зона обложных осадков выделена пунктирной линией, нанесенной вдоль поверхности земли на высоте менее 500 м. Характеристики облачности и сопутствующих ей явлений записаны над рисунком вертикального разреза в этом направлении (см. рис. 1, прил. 6).

Разрез по азимуту  $340^\circ$  схож с разрезом по азимуту  $20^\circ$ . Совпадают и формы облачности, и наблюдаемые явления. Некоторые различия наблюдаются в высотах верхней границы облаков и в интенсивности ливневых осадков. Интенсивность осадков оценивается по величине  $\lg Z$  на уровне  $H_1$ . Интенсивность осадков по азимуту  $340^\circ$  (определены как умеренные) больше, чем по азимуту  $20^\circ$  (определены как слабые), поскольку значения радиолокационной отражаемости на уровне  $H_1$  здесь выше на одну градацию.

По окончании анализа в БЗ переходят к анализу данных в дальней зоне. Анализ в ДЗ начинают с квадратов, занятых конвективной облачностью и помеченных крестиками еще в процессе наблюдения. Ясно, что в этих квадратах имеет место конвективная облачность, а есть ли в них еще и другая облачность, уже не имеет значения. После анализа данных в этих квадратах (в том числе и анализе на наличие опасных явлений) переходят к анализу информации в других квадратах, не помеченных крестиками. Среди них тоже имеются квадраты с конвективной облачностью, которые надо найти. Это делают на основе анализа величины  $\lg Z$  и ее распределения с высотой в каждом квадрате, анализа высоты верхней границы радиосх в сравнении с его высотой в смежных квадратах.

Анализ  $\lg Z$  начинают с оценки его величины. Если  $\lg Z$  на уровне  $H_2$  больше или равен 1,5, то в этом квадрате имеется конвективная ячейка, даже если отражаемость на уровне  $H_3$  не измерялась (из-за ее малой величины, например). Такой вывод делают на том основании, что никакая другая облачность, даже  $Ns$ , не имеет такой величины  $\lg Z$  на уровне  $H_2$ . Наличие данных об отражаемости на уровнях  $H_2$  и  $H_3$  независимо от величины однозначно указывает на наличие конвективной ячейки в квадрате, так как все другие типы облачности, наблюдающиеся на высотах около 6 км, имеют слабую отражаемость, измерение которой затруднено. На этом же основании, если измерена величина  $\lg Z$  только на уровне  $H_3$ , считается, что в квадрате имеется конвективная ячейка.

Наибольшие трудности возникают, если имеется измерение величины  $\lg Z$  только на уровне  $H_2$ , и оно невелико (около единицы или меньше). Здесь может помочь анализ высоты верхней границы

радиозоха, понимание общего процесса эволюции радиозоха (например, что было в предыдущий срок, какова тенденция его развития и др.), а также знание региональных особенностей.

После идентификации всех квадратов с конвективной облачностью (и опасных явлений) переходят к анализу радиозоха в остальных квадратах. При этом помнят, что конвективная облачность (если она имела место), развиваясь и разрушаясь, продуцирует другие виды облачности, в первую очередь, облачность среднего, а также верхнего ярусов. Идентификацию могут облегчить данные анализа в ближней зоне. Сам анализ желательно вести начиная с центра дальней зоны, т.е. с района, соответствующего ближней зоне. Если в дальней зоне конвективные ячейки не наблюдаются, то идентификацию радиозоха ведут на основе данных о радиусе возможного обнаружения облачности разных типов, высоты верхней границы, занимаемой площади, величины  $IgZ$ . В радиусе до 100 км важной является информация об осадках: их пространственном распределении, интенсивности. Следует отметить, что в отсутствие конвективной облачности радиозохо в радиусе действия МРЛ более однородно, менее изменчиво, и в этом случае данные анализа в ближней зоне более эффективны в качестве вспомогательной информации для анализа в дальней зоне.

В дальней зоне имеются одно большое (основное) радиозохо и четыре небольших. Во всех квадратах  $30 \times 30$  км, где есть радиозохо, записаны высоты верхней границы радиозоха (левый верхний угол квадрата), а в некоторых нанесена отражаемость на одном – трех уровнях (справа). В ячейке с конвективными облаками поставлен крестик, эти ячейки необходимо подвергнуть анализу на наличие в них опасных явлений. В первую очередь, анализируются ячейки, расположенные вблизи МРЛ, затем остальные. На бланке Ф-2 (см. рис. 19) радиозохо в ячейках 55, 34, 35 и 63 идентифицировано как кучево-дождевые облака с умеренными грозами.

Анализ проводился по методу сравнения значений  $Y$ , рассчитанных для каждой ячейки, со значением  $Y_{кр}$ . Те конвективные ячейки, где гроз не обнаружено, анализируются на наличие осадков по значениям  $IgZ_1$ . В квадратах (например, ячейки 45 и 54), где

интерпретированы ливневые осадки, в нижнем левом углу представлен знак ливневых осадков с указанием интенсивности. В радиусе до 100 км имеется область, очерченная пунктирной линией, ограничивающая зону слабых обложных осадков. Знак обложных осадков и их интенсивность, поскольку она во всех ячейках одинакова, вынесены в надпись на свободное поле дальней зоны. Оставшиеся ячейки с радиоэхом идентифицированы как слоистообразная облачность, так как в них отсутствуют значения  $lgZ$  на любом из уровней. Обобщенная информация о типе радиоэха, о формах облачности, о тенденции развития и смещении радиоэха вынесена на свободное поле бланка. В ней указаны: тип радиоэха (РКСО), форма облачности – слоистообразная облачность всех ярусов (C-A-S) с максимальной (10 км) и преобладающей (10 км) высотами верхней границы и знаком слабых обложных осадков (:2). Для кучево-дождевой облачности выносится только ее символ (Q), все остальные характеристики указаны в ячейках  $30 \times 30$  км, поскольку они могут различаться существенно.

Большой практический интерес представляет знание тенденции развития радиоэха, а также направления и скорости перемещения. Для оценки тенденции используют два признака: характерную отражаемость и площадь радиоэха ( $S$ ). За характерную отражаемость ( $lgZ_{хар}$ ) для РКО и РКСО берут наибольшую отражаемость на любом из уровней  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  в радиусе до 180 км от МРЛ. В данном случае характерная отражаемость равна 2,6 и приведена в таблице, помещенной в правом нижнем углу бланка. Если за время между наблюдениями  $lgZ_{хар}$  увеличилось, то делается отметка  $\Delta Z^+$ , или, если уменьшилась, то  $\Delta Z^-$ . Аналогично, если площадь радиоэха увеличилась на 20–25% по сравнению с предыдущим наблюдением, то записывается  $\Delta S^+$ , и если уменьшилась, то  $\Delta S^-$ . Характеристики тенденции приведены в таблице, помещенной в правом нижнем углу бланка.

Тенденция развития указывает синоптику на возможное направление развития процесса. Если, например, в зоне видимости МРЛ наблюдается РКО или РКСО и  $lgZ_{хар}$  растет (при этом обычно увеличивается и площадь), то вполне разумно ожидать в ближай-

шее время дальнейшего роста  $\lg Z_{\text{нр}}$  и связанных с этим явлений. Понижение  $\lg Z_{\text{нр}}$  может указывать на начало диссипации облачной системы. Для определения направления смещения радиозха имеющиеся контуры радиозха за анализируемый срок сравниваются с контуром за предыдущий ежечасный срок наблюдения. Выделяется и сравнивается либо центр тяжести радиозха, либо его четко очерченный передний край, либо зона осадков. По разнице положений определяется направление  $d$  (с точностью до ближайших  $10^\circ$ ) и расстояние  $L$  (с точностью до 5 км), на которое сместилось радиозха за период времени  $\Delta t$ . Скорость перемещения вычисляется по формуле

$$f = 60 \cdot L / \Delta t \text{ (км/ч)},$$

где  $\Delta t = t_2 - t_1$  — промежуток времени, мин;  $t_2$  — время обведения контура радиозха в текущий срок наблюдения, мин;  $t_1$  — время обведения контура радиозха в предыдущий срок, мин. В таблице, помещенной в правом нижнем углу бланка Ф-2 (прил. 6), указаны  $t_2$ ,  $t_1$ ,  $\Delta t$ . Вычисленные значения  $f$  и  $d$  записываются на бланк Ф-2 рядом с вектором перемещения ( $f = 30$  км/ч,  $d = 055^\circ$ ).

Таблица 25

Видимость в осадках

| Мокрый снег |         |       | Сухой снег |       |       |
|-------------|---------|-------|------------|-------|-------|
| $\lg Z$     | 0–60 км | 60–90 | $\lg Z$    | 00–60 | 60–90 |
| < 0,4       | > 4     | 2–4   | –0,2       | > 4   | 2–4   |
| 0,4–0,7     | 2–4     | 1,5–2 | –0,2–0,2   | 2–4   | 1,5–2 |
| 0,8–1,3     | 1,5–2   | 1–1,5 | 0,3–0,7    | 1,5–2 | 1–1,5 |
| 1,4–1,6     | 1–1,5   | 0,5–1 | 0,8–1,3    | 1–1,5 | 0,5–1 |
| 1,7–2,2     | 0,5–1   | < 0,5 | 1,4–1,7    | 0,5–1 | < 0,5 |
| > 2,2       | < 0,5   |       | 1,7        | < 0,5 |       |

Особенности способа определения тенденции развития и перемещения радиозха записываются на свободном поле бланка вне контура дальней зоны. Значения видимости в жидких осадках в летний период не определяются. В зимний период видимость в снегопадах, определенная по табл. 25, записывается в графу «видимость» для ближней и дальней зоны в правый нижний угол бланка Ф-2 (см. рис. 19).

## **7. СОСТАВЛЕНИЕ ТЕЛЕГРАММ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

В оперативной метеорологии используются единые международные стандарты для обмена гидрометеорологической информацией (метеорологические коды). Телеграмма с данными наблюдений МРЛ служит для международного и внутригосударственного обмена по радио и проводным средствам связи, а также для обработки на ЭВМ.

Телеграммы радиолокационного зондирования составляются в строгом соответствии с требованиями международного кода RADOB с уточнениями применительно к сети Росгидромета.

Бланк Ф-2 представляет основу для составления телеграммы и текстовых сообщений синоптикам и различным службам аэропорта.

Закодированные телеграммы состоят обычно из пятизначных числовых или буквенных групп по определённой схеме. По телеграммам в Центре сбора составляются стыкованные карты наблюдений МРЛ, расположенных в разных пунктах.

Техник-радиометеоролог должен обеспечить высокую степень оперативности и достоверности передачи радиолокационной информации потребителю, только в этом случае она будет способствовать эффективному и объективному ее использованию для решения прогностических задач и обеспечения безопасности работы авиации.

В телеграммах с результатами радиолокационного зондирования атмосферы содержится информация о типе облачности и явлениях, величине радиолокационной отражаемости, высотах нижней и верхней границ радиозоха в конкретных квадратах 60×60 км. Кроме того, в телеграмму включаются сведения о техническом состоянии аппаратуры, причинах отсутствия наблюдений.



## **7.1. Методика составления телеграммы для передачи данных радиолокационного зондирования (код RADOB)**

Телеграмма состоит из двух разделов. В первом разделе (часть В кода RADOB) кодируется информация в дальней зоне, во втором разделе – результаты наблюдений в ближней зоне.

### ***Общая схема кода***

Кодирование наблюдений в дальней зоне:

*FFBB YYGGg YIII N<sub>z</sub>N<sub>z</sub>W<sub>z</sub>H<sub>z</sub>I<sub>z</sub> N<sub>z</sub>N<sub>z</sub>W<sub>z</sub>H<sub>z</sub>I<sub>z</sub>*

*/555/ N<sub>z</sub>N<sub>z</sub>D<sub>z</sub>f<sub>z</sub> N<sub>z</sub>N<sub>z</sub>D<sub>z</sub>f<sub>z</sub>*

Кодирование наблюдений в ближней зоне:

*61616 pdFUU C<sub>z</sub>C<sub>z</sub>h<sub>z</sub>h<sub>z</sub>h<sub>z</sub> H<sub>z</sub>H<sub>z</sub>H<sub>z</sub>W<sub>z</sub>Y<sub>z</sub> C<sub>z</sub>C<sub>z</sub>h<sub>z</sub>h<sub>z</sub>h<sub>z</sub> H<sub>z</sub>H<sub>z</sub>H<sub>z</sub>W<sub>z</sub>Y<sub>z</sub>*

### ***7.1.1. Условные обозначения и правила кодирования информации дальней зоны***

*FFBB* – отличительная группа, указывающая, что далее следует информация, полученная с помощью метеорологического радиолокатора.

*YYGGg* – число и время наблюдений:

*YY* – число месяца кодируется двумя цифрами;

*GG* – срок наблюдений (целые часы), *g* – десятые доли часа (время завершения наблюдений).

Например, наблюдения завершены в 08 ч 12 мин 2 июля 2006 г. В результате кодирования получим: 02082. Время указывается по ВСВ (всемирное скоординированное время), для чего от местного времени необходимо летом отнимать 7, а зимой 8 часов.

Если на бланке указано время в часах и минутах, предварительно необходимо перевести минуты в десятые доли часа (разделить на 6 и округлить до целого).

*IIIi* – синоптический индекс станции, передающей информацию:

*II* – номер региона, в котором расположен МРЛ;  
*iii* – международный индексный номер наземной метеостанции, (синоптический индекс АМСГ «Томск» – 29439).

*NeNeWrHele* – информация об облачности и явлениях в конкретных квадратах 60×60 км:

*NeNe* – номер квадрата (например, для АМСГ «Томск» в радиусе 180 км номера квадратов изменяются от 23 до 76 (номер указан в левом верхнем углу каждого квадрата)); следует помнить, что номера квадратов, занятых радиоэхом, включаются в текст телеграммы в порядке их возрастания;

*Wr* – явление погоды, сочетание явлений или облачность в квадрате 60×60 км, кодируются по табл. 25.

Таблица 25

Кодировка явлений погоды, облачности в квадрате 60×60 км

| Код | <i>W<sub>r</sub></i>                     |
|-----|------------------------------------------|
| 1   | Слоистая облачность без осадков          |
| 2   | Конвективная облачность без явлений      |
| 3   | Обложные осадки                          |
| 4   | Ливневые осадки                          |
| 5   | Ливневые и обложные осадки               |
| 6   | Гроза или гроза и ливневые осадки        |
| 7   | Гроза и обложные осадки                  |
| 8   | Град                                     |
| 9   | Град и другие явления, в том числе шквал |
| /   | Не определено                            |

*Примечание.* Если в квадрате 60×60 км наблюдается несколько явлений одновременно, то кодируется то сочетание, которое наиболее опасно.

*H<sub>e</sub>* – высота верхней границы радиоэха, кодируется по табл. 26.

*I<sub>e</sub>* – интенсивность явления, определяемая по величине радиолокационной отражаемости, кодируется по табл. 27.

Группа *N<sub>e</sub>N<sub>e</sub>W<sub>r</sub>H<sub>e</sub>I<sub>e</sub>* включается в телеграмму столько раз, сколько больших квадратов (60×60 км) в дальней зоне занято радиоэхом. Номера квадратов перечисляются в порядке возрастания. Если какой-либо квадрат занят радиоэхом слоистообразной облач-

ности менее чем на 25%, информация по этому квадрату не включается в телеграмму.

Высота верхней границы радиоэха

Таблица 26

| Код | $H_n$ , км    |      |
|-----|---------------|------|
|     | От            | До   |
| 0   | Менее 1,9     |      |
| 1   | 2             | 3,9  |
| 2   | 4             | 5,9  |
| 3   | 6             | 7,9  |
| 4   | 8             | 9,9  |
| 5   | 10            | 11,9 |
| 6   | 12            | 13,9 |
| 7   | 14            | 15,9 |
| 8   | 16            | 17,9 |
| 9   | 18 и более    |      |
| /   | Не определено |      |

*Примечание.* Цифра кода соответствует половине значения высоты радиоэха. Если высоты верхней границы облаков в малых квадратах (30×30 км) разные, то кодируется самая большая.

Интенсивность явления

Таблица 27

| Код | Качественная оценка<br>интенсивности радиоэха | $I_n$ , дБ                     |              |
|-----|-----------------------------------------------|--------------------------------|--------------|
|     |                                               | Значения интенсивности $\lg Z$ |              |
|     |                                               | Лето                           | Зима         |
| 0   | Очень слабая                                  | $\leq -0,5$                    | —            |
| 2   | Слабая                                        | $-0,4 - 1,1$                   | $\leq -0,5$  |
| 4   | Умеренная                                     | $1,2 - 2,7$                    | $-0,4 - 1,1$ |
| 6   | Сильная                                       | $2,8 - 3,9$                    | $1,2 - 2,7$  |
| 8   | Очень сильная                                 | $\geq 4,0$                     | $\geq 2,8$   |
| /   | Не определено                                 |                                |              |

*Примечание.* Кодруется максимальная величина  $\lg Z$ , зафиксированная в одном из малых квадратов (30×30 км) независимо от уровня. При наличии слоистообразной облачности без осадков  $I_n$  кодируется знаком /.

Группа /555/ – отличительная, указывающая на то, что далее следует группа (или группы) с информацией о тенденции развития, скорости и направлении перемещения радиоэха.

(Категорически не допускается замена косых черточек в отличительных группах /555/ цифрами или прочерком.)

$N_e N_{ee} D f_e$  – информация о тенденции развития радиозха, о скорости и направлении его перемещения:

$N_e N_e$  – номер квадрата, в котором помещено начало стрелки, указывающей направление перемещения радиозха (если нет вектора смещения радиозха, то указать любой номер квадрата, где есть радиозха);

$a$  – тенденция развития радиозха, кодируется по табл. 28;

$D_e$  – направление перемещения радиозха, кодируется по табл. 29;

$f_e$  – скорость перемещения радиозха, кодируется по табл. 30.

Таблица 28

Тенденция развития радиозха

| Код | Тенденция |     |
|-----|-----------|-----|
|     | dZ        | dS  |
| 1   | –         | –   |
| 2   | –         | 0   |
| 3   | –         | +   |
| 4   | 0         | –   |
| 5   | 0         | 0   |
| 6   | 0         | +   |
| 7   | +         | –   |
| 8   | +         | 0   |
| 9   | +         | +   |
| /   | n/o       | n/o |

Примечание. «–» – уменьшение; «+» – увеличение; «0» – без изменений; «n/o» – не определено.

Таблица 29

Направление перемещения радиозха

| Код | $D_e$ , град  |     | Румб |
|-----|---------------|-----|------|
|     | От            | До  |      |
| 0   | Маловодянию   |     |      |
| 1   | 23            | 67  | СВ   |
| 2   | 68            | 112 | В    |
| 3   | 113           | 157 | ЮВ   |
| 4   | 158           | 202 | Ю    |
| 5   | 203           | 247 | ЮЗ   |
| 6   | 248           | 292 | З    |
| 7   | 293           | 337 | СЗ   |
| 8   | 338           | 22  | С    |
| /   | Не определено |     |      |

Таблица 30

Скорость перемещения радиоэха

| Код | $f_{\text{ср}}$ , км/ч |    |
|-----|------------------------|----|
|     | От                     | До |
| 0   | Менее 10               |    |
| 1   | 10                     | 19 |
| 2   | 20                     | 29 |
| 3   | 30                     | 39 |
| 4   | 40                     | 49 |
| 5   | 50                     | 59 |
| 6   | 60                     | 69 |
| 7   | 70                     | 79 |
| 8   | 80                     | 89 |
| 9   | Более 90               |    |
| /   | Не определено          |    |

*Примечание.* Группа  $N, N_{\text{ср}}, D, f_{\text{ср}}$  передается не более трех раз, так как направление и скорость перемещения и тенденции развития определяются не более чем для трех типов радиоэха.

### 7.1.2. Условные обозначения и правила кодирования информации ближней зоны

61616 – отличительная группа, указывающая, что далее следуют данные наблюдений в ближней зоне.

$pdFUU$  – информация об условиях наблюдений:

$P$  – техническое состояние аппаратуры, кодируется по табл. 31;

$d$  – срок наблюдений, за который составлена телеграмма (если срок синоптический, то кодируется цифрой 1, если нет – 2);

$F$  – фазовое состояние осадков в радиусе обнаружения радиоэха, кодируется по табл. 32.

$UU$  – условия наблюдений в радиусе 60 км от МРЛ, кодируется по табл. 33.

$C, C, h, h, h, H, H, H, W, Y_e$  содержат информацию о типе облачности сочетании типов в ближней зоне. Эта пара групп включается в телеграмму столько раз, сколько типов или сочетаний типов наблюдается в ближней зоне, но не более пяти. Кодируется с наиболее опасного сочетания (с большей цифры кода).

Таблица 31

Техническое состояние аппаратуры

| Код | Причина отсутствия наблюдений           |
|-----|-----------------------------------------|
| 0   | Отмена наблюдений вышестоящими органами |
| 1   | Отсутствие электроэнергии               |
| 2   | Отсутствие запасного оборудования       |
| 3   | Профилактика                            |
| 4   | МРЛ работает нормально                  |
| 5   | МРЛ на ремонте                          |
| 6   | Неисправны индикаторы                   |
| 7   | Сомнительная калибровка МРЛ             |
| 8   | Потенциал МРЛ ниже нормы                |
| 9   | Прочие причины                          |

Таблица 32

Фазовое состояние осадков

| Код | Фазовое состояние     |
|-----|-----------------------|
| 0   | Осадки не наблюдаются |
| 4   | Жидкие                |
| 5   | Твердые или смешанные |
| /   | Не определено         |

Таблица 33

Условия наблюдений в радиусе 60 км от МРЛ

| Код | Условия наблюдения                                                 |
|-----|--------------------------------------------------------------------|
| 00  | Радиозоно не наблюдается или наблюдается аномальное радиозоно      |
| 22  | Облачность без осадков и осадки слабой интенсивности               |
| 77  | Осадки умеренные                                                   |
| 99  | Опасные явления: шквал, град, гроза, осадки сильные, очень сильные |
| //  | Наблюдения за осадками не велись                                   |

Если один и тот же тип облачности (или сочетание типов) повторяется на нескольких разрезах и имеет разные характеристики, информация о нем передается только один раз и включает самое опасное явление, самую большую отражаемость, самую высокую верхнюю и самую низкую нижнюю границы.

С,С<sub>г</sub> – вид облаков (или сочетание видов, если их невозможно разделить), кодируется по табл. 34;

$h, h, h$  – высота нижней границы облаков в километрах с точностью до десятых долей (записывается без запятой);

$H, H, H$  – высота верхней границы облаков в километрах с точностью до десятых долей (записывается без запятой);

$W$  – явление погоды, сочетание явлений или облачность в квадрате  $60 \times 60$  км (см. табл. 25). При наличии нескольких явлений в одном квадрате кодируется наиболее опасное (большая цифра кода);

$I$  – интенсивность явления, определяемая по величине радиолокационной отражаемости, кодируется по табл. 27, причем кодируется наибольшая интенсивность независимо от того, какому явлению она принадлежит.

Таблица 34

Типы облачности и их сочетания

| Код | Вид облачности<br>$C, C_t$ | Код | Вид облачности<br>$C, C_t$ |
|-----|----------------------------|-----|----------------------------|
| 53  | $C$                        | 72  | $N-Q$                      |
| 54  | $A$                        | 73  | $A-Q$                      |
| 55  | $S$                        | 74  | $C-Q$                      |
| 56  | $A-S$                      | 75  | $A-S-Q$                    |
| 57  | $C-A$                      | 76  | $A-N-Q$                    |
| 58  | $C-A-S$                    | 77  | $C-S-Q$                    |
| 59  | $N$                        | 78  | $C-N-Q$                    |
| 60  | $A-N$                      | 79  | $C-A-Q$                    |
| 61  | $C-A-N$                    | 80  | $C-A-S-Q$                  |
| 70  | $Q$                        | 81  | $C-A-N-Q$                  |
| 71  | $S-Q$                      | //  | Не определено              |

**Пример.** В двух разрезах (в азимутах  $20$  и  $340^\circ$ ) повторяется вид облачности  $A-S-C-Q$  с высотами верхних ( $9,6$  и  $10,4$  км) и нижних границ ( $0,0$  и  $0,0$  км), наблюдаются умеренные ливневые и слабые обложные осадки. При этих условиях группа имеет вид 80000 10454.

Телеграмма всегда должна заканчиваться знаком =.

## 7.2. Пример кодирования

Для составления телеграммы использована информация, приведенная на бланке Ф-2, П 6.

*FFBB* 02082 29439 34644 35644 4314/ 44552 45554 5314/ 54554 55654 63544 6414/ /555/ 35213 61616 41499 80000 10454 70000 10066 58000 10032 =

*FFBB* – призрачная группа; 02082 – дата и время наблюдений; 29439 – номер АМСГ «Томск»; группы 34644 35644 4314/ 44552 45554 5314/ 54554 55654 63544 6414/ расположены в порядке возрастания номеров квадратов 60×60 км и содержат информацию о явлении, максимальной высоте верхней границы облаков и о максимальной интенсивности независимо от того, какому явлению она принадлежит; /555/ – отличительная группа; 35213 – номер ячейки, где располагаются начало вектора смещения, тенденция развития радиозха, направление и скорость его смещения; 61616 – отличительная группа; 41499 – техническая группа; информация о данных ближней зоны для типов облачности:

80000 10454 – *C-A-S-Q*, 70000 10066 – *Q*, 58000 10032 – *C-A-S*.

## 7.3. Распространение информации радиолокационного зондирования

Телеграмма составляется в синоптические сроки в обязательном порядке для всей территории наблюдений с радиусом 300 км. При наличии опасных явлений (гроза, град, шквал, сильный ливень) в радиусе 180 км телеграмма составляется ежечасно. Кроме того, каждые 30 мин производятся штормовые наблюдения в радиусе 100 км, результаты которых передаются устно, телеграмма при этом не составляется. Текст телеграммы записывается в специальный журнал, сохраняется в электронном виде и в конце года пересылается в Главную геофизическую обсерваторию им. А.И. Воейкова (г. Воейково) для архивирования.



Устные сообщения передаются по телефону или внутренней системе громкоговорящей связи:

1) дежурному синоптику сообщается вся информация по территории в радиусе 300 км;

2) диспетчерам подхода и круга сообщается информация об опасных явлениях (азимут, удаление, вид явления, верхняя граница облачности, скорость и направление перемещения радиозха) в радиусе 100 км;

3) технику-метеорологу основного пункта наблюдений: информация об опасных явлениях (азимут, удаление, вид явления, скорость и направление перемещения радиозха) в радиусе 100 км для записи на магнитную ленту;

4) в Томский центр по гидрометеорологии передается информация о времени начала и конца опасных явлений. Номера соответствующих телефонов расположены на рабочем столе техника по радиолокации.

## 8. РАДИОКЛИМАТИЧЕСКИЕ СЕЗОНЫ

Порядок съема информации и интерпретация данных существенно зависят от фактической температуры воздуха у земли  $t_{\phi}$  в пункте расположения МРЛ и высоты  $H_0$ . По этим значениям выделены три периода: теплый, холодный и переходный. К теплому периоду отнесены наблюдения при значениях  $t_{\phi} \geq 4^{\circ}\text{C}$  и  $H_0 \geq 0,5$  км, к холодному:  $t_{\phi} \leq -2^{\circ}\text{C}$ , к переходному:  $-1^{\circ}\text{C} \leq t_{\phi} \leq +3^{\circ}\text{C}$ ,  $H_0 < 0,5$  км.

*Теплый период.* Съем информации в этот период выполняется в полном объеме, согласно «Наставлению по гидрометеорологическим станциям и постам» (Л.: Гидрометеониздат, 1985). Выявление зоны осадков и определение их интенсивности существенно различаются в разные периоды года.

Поскольку верхняя граница конвективных облаков в теплый период может превышать высоту 10 км, их радиозоха в режиме ИКО может наблюдаться на расстояниях более 200 км. Значения радиолокационной отражаемости измеряются на всех уровнях. В связи с этим процесс производства наблюдений и их анализ занимают гораздо больше времени, чем в другие периоды.

*Переходный и холодный периоды.* Получение данных производится обычно на одном уровне ( $H_1$ ) или под углами возвышения  $\varepsilon = 0,2 + 0,5^{\circ}$ . Однако при обнаружении РКО или подозрении на него наблюдения должны проводиться на двух уровнях ( $H_1 = 1$  км,  $H_2 = 2-3$  км в холодный период и  $H_2 = H_0 + (2 + 2,5)$  в переходный). Синоптикам в переходный и холодный периоды года важна информация о зонах кучево-дождевой облачности, поэтому зоны, занятые РКО, надо давать обязательно, используя качественные признаки (вид картин радиозоха и значения отражаемости).

Из-за уменьшения эффективного радиуса обнаружения МРЛ в такие периоды года наблюдения на МРЛ должны проводиться ежечасно. Это должно помочь правильно определить скорости и направления перемещения, а также тенденцию изменения радиолокационных характеристик облачных систем.

Решение о проведении наблюдений по методике переходных или холодного периодов принимается после получения данных о фактической температуре воздуха  $t_0$  и высоте нулевой изотермы  $H_0$ . Информацию о величине  $H_0$  и  $t_0$  на территории, обслуживаемой МРЛ, необходимо получать от синоптиков АМСГ или бюро погоды непосредственно перед началом радиолокационных наблюдений каждый час. Отметим, что любые сомнения в выборе периода, а следовательно, в применении методики и расчетных таблиц, решаются в пользу более теплого периода года.

Особенности снятия информации в переходные периоды:

- измерения  $H$  и  $\lg Z$  производятся в М: 300 км;
- при наличии нулевой изотермы отражаемость измеряется на двух уровнях:  $H_1$ , меньшем  $H_0$ , и  $H_2 = H_0 + (2 \div 2,5)$  км, в остальных случаях – только на уровне  $H_1$ ;
- при обнаружении ячеек с РКО, в которых  $\lg Z_2 \geq 1,2$ , наблюдения следует проводить не реже одного раза каждые полчаса (в режиме «шторм») и на двух уровнях.

Особенности снятия информации в холодный период:

- измерения  $H$  и  $\lg Z$  производятся в М: 300 км;
- отражаемость измеряется на уровне  $H_1$  при фиксированном угле  $\varepsilon = 0,2 \div 1^\circ$  в радиусе обнаружения радноэха;
- при обнаружении ячеек с РКО (или подозрением на него), в которых  $\lg Z \geq 0,7$ , необходимо отражаемость в них измерять на двух уровнях ( $H_1 = 1$  км и  $H_2 = 2 \div 3$  км) и не реже одного раза каждые полчаса (в режиме «шторм»). В таких случаях наличие значений отражаемости на втором уровне ( $\lg Z_2$ ) и ее изменения свидетельствуют о наличии РКО и связанных с ним грозовых  $Cb$ .

В переходный и холодный периоды года по значениям радиолокационной отражаемости на первом уровне определяется видимость в осадках. Полученные значения записываются на бланке Ф-2 и устно передаются дежурному синоптику.

## 9. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ, СРОКИ НАБЛЮДЕНИЯ

Объем и программа радиолокационных наблюдений регламентируются основным руководящим документом и ежегодно возобновляемым Соглашением, утвержденным руководством аэропорта и начальником АМСГ.

Периодичность наблюдений определяется радиометеорологическими и синоптическими условиями в районе аэропорта. Установлены 3 режима наблюдений: основной (за час до синоптических сроков), ежечасный, «шторм». Время на съем информации, ее интерпретацию и передачу данных не должно превышать 20–30 мин.

1. Основной режим наблюдений осуществляется в: 02, 05, 08, 11, 14, 17, 20, 23 ч по всемирному скоординированному времени (BCB). Для определения местного времени необходимо ввести поправку по часовому поясу с учетом зимнего или летнего периода. Дата и время перевода часов по всей России устанавливается Правительством РФ и обычно происходит в 03 ч по местному времени. Переход на зимний режим осуществляется в последнее воскресенье октября (стрелки переводятся назад на 1 ч), а на летний – в 03 ч по местному времени в последнее воскресенье апреля (стрелки переводятся вперед на 1 ч).

В Томске надо к Гринвичскому времени прибавить 6 ч в зимний период, а в летнее время – 7 ч.

Наблюдения начинаются за один час до синоптического срока независимо от метеоусловий и наличия или отсутствия радиоэха. Местное время начала наблюдений в стандартные синоптические сроки приведено в табл. 35.

Таблица 35

Время начала радиолокационных наблюдений (Томск)

| Время          | Начало наблюдений, ч |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| По Гринвичу    | 01                   | 04 | 07 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 |
| Местное (лето) | 07                   | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 | 01 | 04 |
| Местное (зима) | 08                   | 11 | 14 | 15 | 20 | 23 | 02 | 05 |

2. Ежечасные сроки наблюдений выполняют при наличии любого типа радиозха на любом удалении, а также по указанию дежурного синоптика, если ожидается развитие внутримассовой кучево-дождевой облачности или появление опасных явлений (гроза, шквал) на быстро приближающемся фронтальном разделе.

3. Режим «шторм» применяется при наличии опасных явлений (сильный ливень, гроза, град, шквал) в радиусе 100 км, а также в случаях, когда радиолокационная отражаемость достигает критических значений, хотя опасные явления в данный момент отсутствуют. При таких условиях проводятся наблюдения между ежечасными сроками в 30 мин текущего часа.

Работа в режиме штормооповещения начинается в следующих ситуациях:

1. В процессе наблюдений обнаружено в радиусе 100 км РКО, причем значения отражаемости на любом из уровней достигают величин: на уровне  $H_3 - \lg Z_3 \geq 1,2$ , на уровне  $H_2 - \lg Z_2 \geq 1,8$ , на уровне  $H_1 - \lg Z_1 \geq 2,8$ .

2. Если скорость перемещения радиозха по результатам ежечасных наблюдений превосходит 65 км/ч (18 м/с).

3. Если к зоне аэропорта перемещается один или несколько штормоопасных очагов РКО. В этом случае рекомендуется вести практически непрерывное (с интервалом 5–10 мин) определение радиолокационных характеристик, их тенденции, скорости и направления перемещения отдельных РКО или зоны РКО. Время перехода работы в режим «шторм» передается синоптику устно.

При штормовом режиме основное внимание акцентируется на производство наблюдений в ДЗ в радиусе 100 км. Визуально анализируется положение РКО в радиусе обзора. В каждой из ячеек 30×30 км выявляется наличие РКО с максимальными значениями отражаемости, которые достигли штормовых величин. В этих ячейках измеряются значения отражаемости на всех трех уровнях и определяется высота верхней границы облачности.

В ближней зоне вертикальный разрез выполняется только для тех РКО, в которых радиолокационная отражаемость достигла «штормовых» значений.

Штормовая информация записывается в специальный журнал «шторм», в котором указывается местоположение РКО: азимут, удаление, высота, значения отражаемости на трех уровнях, тип опасного явления. Например: азимут 135, удаление 15 км, высота 10 км, значения отражаемости  $\lg Z_1 = 0,9$ ;  $\lg Z_2 = 0,9$ ;  $\lg Z_3 = 0,9$ ; гроза.

Для своевременного предупреждения диспетчеров УВД и экипажей ВС об опасных явлениях погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью, информация обязательно передается по громкоговорящей связи старшему синоптику, диспетчерам подхода и круга, а также техникам-метеорологам для УКВ-записи погоды, доступной воздушным судам во время полета.

По наблюдениям в дополнительные сроки бланк Ф-2 не составляется. Карты радиолокационной информации составляются ежедневно независимо от штормовых сообщений, передача их осуществляется по коду RADOB.

В переходный период времени при температуре от  $-10$  до  $+30^{\circ}\text{C}$  и при температуре ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  у земли техники перед каждым наблюдением уточняют температуру воздуха с целью выбора методики обработки. Поскольку радиозондирование проводится через 12 ч, значения высот нулевой изотермы и изотермы  $-220^{\circ}\text{C}$  корректируются синоптиками по картам барической топографии два раза в сутки за 00 ВСВ – утром, за 12 ВСВ – вечером. Высоты интерполируются на основе карт АТ 925, АТ 850, АТ 700 для  $H_0$ , и карт АТ 500, АТ 400 для  $H_{-22}$ .

## **10. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПЕРАТИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ В РОССИИ**

Опасные явления (ОЯ), связанные с конвективной облачностью, развиваются чрезвычайно быстро, поэтому конечная практическая цель радиолокационных наблюдений – не только обнаружить и оценить стадию его развития, но и обеспечить передачу информации потребителю за самое короткое время для принятия своевременных мер защиты. Важно также своевременно оповестить население о чрезвычайной ситуации.

В СССР радиолокационные исследования облаков и связанных с ними опасных атмосферных явлений (ливень, гроза, град) погоды и конкретная разработка методов их обнаружения и прогноза в реальном масштабе времени начаты в 1947 г. в ГТО. Уже в 1951 г. в ряде пунктов были организованы систематические радиолокационные наблюдения с целью оперативной выдачи штормовых предупреждений. Одновременно разрабатывались физические основы оперативно-информационной системы радиолокационных метеорологических наблюдений.

В 1986 г. за разработку и внедрение в гидрометеорологическое обеспечение народного хозяйства методов и технических средств радиометеорологических наблюдений за облаками, осадками и опасными явлениями погоды сотрудникам Госкомгидромета и Минрадиопрома присуждена Государственная премия СССР.

До распада СССР на всей его территории около 200 МРЛ (МРЛ-1 МРЛ-2, МРЛ-5) работали в режиме штормового оповещения и градозащиты. На начало 2000 г. в России эксплуатировалось 43 радиолокатора, из них 37 в авиапредприятиях (26 МРЛ-5 и 11 МРЛ-2). В г. Томске в декабре 1980 г. был начаты регулярные наблюдения на МРЛ-2, а в июне 1992 г. – на МРЛ-5.

Одно из главных направлений прогресса радиолокационного зондирования атмосферы – замена ручного съема информации на

автоматизированный, что ускоряет процесс обработки и передачи данных потребителям.

В настоящее время в России получили развитие две конкурирующие системы автоматизации МРЛ: «Метеоячейка» (выпускается на опытном заводе Института радарной метеорологии (г. Санкт-Петербург) и «АКСОПРИ» (завод «ЭЛЕКТРОМАШ», г. Нижний Новгород, программное обеспечение ЦАО). Обе системы предусматривают оснащение МРЛ-5 специализированными программами управления, обработки, визуализации, архивации и передачи измерений.

Совместно с предприятием Минрадиопрома в 1981–1985 гг. разработана и успешно испытана унифицированная аппаратура сопряжения метеорологических радиолокаторов МРЛ-5 с ЭВМ. На ее базе создан автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации (АКСОПРИ), освоено его серийное производство. Последняя модификация – АКСОПРИ-Г – обеспечивает полную автоматизацию сбора и обработки оперативной информации об опасных явлениях погоды (облачность, осадки, грозы, град, шквал), передачу информации удаленным пользователям в режиме реального времени с интервалом обновления 10 мин и разрешением по площади  $2 \times 2$  и  $4 \times 4$  км, выполнение вертикальных разрезов облачности по заданным направлениям и горизонтальных сечений облачности по высотам от 1 до 9 км, а также возможность архивировать полученные данные. В состав АКСОПРИ-Г входит МРЛ-5, аппаратура автоматизированного управления, обработки и передачи информации, пакет прикладных программ и выносные рабочие места, количество которых определяется желанием заказчика. В настоящее время комплексы АКСОПРИ-Г установлены в городах: Москва, Калуга, Тверь, Нижний Новгород, Уфа, Волгоград, Запорожье, Караганда, Кемерово, Ульяновск, а также используются во многих странах Европы, Южной Америки, Африки, Азии.

«Метеоячейка» – автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК), который обеспечивает представление данных наблюдений на экране ПЭВМ в виде следующих карт:



– опасных явлений погоды в виде осадков (град, гроза, шквал, ливень, дождь, сели и паводки, снегопады) на фоне административной или географической карты местности с изображением автодорог, линий электропередач; землепользования; лавинной и селевой опасности;

- интенсивности осадков и суммы осадков;
- отражаемости в 11 слоях;
- контуров опасных явлений погоды, скорости шквалов, видимости в осадках, вертикального сечения по любому азимуту и любой авиатрассе, обледенения по любому азимуту и любой авиатрассе.

Проведение наблюдений осуществляется в автоматическом или ручном режиме с интервалом между сроками от 10 до 180 мин; может выполняться дистанционное управление работой МРЛ. Разрешение по площади в стандартном режиме штормооповещения – 4×4 км.

АМРК осуществляет архивацию телеграмм в коде RADOB, ввод информации с метеостанций об опасных явлениях погоды и сопоставление данных ГМС об ОЯ с данными АМРК и вывод на печать результатов сопоставления, запись и дополнение файла «местников».

Опыт работы на местах позволил частично автоматизировать МРЛ не только в центре, но и в разных регионах страны. Например, на АМСГ «Томск» инженером А. Литвиновым (выпускник ТУСУРа) была разработана компьютерная программа обработки радиолокационной информации.

Изображения с экрана переносятся в виде цветной картинка на монитор. Цветовая гамма изображения распределяется в зависимости от степени опасности явления. Здесь же отражена сетка воздушных коридоров аэродрома «Томск», что удобно для диспетчеров. Все ежечасные и получасовые наблюдения архивируются на жестком диске, что позволяет при необходимости проследить за изменением параметров радиозха, скоростью и направлением смещения. Цветная картинка передается синоптиком на монитор компьютера, а также используется при составлении прогнозов и консультации экипажей.

Второй шаг автоматизации заключается в создании сети МРЛ с выдачей композитных («сшитых», «состыкованных», «мозаичных») карт радиолокационного зондирования на больших территориях. Технические возможности комплексов позволяют создавать единые сети, в том числе и с зарубежными странами.

Сформулированы основные требования к многофункциональной метеорологической автоматизированной радиолокационной сети (МАРС). Под многофункциональностью понимается синхронная работа всех сетевых радиолокаторов по единой программе наблюдений, обработке выходной информации для всех потребителей. Информация с любого МРЛ может передаваться на любую специализированную рабочую станцию потребителей, которая является автоматизированным рабочим местом для составления серии объединённых карт.

Создано радиолокационное поле «Московское кольцо», которое включает в себя АКСОПРИ, установленные в пунктах: Калуга, Тверь, Смоленск, Москва (Крылатское), Нижний Новгород, Валдай. Информация об облаках, осадках и связанных с ними опасных явлениях передается в Московское правительство, Московское метеобюро, Гидрометцентр России.

На территории Северо-Кавказского региона успешно работает радиолокационная сеть, которая включает в себя «стыкованную» информацию, получаемую от АМРК «Метеоячейка», установленных в аэропортах Ростова-на-Дону, Краснодара, Минвод, Сочи, Анапы.

Из сообщений, получаемых с комплексов АКСОПРИ и «Метеоячейка», создаются радиолокационные карты: «Высота верхней границы радиозона облачности», «Горизонтальная отражательная способность», «Интенсивность осадков». На рис. 26 (на вклейке) приведен пример композитной карты.

Подобные «кольца» планируется создать и в других районах. На европейской территории России в настоящее время находятся в эксплуатации 17 МРЛ-5. Этого количества радиолокаторов недостаточно для создания единого радиолокационного поля над Европейской территорией России; не решены также проблемы сопря-

жения различных систем. Предлагается организовать МАРС на юге Западной Сибири, на основе функционирующих МРЛ в аэропортах Колпашева, Томска, Новосибирска, Кемерово, Новокузнецка, Барнаула, Стрежевого, Абакана (рис. 27, на вклейке).

Эффективность метеорологической радиолокации значительно повышается применением доплеровских метеорологических радиолокаторов (ДМРЛ). В 1842 г. Кристиан Доплер теоретически обосновал зависимость частоты колебаний, воспринимаемых приемником (наблюдатель, радиолокатор, акустический локатор), от скорости и направления движения источника волн и приемника относительно друг друга. Это явление впоследствии было названо его именем. Принцип действия ДМРЛ основан на эффекте Доплера: частота принятого сигнала получает дополнительный сдвиг относительно частоты излучаемых колебаний при перемещении точек приёма и излучения, что позволяет измерять радиальные скорости движения цели относительно РЛС.

Частота, регистрируемая неподвижным приёмником:

$$f = \frac{c}{\lambda} = f_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)},$$

где  $f$  – частота, регистрируемая приемником ДМРЛ;  $f_0$  – частота, излучаемая передатчиком ДМРЛ;  $c$  – скорость распространения радиоволн;  $v$  – скорость движения метеобъекта (положительная, если источник приближается к приёмнику, и отрицательная, если удаляется).

Доплеровские радары широко применяются в самых разных областях, в том числе для наблюдения за атмосферой.

ДМРЛ позволяет получать информацию не только об облаках и осадках в режиме реального времени, но и сведения о ветровом и турбулентном режиме как в облаке, так и вне его, т.е. при «чистом небе», что позволяет улучшить прогноз сдвига ветра, существенно улучшить обнаружение шквала, смерча, града, уточнить прогнозирование количества осадков.

Перспективные планы Росгидромета при участии других заинтересованных министерств и ведомств (Минобороны, Минтранс, Минпромэнерго, Росаэронавигация и др.) предусматривают разработку и внедрение автоматизированных ДМРЛ.

С 2007 г. Росгидромет приступает к установке новой системы метеорологического слежения за атмосферными явлениями, состоящей из 8 доплеровских радиолокаторов (Новороссийск, Махачкала, Хабаровск, Владивосток, Кострома, Псков, Нижний Новгород, Москва (аэропорт Внуково). Предполагается, что она будет информационно совместима с действующими радиолокаторами МРЛ-5. Первый пробный ДМРЛ был установлен в аэропорту Пулково Санкт-Петербурга в 2006 г.

За рубежом, особенно в США и Европе, ДМРЛ уже нашли широкое применение. В США для контроля за часто повторяющимися кратковременными особо опасными атмосферными явлениями мезомасштаба (торнадо, смерчи) организована сеть, которая получила название NEXRAD (Next-Generation Radar, или радары следующего поколения). Система состоит из 159 ДМРЛ (модель WSR-88D). Максимальная дальность действия радара NEXRAD – 460 км.

В NEXRAD автоматизированы все звенья системы – от наблюдений до оповещения потребителей, причем не только заинтересованных организаций, но и населения. Данные посылают Национальному климатическому центру данных (NCDC) для архивирования и распространения. На рис. 28 и 29 представлены схема сети NEXRAD и фото ДМРЛ соответственно.

Метеорологическая служба Японии ведет разработку системы прогнозирования смерчей на основе данных об облаках, полученных при помощи доплеровского радара. Эта система будет вести расчеты зарождения вихревых потоков в кучевых облаках, которые могут привести к образованию мощных смерчей, и каждый час давать свой прогноз по конкретным районам.

Обсуждается вопрос о создании сети метеорологических доплеровских радиолокаторов на Дальнем Востоке России с перспективой их объединения в единую систему с Китаем и Республикой Корея.

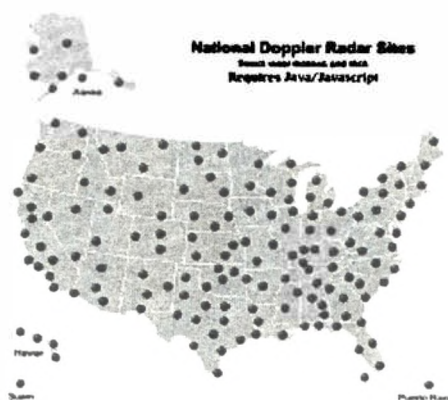


Рис. 28. Схема сети NEXRAD



Рис. 29. ДМРЛ, модель WSR-88D

За рубежом дополнительный контроль за развитием грозовой деятельности осуществляется с помощью систем грозопеленгации.

При разработке межведомственных проектов по метеорологической безопасности одним из приоритетов предусмотрено решение задач связи, обеспечивающих высокую скорость передачи информации прогностическим центрам, службам управления и контроля движения авиации, органам МЧС, а также телевидению и радио с использованием автоматизированной системы передачи данных.

Использование высокоскоростных каналов связи позволяет обеспечивать периферийные подразделения полным объемом необходимой информации. Радиолокационная информация передается в кодах RADOB и FM 94 BUFR. Использование кода FM 94 BUFR позволяет выполнять обмен информацией по каналам глобальной системы телесвязи (ГСТ). Такая система передачи позволяет получать радиолокационную информацию всеми прогностическими подразделениями Росгидромета, имеющими «рабочие места» для приема радиолокационной информации.

Время поступления информации от радара до любого узла ГСТ составляет, как правило, 3–5 мин и не превышает 10 мин. Радиолокационные данные поступают от ближайшего одиночного радара с интервалом 10 мин, от сети радаров с интервалом 30 мин.

Радиолокационные исследования облаков проводятся и с помощью самолетных МРЛ. Метеорологические радиолокаторы были установлены и на самолетах в метеолабораториях ЦАО и ГГО. Все самолеты семейства «Циклон» оснащены бортовыми метеорологическими радиолокаторами, а на самолете Ил-18 был установлен экспериментальный доплеровский метеорологический радиолокатор вертикального зондирования. Такая работа была проведена у нас в стране впервые, а бортовой доплеровский радиолокатор для измерения вертикальных скоростей воздушных потоков имеет мировой приоритет. Метеорологические радиолокаторы устанавливаются на некоторых моделях гражданских самолетов.

Наряду с крупномасштабными разработками физических основ создания оперативно-информационной системы радиолокационных метеорологических наблюдений, в центре и в регионах про-

должаются исследования по метеорологической интерпретации радиолокационных наблюдений, направленных на расширение возможности и повышение эффективности информации МРЛ, а также разработка новых методов сверхкраткосрочного прогноза ОЯ. Научно-исследовательская работа ведется по следующим направлениям:

- определение видимости в снегопадах;
- определение обледенения и турбулентности («болтанки»);
- определение электроактивных зон в слоистообразных облаках;
- прогноз осадков и расчет времени прихода зоны осадков в пункт наблюдений.

В частности, подобного рода работы (видимость в осадках, диагноз шквалов) успешно выполняются сотрудниками АМСГ «Томск» совместно с преподавателями и студентами кафедры метеорологии и климатологии Томского государственного университета.

## КРАТКИЙ РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

**Азимут радиолокационной цели** – угол, образуемый линией, соединяющей радиолокатор и проекцию метеоцели на земную поверхность с направлением на север.

**Аномальное радиоэхо (местники)** – радиоэхо, наблюдаемое при очень низких углах возвышения антенны ( $0-0,2^\circ$ ), полученное от предметов, расположенных на поверхности земли, таких как лес, здания и т.д.

**Гидрометеоры** – продукты конденсации водяного пара в атмосфере.

**Горизонтальное удаление** – величина гипотетической линии, расположенной на поверхности земли и соединяющей радиолокатор и проекцию метеоцели на земную поверхность.

**Децибел** – логарифмическая единица, применяемая для измерения отношения мощностей сигналов

$$A(\text{дБ}) = 10 \lg \frac{P_1}{P_0}.$$

**Индикатор «дальность – высота»** – необходим для определения вертикальной структуры и высоты облаков. На ИДВ в результате поворота антенны в вертикальной плоскости появляется радиоэхо в координатах «высота – горизонтальное удаление».

**Индикатор кругового обзора** – электронно-лучевая трубка, на которой в результате кругового вращения антенны получают картину распределения радиоэха в горизонтальном сечении.

**Индикатор типа А** – электронно-лучевая трубка, на экране которой высвечивается горизонтальный луч.

**Наклонная дальность** – величина гипотетической линии, соединяющей радиолокатор и метеоцель.

**Радиолокатор, радиолокационная станция, радар** – устройства для наблюдения за различными объектами (метеоцелями) методами радиолокации.



**Радиолокационная отражаемость** – совокупность физических характеристик метеоцели, определяющая способность цели отражать радиоволны. Зависит от числа гидрометеоров в единице объема, их фазового состояния и размеров облачных частиц.

**Радиолокация** – метод обнаружения и определения местонахождения объектов посредством радиоволн. Эти волны излучаются радиолокационной станцией, отражаются от объекта и возвращаются на станцию, где анализируются, чтобы точно определить место нахождения объекта.

**Угол возвышения антенны** – равнозначно вертикальный угол.

**Угол места радиолокационной цели** – вертикальный угол, образуемый гипотетической линией, соединяющей радиолокатор и метеоцель с горизонтальной плоскостью, расположенной на поверхности земли.

**Характерная отражаемость ( $\lg Z_{\text{хар}}$ )** – для РКО и РКСО наибольшая отражаемость на любом из уровней  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  в радиусе до 180 км от МРЛ.

**Эффективная площадь рассеяния** – понятие введено для оценки величины отраженной в сторону МРЛ от гидрометеоров энергии. Определяется экспериментально. Фактически это суммарная площадь той поверхности всех гидрометеоров, заполняющих облако, на которую облучающие лучи падают перпендикулярно. Эффективная площадь рассеяния имеет размерность площади и выражается в  $\text{м}^2$  или  $\text{см}^2$ .

## ЛИТЕРАТУРА

- Акимов В.И.** Распределение относительной повторяемости видности в осадках на территории СССР // Труды ВНИГМИ – МЦД. 1983. Вып. 107. С. 37–45.
- Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Песков Б.Е., Ватманов М.Р., Хаслов Г.В.** Методические указания по определению шквалов с использованием данных МРЛ. Л.: ГГО, 1988. 23 с.
- Чередниченко В.С.** Радиометеорология и аэрология: Учеб. пособие. Бишкек: 1998. С. 631.
- Золотов Н.В.** К вопросу о репрезентативности сети метеорологических станций Западно-Сибирского УГМС // Тр. ЗСРНИГМИ. 1979. Вып. 45. С. 96–106.
- Калинин Н.А., Толмачева Н.И.** Некоторые особенности пространственно-временного распределения осадков по данным радиолокационных наблюдений: Учебное пособие. Пермь: Пермский ун-т, 2000. 103 с.
- Код для передачи данных наблюдений метеорологических радиолокаторов (международная форма FM 20-VIII RADOB).** Л.: Гидрометеониздат, 1986. 32 с.
- Мельничук Ю.В., Губарчук В.Н., Павлов Ю.Б., Серебряник Н.Н.** О перспективе создания системы радиолокационного мониторинга опасных явлений погоды на юге западной Сибири // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Матер. науч. конф. Томск, 1998. Т. 4. С. 127–130.
- Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети /** Под ред. Г.Б. Брылева. СПб.: Гидрометеониздат, 2002. 331 с.
- Калинин Н.А., Толмачева Н.И.** Радиометеорология: Учеб. пособие. Пермь, 2002. С. 100.
- Калинин Н.А.** Исследование атмосферы с помощью импульсных метеорологических радиолокаторов. Учеб. пособие. Пермь: Пермский ун-т, 2000. 103 с.
- Наставление** гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеониздат, 1985. Вып. 3, ч. 1. 300 с.
- Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95).** М., 1995. 156 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные.** СПб.: Гидрометеониздат, 1993. Вып. 20. 717 с.
- Павлов Н.Ф.** Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 432 с.
- Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5.** СПб.: Гидрометеониздат, 1993. 358 с.
- Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5.** СПб.: Гидрометеониздат, 1974. 336 с.
- Русин И.Н., Тараканов Г.Г.** Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. СПб.: 1996. 139 с.
- Указание МГА, МРП и Госкомгидромета «О вводе в эксплуатацию комплекса «Метеочейка» № 84/у/89/10-705-604 от 18 февраля 1991 г.**

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение I

Зависимость высоты радиозла ( $H_z$ , км) от расстояния ( $R$ )  
до центра ячейки и угла возвышения антенны ( $\alpha^\circ$ )

| Угол,<br>град | $R$ , км |    |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|               | 45       | 75 | 105 | 135 | 165 | 195 | 225 | 255 | 285 |
| 0,2           | <1       | <1 | 1   | 1   | 2   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 0,5           | <1       | 1  | 2   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 6   |
| 1,0           | 1        | 2  | 2   | 3   | 5   | 6   | 7   | 8   | 7   |
| 1,5           | 1        | 2  | 4   | 5   | 6   | 8   | 9   | 11  | 10  |
| 2,0           | 2        | 3  | 5   | 6   | 8   | 9   | 11  | 13  | 13  |
| 2,5           | 2        | 4  | 5   | 7   | 9   | 11  | 13  | 16  | 15  |
| 3,0           | 3        | 4  | 6   | 8   | 11  | 13  | 15  | 18  | 18  |
| 3,5           | 3        | 5  | 7   | 10  | 13  | 15  | 17  | 19  |     |
| 4,0           | 3        | 6  | 8   | 11  | 13  | 16  | 19  |     |     |
| 5,0           | 4        | 7  | 10  | 13  | 16  | 19  |     |     |     |
| 6,0           | 5        | 8  | 12  | 15  |     |     |     |     |     |
| 7,0           | 6        | 9  | 13  | 18  |     |     |     |     |     |
| 8,0           | 6        | 11 | 15  | 20  |     |     |     |     |     |
| 9,0           | 7        | 12 | 17  |     |     |     |     |     |     |
| 10,0          | 8        | 14 | 19  |     |     |     |     |     |     |
| 11,0          | 9        | 15 |     |     |     |     |     |     |     |
| 12,0          | 9        | 16 |     |     |     |     |     |     |     |
| 13,0          | 10       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 14,0          | 11       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 15,0          | 12       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 16,0          | 12       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 17,0          | 13       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 18,0          | 14       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 19,0          | 15       |    |     |     |     |     |     |     |     |
| 20,0          | 15       |    |     |     |     |     |     |     |     |

## Приложение 2

Значения углов возвышения антенны в зависимости от расстояния  
до середины зоны и высоты уровня, град

| Уровень             | Высота<br>уровня,<br>км | Расстояние до середины зоны, км |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     |                         | 45                              | 75  | 105 | 135 | 165 | 195 | 225 | 255 | 285 |
| $H_2$               | 2                       | 2,3                             | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 0,2 |     |     |     |     |
| $H_1(H_0^{\circ}C)$ | 1(0-0,5)                | 1,1                             | 0,5 |     |     |     |     |     |     |     |
| $H_3$               | 3                       | 3,7                             | 2,0 | 1,2 | 1,1 | 0,7 | 0,2 |     |     |     |
| $H_2$               | 1                       | 1,1                             | 0,5 | 0,2 |     |     |     |     |     |     |
| $H_1(H_0^{\circ}C)$ | 1(0,5-1)                | 0,3                             | 0,2 |     |     |     |     |     |     |     |
| $H_3$               | 4                       | 5,0                             | 2,7 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 0,2 |     |
| $H_2(H_0^{\circ}C)$ | 2                       | 2,3                             | 1,2 | 0,8 | 0,4 |     |     |     |     |     |
| $H_1$               | 1                       | 1,1                             | 0,5 |     |     |     |     |     |     |     |
| $H_3$               | 5                       | 6,0                             | 3,3 | 2,6 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 0,1 |
| $H_2(H_0^{\circ}C)$ | 3                       | 3,7                             | 2,0 | 1,2 | 0,8 | 0,5 | 0,2 |     |     |     |
| $H_1$               | 1                       | 1,1                             | 0,5 |     |     |     |     |     |     |     |
| $H_3$               | 6                       | 7,0                             | 4,0 | 3,1 | 2,2 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,6 | 0,3 |
| $H_2(H_0^{\circ}C)$ | 4                       | 5,0                             | 2,7 | 1,7 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 0,2 |     |     |
| $H_1$               | 1                       | 1,1                             | 0,5 |     |     |     |     |     |     |     |

## Приложение 3

Таблица 1

Значения отражаемостей  $IgZ$  (через 6 дБ, дальняя зона,  $\Pi_m' = 55$ )  
в зависимости от расстояния до центра ячейки, колпак сухой

| $IgZ$ ,<br>дБ | $R$ , км |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 45       | 75   | 105  | 135  | 165  | 195  | 225  | 255  | 285  |
| 0             | -2,2     | -1,8 | -1,5 | -1,2 | -1,1 | -0,9 | -0,8 | -0,7 | -0,6 |
| 6             | -1,6     | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,5 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | 0,0  |
| 12            | -1,0     | -0,6 | -0,3 | 0,0  | 0,1  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  |
| 18            | -0,4     | 0,0  | 0,3  | 0,6  | 0,7  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  |
| 24            | 0,2      | 0,6  | 0,9  | 1,2  | 1,3  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  |
| 30            | 0,8      | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 1,9  | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4  |
| 36            | 1,4      | 1,8  | 2,1  | 2,4  | 2,5  | 2,7  | 2,8  | 2,9  | 3,0  |
| 42            | 2,0      | 2,4  | 2,7  | 3,0  | 3,1  | 3,3  | 3,4  | 3,5  | 3,6  |
| 48            | 2,6      | 3,0  | 3,3  | 3,6  | 3,7  | 3,9  | 4,0  | 4,1  | 4,2  |
| 54            | 3,2      | 3,6  | 3,9  | 4,2  | 4,3  | 4,5  | 4,6  | 4,7  | 4,8  |
| 60            | 3,8      | 4,2  | 4,5  | 4,8  | 4,9  | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,4  |
| 66            | 4,4      | 4,8  | 5,1  | 5,4  | 5,5  | 5,7  | 5,8  | 5,9  | 6,0  |
| 72            | 5,0      | 5,4  | 5,7  | 6,0  | 6,1  | 6,3  | 6,4  | 6,5  | 6,0  |

Таблица 2

Значения отражаемостей  $IgZ$  (через 6 дБ, ближняя зона,  $\Pi_m' = 55$ )  
в зависимости от расстояния до центра ячейки, колпак сухой

| $IgZ$ ,<br>дБ | $R$ , км |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 5        | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 0             | -4,2     | -3,6 | -3,3 | -3,0 | -2,8 | -2,6 | -2,4 | -2,3 | -2,2 | -2,1 |
| 6             | -3,6     | -3,0 | -2,7 | -2,4 | -2,2 | -2,0 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,5 |
| 12            | -3,0     | -2,4 | -2,1 | -1,8 | -1,6 | -1,4 | -1,2 | -1,1 | -1,0 | -0,9 |
| 18            | -2,4     | -1,8 | -1,5 | -1,2 | -1,0 | -0,8 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | -0,3 |
| 24            | -1,8     | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,4 | -0,2 | 0,0  | 0,1  | 0,2  | 0,3  |
| 30            | -1,2     | -0,6 | -0,3 | 0,0  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
| 36            | -0,6     | 0,0  | 0,3  | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  |
| 42            | 0,0      | 0,6  | 0,9  | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 1,9  | 2,0  | 2,1  |
| 48            | 0,6      | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 2,0  | 2,2  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,7  |
| 54            | 1,2      | 1,8  | 2,1  | 2,4  | 2,6  | 2,8  | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,3  |
| 60            | 1,8      | 2,4  | 2,7  | 3,0  | 3,2  | 3,4  | 3,6  | 3,7  | 3,8  | 3,9  |
| 66            | 2,4      | 3,0  | 3,3  | 3,6  | 3,8  | 4,0  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  |
| 72            | 3,0      | 3,6  | 3,9  | 4,2  | 4,4  | 4,6  | 4,8  | 4,9  | 5,0  | 5,1  |

Таблица 3

Значения отражаемостей  $LgZ$  (через 6 дБ, дальняя зона,  $\Pi_{\text{д}}' = 55$ )  
в зависимости от расстояния до центра ячейки, холмик мокрый

| $LgZ$ ,<br>дБ | $R$ , км |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|               | 45       | 75   | 105  | 135  | 165  | 195  | 225  | 255  | 285 |
| 0             | -1,6     | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,5 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | 0,0 |
| 6             | -1,0     | -0,6 | -0,3 | 0,0  | 0,1  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6 |
| 12            | -0,4     | 0,0  | 0,3  | 0,6  | 0,7  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2 |
| 18            | 0,2      | 0,6  | 0,9  | 1,2  | 1,3  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8 |
| 24            | 0,8      | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 1,9  | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4 |
| 30            | 1,4      | 1,8  | 2,1  | 2,4  | 2,5  | 2,7  | 2,8  | 2,9  | 3,0 |
| 36            | 2,0      | 2,4  | 2,7  | 3,0  | 3,1  | 3,3  | 3,4  | 3,5  | 3,6 |
| 42            | 2,6      | 3,0  | 3,3  | 3,6  | 3,7  | 3,9  | 4,0  | 4,1  | 4,2 |
| 48            | 3,2      | 3,6  | 3,9  | 4,2  | 4,3  | 4,5  | 4,6  | 4,7  | 4,8 |
| 54            | 3,8      | 4,2  | 4,5  | 4,8  | 4,9  | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,4 |
| 60            | 4,4      | 4,8  | 5,1  | 5,4  | 5,5  | 5,7  | 5,8  | 5,9  | 6,0 |
| 66            | 5,0      | 5,4  | 5,7  | 6,0  | 6,1  | 6,3  | 6,4  | 6,5  | 6,6 |
| 72            | 5,6      | 6,0  | 6,3  | 6,6  |      |      |      |      |     |

Таблица 4

Значения отражаемостей  $LgZ$  (через 6 дБ, ближняя зона,  $\Pi_{\text{б}}' = 55$ )  
в зависимости от расстояния до центра ячейки, холмик мокрый

| $LgZ$ ,<br>дБ | $R$ , км |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 5        | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| 0             | -3,6     | -3,0 | -2,7 | -2,4 | -2,2 | -2,0 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,5 |
| 6             | -3,0     | -2,4 | -2,1 | -1,8 | -1,6 | -1,4 | -1,2 | -1,1 | -1,0 | -0,9 |
| 12            | -2,4     | -1,8 | -1,5 | -1,2 | -1,0 | -0,8 | -0,6 | -0,5 | -0,4 | -0,3 |
| 18            | -1,8     | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,4 | -0,2 | 0,0  | 0,1  | 0,2  | 0,3  |
| 24            | -1,2     | -0,6 | -0,3 | 0,0  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
| 30            | -0,6     | 0,0  | 0,3  | 0,6  | 0,8  | 1,0  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  |
| 36            | 0,0      | 0,6  | 0,9  | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 1,9  | 2,0  | 2,1  |
| 42            | 0,6      | 1,2  | 1,5  | 1,8  | 2,0  | 2,2  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,7  |
| 48            | 1,2      | 1,8  | 2,1  | 2,4  | 2,6  | 2,8  | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,3  |
| 54            | 1,8      | 2,4  | 2,7  | 3,0  | 3,2  | 3,4  | 3,6  | 3,7  | 3,8  | 3,9  |
| 60            | 2,4      | 3,0  | 3,3  | 3,6  | 3,8  | 4,0  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  |
| 66            | 3,0      | 3,6  | 3,9  | 4,2  | 4,4  | 4,6  | 4,8  | 4,9  | 5,0  | 5,1  |
| 72            | 3,6      | 4,2  | 4,5  | 4,7  | 4,9  | 5,1  | 5,4  |      |      |      |

## Приложение 4

Таблица 1  
Расчетные значения  $Y_{\text{гп}}$  в мае. При  $H_{-22} < 6$  км и  $\lg Z_{\text{мин}} = 1,7$ .  
При  $H_{-22} \geq 6$  км и  $\lg Z_{\text{мин}} = 1,5$

| $H_{-22}$ | $Y$   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4,0       | 6,80  | 1,70 | 1,36 | 1,13 | 0,97 | 0,85 |      |      |
| 4,5       | 7,65  | 1,91 | 1,53 | 1,28 | 1,09 | 0,96 | 0,85 |      |
| 5,0       | 8,50  | 2,13 | 1,70 | 1,42 | 1,21 | 1,06 | 0,94 |      |
| 5,5       | 9,35  | 2,34 | 1,87 | 1,56 | 1,34 | 1,04 | 1,04 | 0,94 |
| 6,0       | 9,00  | 2,25 | 1,80 | 1,50 | 1,29 | 1,00 | 1,00 | 0,90 |
| 6,1       | 9,15  | 2,29 | 1,83 | 1,53 | 1,31 | 1,02 | 1,02 | 0,92 |
| 6,2       | 9,30  | 2,33 | 1,86 | 1,55 | 1,33 | 1,03 | 1,03 | 0,93 |
| 6,3       | 9,45  | 2,36 | 1,89 | 1,58 | 1,35 | 1,05 | 1,05 | 0,95 |
| 6,4       | 9,60  | 2,40 | 1,92 | 1,60 | 1,37 | 1,07 | 1,07 | 0,96 |
| 6,5       | 9,75  | 2,44 | 1,95 | 1,63 | 1,39 | 1,08 | 1,08 | 0,98 |
| 6,6       | 9,90  | 2,48 | 1,98 | 1,65 | 1,41 | 1,12 | 1,10 | 0,99 |
| 6,7       | 10,05 | 2,51 | 2,01 | 1,68 | 1,44 | 1,12 | 1,12 | 1,01 |
| 6,8       | 10,20 | 2,55 | 2,04 | 1,70 | 1,46 | 1,13 | 1,13 | 1,02 |

Таблица 2  
Расчетные значения  $Y_{\text{гп}}$  в июне. При  $H_{-22} < 6$  км и  $\lg Z_{\text{мин}} = 1,5$ .  
При  $H_{-22} \geq 6$  км и  $\lg Z_{\text{мин}} = 1,3$

| $H_{-22}$ | $Y$  | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 1         | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9  |
| 4,0       | 6,00 | 1,50 | 1,20 | 1,00 | 0,86 |      |      |    |
| 4,5       | 6,75 | 1,69 | 1,35 | 1,13 | 0,96 |      |      |    |
| 5,0       | 7,50 | 1,88 | 1,50 | 1,25 | 1,07 | 0,93 |      |    |
| 5,5       | 8,25 | 2,06 | 1,65 | 1,38 | 1,18 | 1,03 | 0,92 |    |
| 6,0       | 7,80 | 1,95 | 1,56 | 1,30 | 1,11 | 0,98 |      |    |
| 6,1       | 7,93 | 1,98 | 1,59 | 1,32 | 1,13 | 0,99 |      |    |
| 6,2       | 8,06 | 2,02 | 1,61 | 1,34 | 1,15 | 1,01 | 0,90 |    |
| 6,3       | 8,19 | 2,05 | 1,64 | 1,37 | 1,17 | 1,02 | 0,91 |    |
| 6,4       | 8,32 | 2,08 | 1,66 | 1,39 | 1,19 | 1,04 | 0,92 |    |
| 6,5       | 8,45 | 2,11 | 1,69 | 1,41 | 1,21 | 1,06 | 0,94 |    |
| 6,6       | 8,58 | 2,15 | 1,72 | 1,43 | 1,23 | 1,07 | 0,95 |    |
| 6,7       | 8,71 | 2,18 | 1,74 | 1,45 | 1,24 | 1,09 | 0,97 |    |
| 6,8       | 8,84 | 2,21 | 1,77 | 1,47 | 1,26 | 1,11 | 0,98 |    |
| 6,9       | 8,97 | 2,24 | 1,79 | 1,50 | 1,28 | 1,12 | 0,99 |    |

Окончание табл. 2

| 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7,0 | 9,10 | 2,28 | 1,82 | 1,52 | 1,30 | 1,14 | 1,01 | 0,91 |
| 7,1 | 9,23 | 2,31 | 1,85 | 1,54 | 1,32 | 1,15 | 1,03 | 0,92 |
| 7,2 | 9,36 | 2,34 | 1,87 | 1,56 | 1,34 | 1,17 | 1,04 | 0,94 |
| 7,3 | 9,49 | 2,37 | 1,90 | 1,58 | 1,36 | 1,19 | 1,05 | 0,95 |
| 7,4 | 9,62 | 2,41 | 1,92 | 1,60 | 1,37 | 1,20 | 1,07 | 0,96 |
| 7,5 | 9,75 | 2,44 | 1,95 | 1,63 | 1,39 | 1,22 | 1,08 | 0,98 |

Таблица 3

Расчетные значения  $Y_{\text{гг}}$  в июле, августе. При  $H_{-22} < 6$  км и  $\lg Z_{\text{max}} = 1,3$ .  
При  $H_{-22} > 6$  км и  $\lg Z_{\text{max}} = 1,2$

| $H_{-22}$ | $Y$  | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4,0       | 5,20 | 1,30 | 1,04 | 0,87 |      |      |      |      |
| 4,5       | 5,85 | 1,46 | 1,17 | 0,98 |      |      |      |      |
| 5,0       | 6,50 | 1,63 | 1,30 | 1,08 | 0,93 |      |      |      |
| 5,5       | 7,15 | 1,79 | 1,43 | 1,19 | 1,02 | 0,89 |      |      |
| 6,0       | 7,20 | 1,80 | 1,44 | 1,20 | 1,03 | 0,90 |      |      |
| 6,1       | 7,32 | 1,83 | 1,46 | 1,22 | 1,05 | 0,92 |      |      |
| 6,2       | 7,44 | 1,86 | 1,49 | 1,24 | 1,06 | 0,93 |      |      |
| 6,3       | 7,56 | 1,89 | 1,51 | 1,26 | 1,08 | 0,95 |      |      |
| 6,4       | 7,68 | 1,92 | 1,54 | 1,28 | 1,10 | 0,96 |      |      |
| 6,5       | 7,80 | 1,95 | 1,56 | 1,30 | 1,11 | 0,98 |      |      |
| 6,6       | 7,92 | 1,98 | 1,58 | 1,32 | 1,13 | 0,99 |      |      |
| 6,7       | 8,04 | 2,01 | 1,61 | 1,34 | 1,15 | 1,01 | 0,89 |      |
| 6,8       | 8,16 | 2,04 | 1,63 | 1,36 | 1,17 | 1,02 | 0,91 |      |
| 6,9       | 8,28 | 2,07 | 1,66 | 1,38 | 1,18 | 1,04 | 0,92 |      |
| 7,0       | 8,40 | 2,10 | 1,68 | 1,40 | 1,20 | 1,05 | 0,93 |      |
| 7,1       | 8,52 | 2,13 | 1,70 | 1,42 | 1,22 | 1,07 | 0,95 |      |
| 7,2       | 8,64 | 2,16 | 1,73 | 1,44 | 1,23 | 1,08 | 0,96 |      |
| 7,3       | 8,76 | 2,19 | 1,75 | 1,46 | 1,25 | 1,10 | 0,97 |      |
| 7,4       | 8,88 | 2,22 | 1,78 | 1,48 | 1,27 | 1,11 | 0,99 |      |
| 7,5       | 9,00 | 2,25 | 1,80 | 1,50 | 1,29 | 1,13 | 1,00 | 0,90 |



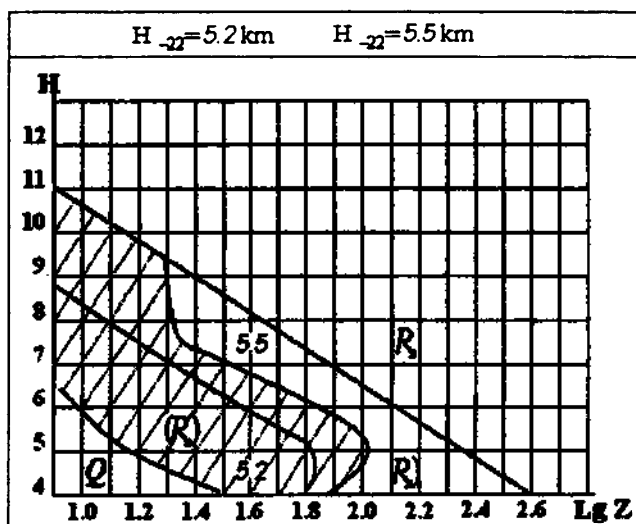


Рис. 1. Прогноз вероятности гроз  $H_{-22} = 5,2$  км;  $H_{-22} = 5,5$  км

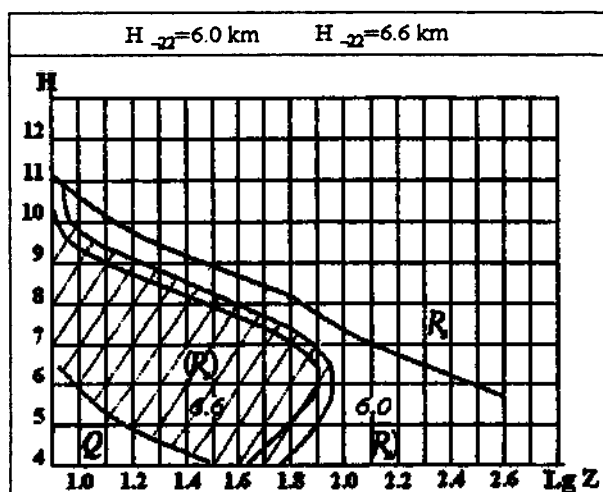


Рис. 2. Прогноз вероятности гроз  $H_{-22} = 6,0$  км;  $H_{-22} = 6,6$  км

## Приложение 5

Таблица 1

Скорость ветра при диагнозе «шквал»

| $\lg Z_3$              | $V_m, \text{ м/с}$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
|------------------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
|                        | 10                 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 |
| $H = 10 \text{ км}$    |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
| 2,2–2,7                | 15                 | 16 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28 | 29  | 30  |
| 2,8–3,7                | 15                 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26 | 27 | 28 | 29  | 30  |
| 3,8–4,4                | 14                 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 26 | 27 | 28 | 29  | 30  |
| 4,5–4,8                | 14                 | 15 | 16 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28  | 29  |
| $H = 11–12 \text{ км}$ |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
| 2,2–2,7                | 18                 | 18 | 19 | 19 | 19 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24  | 25  |
| 2,8–3,7                | 18                 | 18 | 19 | 19 | 19 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 24 | 24 | 24  | 25  |
| 3,8–4,4                | 18                 | 18 | 18 | 19 | 19 | 19 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21 | 22 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24  | 24  |
| 4,5–4,8                | 17                 | 17 | 18 | 18 | 18 | 19 | 19 | 19 | 20 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 | 22 | 22 | 23 | 23 | 23  | 24  |
| $H = 13–17 \text{ км}$ |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
| 2,2–2,7                | 15                 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33 | 34 | 35  | 36  |
| 2,8–3,7                | 14                 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33 | 34  | 35  |
| 3,8–4,4                | 13                 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 30 | 31 | 32 | 33  | 34  |
| 4,5–4,8                | 12                 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32  | 33  |

Таблица 2

Скорость ветра при диагнозе «сильный шквал»

| lgZ <sub>3</sub> | V <sub>m</sub> , m/c |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
|------------------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
|                  | 30                   | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 |
| 1,2-2,3          | 27                   | 27 | 28 | 28 | 29 | 29 | 29 | 30 | 30 | 31 | 31 | 31 | 32 | 32 | 33  | 33  |
| 2,4-3,3          | 26                   | 26 | 27 | 27 | 28 | 28 | 28 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 | 31 | 31 | 32  | 32  |
| 3,4-4,3          | 25                   | 25 | 26 | 26 | 27 | 27 | 27 | 28 | 28 | 29 | 29 | 29 | 30 | 30 | 31  | 31  |
| 4,4-4,8          | 24                   | 24 | 25 | 25 | 26 | 26 | 26 | 27 | 27 | 28 | 28 | 28 | 29 | 29 | 30  | 30  |

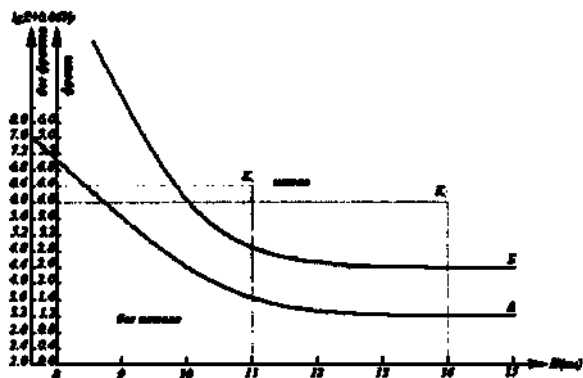


Рис. 1. График для определения ситуации шквала



## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>                                               | <b>3</b>  |
| <b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>                                                                            | <b>5</b>  |
| <b>1. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ<br/>НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ .....</b>                      | <b>7</b>  |
| 1.1. Воздействие электромагнитных полей на организм человека .....                                  | 7         |
| 1.2. Общие требования по технике безопасности .....                                                 | 8         |
| 1.3. Требования безопасности во время работы .....                                                  | 9         |
| 1.4. Требования безопасности в аварийных ситуациях .....                                            | 9         |
| 1.5. Дополнительные требования безопасности во время прохождения<br>производственной практики ..... | 10        |
| <b>2. ОЦЕНКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ<br/>ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МРЛ-5 .....</b>                            | <b>11</b> |
| 2.1. Принцип действия радиолокатора .....                                                           | 11        |
| 2.2. Этапы процесса радиолокационного зондирования атмосферы .....                                  | 15        |
| 2.3. Типы радиозона облачности .....                                                                | 24        |
| <b>3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МРЛ-5 .....</b>                                                            | <b>26</b> |
| 3.1. Панель приемопередатчика .....                                                                 | 28        |
| 3.2. Индикаторы и управление ими .....                                                              | 29        |
| 3.3. Управление движением антенны .....                                                             | 31        |
| 3.4. Световое табло .....                                                                           | 32        |
| 3.5. Панель для измерения радиолокационной отражаемости .....                                       | 33        |
| 3.6. Блок обработки многоконтурного отображения .....                                               | 33        |
| <b>4. ТЕХНИКА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ .....</b>                                                       | <b>34</b> |
| 4.1. Принадлежности и таблицы для первичной обработки .....                                         | 34        |
| 4.1.1. Шаблон .....                                                                                 | 34        |
| 4.1.2. Карта радиолокационных измерений .....                                                       | 35        |
| 4.1.3. Расчетные таблицы .....                                                                      | 38        |
| 4.2. Включение аппаратуры и проверка ее работоспособности .....                                     | 41        |
| 4.3. Последовательность измерений .....                                                             | 44        |
| 4.3.1. Дальняя зона .....                                                                           | 44        |
| 4.3.2. Близкая зона .....                                                                           | 46        |
| 4.4. Выключение аппаратуры .....                                                                    | 47        |

|                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ В РАДИОМЕТЕОРОЛОГИИ .....</b>                                                    | <b>49</b>  |
| 5.1. Определение формы облаков по типу радиозха .....                                                        | 50         |
| 5.2. Методика распознавания радиолокационных изображений<br>облачности .....                                 | 51         |
| 5.2.1. Характерные признаки различных видов облаков<br>на экране ИДВ .....                                   | 51         |
| 5.2.2. Характерные признаки различных видов облаков<br>на экране ИКО .....                                   | 55         |
| <b>6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ .....</b>                                                                           | <b>62</b>  |
| 6.1. Диагноз и прогноз опасных атмосферных явлений .....                                                     | 62         |
| 6.1.1. Гроза .....                                                                                           | 63         |
| 6.1.2. Град .....                                                                                            | 65         |
| 6.1.3. Шквал .....                                                                                           | 65         |
| 6.1.4. Ливни .....                                                                                           | 66         |
| 6.2. Выявление зон, занятых осадками, в разные периоды года .....                                            | 67         |
| 6.3. Определение метеорологической дальности видимости в осадках .....                                       | 69         |
| 6.4. Пример анализа .....                                                                                    | 71         |
| <b>7. СОСТАВЛЕНИЕ ТЕЛЕГРАММ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ<br/>ИНФОРМАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ .....</b>        | <b>79</b>  |
| 7.1. Методика составления телеграммы для передачи данных<br>радиолокационного зондирования (код RADOB) ..... | 80         |
| 7.1.1. Условные обозначения и правила кодирования информации<br>дальней зоны .....                           | 80         |
| 7.1.2. Условные обозначения и правила кодирования информации<br>ближней зоны .....                           | 84         |
| 7.2. Пример кодирования .....                                                                                | 87         |
| 7.3. Распространение информации радиолокационного зондирования .....                                         | 87         |
| <b>8. РАДИОКЛИМАТИЧЕСКИЕ СЕЗОНЫ .....</b>                                                                    | <b>89</b>  |
| <b>9. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ, СРОКИ НАБЛЮДЕНИЯ .....</b>                                                         | <b>91</b>  |
| <b>10. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПЕРАТИВНОГО<br/>РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ<br/>В РОССИИ .....</b> | <b>94</b>  |
| <b>КРАТКИЙ РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ .....</b>                                                          | <b>103</b> |
| <b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>                                                                                      | <b>105</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>                                                                                      | <b>106</b> |

**Гербатенко Валентина Петровна  
Слуцкий Владимир Израилевич  
Бычкова Любовь Николаевна**

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РАДИОЛОКАТОР МРЛ-5:  
ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ, ДИАГНОЗ  
И ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ**

**Учебное пособие**

**Редактор К.В. Полькина  
Корректор А.Н. Гранкина  
Оригинал-макет А.И. Лелююр  
Дизайнер обложки В.Ю. Мальцева**

**Подписано к печати 16.11.2007 г. Формат 60х84/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times.  
Усл. печ. л. 7 + 8 вклеек. Тираж 250 экз. Заказ № 17.**

**Издательство «ТМЛ-Пресс»  
634050, г. Томск, ул. Гагарина, 31, оф. 49  
Тел. 8-3822-52-66-83 .**

**ISBN 5-91302-025-X**



**9 785913 102053**

## **ИЛЛЮСТРАЦИИ**



### Иллюстрации к главе 3

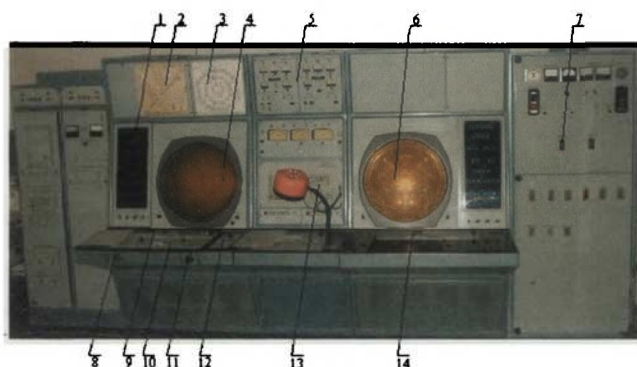


Рис. 8. Пульт управления МРЛ. Общий вид



Рис. 9. Панель приемоопередатчика

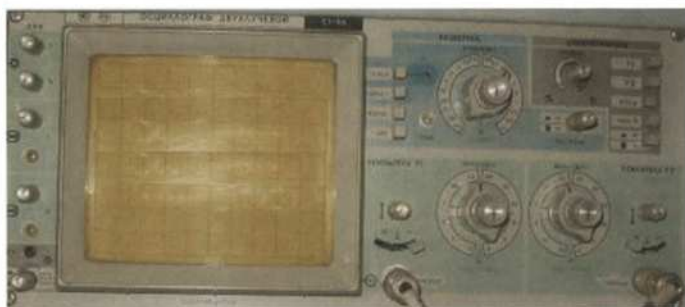


Рис. 10. Индикатор типа А



Рис. 11. Совмещенный индикатор «ИКО/ИДВ»



Рис. 13. Панель индикатора

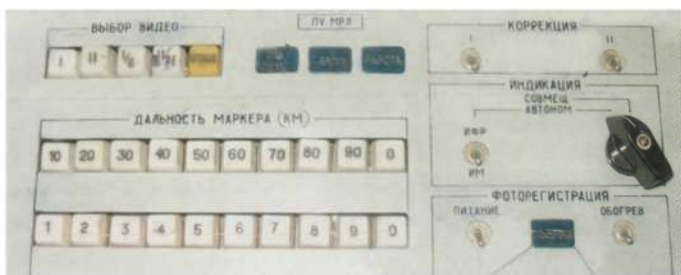


Рис. 14. Установка дальности маркера

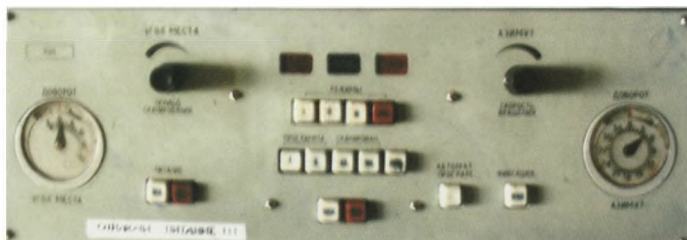


Рис. 15. Панель управления движением антенны



Рис. 16. Световое табло



Рис. 17. Панель для измерения радиолокационной отражаемости



Рис. 18. Панель БОМО

## Иллюстрации к главе 4



Рис. 20. Распределительный щит





**Рис. 27. Зоны обзора существующих МРЛ  
при радиусе обзора 200 км**



### Горбатенко Валентина Петровна



Окончила Томский государственный университет.  
Доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии ТГУ. Читает курс лекций по аэрологии и радиометеорологии.

Область научных интересов – климатология гроз, метеорология, экология.

Автор более 80 научных работ.

Томский госуниверситет 1878



Научная библиотека 00769041

### Слуцкий Владимир Израилевич



Окончил Ленинградский государственный университет. Кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии ТГУ.

Почетный работник Гидрометеослужбы России, почетный работник высшего профессионального образования.

Область научных интересов – история, метеорология, физика атмосферы.

### Бычкова Любовь Николаевна



Окончила Ростовский гидрометеорологический техникум, Томский государственный университет. Длительное время работала на МРЛ-5, успешно руководила практикой студентов. В настоящее время – инженер-синоптик авиаметеорологической станции «Томск».