

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

Г. Б. БРЫЛЕВ, Г. Л. НИЗДОЙМИНОГА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ В СИНОПТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1977

*Утверждено
Центральной методической комиссией
по гидрометеорологическим прогнозам ГУГМС
20 октября 1976 г.*

Ответственный редактор В. Д. Степаненко

Методическое пособие посвящено применению данных метеорологических радиолокаторов (МРЛ) в синоптической практике авиаметеостанций и территориальных бюро погоды. Рассмотрены особенности получения и интерпретации метеорологической радиолокационной информации, возможности определения характера облачности и оценки по данным МРЛ положения фронтов, метеорологическая эффективность обнаружения и интерпретации сведений об опасных явлениях (грозы, град, ливни), прогноз скорости и направления перемещения опасных явлений различных масштабов, возможности радиолокационного определения структуры осадков в разных условиях, взаимодействие данных МРЛ с другими видами аэросиноптической информации.

Пособие предназначено для специалистов по краткосрочным прогнозам погоды, оперативных работников сети Гидрометслужбы, студентов вузов и техникумов метеорологического профиля.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое методическое пособие рассматривает вопросы применения радиолокационной метеорологической информации в синоптической практике на сети Гидрометслужбы. В нем отражен опыт, накопленный в ряде прогностических подразделений, в которых информация метеорологических радиолокаторов используется наряду с данными других видов наблюдений для уточнения и составления ультракраткосрочных прогнозов (на срок 1—3 ч) опасных явлений, связанных с облачностью.

Большие региональные различия в характере и повторяемости облачности на территории СССР позволили авторам сформулировать требования и рекомендации в самом общем виде. Их конкретизация должна быть проведена синоптиками каждого УГМС применительно к местным условиям и возможностям сети МРЛ своего УГМС.

В пособии в самом сжатом виде приведен ряд сведений, известных из «Руководства по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2». Это сделано специально, поскольку ограниченный тираж Руководства не позволяет ознакомить широкий круг оперативных работников с особенностями метеорологической интерпретации данных МРЛ.

Авторы выражают благодарность В. Г. Гардер, В. М. Косенко, Н. И. Шулейкиной (сотрудники ГУГМС), О. М. Казариной (МГАМЦ), Е. П. Сергиенко (Украинский АМЦ), Л. И. Матвеевой, В. И. Романовой, К. Е. Чурсиной и Т. А. Шадринной (БТГМЦ), Н. И. Таюрской (СЗУГМС) за полезные обсуждения и предварительное рецензирование, а также Н. И. Глушковой, В. Ф. Лапчевой и Н. Е. Минаковой (сотрудники Гидрометцентра СССР) за рецензирование рукописи.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- АДС — авиационная диспетчерская служба
- АМСГ — аэрометеостанция
- БМП — большая мезомасштабная площадь осадков
- БП — бюро погоды
- ИДВ — индикатор дальность—высота
- ИКО — индикатор кругового обзора
- КДП — командно-диспетчерский пункт
- ММП — малая мезомасштабная площадь осадков
- МРЛ — метеорологический радиолокатор
- МС — метеостанция
- ПСМ — площади осадков, сравнимые с масштабами синоптических процессов
- РКО — радиоэхо кучевообразных облаков
- РКСО — радиоэхо кучевообразных и слоистообразных облаков
- РМЦ — радиометеорологический центр
- РОЗО — радиоэхо облачности и зон осадков
- РСО — радиоэхо слоистообразных облаков
- РЦУВД — региональный центр управления воздушным движением
- СКП — стартовый командный пункт
- СПАС — специальная авиационная связь
- ТГМЦ — территориальный гидрометцентр
- УГМС — управление гидрометслужбы
- УКВ — ультракоротковолновая связь
- ЭВМ — электронно-вычислительная машина
- I — интенсивность осадков
- Z, Ig Z — радиолокационная отражаемость
- Y — радиолокационный критерий грозоопасности

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение радиолокационных методов для наблюдения за состоянием атмосферы определяется важностью получения оперативной информации о полях облачности и связанных с ними явлений (интенсивные ливни, гроза, град).

Из-за большой пространственной и временной изменчивости облаков с опасными явлениями для их обнаружения и исследования лучше всего подходит именно радиолокационный метод, который отличается от других известных методов своей безынерционностью и возможностью охвата больших площадей при относительно высокой разрешающей способности в пространстве.

Наибольшую пользу радиолокационный метод приносит при применении специализированных метеорологических радиолокаторов (МРЛ), созданных с учетом всей специфики облачности как метеорологической радиоцели.

Сеть радиолокационного штормоповещения нашей страны создана на базе отечественных метеорологических радиолокаторов типа МРЛ, которые предназначены для:

- обнаружения и определения геометрических размеров и местоположения облаков и связанных с ними опасных явлений погоды (ливни, грозы, град);
- определения скорости и направления перемещения зон радиоэхо кучево-дождевых облаков и зон радиоэхо осадков обложного характера (из Ns);
- определения верхней границы радиоэхо всех обнаруживаемых облаков и нижней границы радиоэхо облаков верхнего и среднего ярусов;
- определения тенденции изменения радиолокационных характеристик облачного поля (облачной системы);
- определения эволюции кучево-дождевых облаков;
- определения высот нулевой изотермы при наличии слоисто-дождевых облаков;
- оценки мгновенной максимальной интенсивности выпадающих осадков в радиусе до 90 км от МРЛ;
- определения площадей, занятых радиоэхо осадков.

При отсутствии облаков и осадков МРЛ может обнаруживать пыльные бури, птиц, слои инверсий, под которыми скапливаются

частицы пыли и насекомые, заносимые вверх восходящими потоками воздуха, а также неоднородности тропосферы, связанные с термической неустойчивостью. В ряде случаев МРЛ может обнаруживать наиболее интенсивные туманы, а иногда и дымку.

С помощью МРЛ нельзя определить нижнюю границу облачности, если она ниже 500 м или когда из облаков выпадают осадки.

К настоящему времени четко определились области применения МРЛ:

1) оперативная служба: краткосрочный прогноз погоды, измерение интенсивности и оценка по грациям интенсивности и количества жидких осадков, активные воздействия на градовые облака и конвективные облака с целью искусственного вызывания осадков;

2) исследовательская работа: участие в комплексных исследованиях механизма погоды в конкретных районах, изучение взаимодействия мезо- и макромасштабных процессов, выраженных в поле облачности.

Оперативная информация МРЛ используется в практике синоптического анализа и прогноза погоды, для штормового оповещения, при обслуживании авиации, сельского хозяйства, больших промышленных центров и органов энергетики.

Эффективность радиолокационной метеорологической информации для диагноза и прогноза погоды возрастает в районах с редкой сетью метеостанций, а также при использовании информации с территории, соизмеримой с масштабами синоптических процессов (1000—2000 км).

ГЛАВА 1

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПЕРАТИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО МЕТОДА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

1.1. Физические основы радиолокационного метеорологического метода наблюдений

Применение радиолокации в метеорологии основано на эффекте рассеяния радиоволн сантиметрового диапазона частицами облаков и осадков. Электромагнитная волна длиной λ , облучая такую частицу с радиусом a , возбуждает в ней поле вторичного излучения, частично поглощается ею и рассеивается во всех направлениях. Часть рассеянной в направлении на МРЛ энергии принимается антенной и приемником радиолокатора в период между посылками высокочастотных импульсов передатчика. Интенсивность обратного рассеяния для огромного большинства частиц пропорциональна отношению a^6/λ^4 . Отсюда, при наблюдениях на фиксированной λ увеличение радиуса частиц в 10 раз приводит к увеличению отраженного от нее сигнала в 10^6 раз. Сумма радиусов частиц в шестой степени (a^6), находящихся в единице объема (м^3 или см^3), называется радиолокационной отражаемостью и обозначается буквой Z :

$$Z = \sum_{i,v} a_i^6. \quad (1.1)$$

Величина Z содержит метеорологическую информацию о рассеивающих электромагнитные волны объемах облаков и осадков и измеряется в $\text{мм}^6/\text{м}^3$ или см^3 . Отражаемость является характеристикой микроструктуры облаков и осадков и зависит только от количества частиц и их распределения по размерам.

Параметры радиолокатора и величина Z связаны между собой уравнением радиолокации атмосферных образований. Это уравнение в оперативной практике применяется при ряде допущений, в частности, может не учитываться ослабление радиоволн

в осадках. Относительно величины Z это уравнение можно записать в следующем виде:

$$Z = \frac{P_{\text{пр}}/P_{\text{ш}} r^2}{\Pi_{\text{м}}} K_{\text{зап}}, \quad (1.2)$$

где $K_{\text{зап}}$ — коэффициент заполнения отражающего объема облачными частицами. Для удобства расчетов Z мм⁶/м³ выражается в логарифмах этой величины, например, если $Z=10^2$ мм⁶/м³, то $\lg Z=2$. Тогда уравнение (1.2) можно записать в виде

$$\lg Z = 0,1 (P_{\text{пр}}/P_{\text{ш}} + 20 \lg r - 10 \lg \Pi_{\text{м}}), \quad (1.2')$$

где $P_{\text{пр}}/P_{\text{ш}}$ — величина принятого сигнала относительно шумов приемника, которая измеряется во время наблюдений в децибелах, r — расстояние до измеряемой точки облака, $\Pi_{\text{м}}$ — потенциал радиолокатора, зависящий от его технических параметров.

Убывание с высотой давления, температуры и влажности атмосферы приводит к искривлению траекторий радиоволн (рефракции). Нижняя граница диаграммы направленности антенны радиолокатора, характеризующаяся шириной θ в градусах, при нулевых углах возвышения антенны ϵ , из-за рефракции и сферичности земли оказывается приподнятой над поверхностью земли на величину ΔH . Если высота облаков на выбранном расстоянии r меньше ΔH , то радиолокатор их не обнаружит, так как их вершины будут находиться ниже нижней границы диаграммы направленности (рис. 1.1).

Высоту подъема ΔH относительно уровня расположения антенны радиолокатора при $\epsilon=0^\circ$ в условиях монотонного убывания метеоэлементов с высотой можно оценить по формуле

$$\Delta H = 6 \cdot 10^{-5} r^2, \quad (1.3)$$

где r — расстояние от радиолокатора в километрах.

Высота радиоэхо облаков H определяется по формуле

$$H = r \sin \epsilon + 6 \cdot 10^{-5} r^2. \quad (1.4)$$

Из формулы (1.4) следует, что при наличии высоких местных предметов (здания, башни, горы, сопки) вокруг радиолокатора создаются углы закрытия и увеличивается значение $\epsilon_{\text{мин}}$. Отсюда увеличивается минимальная высота обнаружения облачности, находящейся в азимуте высоких местных предметов, и понижается эффективность радиолокационных наблюдений.

Из уравнений (1.2) и (1.2') следует, что дальность обнаружения радиолокатором возрастает при увеличении потенциала $\Pi_{\text{м}}$, Z и высоты облаков. Чем больше Z и высота облаков, тем на больших расстояниях r при данном потенциале они будут обнаружены радиолокатором. Как следует из уравнения (1.2), минимальная отражаемость $Z_{\text{мин}}$ при заданных $\Pi_{\text{м}}$ и отношении $P_{\text{пр}}/P_{\text{ш}}$ будет зависеть от r . Облака с $Z < Z_{\text{мин}}(r)$ не будут обнаруживаться радиолокатором. Встречаются ситуации, когда из-за сильного ослабления радиоволн в облаках и осадках радиолокатор, работающий

на длинах волн меньших 6 см, может не обнаружить облака с $H > \Delta H$ и $Z > Z_{\min}(r)$. С увеличением r падает разрешающая способность радиолокатора по угловым координатам, пропорциональная величине θr . Отсюда следует, что достоверность радиолокационной информации о высотах и площадях облаков и осадков убывает с увеличением r .

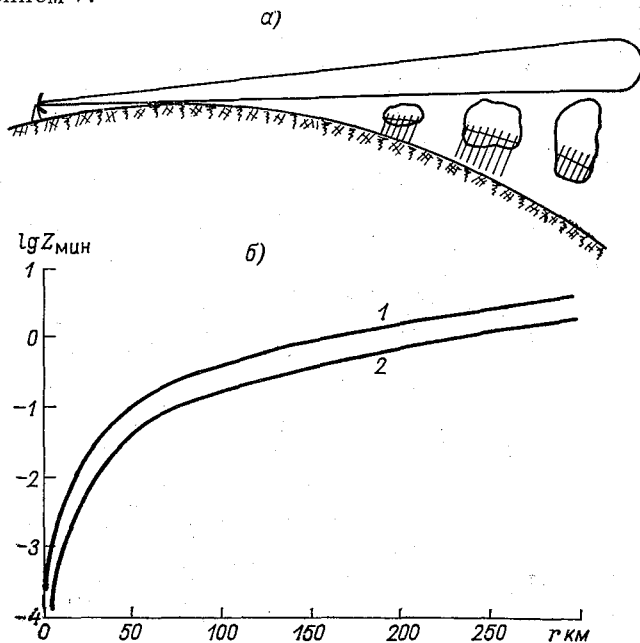


Рис. 1.1. Ограничения радиолокационного метода наблюдений.

a — за счет подъема диаграммы направленности антенны над сферической поверхностью земли, b — за счет увеличения минимально обнаружимой отражаемости $\lg Z_{\min}$ при заданном потенциале МРЛ $\Pi_{\min}$ и коэффициенте заполнения $K_z=1$; 1 — $\Pi_{\min}=48$ дБ, 2 — $\Pi_{\min}=52$ дБ.

Все перечисленные ограничения несколько снижают эффективность радиолокационных метеонаблюдений.

1.2. Классификация информации МРЛ

Анализ радиолокационной информации об облаках в ближней зоне (до 40 км) основывается на знании качественной картины радиоэхо облаков на индикаторе дальность—высота (ИДВ), абсолютных значений отражаемости и особенностей вертикального распределения отражаемости в облаках. Качественные описания облаков по их радиоэхо получены на основании сопоставления картин радиоэхо вертикальных разрезов облачности на МРЛ с типами облаков, отмечаемых наземными наблюдениями в тех

районах, где проводились разрезы. Анализ картин радиоэхо показывает, что у радиолокационных и визуальных данных много общего (рис. 1.2). Однако только по радиолокационным данным нельзя получить такой же подробной классификации облаков, которую дает наземный наблюдатель. По этой причине классификация радиоэхо облаков менее подробна, чем общепринятая классификация облачности (табл. 1.1).

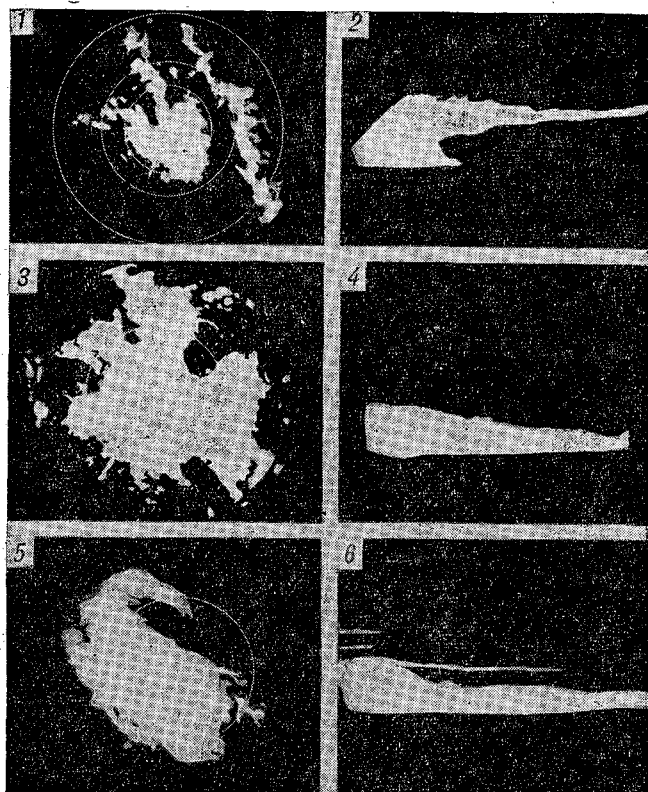
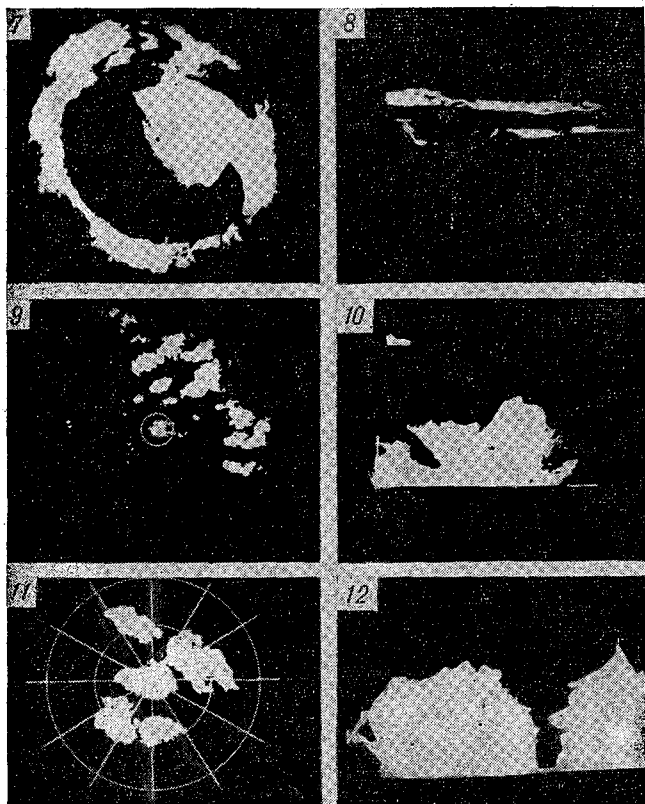


Рис. 1.2. Картина радиоэхо ИКО и ИДВ раз
1) As — Cb — Ac; 2) As — Cb — Ac; 3) As — Ns — Cb; 4) As — Ns — Cb;
— Cu cong.; 5) Cb — Cu cong.;

Определение характера облачности в дальней зоне (>40 км) также проводится с помощью предварительно составленных описаний наиболее распространенных типов радиоэхо. Характер распределения радиоэхо на индикаторе кругового обзора (ИКО), его удаление и протяженность, высоты и конфигурации облаков и величин их отражаемости — все это, вместе взятое, позволяет определить тип радиоэхо, а по нему характер облачной системы в радиусе действия МРЛ.

Генетическая классификация облаков внетропических широт, их пространственное распределение и создаваемые ими картины радиоэхо на ИКО и ИДВ позволили классифицировать радиоэхо на следующие типы: радиоэхо от слоистообразных облаков (PCO), радиоэхо от конвективных (кучевообразных) облаков (PKO), радиоэхо от кучевообразных и слоистообразных облаков (PKCO).



личных облачных систем в теплое время года.

5) As — Ns; 6) As — Ns; 7) Sc, St, Ac, As; 8) Sc, St, Ac, As; 9) Cb —
11) Cb — Cu cong.; 12) Cb — Cu cong.

По распределению в пространстве PCO может быть приподнятым и доходящим до земной поверхности, сплошным и несплошным. PKO, как правило, доходит до земной поверхности и может отмечаться в виде сплошной и несплошной полосы, несплошной зоны и отдельного изолированного очага. PKCO является сочетанием PCO и PKO и по пространственному распределению может повторять любой из этих видов (см. рис. 1.2).

Радиолокационная классификация облаков и связанных с ними явлений

Типы радиоэхолочных облаков и их условные обозначения на радиолокационных бланк-картах	Формы облаков без явлений по данным наземных наблюдений	Типы радиоэхолочных облаков с явлениями и их условные обозначения на радиолокационных бланк-картах	Формы облаков с явлениями по данным наземных наблюдений	Номер группы
От слоистообразных облаков верхнего яруса (C)	Сi, Сс, Сs	От кучевообразных гродо- опасных облаков ▲	▲ — град ⬢▲ — грозы с градом Сb — гродоопасные	I
От слоистообразных облаков среднего яруса (A)	As, Ac	От кучевообразных грозо- опасных облаков ⬢, ⬢, (⬢)	⬢▽ или ⬢ — грозы без осадков ⬢▽ — грозы с осадками ⬢* — грозы со снегом ⬢▲ — гроза с крупой Сb — предгрозовые Сb — послегрозовые	II
От слоистообразных облаков нижнего яруса (S)	St, Sc	От кучевообразных облаков с ливневыми осадками ▽ или ▽	▽ — ливневый дождь ▽* — ливневый снег ▽* — мокрый ливневый снег △ — ливневая крупа Сb — негрозоопасные	III
От кучевообразных облаков (Q)	Cu, Cu med., Cu cong., Cb	От слоистообразных облаков с обложными осадками * или :	* — обложной снег : — обложной дождь △ — ледяной дождь * — дождь со снегом ; — морось с дождем	
От слоистообразных облаков большой вертикальной протяженности (N и N—A)	Ns, Ns — Frnb Ns — As			

Распознавание характера явлений, сопровождающих кучево-дождевые облака (ливневые осадки, грозы, град), являются одной из основных задач МРЛ. Поскольку МРЛ не фиксирует грозовые разряды при обычной регистрации эхо-сигналов, грозовое состояние облака определяют по косвенным признакам, базируясь на широко известном факте, что наивысшая активность молний обычно связана с районом наибольшей активности осадков.

Согласно радиолокационной классификации явления, связанные с Сб (табл. 1.1), делятся на следующие группы:

- I — градоопасные Сб и грозовые облака с градом (К),
- II — грозоопасные облака и ливневый дождь с грозой (▲),
- III — негрозоопасные конвективные облака и негрозовые ливни (∇ и Q).

Радиолокационная информация об опасных явлениях носит вероятностный характер, т. е. не во всех случаях грозовое состояние, определенное по данным МРЛ, совпадает с грозой, фиксируемой наземным наблюдателем. Это особенно справедливо для гроз небольшой вертикальной протяженности. Если величина радиолокационного критерия грозоопасности такова, что вероятность совпадения радиолокационной и наземной информации более 90%, то зона радиоэхо обозначается символом К, если более 80%, то символом К₁, если она составляет 30—70%, то символом (К).

Распознавание явлений ведется с помощью комплексного радиолокационного критерия грозоопасности Y. Этот критерий учитывает особенности вертикальной структуры радиоэхо Сб. В Сб по мере увеличения степени их опасности (переход от III к I группе, см. табл. 1.1) наблюдается тенденция роста максимальных высот радиоэхо $H_{\text{макс}}$, увеличение с высотой зоны максимальной отражаемости $Z_{\text{макс}}$ и отмечается тенденция к уменьшению разности значений отражаемости облаков, измеренной на уровне нулевой изотермы H_2 и на уровне H_3 , превышающем нулевую изотерму на 2—3 км.

Величина критерия Y рассчитывается по формуле

$$Y = H_{\text{макс}} \lg Z_3.$$

Расчет производится для значений $\lg Z_{3 \text{ мин}} \geq 0,9$ —1,2, так как из распределения отражаемости в Сб следует, что величина $\lg Z_3 < 0,9$ маловероятна в облаках с грозами.

По многолетним радиолокационным данным, в различных физико-географических районах величина Y во II и III группах колеблется от 10 до 25. Значения $Y \geq 18 \div 25$ являются достоверным признаком II группы явлений. Характер явления устанавливают путем сравнения фактического значения Y с критерийным значением $Y_{\text{кр}}$. Для исключения ошибок при резких сменах погодных условий проводится ежедневная корректировка $Y_{\text{кр}}$ по высоте изотермы -22°C ($Y_{\text{кр}} = H_{-22^\circ\text{C}} \lg Z_{3 \text{ мин}} \leq$).

Для определения тенденции изменения радиолокационных характеристик облачного поля сравнивают зафиксированные в два последовательных момента времени площади однотипного радиоэхо

и их характерные отражаемости в радиусе до 180 км от МРЛ (обычно это максимальное значение $\lg Z$ на любой высоте). Тенденция изменения характерной отражаемости одного типа радиоэхо или ячейки считается увеличивающейся (уменьшающейся), если за выбранный промежуток времени характерная отражаемость увеличивается (уменьшается) не менее, чем на одну градацию, приведенную в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Качественная оценка интенсивности радиоэхо явления по градациям интенсивности выпадающих осадков	Значения $\lg Z$ (a^6)	Цифра кода
Очень слабое	Меньше —0,4	0
Слабое	От —0,4 до 1,1	2
Умеренное	От 1,2 до 2,7	4
Сильное	От 2,8 до 3,9	6
Очень сильное	Больше 3,9	8

Площадь радиоэхо считается увеличивающейся (уменьшающейся), если за выбранный промежуток времени площадь радиоэхо увеличивается (уменьшается) на 20—25% и более. В остальных случаях характерная отражаемость и площадь радиоэхо явления считаются неизменными.

Скорость и направление измеряются по смещению в последовательные промежутки времени или положения центров тяжести радиоэхо (в основном для радиоэхо отдельных ячеек) или его границ (предпочтительно ближних к центру экрана ИКО), если они четко выражены (в основном для радиоэхо облачных полей).

Оценка максимальной мгновенной интенсивности осадков производится в радиусе 90 км по величине максимальной интенсивности отраженного сигнала в ячейке 30×30 км, полученного под углами возвышения антенны от 0 до 1° с помощью известного соотношения Маршалла—Пальмера $Z(a^6) = 3,12 I^{1,6}$, где I — интенсивность жидких осадков в мм/ч. Для оценки интенсивности снегопада используют соотношение $Z(a^6) = 15,6 I^{1,6}$, где I — интенсивность снегопада в мм/ч.

В табл. 1.3 приведены метеорологические характеристики, получаемые с помощью МРЛ в основные (синоптические) сроки. Максимально возможный радиус получения информации (см. табл. 1.3), который, как правило, определяется наибольшим масштабом развертки индикатора кругового обзора МРЛ. Радиус 95—100%-ного обнаружения заметно отличается от максимально возможного и определяется всей совокупностью ограничений радиолокационного метода (см. п. 1.1). Радиолокационная информация наиболее подробна и достоверна именно при радиусах 95—100%-ного обнаружения.

Средние вероятные ошибки определения верхних границ кучево-дождевых облаков на МРЛ (максимальные ошибки могут

Таблица 1.3

Радиолокационные метеорологические данные и радиусы их получения

Характеристики радиолокационных данных	Максимально возможный радиус получения информации, км	Радиус 95—100%-ного обнаружения, км
1	2	3
1. Опасные явления, связанные с кучево-дождевыми облаками:		Летом 150—200, зимой 50—90
1.1. Основные типы (град, гроза, ливень)	300	
1.2. Площадь	300	
1.3. Верхняя граница	300	
1.4. Скорость и направление перемещения	300	
1.5. Тенденция изменения радиолокационных характеристик	150—200	
2. Осадки, связанные с кучево-дождевыми и слоисто-дождевыми облаками:		Летом 90—120, зимой 60—70
2.1. Тип осадков (ливневые, обложные)	150—300	
2.2. Площадь, занятая радиоэхо осадков	150	
2.3. Мгновенная интенсивность по 3—4-балльной шкале	90—120	
3. Облака:		Летом 20—30, зимой 10—20
3.1. Прослойки и границы (кроме нижней границы облаков с выпадающими осадками)	40	
3.2. Границы радиоэхо облаков среднего яруса	60—100	
4. Облачные поля (системы):		Летом 120—180, зимой 50—90
4.1. Основные типы	300	
4.2. Горизонтальная протяженность	300	
4.3. Скорость и направление перемещения	200	
4.4. Тенденция изменения радиолокационных характеристик	200	
4.5. Верхняя граница радиоэхо	200	

Примечание. Значения радиуса 95—100%-ного обнаружения в переходные периоды будут находиться между соответствующими его значениями летом и зимой.

превышать их в три раза) для всех облаков в радиусе 20 км до МРЛ составляют $\pm (0,5-0,6)$ км, для Сб в радиусе 150 км $\pm \pm 0,51$ км.

1.3. Особенности методики радиолокационных наблюдений

Для метеорологической интерпретации данных МРЛ оператор должен получить в процессе наблюдений следующие радиолокационные характеристики:

- качественные картины вертикального, а также горизонтального распределения радиоэхо под разными углами возвышения антенны;
- высоты верхней и нижней границ радиоэхо;
- распределение отражаемости на разных уровнях.

Для получения первичных данных вся зона радиолокационного обзора делится на две неравные части: ближнюю от 0 до 30 км и дальнюю — от 30 до 300 км.

В ближней зоне обзор пространства ведется с помощью вертикальных разрезов, в дальней — с помощью последовательных круговых обзоров пространства под разными углами возвышения антенны. В процессе обзора на прозрачное табло с координатной сеткой, которое накладывается на экран индикатора кругового обзора (масштаб 300 км), а на экран индикатора «дальность — высота» (масштаб 20/40 км), жирным карандашом переносятся внешние контуры радиоэхо облаков и осадков, их высоты, а также интенсивности отраженных от облачности сигналов на разных уровнях. Для каждого уровня применяется специальный прозрачный шаблон.

Для экономии времени при съеме информации об интенсивности и высотах радиоэхо в дальней зоне применяется дискретизация пространства по квадратам (ячейкам) в декартовой системе координат. Дискретность координатной сетки 30 км в масштабе 300 км обеспечивает достаточно большую вероятность распознавания каждого кучево-дождевого облака с явлениями и оптимальное время для ручного съема радиолокационной информации.

Съем информации об интенсивности радиоэхо (отражаемости) проводится на стандартных уровнях (2—3 км): летом — на уровне H_1 , соответствующем середине слоя толщиной 1 км, на уровне нулевой изотермы $H_2 = H_0$ с и уровне $H_3 = H_0 + (2 \div 2,5)$ км; зимой отражаемость обычно измеряется только на уровне H_1 .

Величины отраженных сигналов фиксируются с помощью системы изоэхо со ступенью 6 дБ по моменту появления радиоэхо на экране индикатора. С помощью уравнения (1.2') интенсивность отраженных сигналов $P_{\text{пр}}/P_{\text{ш}}$ в децибелах переводится в $\lg Z$, на МРЛ-2 съем данных производится сразу в единицах отражаемости $\lg Z$. Высота радиоэхо в дальней зоне рассчитывается по удалению радиоэхо и углам возвышения антенны, зафиксированным в ячейке в момент появления радиоэхо по формуле (1.4). Данные о распределении высот и отражаемостей заносятся на бланк формы № 1.

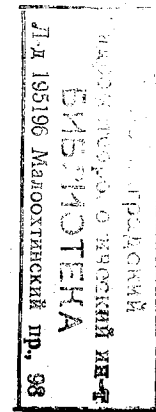
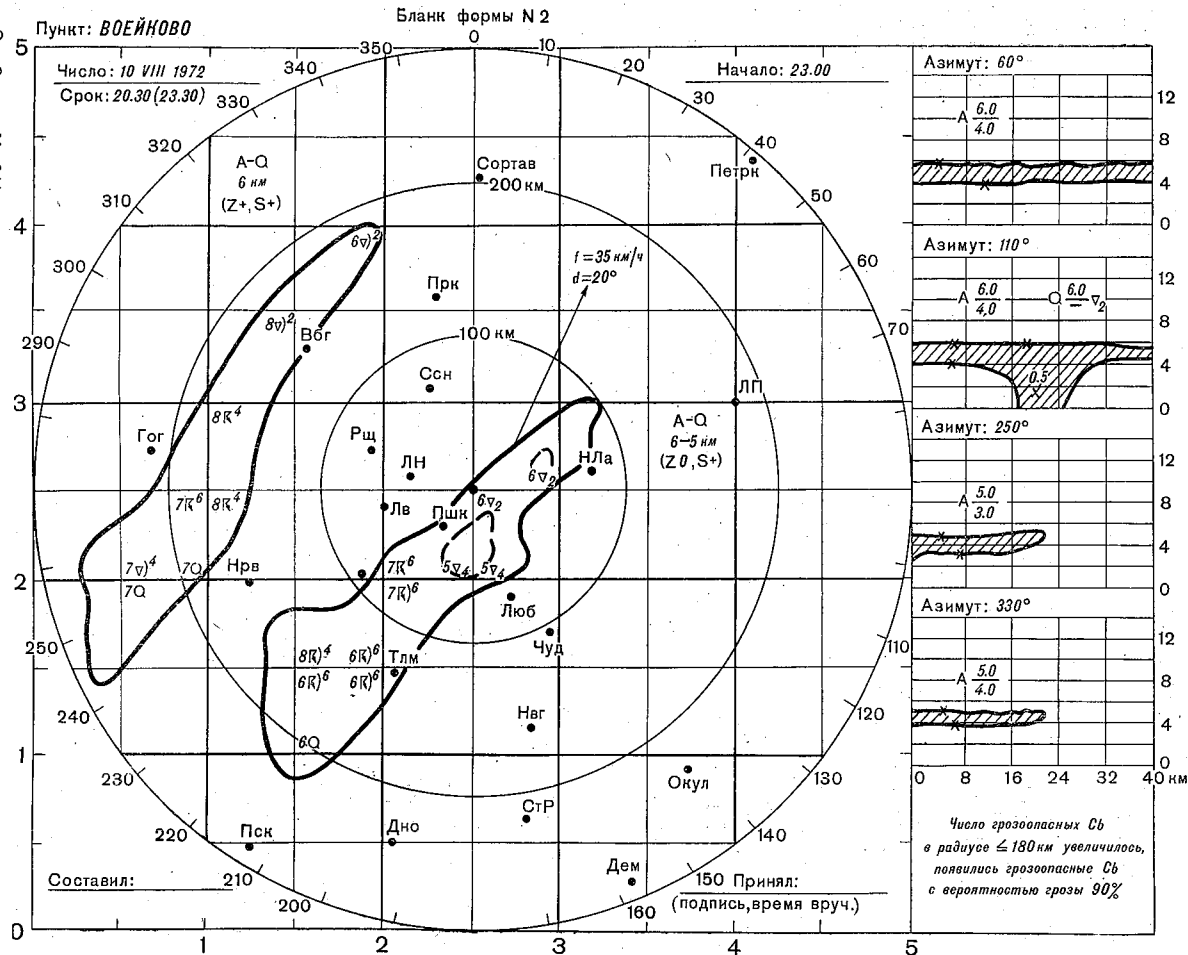


Рис. 1.3. Образец бланка представления по форме № 2: Проанализированная радиолокационная информация в 23 ч 30 мин 10/VIII 1972 г.

На западе наблюдается РКСО, в котором есть радиоэхо слоистообразных облаков среднего яруса (А) высотой 6 км и радиоэхо кучевообразных облаков высотой 6–8 км. На юго-западе от МРЛ наблюдается радиоэхо кучевообразных и слоистообразных облаков среднего яруса (А) высотой 5–6 км и радиоэхо кучевообразных облаков (Q) высотой 5–8 км; пунктиром показана зона осадков в радиусе 100 км. Отмечаются грозы ∇ и ливни ∇ .

После анализа оператор составляет бланк представления (бланк формы № 2, рис. 1.3), кодирует и передает радиолокационную информацию потребителю.

1.4. Порядок получения и распространения информации

1.4.1. Сроки наблюдений

Радиолокационные наблюдения выполняются в синоптические (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч) и дополнительные сроки. Чтобы синоптик мог использовать радиолокационную информацию при составлении очередного прогноза, он должен получить бланк-карту с радиолокационной информацией заблаговременно. Этот бланк представления должен быть готов также к сроку, предусмотренному расписанием факсимильных передач для трансляции карты МРЛ по проводным факсимильным каналам связи. В связи с тем что время, затраченное на проведение полной серии наблюдений, зависит от площади, занятой радиоэхо, его высот и отражаемостей, начало наблюдений может изменяться в пределах 20—40-минутного промежутка времени.

При наличии опасных явлений погоды, определенных по радиолокационным критериям, или по указанию дежурного синоптика оператор МРЛ обязан проводить дополнительные наблюдения. Это особенно необходимо, когда зона радиоэхо с опасными явлениями находится в радиусе 100 км и его предполагаемая траектория проходит через аэропорт или пункт установки МРЛ. Карты радиолокационной информации при работе в режиме штормоповещения составляются ежечасно и вручаются дежурному синоптику не позднее, чем через 10 мин после окончания наблюдений.

1.4.2. Потребители радиолокационной информации

Информация, получаемая с помощью МРЛ, используется для повышения оперативности и эффективности штормовой службы. Естественно поэтому, что в первую очередь эта информация необходима в самом пункте установки МРЛ. Кроме того, информация МРЛ передается в прогностические подразделения и потребителям, не входящим в систему Гидрометслужбы (только по их запросам).

Авиаметстанциям первого и второго разрядов и Бюро погоды в синоптические сроки передается полный комплекс радиолокационных метеоданных; АМСГ третьего и четвертого разрядов и ГМО, расположенным вне пунктов размещения МРЛ, передается только штормовое оповещение.

1.4.3. Способы передачи данных

Радиолокационная метеорологическая информация может передаваться по телетайпу, телеграфу, телефону, а также телевизион-

ным и факсимильным способами. Телеграммы и сообщения передаются в основные сроки, а при штормовой ситуации — после проведения очередных наблюдений. Для передачи по телетайпу, телефону и телеграфу используется национальная часть радиолокационного кода RADOB (схема кода приведена в приложении). Штормтелеграммы передаются только с информацией об опасных явлениях погоды, связанных с конвективными облаками. Для местных потребителей передача штормовых данных может производиться открытым текстом.

Наиболее широко для передачи данных МРЛ используются факсимильные средства связи. Радиолокационная информация поступает в местные прогностические подразделения через 10—15 мин после проведения наблюдения.

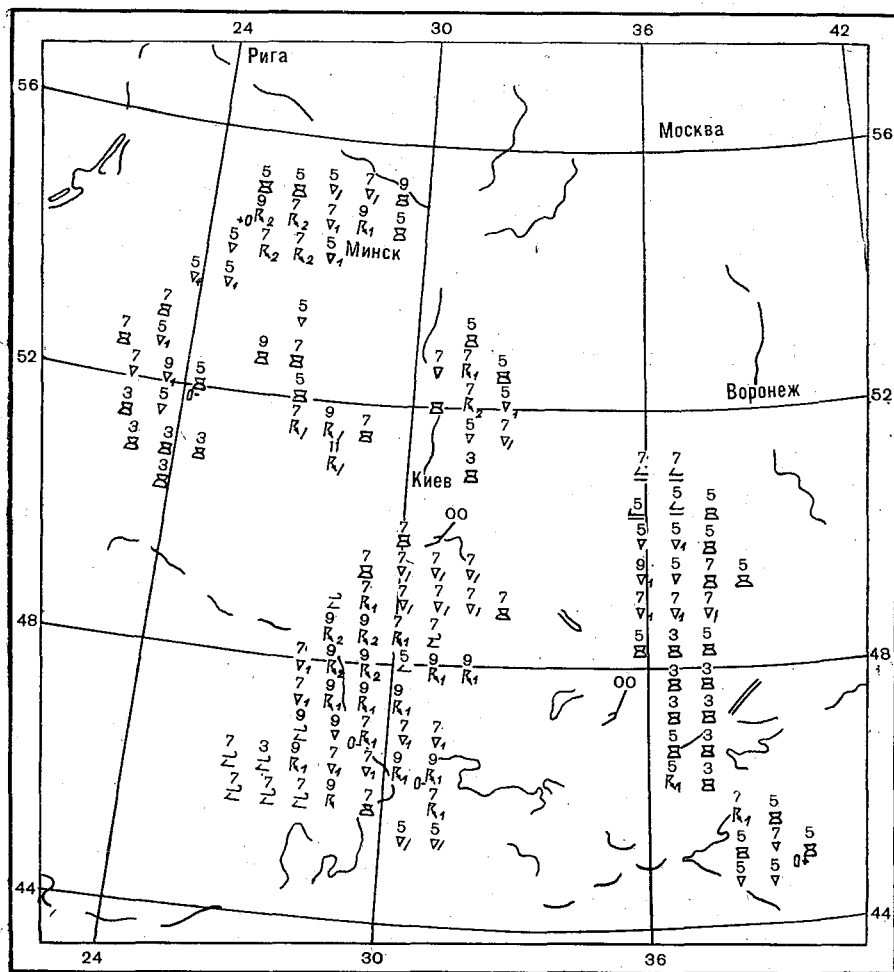


Рис. 1.4. Образец стыкованной карты данных МРЛ по ЕТС.

1.4.4. Стыковка данных нескольких МРЛ

Эффективность использования радиолокационных метеорологических данных в синоптической практике возрастает по мере увеличения площади, с которой эта информация поступает.

Имеющийся опыт стыковки данных нескольких МРЛ показывает, что в ТГМЦ стыковка осуществляется наилучшим образом при получении данных в закодированном виде. При этом информация ближней зоны (до 40 км от МРЛ) и сведения о типах облачных систем и тенденции изменения их радиолокационных характеристик фиксируются без изменений по данным наблюдений каждого МРЛ. Из ячеек, находящихся в поле обзора нескольких (2—3) радиолокаторов, выбирают информацию о наиболее опасном явлении с наибольшими значениями высот и интенсивностей радиоэхо.

Для удобства использования радиолокационной метеоинформации в ТГМЦ необходимо, чтобы масштаб стыкованной карты соответствовал масштабу используемых синоптических карт.

В настоящее время стыковка данных МРЛ осуществляется вручную на основе методических указаний ГГО или с помощью ЭВМ по программе, разработанной в Гидрометцентре СССР. Образцы стыкованных карт приведены на рис. 1.4 и 2.10—2.12.

ГЛАВА 2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ В СИНОПТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

2.1. Общие положения

В настоящее время еще не разработаны методы использования радиолокационных данных об осадках и грозах, полученных на больших территориях, соизмеримых с континентами, в моделях и схемах численного прогноза погоды. Именно в этом направлении следует ожидать наиболее эффективного применения радиолокационной информации в практике прогнозирования. Очевидно, что данные МРЛ имеют гораздо лучшее разрешение по горизонтали в пространстве, чем данные наземной сети метеостанций, и вполне пригодны для описания вертикальных разрезов облаков. Данные МРЛ в настоящее время еще не применяются в численном прогнозе погоды, поскольку специалисты по численным методам прогноза погоды еще не определили требования к радиолокационной информации.

Основное преимущество МРЛ, как единственного источника сведений об опасных явлениях и осадках, выпадающих в данный момент, используется не полностью из-за недостаточной разработанности самих методов прогноза, а также кратковременности существования наблюдаемых явлений, проходящих обычно несколько стадий развития (рост, разрушения, слияние отдельных облачных ячеек). Трудности, связанные с учетом эволюции гроз-овых облаков, могут быть преодолены путем глубокого изучения климатических особенностей радиолокационных характеристик гроз в каждом конкретном районе, использования данных других видов наблюдений (грозопеленгаторы, ИСЗ) и традиционных методов прогноза. Это потребует параметризации радиолокационной информации об опасных явлениях и осадках и изучения пространственной и временной изменчивости радиолокационных характеристик с учетом масштабов атмосферных процессов в каждом регионе.

Известно, что конвекция вносит вклад в изменение крупномасштабной циркуляции атмосферы. Размеры и пространственное

распределение кучево-дождевых облаков определяются сложными нелинейными взаимодействиями их с крупномасштабными процессами. В связи с этим большой интерес представляют работы по моделированию мезомасштабных структур осадков, связанных с особенностями поля радиоэхо. Исследование особенностей распределения метеозлементов вокруг зоны радиоэхо может в конечном результате привести к решению обратной задачи — по характеру распределения радиоэхо восстановить мезомасштабное поле метеозлементов. Это в свою очередь поможет улучшить качество численного краткосрочного прогнозирования и тщательно изучить особенности облачных систем. Однако такие работы только начинаются (см. главу 3).

Хорошо известно, что характеристики облаков и повторяемость их форм сильно зависят от физико-географических условий. Поэтому не представляется возможным дать конкретные рекомендации по применению радиолокационных данных в прогнозе для всех районов. Для этого требуется сначала изучить особенности радиолокационных характеристик в каждом районе и в разных синоптических ситуациях, а уже потом применять полученные критерии и рекомендации для синоптического анализа.

При разработке рекомендаций для конкретного региона нужно учитывать особенности размещения сети МРЛ по территории, эффективность, погрешности и ограничения радиолокационного метода, способы передачи и стыковки данных МРЛ.

В настоящее время в работе синоптика информация МРЛ об облаках, осадках и опасных явлениях используется как дополнительная к обычной аэросиноптической информации. Она позволяет синоптику более оперативно и тщательно анализировать синоптические процессы, выделяя опасные явления и потенциально опасные районы. Это на данном этапе — главное достоинство оперативной радиолокационной информации для прогноза.

Рассмотрим такие вопросы, как определение характера и пространственного распределения облачности, определение скорости и направления перемещения зон радиоэхо, проведение фронтологического анализа и использование данных для ультракраткосрочного прогноза, эффективность данных МРЛ об опасных явлениях.

2.2. Применение данных МРЛ для определения характера и пространственного распределения облачности

Для составления прогноза синоптик по данным МРЛ получает сведения о форме, характере и площади радиоэхо облачности и зон осадков (сокращенно РОЗО), а также об интенсивности явлений и их перемещении.

2.2.1. Характер облачности

Данные МРЛ о наблюдаемых типах радиоэхо, конфигурации и размерах площади РОЗО позволяют отнести облачность к фронтальной или внутримассовой.

Радиоэхо фронтальной облачности и осадков, как правило, отмечается на экране МРЛ в виде единой системы облачности достаточно больших горизонтальных размеров. Радиоэхо существует продолжительное время и прослеживается от одного срока наблюдений к другому, обнаруживая при этом тенденцию к упорядоченному перемещению как единого целого.

Радиоэхо конвективной внутримассовой облачности имеет вид хаотически распределенных изолированных очагов (ячейка, ММП, БМП). Они могут распадаться и возникать на любом участке территории обзора МРЛ, не проявляя при этом заметной связи с положением и распределением этих же зон в предшествующие сроки. Существенное влияние на количество и суммарную площадь зон РКО внутримассового происхождения оказывает суточный ход температуры воздуха.

Радиоэхо внутримассовой слоистообразной облачности из-за небольших радиусов ее обнаружения наблюдается на МРЛ в виде обособленных небольших зон. Эти зоны, как правило, располагаются в непосредственной близости от МРЛ (до 30 км). В течение значительного времени (порядка нескольких часов) их форма и местоположение устойчиво сохраняются.

2.2.2. Ориентация РОЗО относительно приземной линии фронта

При смещении теплого фронта в район обзора МРЛ можно выделить такую последовательность типов радиоэхо: приподнятое РСО $\rightarrow$ РСО $\rightarrow$ РКСО. Наблюдение РСО с линией таяния (нулевая изотерма) в теплый период указывает практически однозначно на наличие теплого фронта. РКСО чаще встречается при фронтах окклюзии, при теплых фронтах РКСО отмечается обычно в ночные часы или в зимний период. Холодные (основные и вторичные) фронты наблюдаются в виде отдельных зон или полос РКО, ориентированных вдоль фронта. Длина и плотность расположения зон РКО тем больше, чем ярче выражен фронт и чем больше горизонтальный контраст температуры.

Теоретические расчеты на моделях фронтов, а также учет особенностей информации МРЛ показывают, что совпадение передних или тыловых границ РОЗО с приземным положением фронтов не может быть слишком частым потому, что граница крупномасштабных вертикальных движений не всегда совпадает с линией фронта. Например, если над фронтальной поверхностью наблюдаются и восходящие и нисходящие вертикальные движения, облачные системы и зоны осадков могут быть смещены относительно линии фронта у поверхности земли или иметь пятнистый характер. В другом случае, если область интенсивных восходящих вертикальных движений смещена в сторону холодного воздуха, облачные системы и особенно зона осадков могут быть оторваны от фронта.

Несмотря на ограниченный радиус обнаружения некоторых слоистообразных форм облачности на МРЛ, для РОЗО (особенно на стыкованных картах) в общем справедливы закономерности

распределения облачности и осадков относительно линии фронта, хорошо известные всем синоптикам. У теплых фронтов основная площадь РОЗО обычно располагается преимущественно перед линией фронта. У холодных фронтов большая часть площади РОЗО располагается за фронтом. У малоподвижных фронтов с волнами РОЗО расположено в основном одинаково по обе стороны от линии фронта, лишь в районе волновых возмущений часто заметно расширение зоны радиоэхо в сторону холодного воздуха.

В центральных частях циклона менее всего следует ожидать совпадения границ РОЗО с линиями фронтов. В таких синоптических системах вынужденный упорядоченный подъем приводит к формированию систем облаков и осадков, которые распределены не в направлении вдоль линии атмосферных фронтов, а лишь совпадают с районом, где имеются интенсивные восходящие движения и достаточно высокая влажность.

Наиболее частого совпадения полос РОЗО и приземных линий фронта можно ожидать на участках атмосферных фронтов, которые хорошо выражены в поле метеоэлементов. В этих условиях развиваются полосы РОЗО, ориентированные строго в определенном направлении и имеющие достаточно четкую конфигурацию с ровными тыловыми и передними краями.

В периферийных частях циклонов, где на характере облачности сказывается размывающее воздействие гребней антициклонов, фронтальные облачные системы слабо выражены и обычно не сопровождаются значительными осадками. В таких ситуациях данные МРЛ для оценки положения фронтов малоэффективны.

Линии теплых фронтов должны совпадать с тыловой границей РОЗО, когда тыловая граница зоны осадков совпадает с приземной линией фронта. Совпадения не происходит, если в теплом секторе отмечается выпадение обильных морсящих осадков или активное развитие полос РКО. Полосы РКО, возникающие перед приземной линией теплого фронта, в результате увеличения вертикальных движений воздуха, как правило, стремятся к параллельности с этим фронтом.

Мезомасштабные зоны РКО, возникшие на фоне крупномасштабной зоны РСО (у фронтов окклюзии и теплых фронтов), связанные с неустойчивостью, обычно ориентированы вдоль теплых фронтов и фронтов окклюзии.

Для облачной системы стационарного фронта с волнами характерно образование и наличие кучево-дождевой облачности с грозами и ливнями, сосредоточенной в узкой зоне по обе стороны фронта (рис. 2.1). При обнаружении малоподвижных стационарных фронтов радиолокационные данные особенно полезны для синоптика:

- 1) при наличии малоградиентного и безградиентного барического поля, когда ветры у земли в значительной степени определяются орографией местности и их направление имеет «случайный» характер;

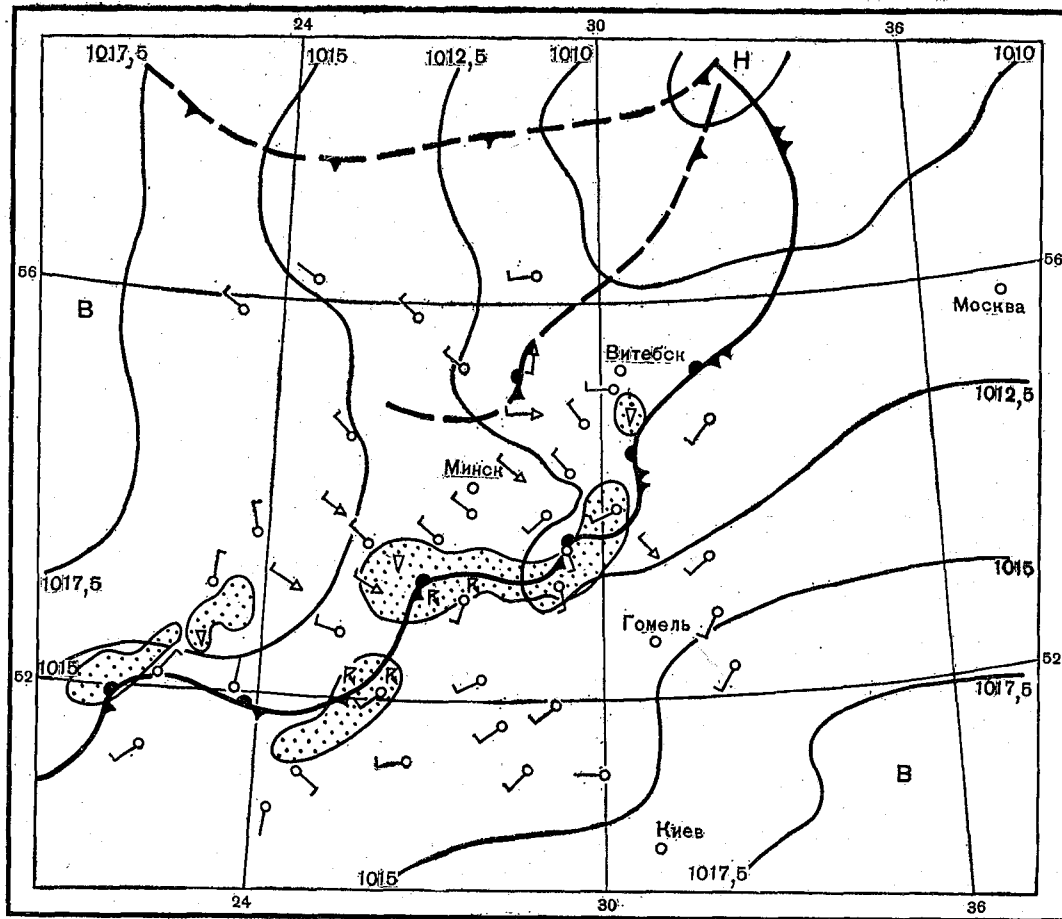


Рис. 2.1. Схематическое изображение фронтов и данных МРЛ (зоны, обозначенные точками) на кольцевой карте погоды БТГМЦ (М 1: : 2 500 000) за 06 ч (09) 8/V 1972 г.

2) когда фронты плохо выражены у земли в поле других метеозлементов за исключением облачности;

3) когда фронты, считающиеся стационарными, начинают незначительно смещаться, причем это смещение может иметь характер колебаний относительно своего среднего положения.

Все изложенное о стационарных фронтах справедливо в основном для теплого полугодия. В холодный период эти фронты в поле облачности проявляются менее четко, над сушей облачность носит преимущественно слоистообразный характер.

При совпадении холодного фронта с барической ложбиной РОЗО сольется с фронтом или будет обнаруживаться вблизи ложбины. Полосы РКО в теплом секторе, как правило, располагаются параллельно течению основного воздушного потока (на уровне 3—5 км) и направлены почти под прямым углом к линии теплого фронта (рис. 2.2).

Полосы РКО могут образовываться внутри воздушных масс вдоль слабовыраженных приземных ложбин. Эти ложбины соответствуют остаточным почти размывающимся фронтам.

С помощью МРЛ надежно обнаруживаются линии шквалов. Они расположены обычно параллельно холодным фронтам и на сравнительно небольшом расстоянии (100—200 км) от них. Возникновение линий шквалов обычно совпадает с максимумом конвективной деятельности. В отличие от фронтов линии шквалов развиваются и распространяются внутри однородной воздушной массы. В ряде исследований отмечается, что ориентация полос РКО шквальной или предфронтальной линии может определяться векторной разностью между направлением ветра на высотах 3—5 и 1,5 км.

Значительное расхождение между положением РОЗО и самим фронтом должно побудить синоптика к дополнительной проверке общего фронтологического анализа (особенно при ожидаемом прохождении холодных фронтов и при наличии стационарного фронта с волнами).

Для обнаружения значительного расхождения между ориентацией РОЗО и фронтом полезно наносить на бланки радиолокационной информации приземную линию фронта. Такое совмещение позволит (кроме возможного уточнения фронтологического анализа) более надежно прогнозировать продолжительность опасных явлений с учетом скорости и направления перемещения РОЗО, а также эволюции характеристик радиоэхо.

Отрицательная тенденция изменения характеристик радиоэхо облачности и зон осадков (площади и характерные отражаемости, переход гроз в ливни, ливней в обложные осадки, уменьшение числа ячеек, занятых опасными явлениями), связанных с приближающимся фронтом, свидетельствует о размывании фронта. Положительная тенденция изменения характеристик РОЗО (в частности, переход ливней в грозы, появление ливней и гроз в поле обложных осадков), связанных с удаляющимся фронтом, говорит

о продолжающемся обострении фронта. В остальных случаях тенденция изменения характеристик радиоэхо облачности и зон осадков, связанных с фронтами, не может быть однозначно использо-

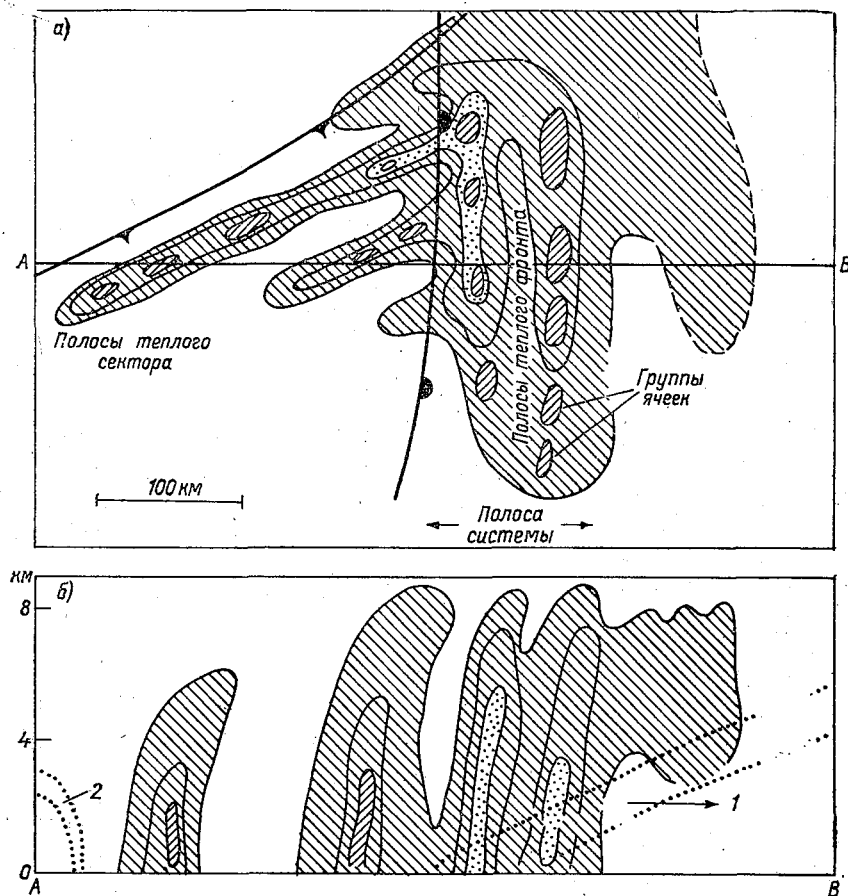


Рис. 2.2. Структура интенсивности осадков в частично окклюдированном циклоне.

а — изоплеты радиоэхо осадков интенсивностью 0,5 мм/ч (внешняя линия), 4,8 и >15 мм/ч (сплошная штриховка). Осадки, отмеченные пунктиром в передней части системы, испаряются до попадания на землю; *б* — разрез высота — дальность по линии АВ; 1 — зона теплого фронта, 2 — холодный фронт.

вана для определения и оценки процессов фронтолиза и фронтогенеза, так как на нее влияет собственное перемещение облачности, ослабление радиоволн на пути распространения и другие факторы, которые не всегда могут быть учтены.

2.3. Количественные характеристики РОЗО атмосферных фронтов на примере сети МРЛ Белорусского УГМС

Рассмотрим количественные критерии для ряда положений п. 2.2 на примере сети МРЛ Белорусского УГМС. Они будут справедливы только для данного района. Для других районов должны быть определены свои зависимости, которые в дальнейшем могут

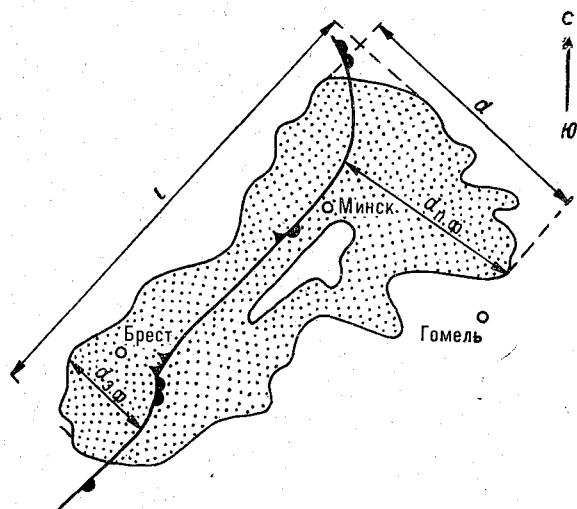


Рис. 2.3. Характеристики радиоэхо фронтальной облачности.

l — протяженность зоны радиоэхо вдоль фронта, d — ширина радиоэхо, $d_{п. ф}$, $d_{з. ф}$ — ширина радиоэхо перед фронтом и за фронтом соответственно.

быть использованы в синоптическом анализе местными бюро погоды.

Расстояние между МРЛ обычно составляет 250—300 км. Такое размещение МРЛ позволяет в пределах территории одной УГМС детально изучать распределение кучево-дождевой облачности на значительных по протяженности участках фронта.

Сеть МРЛ УГМС БССР состоит из трех МРЛ, расположенных на станциях Минск, Гомель, Брест, и охватывает площадь примерно 700×1000 км² (рис. 2.3). Экспериментальный материал был получен при проведении регулярных оперативных наблюдений за период с 1 декабря 1971 г. по 30 ноября 1972 г. К обработке привлекались кольцевые карты погоды Белорусского ТГМЦ масштабов 1:2 500 000 и 1:5 000 000 за каждые 3 часа и синхронные с ними радиолокационные карты облачности и опасных явлений погоды на территории БССР и прилегающих к ней районов.

Совместный анализ кольцевых карт погоды и радиолокационных карт дал возможность получить пространственные характеристики РОЗО атмосферных фронтов (см. рис. 2.3) — площадь S , протяженность вдоль линии фронта l , ширину d , а также их средние квадратичные отклонения (σ) и оценить вероятность совпадения РОЗО с приземными линиями фронтов.

Для Белорусского «куста» МРЛ площадь РОЗО более 80 000 км² является надежным признаком, указывающим на процесс облакообразования на фронтах. По данным за дневные сроки средние значения площади радиоэхо следующие: $S = 95\,000$ км² для теплых фронтов, $S = 80\,000$ км² для основного холодного фронта, $S = 100\,000$ км² для холодного фронта с волнами; $\sigma_S = 60\,000$ км² для всех фронтов. Для ночных сроков подобные оценки несколько ниже по сравнению с дневными значениями.

Наиболее часто встречающаяся протяженность радиоэхо фронтальной облачности имеет значение 600—700 км (дневные часы) и 400—500 км (ночные часы); среднее значение $\bar{l} = 450 \div 500$ км при среднеквадратичном отклонении $\sigma_l = 180$ км.

Ширина радиоэхо облачности и зон осадков, связанных с атмосферными фронтами, может изменяться в достаточно широких пределах: от 50 км (1,9%) до 600 км и более (2,4%). Это связано с различной интенсивностью, активностью, мощностью фронтальных разделов и с особенностями облачности и осадков на них.

Максимальную повторяемость (около 19%) имеют РОЗО шириной 200—250 км. Для верхних и основных теплых фронтов $\bar{d}$ составляет около 300 км при $\sigma_d = 150$ км, для основных холодных — около 200 км при $\sigma_d = 96$ км, для холодного фронта с волнами — 300 км при $\sigma_d = 150$ км. Приведенные величины d показывают, что данная сеть МРЛ определяет по РОЗО ширину кучево-дождевой облачности, близкую к фактической, только для холодных фронтов. Для правильного определения ширины зоны облачности теплых фронтов и фронтов окклюзии трех МРЛ недостаточно.

Анализ характера распределений отношения l/d , которое описывает степень «вытянутости» радиоэхо в направлении вдоль линии фронта, показывает, что радиоэхо в виде полосы свойственно основным холодным фронтам. Для Белорусского куста МРЛ были получены такие средние значения отношения $\bar{l}/d$: 1,5 для теплого фронта при $\sigma = 0,6$; 1,8 для холодного с волнами при $\sigma = 0,9$; 1,9 для фронта окклюзии при $\sigma = 0,6$; 2,4 для основного холодного при $\sigma = 1,5$.

Отношение ширины РОЗО перед фронтом к ширине РОЗО за фронтом ($K = d_{\text{п. ф.}}/d_{\text{з. ф.}}$) характеризует особенности распределения фронтальной облачности относительно приземной линии фронта. Распределение K для разных типов фронтов даны в табл. 2.1.

Для сугубо качественной оценки положения линии приземного фронта по известному распределению РОЗО в пространстве по данным куста МРЛ можно применять осредненные значения характеристики K , полученные для трех типов фронтов.

Для теплых и холодных фронтов с волнами (малоподвижных) с 75%-ной вероятностью линия фронта находится в области РОЗО. Положения этих фронтов можно оценить с помощью зависимостей: $\bar{d}_{п.ф} = (0,4 \div 0,65) \bar{d}$ для теплых фронтов; $\bar{d}_{п.ф} = (0,2 \div 0,6) \bar{d}$ для холодных фронтов с волнами. Для холодных фронтов с 90%-ной вероятностью $\bar{d}_{п.ф} = (0,2 - 0,5) \bar{d}$.

Таблица 2.1

Распределение отношения $K = d_{п.ф} / d_{з.ф}$ для трех типов фронтов по данным БТГМЦ

Градации K	Тип фронта			Всего случаев
	теплый	холодный (основной и вторичный)	стационарный с волнами	
0,0—0,4	—	16	27	43
0,41—0,8	7	20	40	67
0,81—1,2	16	17	36	69
1,21—1,6	12	4	22	38
1,61—2,0	10	2	6	18
2,01—2,4	5	—	10	15
2,41—2,8	5	—	9	14
2,81—3,2	3	—	2	5
>3,2	4	—	16	20
Сумма случаев	62	59	168	289
$K_{ср}$	1,65	0,69	1,26	
σ_k	0,75	0,41	0,96	

С учетом данных табл. 2.1 за совпадение полосы РОЗО с приземной линией фронта принималась ситуация, когда линия фронта совпадала с полосой РОЗО, а величина K находилась в пределах от 0 до 0,8 для холодных фронтов и была больше 2,4 для теплых.

Фронты подразделялись на радиолокационные — выраженные в поле облачности по данным МРЛ и визуальным наблюдениям (РФ), и фактические — выраженные в поле метеоэлементов только по визуальным наблюдениям (ФФ).

Отношение числа РФ к числу ФФ ($N_{рф} / N_{фф}$) указывает на долю фактических фронтов, положение которых можно было оценить по данным куста МРЛ (табл. 2.2). Как следует из табл. 2.2, в теплый период года (с апреля по сентябрь включительно) и только в случае фронтов, хорошо выраженных в поле облачности и осадков, данные трех МРЛ позволяют оценить положение холодного фронта в 55% случаев, теплого и верхнего теплого фронта — в 25% случаев, фронта окклюзии — в 22,6% случаев, стационарного фронта — в 15,5% холодного вторичного — в 8,5%

Таблица 2.2

Использование данных трех МРЛ для оценки положения фронтов

(РФ — числитель, ФФ — знаменатель, *n* — число случаев наблюдений, х. п. — холодный период, т. п. — теплый период)

Типы фронта	Число РФ и ФФ, хорошо выраженных в поле облачности и осадков						Число ФФ, не выраженных в поле облачности и осадков			Всего за год	
	х. п.		т. п.		год		х. п.	т. п.	год	<i>n</i>	%
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%					
Основной теплый и верхний теплый фронт	46	18	20	25	66	19	0	0	0	66	10
	252		91		343		57	9	66	409	
Холодный фронт	7	7,6	38	55	45	28	0	0	0	45	19,7
	92		69		161		57	10	67	228	
Холодный вторичный фронт	5	3,2	15	8,5	20	6	0	0	0	20	5,4
	154		176		330		18	15	33	363	
Стационарный фронт	20	8,6	99	15,5	119	13,5	0	0	0	119	12,4
	234		641		875		58	25	83	958	
Фронт окклюзии	0	0	17	22,5	17	12,2	0	0	0	17	11,2
	64		75		139		7	6	13	152	
Всего	78	9,8	189	17,8	267	14,4	0	0	0	267	12,6
	796		1052		1848		197	65	262	2110	

Примечание. Внутримассовая ситуация отмечалась в 446 и 347 синоптических сроках наблюдений в холодный и теплый периоды года соответственно; при этом РОЗО фиксировалось в теплый период года в 149 случаях наблюдений, а в холодный — в 187.

(в среднем для всех фронтов — в 17,8%). В холодный период (октябрь—март) для аналогичных фронтов эти значения составят 9,8%, причем для теплых — 18%, а для фронтов окклюзии — 0%.

Возможности для оценки положения теплых фронтов в холодное полугодие (см. табл. 2.2) выше, чем в теплое. Для холодных фронтов имеет место обратная картина.

Хорошо известно, что на суше холодные фронты в поле кучево-дождевой облачности наиболее резко выражены летом, а теплые — зимой. Кроме того, кучево-дождевые облака зимой на большей части ЕТС встречаются реже, чем летом. Относительно большая вертикальная протяженность фронтальной кучево-дождевой облачности (до 7—10 км, иногда до 12—13 км) приводит к увеличению радиуса ее обнаружения и более тесной связи границ РОЗО с реальными границами облачной системы. Следовательно, наличие Сб независимо от того, в облачной системе какого фронта они возникли и развиваются, создает более благоприятные условия для оценки положения этих фронтов с помощью МРЛ. Если на фронтах нет Сб и фронтальная облачная система состоит только из Ns и тем более As, что в основном характерно для периферий циклонов, размывающихся фронтов и заполняющихся циклонов, то оценить положение фронта по радиолокационным данным практически невозможно.

2.4. Определение опасных явлений

Повышение электрической активности грозовых облаков сопровождается увеличением их высот, размеров площадей и интенсивности выпадающих осадков. Все эти параметры связаны между собой.

Увеличение скорости восходящих потоков в конвективном облаке приводит к укрупнению частиц. Это в свою очередь увеличивает отражаемость Сб, которая поэтому является достаточно надежным, хотя и косвенным показателем грозовой активности кучево-дождевого облака. Интенсивность грозы на МРЛ определяется по величине отражаемости, согласно табл. 1.2, в цифрах кода RADOB. Среднее значение отражаемости $\overline{\lg Z_3}$ в грозах на территории СССР равно 2,1, средняя максимальная высота их радиоэхо $\bar{H}_{\text{макс}} = 9,1$ км, а среднее значение радиолокационного критерия грозоопасности $\bar{Y} = \bar{H}_{\text{макс}} \overline{\lg Z_3} = 19,1$.

Грозы, существенно осложняющие полеты, обычно имеют температуру на вершине ниже -27°C , мощность 480 мбар и скорость конвективного потока более 10 м/с. Такие грозы с $Y \geq 17-19$ составляют 55—63% от всех наблюдаемых на МРЛ в радиусе 200 км гроз; по радиолокационной классификации они соответствуют грозам $\mathbb{K}$) и $\mathbb{K}$.

Было замечено, что в сильных грозах наибольшая из наблюдаемых высот радиоэхо $H_{\text{макс}}$ практически линейно связана с мак-

симальной энергией конвективной неустойчивости. Высота вершин РКО на вторичных и слабовыраженных фронтах близки к уровню конвекции. На основных фронтах $H_{\text{макс}}$ РКО бывают выше уровня конвекции, независимо от дефицита точки росы и вертикального сдвига ветра в средней тропосфере. Во внутримассовых условиях $H_{\text{макс}}$ чаще всего ниже уровня конвекции $H_{\text{к}}$. В среднем для всех ситуаций $H_{\text{к}}$ связана с $H_{\text{мод}}$ (наиболее часто повторяющимся значением $H_{\text{макс}}$) в радиусе 150 км от МРЛ по ячейкам 30×30 следующим уравнением регрессии: $H_{\text{к}} = 0,86 + 0,9 H_{\text{мод}}$.

Перечисленные параметры, наряду с площадью РКО, позволяют синоптику уверенно судить об интенсивности грозовой деятельности по данным МРЛ.

При невозможности получить значения $\lg Z$ можно произвести диагноз характера приближающегося фронта по типу радиоэхо (РКО, РСО, РКСО) и величине $\Delta H = H_{\text{макс}} - H_{-22^\circ\text{C}}$. По физическому смыслу $H_{-22^\circ\text{C}}$ — уровень, близкий к уровню массовой кристаллизации капель в конвективных облаках.

Характеристика ΔH зависит от условий конвекции и стратификации атмосферы. Эти же условия, в свою очередь, определяют и характер фронтального облачного поля (грозовое, негрозовое, с осадками или без осадков).

Известно, что высокий уровень конвекции и адвекция холода в верхней тропосфере (т. е. повышение $H_{\text{макс}}$ и понижение $H_{-22^\circ\text{C}}$) благоприятствует развитию мощных Сб с интенсивными грозами. При синоптических ситуациях, когда исключено развитие грозных Сб, величина ΔH заметно уменьшается и даже имеет отрицательное значение.

Проверка возможности определения характера фронта с помощью ΔH показала, что почти все случаи атмосферных фронтов с грозами и ливнями имели место при $\Delta H > 0$. При $\Delta H > 5$ км практически отмечались только атмосферные фронты с грозами. При ΔH в диапазоне от 3 до 5 км равновероятны фронты с грозами и фронты с ливнями без гроз. При значениях $-1 < \Delta H < 2 \div \div 3$ км атмосферный раздел следует расценивать как фронт с наличием обложных или ливневых осадков негрозового характера. Значения $\Delta H < -1$ являются надежным признаком фронтальной системы без осадков.

Средние значения ΔH для фронтов с грозами составили 5,2 км; для фронтов с ливнями без гроз 2,7 км; для фронтов с обложными осадками 2 км.

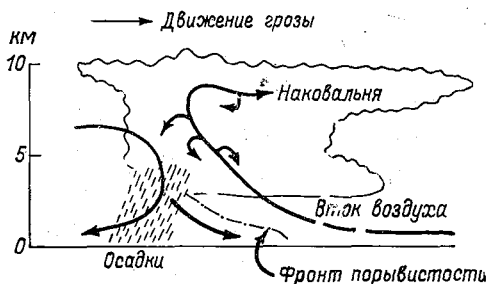


Рис. 2.4. Схематическое изображение вертикальных токов в развитой грозе, полученное по наблюдениям на доплеровских радиолокаторах.

На рис. 2.4 изображены воздушные потоки в Сб, связанные с перемещением развитой грозы и полученные по наблюдениям на двух доплеровских радиолокаторах. Практически каждая развитая гроза имеет фронт порывистости — зону со шквалистым усилением ветра. Под углами возвышения антенны МРЛ $\varepsilon = 0 \div 1^\circ$ эта зона может иногда наблюдаться в виде тонкой линии, опережающей зону осадков из Сб.

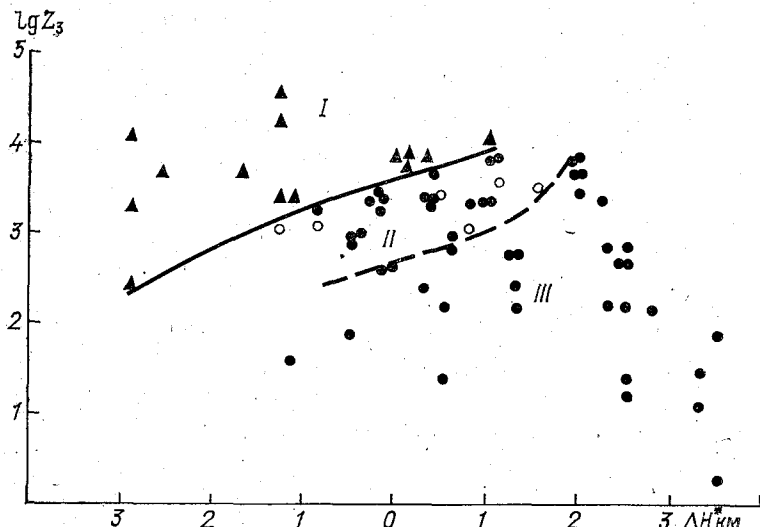


Рис. 2.5. График для определения наличия шквала по радиолокационным и аэрологическим данным.

I — скорость ветра более 20 м/с; II — 15–20 м/с; III — менее 15 м/с; $\Delta H^* = H_{\text{троп}} - H_{\text{в.г.}}$; $H_{\text{троп}}$ — высота тропопавзы, $H_{\text{в.г.}}$ — верхняя граница радиозона.

Наибольшую опасность представляют шквалы со скоростью ветра, превышающей 20 м/с. Для индикации шквалов по характеристикам РКО предлагается график на рис. 2.5, на котором при оценке шквала (скорости порыва) используется эмпирическая зависимость между $\lg Z_3$ и $\Delta H^* = H_{\text{троп}} - H_{\text{макс}}$, где $H_{\text{троп}}$ — высота тропопавзы. Этот график еще раз показывает, что $H_{\text{макс}}$ и $\lg Z_3$ возрастают по мере увеличения степени опасности облака.

2.4.1. Метеорологическая эффективность радиолокационной информации об опасных явлениях

Вероятностный характер радиолокационной информации об опасных явлениях делает необходимым оценку ее надежности и достоверности. Такая оценка производится по сопоставлению наземных и радиолокационных данных. С учетом пространственного разрешения аппаратуры МРЛ считается, что наземные и радиолокационные данные о грозах и ливнях совпали, если в радиусе 30 км

от зоны максимальной отражаемости в Сб одна из метеостанций отмечала грозу или ливень. Ограниченный радиус наблюдений одной метеостанции за грозой позволяет считать одновременными грозы, которые зафиксированы МРЛ в течение 30 мин до или после момента наблюдения их на метеостанции.

Таблица 2.3

Зависимость совпадения наземной и радиолокационной информации о грозах от удаления (по данным Украинского авиаметцентра) за сезон

Удаление от МРЛ, км	Количество гроз по визуальным данным	Совпадение данных МРЛ и метеостанций, %
0—30	134	93,4
30—100	526	87,1
100—150	652	82,2
150—200	908	71,5
200—300	1033	48,9
Итого	3253	69,9

При таких допущениях совпадение данных о грозах в радиусе 300 км от МРЛ в среднем равно 65—70% (табл. 2.3). Остальные 30—35% гроз или не обнаруживаются МРЛ, или неправильно распознаются в процессе радиолокационных наблюдений. Процент несовпадения (30—35%) зависит от расстояния, потенциала МРЛ, углов закрытия в месте установки МРЛ, правильности калибровки измерительных систем и точного выполнения методических рекомендаций штатом МРЛ.

Следует обратить внимание на наличие или появление в процессе эксплуатации МРЛ секторов, где эффективность данных МРЛ может резко понизиться из-за застройки территории вокруг МРЛ. В табл. 2.3 проиллюстрирован характер убывания совпадения визуальных и радиолокационных данных в зависимости от расстояния до цели (только для секторов с нулевыми углами закрытия).

В табл. 2.4 приведены сравнительные данные, полученные сетью МРЛ и метеостанциями Гидрометслужбы за лето 1974 г. в радиусе 200 км от МРЛ. Они позволяют оценить эффективность радиолокационных критериев, а также дают представление, как применение этих критериев ведет к «превращению» одного явления в другое ($\nabla \rightarrow \nabla$ или $\nabla \rightarrow \nabla$).

Из табл. 2.4 следует, что на фоне относительно высокого совпадения информации МРЛ и метеостанций о грозах (84%) и ливнях (65,2%) данные МРЛ и метеостанций об обложных осадках и конвективных облаках совпадают только в 21,2% (за 1975 г. — 57%) и 31,2% соответственно; МРЛ вместо ∇ фиксирует ∇ в 9,3%, а ∇ вместо ∇ в 24,3%. Из всех случаев совпадения информации

о грозах (16 596 случаев) в 56% операторы МРЛ отмечают Σ , в 27,6% — ∇ и в 16,4% — (Σ) .

Таблица 2.4

Вероятность совпадения (%) радиолокационной и наземной информации за летний период 1974 г. в радиусе 200 км от МРЛ

Учитываются только случаи обнаружения явлений на МРЛ, всего 30 262 случая

По данным МРЛ	По данным метеостанций				
	Σ	∇	:	$\blacktriangle$	Q
Σ	84,0	24,3	11,4	50,5	36,9
∇	9,3	65,2	45,4	6,1	30,9
:	0,2	3,0	21,2	2,2	0,3
$\blacktriangle$	4,6	0,3	0,1	41,4	0,7
Q	3,0	7,1	21,9	1,1	31,2
Число случаев по данным метеостанций (100%)	19 743	6 605	1 138	99	2 677

МРЛ четко фиксирует перестройку облачной системы As—Ns в As—Ns—Cb и выделяет зоны с ∇ , в то время как для наземных наблюдателей регистрация перехода $\rightarrow \nabla$ представляет затруднение. С другой стороны, операторы МРЛ при наличии ливней в системе As—Ns—Cb не всегда отмечают ячейки с обложными осадками.

Зона выпавшего на землю града обычно занимает слишком малую площадь, вероятность ее попадания непосредственно на МС небольшая, в то время как МРЛ фиксирует с большей вероятностью наличие града в облаке.

Таким образом, при правильной эксплуатации аппаратуры МРЛ достоверность радиолокационной информации об опасных явлениях, связанных с Cb, достаточно высока и пригодна для оперативной задачи штормоповещения в летний период. В зимний период эффективность радиолокационной информации намного ниже, чем летом. Основной причиной этого является небольшая повторяемость конвективной облачности и особенности ее структуры в зимний период на территории СССР.

2.5. Прогноз движения радиоэхо

В краткосрочном прогнозе погоды для предсказания времени начала осадков или опасных явлений в пункте необходим прежде всего точный прогноз движения радиоэхо. Наиболее пригодным в оперативной работе МРЛ является способ, основанный на экстраполяции движения переднего края или центров тяжести зон радио-

эхо осадков под углами возвышения антенны $0-1,5^\circ$ в радиусе 180 км.

Скорость V_p и направление d перемещения определяются операторами МРЛ для радиоэхо облачной системы или отдельного РКО. Движение радиоэхо облачной системы характеризует скорость и направление перемещения процессов синоптического масштаба. Скорость и направление отдельных ячеек РКО обычно не совпадают со скоростью и направлением облачной системы. Для радиоэхо облачной системы оптимальный промежуток времени между двумя последовательными измерениями V_p и d равен 30—60 мин, для отдельной ячейки РКО — 15 мин. Для уменьшения ошибок определения V_p и d операторы МРЛ должны стремиться к тому, чтобы каждое новое определение V_p и d уточняло предыдущее. С этой целью применяется осреднение V_p и d за несколько последовательных сроков наблюдений. Ошибка определения V_p составляет в среднем $\pm (5 \div 10)$ км/ч, а направление d (куда движется радиоэхо) отмечается относительно севера с точностью до ближайших 10° .

Скорость перемещения поля радиоэхо на экране МРЛ не определяется:

- когда зона сплошного радиоэхо симметрична относительно центра экрана ИКО и нет уверенности, что видимая граница радиоэхо является границей облачной системы;
- когда эффективный радиус обнаружения данного типа облачности заведомо много меньше протяженности самой облачной системы, создающей данный тип радиоэхо (для облаков St, Sc, As, As, Ci);
- в летний период для облачной системы Cb—Cu cong, при внутримассовом развитии конвективных облаков вокруг МРЛ, когда невозможно точно определить границы облачной системы. (В этом случае измеряется скорость и направление перемещения отдельной ячейки РКО, при этом полученные данные не распространяются на все поле радиоэхо.)

Операторы МРЛ кодируют V_p и d радиоэхо только облачной системы. Если пульт управления МРЛ расположен рядом с синоптиком, он может получать сведения о V_p и d любого РКО, смещающегося в зону обслуживания МРЛ. Траектория перемещения РКО зависит от скорости ветра на высотах в районе развития конвекции, размеров РКО, орографических особенностей района, интенсивности конвективных процессов и других причин. Конвективные облака развиваются, распадаются и в то же время перемещаются. Это очень усложняет задачу определения и прогнозирования V_p и d .

В табл. 2.5 приведена принятая в настоящее время среди радиометеорологов классификация осадков по их характерным масштабам и занимаемым площадям.

В зависимости от размеров площади, занимаемые осадками, делятся на ячейки, малые мезомасштабные площади (ММП),

Характеристики площадей осадков различных масштабов

Масштаб зон осадков	Диапазон площадей, км ²	Характерный диапазон площадей осадков, км ²	Продолжительность осадков, часы
Синоптический (ПСМ)	$>10^4$	—	>12
Большая мезомасштабная площадь осадков (БМП)	10^3-10^4	$2 \cdot 10^3-5 \cdot 10^3$	1,5—4
Малая мезомасштабная площадь осадков (ММП)	$50-10^3$	100—500	0,5—4
Ячейка	до 50	3—10	0,7

большие мезомасштабные площади (БМП) и площади, сравнимые с масштабами синоптических процессов (ПСМ).

При составлении краткосрочного прогноза начала осадков, грозы и града в пункте синоптик использует в основном аэросиноптическую информацию, применяя радиолокационные данные для уточнения составляемого прогноза.

В связи с этим рассмотрим подробнее, как связаны характеристики перемещения различных площадей радиоэхо V_p и d со скоростью V_{π} и направлением d_{π} воздушных потоков на изобарических поверхностях, значения которых получаются по данным пункта радиозондирования, ближайшего к МРЛ. При анализе отклонения направления перемещения зоны радиоэхо от направления потока принималось, что отклонение считается существенным, если оно превышает величину $22,5^\circ$. Если оно меньше $22,5^\circ$, то траектория перемещения принималась совпадающей с воздушным потоком.

2.5.1. Движение ячеек и изолированных мезомасштабных площадей радиоэхо конвективной облачности

Анализ показал, что примерно 70—80% ячеек и ММП смещаются с потоком на AT_{700} . Для 60% БМП более точно оценить направления перемещения можно, используя данные о направлении воздушного потока на AT_{500} .

Эти правила для определения направления перемещения элементов радиоэхо могут быть использованы в условиях, когда скорость воздушного потока $V_{\pi} > 18$ км/ч и отношение скоростей потоков $V_{500}/V_{850} > 2$. При синоптических ситуациях без четко выраженного потока в средней тропосфере ($V_{\pi} < 18$ км/ч) и аномальном ослаблении ветра с высотой ($V_{500}/V_{850} < 1$) примерно 50—80% зон радиоэхо могут значительно отклоняться ($>45^\circ$) от вектора потока. В таких условиях наиболее заметно влияние орографических особенностей региона на характер и траекторию движения конвективных образований.

В настоящее время нет четких представлений о том, в какую сторону воздушного потока будет отклоняться радиоэхо в конкретной синоптической ситуации. Однако можно ожидать, что в условиях относительно равнинной местности, при правом повороте ветра в вертикальном слое от 2 до 6 км, радиоэхо будет отклоняться вправо от первоначального направления или потока на AT_{700} , если Cb находится в стадии роста (площадь и высота РКО растут).

Тесная зависимость между скоростью радиоэхо V_p и скоростями ветра на AT_{700} и AT_{500} позволяет в условиях различных воздушных потоков проводить уточнение величин V_p . Физическое обоснование такой коррекции состоит в том, что изменение местоположения РКО происходит под влиянием как составляющей дрейфа (собственно переноса облака), так и составляющей распространения. Составляющая распространения в целом обусловлена трансформацией и эволюцией Cb и особенно заметна в условиях слабых воздушных потоков, когда мала составляющая дрейфа. Последняя влияет на изменение положения центра тяжести РКО при значительных изменениях конфигурации радиоэхо.

Прогноз перемещения ячеек и мезомасштабных зон радиоэхо может быть дан на основании непосредственного наблюдения за их перемещением на экране МРЛ, последующей экстраполяции их движения во времени, а также определения их прогностических траекторий по данным о ветре в свободной атмосфере (в радиусе 100—150 км от МРЛ) в пункте аэрологического зондирования, ближайшего к МРЛ, и в ближайший срок зондирования.

Для оценки ожидаемой прогностической скорости РКО рекомендуется применять зависимости, помещенные в табл. 2.6. Отметим, что применение правил табл. 2.6 и определение траекторий перемещения РКО по данным аэрологического зондирования полностью справедливо при наличии в радиусе 100—150 км от МРЛ однородной воздушной массы и устойчивого воздушного потока.

При резких изменениях синоптической ситуации, обычно обусловленных перестройкой барического поля и циркуляции воздуш-

Таблица 2.6

Уточнение скорости (V_p) и направления (d) перемещения радиоэхо в зависимости от площадей осадков и скорости потока на уровнях 500 и 700 мбар (V_{500} и V_{700})

$$V_{II} > 18 \text{ км/ч}, V_{500}/V_{850} \geq 2$$

Масштаб зон осадков	d	V_p
БМП	с потоком на AT_{500}	$V_p = 0,45 V_{500}$ при $V_{500} \geq 72 \text{ км/ч}$ $V_p = 0,6 V_{500}$ при $V_{500} \leq 72 \text{ км/ч}$
ММП, ячейки	с потоком на AT_{700}	$V_p = 0,94 V_{700}$ при $V_{700} > 36 \text{ км/ч}$, $V_p = 1,35 V_{700}$ при $V_{700} \leq 36 \text{ км/ч}$

ных потоков, при определении V_p и d предпочтение должно быть отдано данным МРЛ. В таких условиях резкое отличие V_p и d от скоростей и направлений воздушных потоков может быть признаком изменения синоптической ситуации.

Таким образом, сопоставление характеристик движения радиоэхо (V_p , d), определенных в результате непосредственных измерений на МРЛ, и данных о ветре на АТ₇₀₀ или АТ₅₀₀ может принести определенную пользу для детального синоптического анализа в пункте размещения МРЛ (особенно при прохождении центров или осей барических систем).

Синоптик, составляя прогноз, должен учитывать, что рядом с существующими могут образоваться и новые ячейки.

2.5.2. Движение площади радиоэхо синоптического масштаба

Перемещение полос радиоэхо как одного целого обычно происходит в направлении, перпендикулярном их передней кромке. На-

правление движения такой полосы может отличаться от направления движения ячейки, находящейся в этой полосе, на угол до 90° .

Скорость полос радиоэхо осадков имеет две составляющие: составляющая переноса, обусловленная движением отдельных ячеек, и составляющая распространения, зависящая от местоположения вновь развивающихся ячеек. Одним переносом нельзя объяснить движение полосы радиоэхо, так как время жизни отдельных ячеек значительно меньше, чем время жизни полосы в целом.

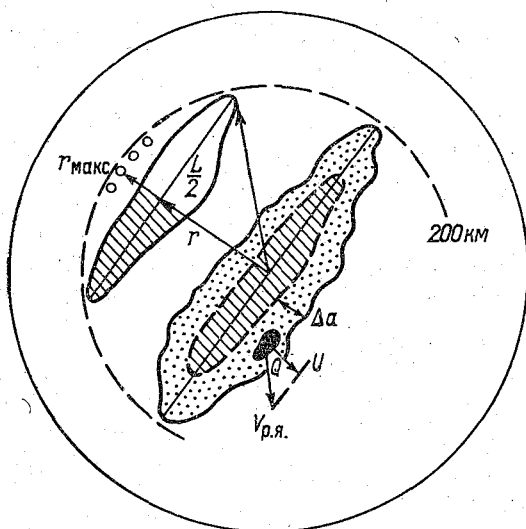


Рис. 2.6. Зависимость максимальной длины L полосы радиоэхо от расстояния r до радиолокатора и максимального радиуса обнаружения $r_{\text{макс}}$.

По результатам наблюдений линий и полос на МРЛ была получена эмпирическая зависимость между длиной полосы радиоэхо L и максимальной дальностью ее обнаружения $r_{\text{макс}}$. Если полоса осадков имеет однородную интенсивность, то длина линии радиоэхо L , находящейся на удалении $r < r_{\text{макс}}$ от радиолокатора, будет определяться формулой $L = 2 \sqrt{r_{\text{макс}}^2 - r^2}$ (рис. 2.6). Например, если $r_{\text{макс}} = 200$ км, то часть линии, уходящей за пределы максималь-

ной дальности, согласно уравнению для L , появится в виде отдельных точек на расстоянии 200 км и затем начнет увеличиваться в длину ($L=260$ км на $r=150$ км от МРЛ и $L=400$ км при $r=0$).

Скорость перемещения полосы радиоэхо облаков атмосферного фронта может быть описана выражением $U = V_p \cos \alpha + a$, где U — составляющая движения полосы в направлении, нормальном к оси этой полосы, V_p — скорость перемещения отдельной мезомасштабной зоны радиоэхо по измерениям одного из МРЛ, угол $90^\circ - \alpha$ — угол между вектором V_p и направлением оси макромасштабной полосы ($0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$), a — составляющая распространения полосы в направлении, нормальном к ее оси.

Составляющая распространения a характеризует появление новых мезомасштабных зон радиоэхо конвективной облачности впереди уже наблюдавшейся полосы за единицу времени (скорость расширения полосы РКО). В этом случае составляющая распространения зависит от эволюции и трансформации поля фронтальной облачности и осадков, а следовательно, и от процессов размывания и обострения самого атмосферного фронта.

При стационарном процессе (без существенной трансформации поля фронтальной облачности) $a=0$. В случае обострения процессов развития фронтальной облачности (фронтогенез, $a>0$) ширина полосы радиоэхо на стыкованной карте будет увеличиваться от срока к сроку. Процессы размывания атмосферного фронта будут приводить к уменьшению площади радиоэхо, а следовательно, и к уменьшению ширины полосы радиоэхо ($a<0$).

Учет изменений ширины полосы радиоэхо облачной системы атмосферного фронта, зависящих от процессов фронтолиза или фронтогенеза, позволяет более точно прогнозировать время наступления осадков или опасных явлений.

Для примера на рис. 2.7 приведено схематическое изображение типичного холодного фронта с изобарами на приземной карте и полем изогипс на AT_{700} . Движение ячеек РКО вдоль линии этого фронта будет осуществляться слева направо: $V_{фр} = V_p \cos \alpha$.

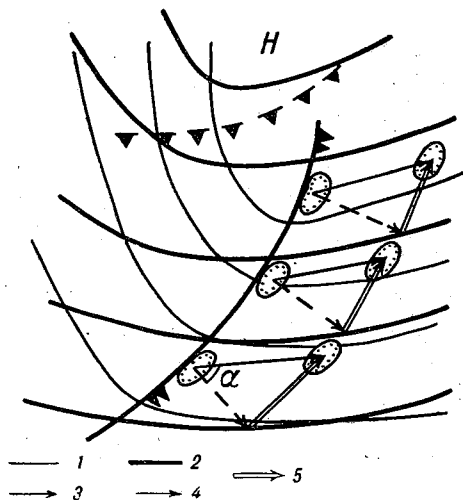


Рис. 2.7. Схематическое изображение холодного фронта с изобарами на приземной карте (1) и полем изогипс на AT_{700} (2).

1 — изобары, 2 — изогипсы AT_{700} , 3 — перемещение фронта, 4 — перемещение изолированных ячеек и ММП радиоэхо, 5 — векторная разность перемещения ячейки и фронта.

Изложенные правила для оценки ожидаемых направлений и скоростей перемещения зон радиоэхо синоптик должен применять в зависимости от того, данными какого количества МРЛ он располагает. Если синоптик получает данные одного МРЛ, то прогноз перемещения радиоэхо ПСМ можно давать на основании перемещения радиоэхо ячейки или полосы. Если имеется стыкованная карта данных нескольких МРЛ, то перемещения макромасштабных зон радиоэхо лучше определять по ней.

2.5.3. Заблаговременность прогноза времени начала и продолжительности опасных явлений в пункте

Решающее значение для успешности прогноза времени прихода в пункт или на сравнительно большую площадь зоны радиоэхо опасных явлений имеет определение ожидаемого направления или траектории перемещения радиоэхо. Если учесть, что максимальная заблаговременность прогноза перемещения зоны радиоэхо не может превышать времени ее существования (см. табл. 2.6), то можно оценить допустимые ошибки, которые при определении направлений ожидаемого перемещения радиоэхо не будут влиять на успешность прогноза прихода РКО в заданный пункт.

Оценки показывают, что максимальная заблаговременность прогноза перемещения зон радиоэхо будет достигнута, если ожидаемое направление для ячейки спрогнозировано с точностью не менее 5° , для ММП — не менее 15° , для БМП — не менее 23° , для ПСМ — не менее 25° .

Если точность определения ожидаемых направлений перемещения различных зон радиоэхо в среднем не лучше, чем $\pm 22,5^\circ$, то с учетом времени их существования можно оценить диапазон расстояний (r^*), начиная с которых прогноз будет успешным: для ячейки $r^* = 6 \div 10$ км, для ММП $r^* = 37$ км, для БМП $r^* = 90$ км, для ПСМ $r^* \geq 250$ км (рис. 2.8).

Таким образом, заблаговременность прогноза осадков различных масштабов будет различна, она может достигать 6—10 ч для ПСМ и составлять 15—20 мин для ячейки. Для ММП заблаговременность прогноза времени начала осадков в пункте может быть 1—1,5 ч, для БМП максимальная заблаговременность достигает 3—4 ч. Прогноз перемещения площадей радиоэхо с большой заблаговременностью или с $r > r^*$ будет неэффективен из-за диссипации зоны радиоэхо или значительных отклонений радиоэхо от прогностической траектории.

Ошибки в определении ожидаемой скорости перемещения радиоэхо по сравнению с фактической могут приводить лишь к запаздыванию или опережению начала явления по сравнению с прогностическим временем. Для БМП и ПСМ многократное осреднение часовых или получасовых значений V_p , как правило, позволяет уменьшить ошибку в определении времени начала явления до 0,5—0,3 ч. Такое осреднение позволяет избегать случайных оши-

бок в определении скорости, а также учитывать возможное замедление или ускорение при движении системы радиоэхо ПСМ или БМП в направлении пункта прогноза.

Таким образом, вероятность времени начала в пункте зависит от типа и размера площади РОЗО. Эта вероятность уменьшается с увеличением расстояния между пунктом и РОЗО.

Как показывает опыт, МРЛ обычно отмечает появление гроз в районе (в радиусе 300 км) раньше метеостанций в среднем на 30—40 мин. Средняя заблаговременность штормпредупреждений

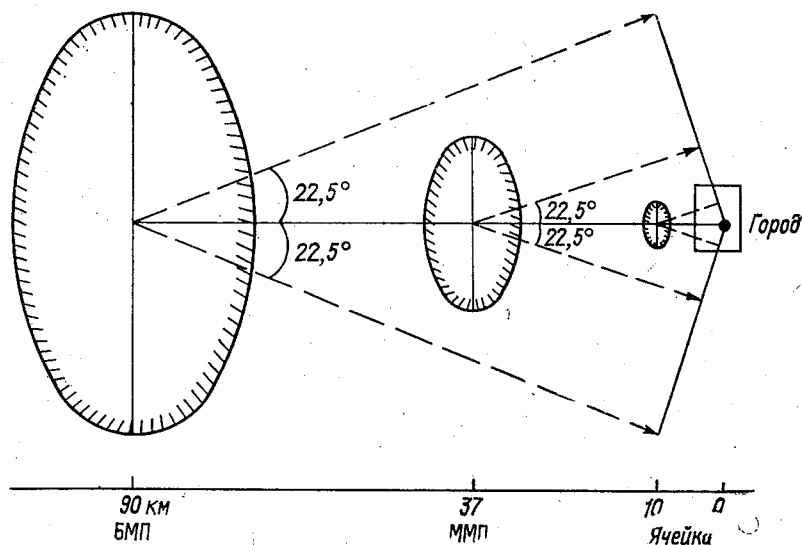


Рис. 2.8. Зависимость максимальной заблаговременности прогноза перемещения площадей радиоэхо от их размера.

о грозах в пункте установки МРЛ, с учетом его данных, составляет около 1 ч, а некоторые предупреждения (в основном для фронтальных гроз) имеют заблаговременность 2—2,5 ч.

Продолжительность опасных явлений в точке зависит не только от изменения геометрических размеров РОЗО и тенденции его развития. За время, на которое составляется прогноз, могут образоваться новые очаги ливней и гроз. Ослабление радиоволн в осадках уменьшает надежность данных МРЛ, используемых для расчета продолжительности явлений в точке. При протяженных и интенсивных осадках ($I \geq 15$ мм/ч) в месте размещения МРЛ дальняя граница РОЗО не соответствует дальней границе зоны осадков. В этих ситуациях при наблюдениях на индикаторе кругового обзора на дальней границе РОЗО могут образоваться характерные U-образные выемки, свидетельствующие о сильном ослаблении радиоволн в осадках в азимутах выемок.

Прогноз продолжительности и окончания опасных явлений в точке наиболее успешен при совместном анализе радиолокацион-

ной и аэросиноптической информации. Например, хорошо известно, что при малоподвижных фронтах и размытом барическом поле грозовая и ливневая деятельность может продолжаться несколько суток, усиливаясь во второй половине дня и ослабевая ночью. В этих случаях ветер на AT_{500} и AT_{700} направлен вдоль фронта, и грозы с ливнями перемещаются над точкой, сменяя друг друга.

Большое значение приобретает факт, куда приходят осадки — в зону сходимости или расходимости изогипс. При неизменности других факторов, в первом случае они могут оставаться без изменения или усиливаться, во втором — ослабевать.

Если в процессе наблюдений РОЗО основного тропосферного фронта сменяется «приподнятым» РСО, то в последующие сроки после прекращения осадков можно продолжительное время (до 12—15 ч) ожидать сохранения простых метеоусловий. Главная причина такого явления заключается в интенсивном росте давления, развитии гребня антициклона и размывающем действии на облачную систему нисходящих вертикальных потоков воздуха в тылу атмосферного фронта.

Таким образом, продолжительность опасных явлений в точке или на сравнительно небольшой территории, полученная по данным МРЛ, должна уточняться с учетом особенностей конкретной синоптической ситуации и физико-географических условий.

2.6. Примеры применения данных одного и трех МРЛ в анализе синоптических ситуаций

Рассмотрим примеры использования данных одного (АМСГ Пулково) и трех МРЛ (отдел гидрометеопрогнозов УГМС БССР) при анализе синоптических ситуаций.

1. Погода в районе АМСГ Пулково 24—25 июля 1974 г. была обусловлена малоградиентным барическим полем (рис. 2.9 а—е). Две зоны радиоэхо за 3 и 6 ч 24 июля непосредственно связаны с волнами на фронте, выявить который по данным наземных метеорологических станций было довольно трудно.

Согласно данным метеостанций и МРЛ, на фронтальной волне у Пскова, а позднее в зоне фронта южнее Ленинграда (в районе МРЛ), развивалась интенсивная грозовая зона, которая с 11 ч 15 мин смещалась с юго-запада на северо-восток, сопровождаясь сильными ливневыми дождями. К 13 ч, с отходом фронта к востоку, в районе Ленинграда почти полностью восстановились погодные условия, существовавшие до 11 ч 15 мин.

В дальнейшем фронт, сместившись к востоку, разделял воздушные массы с различными характеристиками неустойчивости. В восточной части района на удалении более 100 км от МРЛ отмечались грозы и МРЛ до 22 ч фиксировал многочисленные очаги РКО. Воздушные потоки на AT_{500} и AT_{700} , по данным зондирования за 15 ч, имели направление 180° и скорость около 45—50 км/ч, т. е. фронт находился в параллельных воздушных потоках, что способствовало волнообразованию в нем.

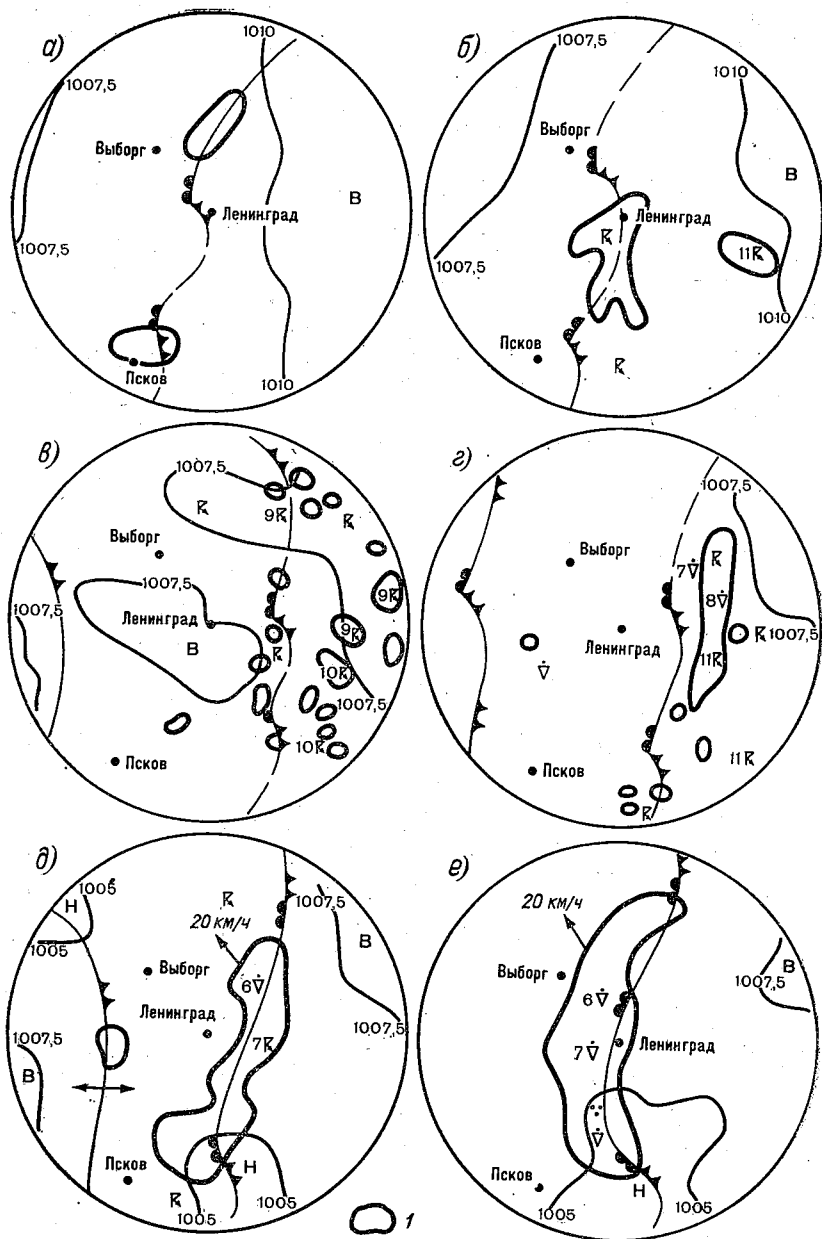


Рис. 2.9. Синоптическая ситуация при совместном анализе данных метеостанций и одного МРЛ 24/VII 1974 г.

а) 00 (03) ч, б) 06 (09) ч, в) 12 (15) ч, г) 18 (21) ч, д) 21 (00) ч, е) 03 (06) ч; 1 — зоны радиоэхо, фиксируемые МРЛ; 8 К, 11 ▲; 8 ∇ — максимальная высота радиоэхо (км) и опасные явления, распознанные на МРЛ; ▲ и ∇ — опасные явления, отмеченные метеостанциями и не отмеченные МРЛ; стрелкой показано направление (рядом — скорость) перемещения радиоэхо.

В соответствии с данными МРЛ, полученными за 00 и 03 ч 25 июля, протяженность РОЗО вдоль линии фронта составляла 370—400 км, ширина достигала 90—120 км. При этом, согласно данным МРЛ, теплый участок фронта с волнами, обострившийся в ночные часы, прошел над Ленинградом в обратном направлении,

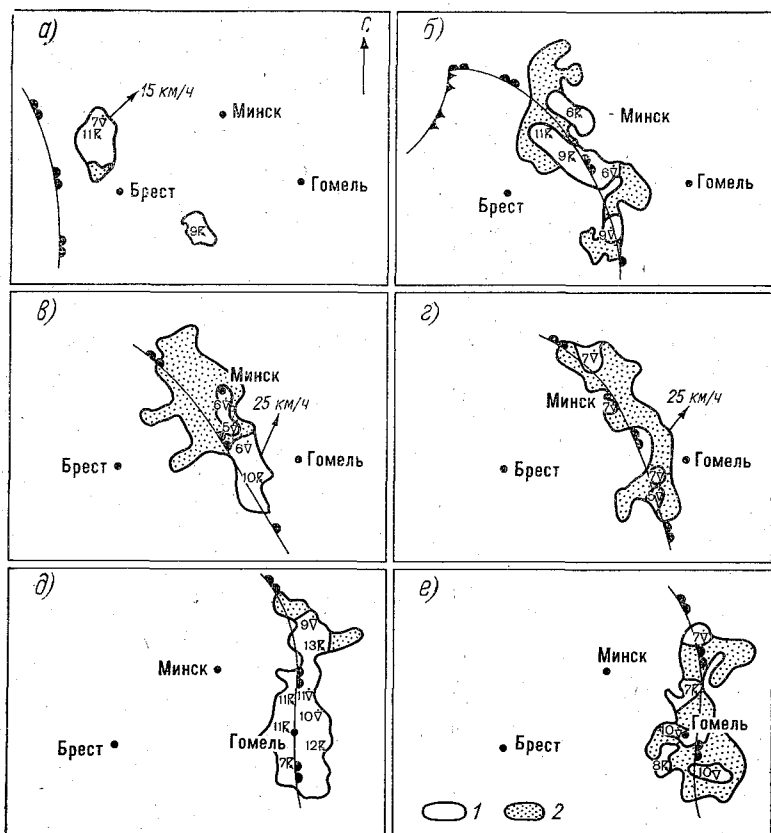


Рис. 2.10. Атмосферные фронты при совместном анализе данных метеостанций и трех МРЛ 11—13/VI 1972 г.

а) 06 (09) ч 11 VI; б) 00 (03) ч 12 VI; в) 03 (06) ч 12 VI; г) 06 (08) ч 12 VI; д) 03 (06) ч 13 VI; е) 06 (09) ч 13 VI. 1 — радиозоно осадков с опасными явлениями, 2 — радиозоно облачности.

с востока на запад. В описанной ситуации радиолокационные данные позволили правильно оценить синоптическую ситуацию и заблаговременно предвидеть начавшееся перемещение теплого участка фронта с волнами к западу.

2. Синоптический процесс 11—13 июня 1972 г. характеризовался смещением с запада на восток основного теплого фронта (рис. 2.10 а—е). За этот период фронт сместился от западной границы БССР до восточной, причем на всем пути облачность и зоны осадков фиксировались МРЛ. Согласно синоптическому анализу,

линия этого фронта у земли проходила примерно меридионально, а направление перемещения составляло $60-80^\circ$. Воздушные потоки на AT_{700} и AT_{500} в рассматриваемый период имели направление $240-280^\circ$, максимальная скорость на AT_{500} — 36 км/ч . Контраст температуры в зоне фронта составлял $2-2,5^\circ\text{C}$ на 300 км (градиент средней температуры в слое нижней тропосферы до 5 км). Рассматриваемый теплый фронт довольно хорошо был выражен в поле изаллобар и характеризовался падением давления ($-1,8 \text{ мбар/3 ч}$) перед фронтом и ростом давления ($+2,4 \text{ мбар/3 ч}$) за фронтом. В целом перемещение фронта происходило на фоне атмосферного давления $1010-1012 \text{ мбар}$ в начале срока наблюдений и $1016-1018 \text{ мбар}$ в конце, когда фронт достиг восточных районов БССР. Перемещение теплового фронта в течение всего времени сопровождалось осадками обложного характера, а также грозами, количество и интенсивность которых увеличивались в вечерние и ночные часы. За все время наблюдений (48 ч) теплый фронт переместился на 800 км . В среднем его скорость составляла $16,5 \text{ км/ч}$. В процессе прохождения фронтального раздела над БССР его активность оценивалась синоптиками как умеренная.

На рис. 2.10 *a-e* изображены зоны радиоэхо облачности и осадков, связанных с этим теплым фронтом, и положение линии фронта у земли за некоторые сроки. Когда фронт приближался к западной границе БССР, МРЛ в Бресте фиксировал лишь РОЗО от ограниченного участка осадков фронтальной облачной системы. Из-за ограничений радиолокационного метода наблюдений в первые моменты времени (когда фронт удален от МРЛ на $r > 200 \text{ км}$) МРЛ не фиксирует целиком радиоэхо от всей фронтальной облачности. Однако положение фронта совпадает с направлением вдоль наблюдаемой оси РОЗО. В последующем, по мере перемещения теплового фронта на восток и при приближении к МРЛ облачность этого фронта начинают фиксировать также и другие МРЛ. При этом пло-

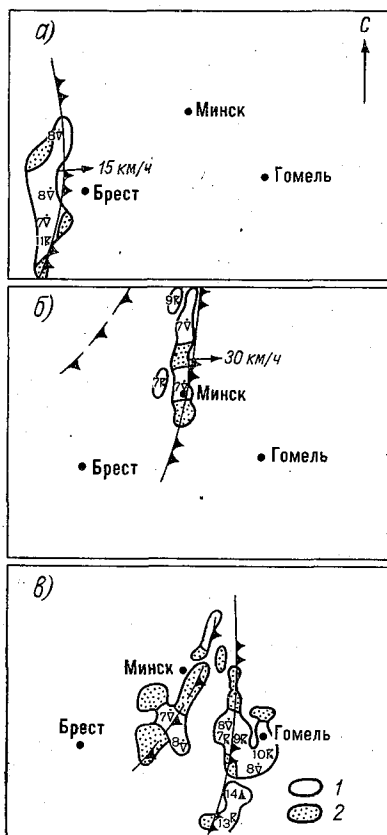


Рис. 2.11. Атмосферные фронты при совместном анализе данных метеостанций и трех МРЛ 12 VIII 1972 г.

a) 00 (03) ч; *б)* 09 (12) ч; *в)* 12 (15) ч.
1 — радиоэхо осадков, 2 — радиоэхо облачности.

щадь РОЗО увеличивается, поскольку МРЛ начинает обнаруживать, кроме осадков, нежддевую облачность. В целом смещение РОЗО довольно хорошо согласуется с перемещением самого фронта, что позволяет указать районы, на которых в последующем скажется влияние фронта.

3. Погода на территории БССР 12 июля 1972 г. (рис. 2.11 а—в) была обусловлена быстро движущимся холодным фронтом с запада. Этот активный основной холодный фронт был хорошо выражен в поле метеоэлементов и разделял две различные воздушные массы с контрастом температуры во фронтальной зоне около $2,5^{\circ}\text{C}$ на 300 км. На OT_{1000}^{500} данному фронту соответствовала ложбина холода. Направление ветра на высотах в рассматриваемый период изменялось от 190° в 00(03) ч до 230° в 12(15) ч, что было вызвано перестройкой высотного барического поля. Скорость потоков достигала 56—60 км/ч. Согласно данным сети наземных метеостанций, в районе холодного фронта в различные сроки было зафиксировано падение давления перед фронтом и рост в тылу. Максимальные величины падения и роста давления составили соответственно $-2,4$ и $+4,7$ мбар/3 ч. С перемещающимся на восток фронтом были связаны грозы и ливни. С 00(03) до 12(15) ч (т. е. за 12 ч) холодный фронт сместился в восточном направлении на 500 км, что соответствует средней скорости 40—42 км/ч. Сказанное хорошо подтверждается радиолокационными данными, согласно которым РОЗО, обусловленные этим фронтом, отмечаются первый раз в 00(03) ч западнее Бреста, в 12(15) ч они уже фиксируются МРЛ в Гомеле. При этом МРЛ в Бресте фиксирует в этот срок на востоке (начиная с удаления 150 км) радиоэхо облачности без гроз, обусловленное вторичным холодным фронтом, который начал развиваться в дневные часы. В данном случае следует обратить внимание на то, что и основной и вторичный холодный фронты выражены на экране радиолокатора полосами радиоэхо. Это обычно наблюдается в тыловой части циклона.

4. Погода в Белоруссии 17—23 июля 1972 г. (рис. 2.12 а—е) была обусловлена полосой пониженного давления и холодным фронтом с волнами, медленно перемещающимися с запада на восток. С холодным фронтом были связаны кучево-дождевая облачность, грозы и ливни. В основном линия фронта у земли была ориентирована на юг. Воздушные потоки на AT_{700} и AT_{500} 17 и 18 августа имели направление $140\text{—}180^{\circ}$ и скорость 20—40 км/ч. К 21—22 августа их скорость постепенно увеличилась до 80—100 км/ч — сформировалось струйное течение. На высоте около 10 км направление оси струи было 170° , скорость 130—150 км/ч. Последнее указывает на оформление четко выраженной высотной фронтальной зоны (у земли ей соответствовал холодный фронт с волнами) и свидетельствует о том, что именно в этот период фронт обострился.

Барические тенденции в тылу циклона в 03(06), 06(09) и 09(12) ч 21 августа составляли соответственно: $-4,8$; $-5,0$ и $-4,2$ мбар/3 ч. Градиент средней температуры слоя до уровня

5 км в зоне холодного фронта составлял $2-2,5^{\circ}\text{C}$ на 300 км; 22 и 23 августа градиент температуры достиг $3-3,5^{\circ}\text{C}$ на 300 км. Обострение атмосферного фронта полностью подтверждалось данными МРЛ, как показано ниже.

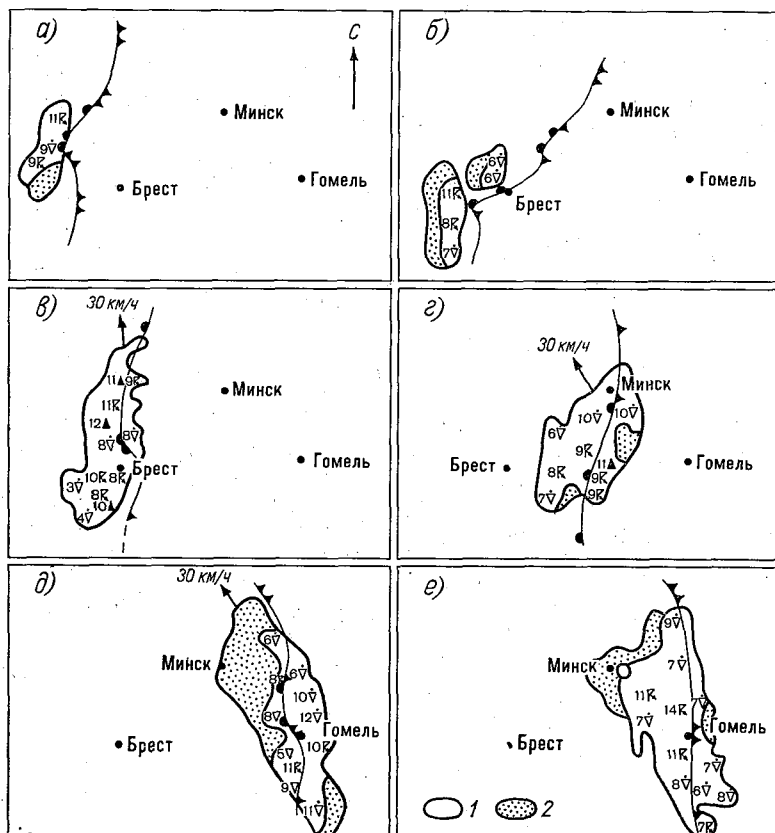
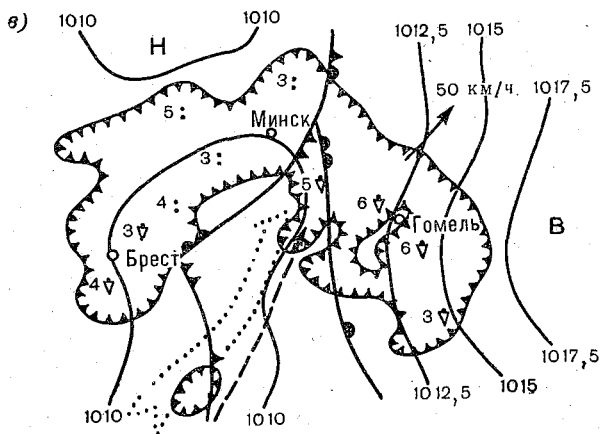
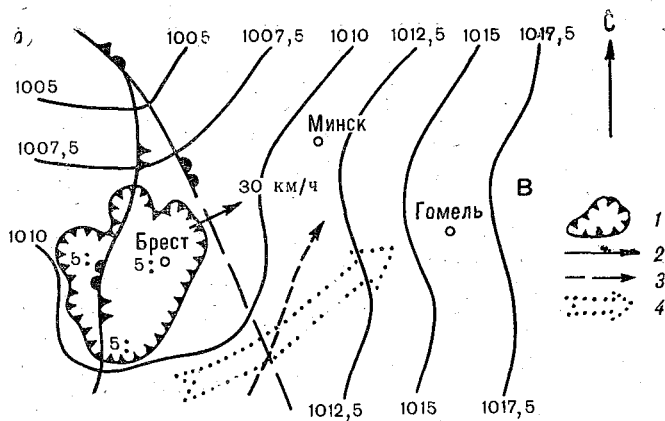


Рис. 2.12. Атмосферные фронты по данным метеостанций и МРЛ. Август 1972 г.

а) 03 (06) ч 17 VIII; б) 03 (06) ч 18 VIII; в) 18 (21) ч 20 VIII; г) 03 (06) ч 22 VIII; д) 03 (06) ч 23 VIII; е) 06 (09) ч 23 VIII. 1 — радиоэхо осадков, 2 — радиоэхо облачности.

Начиная с 22 августа, характеристики РОЗО данного фронта (площадь, протяженность, ширина) превосходят соответствующие значения, полученные при наблюдениях 17—18 августа. Фронт вместе с высотной ложбиной, на периферии которой он располагался в параллельных потоках, за 150 ч переместился к востоку на 430 км (около 70 км за сутки). При этом направление перемещения отдельных Сб с явлениями по данным одного МРЛ совпадало с направлением ведущего потока. Однако при этом направление и скорость перемещения РОЗО в целом не отражали фактического



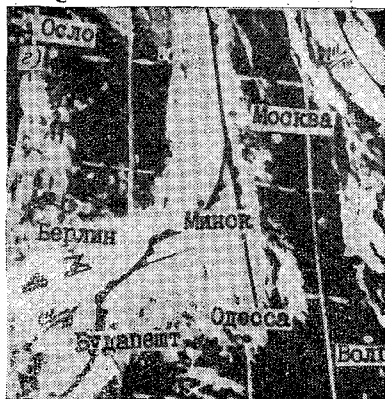
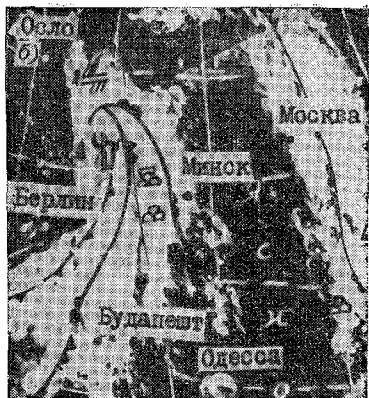
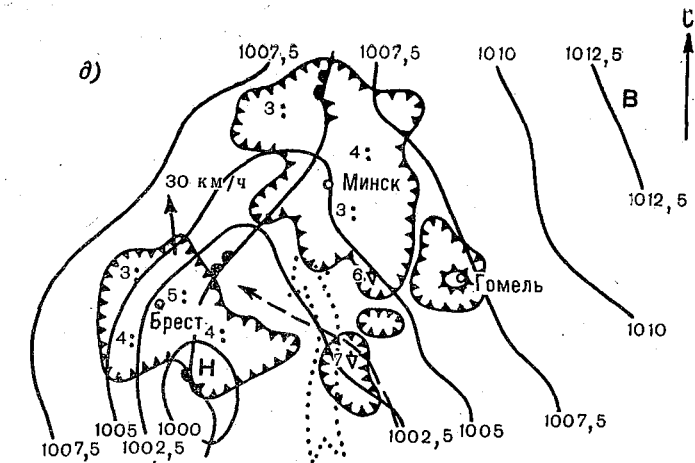


Рис. 2.13. Схематические изображения синоптических ситуаций, характеристик радиоэхо облачности и зон осадков (РОЗО) по данным трех МРЛ (а, в, д, ж) и ИК снимки облачного покрова с ИСЗ (б, г, е, з) 9—12 VI 1974 г.

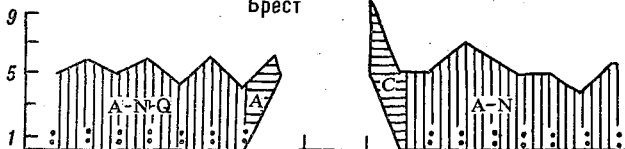
а — 21 (00) ч 9 VI, б — 20—21 ч 9 VI, в — 15 (18) ч 10 VI,



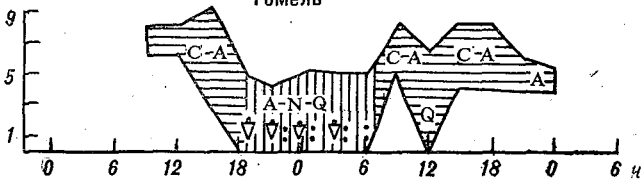
жс)

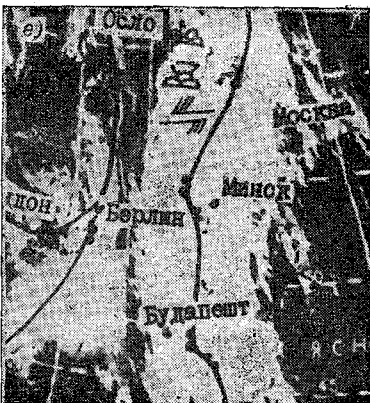
Н км

Брест



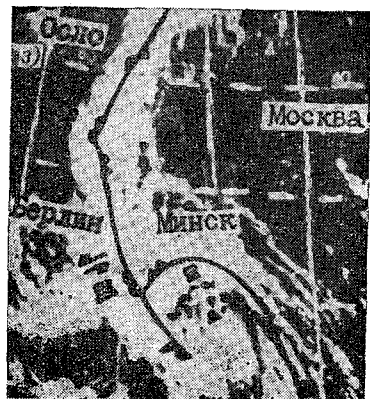
Гомель





г — 21–22 ч 10 VI, д — 18 (21) ч 11 VI, е — 21–22 ч 10 VI, ж — изменение характеристик РОЗО в ближней зоне (до 40 км от МРЛ) с 10 по 12 VI, з — 21–22 ч 10 VI (в скобках — время московское).

1 — контуры РОЗО, 2 — направление перемещения РОЗО, 3 — направление воздушного потока на высоте 3 км, 4 — направление воздушного потока на высоте 5,5 км. Фронты нанесены с учетом их приземных признаков.



направления и скорости перемещения самого фронта, а указывали на небольшую подвижность этого мощного фронтального раздела.

Для оценки направления смещения фронта нужно проследить за изменением границ РОЗО на стыкованной карте по данным всех МРЛ. На рис. 2.12 можно видеть, что большая часть РОЗО по отношению к линии фронтального раздела находится на стороне холодной воздушной массы.

2.7. Пример применения данных МРЛ и ИСЗ при анализе синоптических ситуаций

Сопоставление данных МРЛ и ИСЗ показало, что для оперативного получения информации об облачности в мезо- и макромасштабах целесообразно совместное использование таких данных, которые в ряде случаев удачно дополняют друг друга.

Проиллюстрируем это положение на примере одной синоптической ситуации над территорией БССР 9—12 июня 1974 г. (рис. 2.13).

По данным изображений с ИСЗ, над западной частью БССР наблюдалась (рис. 2.13 б) облачная система, которая, перемещаясь к востоку, распространилась на всю территорию БССР (рис. 2.13 г). Погода над территорией БССР в этот период (9—10 июня 1974 г.) была обусловлена влиянием циклона с центром над Балтикой и связанной с ним системы фронтов, перемещающейся с запада на восток. В последующие дни (11—12 июня) в связи с перестройкой высотного барического поля и изменением направления воздушных потоков на 700, 500 и 300 мбар, а также развитием нового циклона над Молдавией, характер синоптической ситуации полностью изменился (рис. 2.13 е, з). В этот период (11 июня) теплый фронт размылся, а холодный фронт трансформировался в малоподвижный фронт с волнами; впоследствии (12 июня) под влиянием изменившихся высотных потоков он стал смещаться как теплый обратно с востока на запад. На востоке БССР при этом наблюдалось прояснение и полное исчезновение облачности.

Характеристики РОЗО, полученные МРЛ (см. рис. 2.13 а, в, д), хорошо дополнили данные ИСЗ и облегчили распознавание характера как облачности, так и явлений, связанных с ней. При этом местоположение РОЗО на карте отмечало район со сложной штормовой погодой и указывало на возможное положение фронта у земли. Расположение основных зон РОЗО по отношению к линии фронта у земли хорошо подтверждало рекомендации п. 2.5. Для холодного фронта с волнами, у которого линия приземного фронта делит в основном область РОЗО на две равные части, типичен случай, изображенный на рис. 2.13 д. Для теплого и холодного фронтов характерно положение (см. рис. 2.13 в), когда основная часть РОЗО отмечается перед теплым фронтом и позади холодного.

Для анализа могут быть использованы сведения о распределении и изменении характеристик РОЗО в ближней зоне (до 40 км от МРЛ) в Бресте и Гомеле (рис. 2.13 ж). В период от 00 до 21 ч 10 июня, когда фронтальная облачность в основном находилась в западной части БССР и перемещалась на восток, по данным МРЛ в Бресте до 18 ч в ближней зоне фиксировалось радиоэхо от Ns и Cb с верхней границей 5—6 км и нижней границей, простирающейся до земли. В 21 ч 10 июня в ближней зоне на экране МРЛ в Бресте уже фиксировалась зона радиоэхо только от облаков среднего яруса. В последующем, практически до 6 ч 11 июня, в ближней зоне МРЛ Бреста РОЗО не отмечалось. Это совпало по времени с максимальным удалением фронта от Бреста и указывало на перемещение фронтальной облачности в восточные районы. В то же время, согласно данным МРЛ Гомеля, в ближней зоне в период 00—09 ч 10 июня РОЗО отсутствовало. Начиная с 09 до 15 ч 10 июня, МРЛ Гомель в ближней зоне последовательно фиксировал радиоэхо от облачности верхнего и среднего яруса. Однако с 18 ч 10 июня до 06 ч 11 июня в ближней зоне МРЛ Гомеля отмечалось РОЗО от Ns и Cb с верхней границей 4—6 км и нижней границей, простирающейся до земли. Фактически это связано с моментом наибольшего приближения фронта к Гомелю. После 06 ч 11 июня ход РОЗО в ближней зоне, по данным МРЛ Гомеля и Бреста, противоположен. Если МРЛ в Гомеле фиксирует только средний и верхний ярус с высотой нижней границы 4—5 км, а после 21 ч 11 июня — полное исчезновение радиоэхо, то МРЛ в Бресте в ближней зоне отмечает радиоэхо от Ns и Cb с высотой верхней границы 5—7 км и нижней кромкой, опускающейся до земли (последнее указывает на выпадение осадков). Такой характер изменения РОЗО в ближней зоне соответствует обратному перемещению фронта в сторону Бреста.

На рис. 2.13 можно также видеть, как информация ИСЗ о макрополях облачности дополняется подробными данными сети МРЛ о мезоструктуре облачного поля и осадков. Это позволяет чаще получать, детальной анализировать и предсказывать мезомасштабные процессы, выраженные в поле кучево-дождевой облачности. Именно эти процессы целиком определяют погодные условия в конкретный момент времени для заданного пункта или ограниченной территории.

2.8. Использование информации МРЛ в прогностических подразделениях

При обслуживании авиации МРЛ позволяют определить районы, в которых отмечается или предполагается:

- развитие интенсивной конвективной деятельности с образованием града, гроз и ливней;
- наличие турбулентности, связанной с конвекцией;
- возможность обледенения;
- ухудшение видимости в дождях и снегопадах;

— низкая облачность.

Эти данные должны учитываться наряду с другой поступающей к синоптику информацией при составлении прогнозов погоды по маршруту, штормпредупреждений, в консультациях непосредственно у экранов индикаторов МРЛ экипажей самолетов и при обслуживании работников управления воздушным движением.

Штат МРЛ АМСГ проводит одно-два наблюдения в час, а в случае необходимости и чаще, и обеспечивает синоптика информацией согласно табл. 1.3.

Операторы МРЛ на основе фактических наблюдений консультируют синоптика о возможном перемещении зон РКО и опасных явлений, однако окончательный прогноз перемещения облачных систем составляет синоптик. Учащенные наблюдения за РКО, предполагаемая траектория перемещения которых проходит через район аэропорта, позволяют построить прогностические траектории перемещения РКО с достоверностью и заблаговременностью, указанными в п. 2.5.3.

На рис. 2.14 приведена схема распространения и использования информации МРЛ в Украинском авиаметцентре.

1. Данные МРЛ могут быть использованы для проверки или уточнения некоторых параметров конвекции, полученных расчетными способами, и необходимых для применяемых схем прогноза гроз, ливней, града. О существовании развитой конвекции можно судить по первому появлению очагов РКО в радиусе обзора. Раннее появление РКО, превышение верхней границы РКО над расчетным уровнем конвекции указывает на возможность развития более интенсивных и опасных явлений, чем ожидалось по прогнозу.

2. Распределение и местоположение РКО и РСО с учетом общей синоптической обстановки в пределах эффективных радиусов обнаружения позволяет производить диагноз и оценку условий погоды. Если в пределах макромасштабной области однородного радиоэхо слоистой облачности, связанной с возмущением синоптического масштаба, находятся одна или несколько наземных метеостанций, сведения о фактической погоде с которых поступают на АМСГ, то данные о характеристиках слоистообразной облачности можно распространить на всю область фиксируемого радиоэхо. Такая рекомендация особенно успешно может применяться в осенние и зимние месяцы и будет обоснованной, если данные ИСЗ подтверждают наличие слоистообразной облачности на большой территории.

3. Подробные данные об облаках в ближней зоне (до 30—40 км), особенно сведения об их вертикальной структуре (высота верхней границы, прослойки, уровень с максимальной отражаемостью, время начала осадков и азимуты их выпадения и распространения, а также изменение вертикальной структуры во времени), позволяют уточнять прогноз на 1 час.

4. По величине площади РОЗО можно оценить временную устойчивость существующего характера погоды. РОЗО площадью 3000 км² и менее редко существуют более 3 ч и, как правило, рас-

падают за этот период времени или вновь возникают в другом районе. РОЗО, достигающие размеров более 10 000 км², как правило, могут существовать значительно большее время (более 6 ч), так как они непосредственно обусловлены крупномасштабными синоптическими процессами.

5. Положительная тенденция изменения площади ΔS и отражаемости ΔZ радиоэхо облачности и осадков (в радиусе 150—180 км) (наряду с увеличением числа ячеек, занятых опасными явлениями, переход $\nabla \rightarrow \nabla, : \rightarrow \nabla, \nabla$) может характеризовать изменение погодных условий в зоне аэропорта от простых к более сложным. Неизменные погодные условия в зоне аэропорта будут связаны с относительно устойчивыми и одинаковыми величинами площади радиоэхо и отражаемости, на что укажет тенденция ΔS и ΔZ — «без изменения». Отрицательная тенденция изменения радиолокационных характеристик с учетом изменяющейся общей синоптической ситуацией является достаточным условием, позволяющими предвидеть улучшение погодных условий с большей заблаговременностью, чем по данным отдельных метеостанций. Период заблаговременности может быть разным в каждой синоптической ситуации для каждого конкретного района.

Однако часто только значительное уменьшение или полное исчезновение радиоэхо является признаком прекращения грозовой деятельности.

6. Информация МРЛ входит в общую метеорологическую информацию, которую получает пилот при подготовке к полету и при выборе оптимального маршрута. При выборе маршрута должны приниматься во внимание рекомендации, позволяющие избежать встречи с грозой. Данные МРЛ при подготовке к полету указывают пилоту, на что ему следует обратить внимание во время полета.

7. Наибольшая опасность обледенения существует в протяженных системах As—Ns—Cb и Cb. Нижней границей обледенения является уровень нулевой изотермы, который может отмечаться на индикаторах МРЛ в виде яркой полосы. Яркая полоса возникает под влиянием нескольких факторов, приводящих к увеличению отраженных сигналов примерно на порядок (10 дБ). Верхний уровень яркой полосы можно считать за уровень таяния. Наиболее сильное обледенение встречается в Cb, возникающих в поле Ns. По этой причине особую ценность имеет информация МРЛ о наличии Cb в поле Ns в переходные сезоны и зимой.

8. При сильной конвективной турбулентности, приводящей к повреждению самолетов, скорость восходящих движений воздуха более 25 м/с. Гораздо меньшие вертикальные порывы (до 12 м/с) также могут быть опасны из-за соизмеримости их с размерами самолетов. Такие порывы встречаются в грозах (БМП, см. табл. 2.4), при проникновении вершин радиоэхо в тропопазу, при максимальной отражаемости в грозах $\lg Z \geq 3,2$. В ядре Cb при $\lg Z = 2,2 \div \div 3,2$ отмечается турбулентность от умеренной до сильной, при

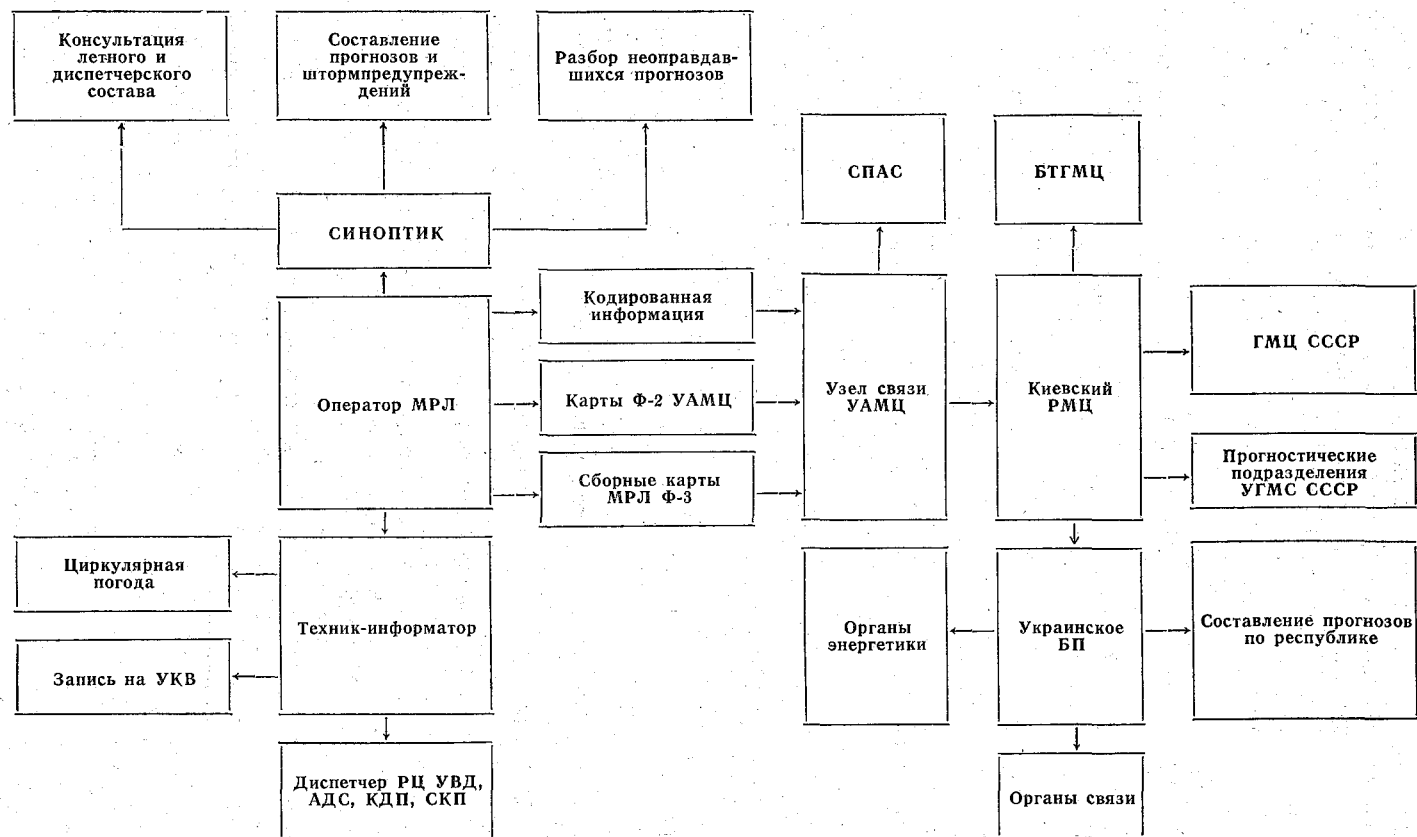


Рис. 2.14. Схема распространения и использования информации МРЛ в Украинском авиаметцентре.

$\lg Z > 3,2$ — сильной. Предельные расстояния для оценки турбулентности с помощью МРЛ не превышают 150 км.

ТГМЦ и Бюро погоды в отличие от АМСГ обычно располагают данными нескольких МРЛ, размещенных на территориях, которые по размерам соизмеримы с масштабами циклонических возмущений. Эти данные, обычно представляемые на картах облачности по данным МРЛ, включают:

- сведения о конфигурации и местоположении основных РОЗО в пределах всей «освещенной» территории, размеры которой зависят от количества МРЛ и плотности их размещения;
- комплекс характеристик РОЗО и опасных явлений, который разработан для каждого МРЛ в соответствии с единой программой и методикой наблюдений (см. табл. 1.3).

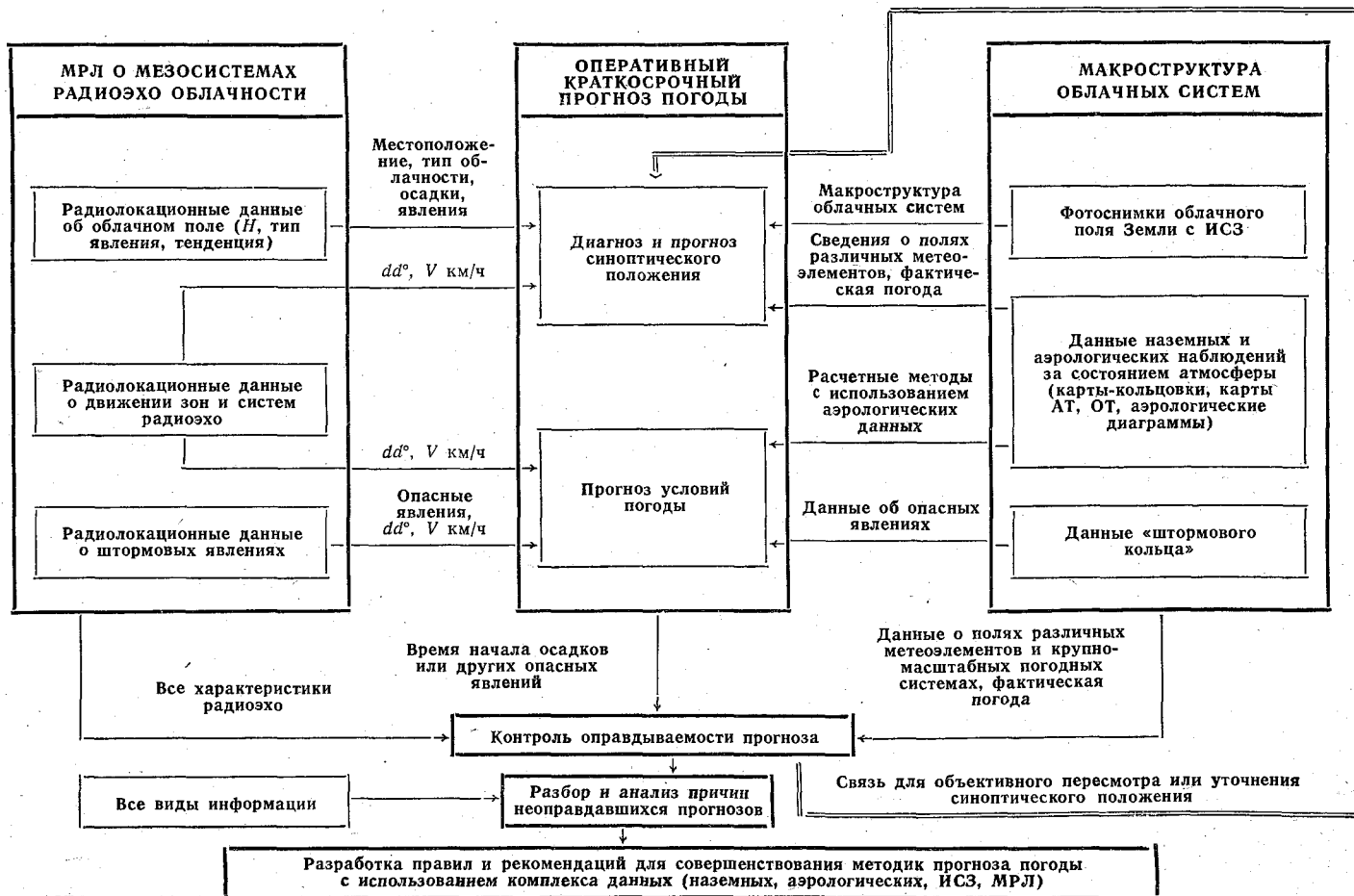
Применение в Бюро погоды радиолокационных данных в форме стыкованных карт для диагноза и прогноза синоптического положения не исключает возможности использования этих же данных и на АМСГ для прогноза условий погоды на период с заблаговременностью до 3 ч. Радиолокационные характеристики позволяют оценивать ожидаемую продолжительность существования облачной системы, интенсивность явлений, а также ожидаемые условия погоды в течение периода перемещения этой системы.

Данные МРЛ могут быть использованы при разборе неоправдавшихся прогнозов погоды.

Ежечасные или 3-часовые данные об изменении характеристик РОЗО при наличии Сб позволяют синоптику АМСГ и бюро погоды устанавливать меру и степень соответствия фактического состояния облачного режима и опасных явлений на данный момент времени над территорией его прогностическим характеристикам (форме, высоте, времени начала явлений и т. д.). В разборе неоправдавшихся прогнозов погоды данные МРЛ могут быть дополнительными источниками информации для углубленного синоптического анализа. При разборе неоправдавшихся прогнозов нужно учитывать, в какой степени радиолокационные данные характеризовали непредусмотренные прогнозом изменения синоптического процесса и в какой мере это было учтено и использовано синоптиком для своевременного уточнения прогноза.

Информация МРЛ может быть более точным источником сведений о Сб, развивающихся внутри Ns и над ними. Для наземного наблюдателя в этой ситуации Сб скрыты сплошной пеленой более низких слоистообразных облаков. Две визуально плохо отличимые друг от друга формы облачности Sc op. и Ns хорошо различаются на экране МРЛ (последние — по наличию яркой полосы и большей вертикальной протяженности).

На рис. 2.15 приведена схема использования радиолокационной, наземной и спутниковой информации в синоптическом анализе при разработке и контроле оправдываемости краткосрочного прогноза погоды.



2.9. Схема прогноза наступления опасных явлений с использованием радиолокационных данных

Ниже предлагается схема прогноза времени начала, существования и окончания опасных явлений в пункте с использованием радиолокационных данных об облачности и облачных системах (рис. 2.16).

Последовательность операций при расчете времени прихода опасных явлений в точку, их продолжительности, окончания и ожидаемой интенсивности жидких осадков, а также уточнения указанных характеристик с помощью данных аэрологического зондирования и МРЛ заключается в следующем.

1. Определяется характер явления облачного поля, размер площади, структуры и типа РОЗО, оценивается ориентировочное время существования РОЗО — $T_{\text{макс}}$. Сравнивается положение РОЗО и приземной линии фронта на бланке формы № 2 (см. разделы 1.2—1.4, п. 2.2—2.4). Определяется характер явления (гроза, град, ливни, обложные осадки, шквалы с Сб) (разделы 1.2, 1.3, 2.4, 2.5, 2.7).

2. Определяются характеристики перемещения РОЗО на V_p по радиолокационным данным. Если $V_p > 18$ км/ч и $V_{500}/V_{850} > 1$, для прогнозирования могут привлекаться данные о ветре — $V_{\text{ш}}$ — на изобарических поверхностях 700 и 500 мбар (табл. 2.7). Если $V_p \neq V_{\text{ш}}$, то уточняется V_p (см. табл. 2.7), после повторной проверки, если V_p было неверно, используется $V_{\text{ш}}$; если повторное измерение подтвердило V_p , то используется V_p (разделы 2.4, 2.5).

3. Оценивается время прихода $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{прод}}$ и $t_{\text{ок}}$ опасных явлений в точке или пункте на основании V_p и $V_{\text{ш}}$ если $T_{\text{макс}} > (r/V)$, по формулам

$$t_{\text{нач}} = \frac{r_1}{V_p} + t_0 \text{ или } t'_{\text{нач}} = \frac{r_1}{V_{700}} + t_0 \text{ для ячеек и ММП,}$$

$$t'_{\text{нач}} = \frac{r_1}{V_{500}} + t_0 \text{ для БПМ,}$$

$$t_{\text{прод}} = \frac{\Delta r^*}{V_p}, t_{\text{ок}} = t_{\text{нач}} + t_{\text{прод}},$$

где r_1 — расстояние от пункта прогноза в момент T_0 , Δr^* — протяженность РОЗО в направлении на пункт прогноза.

При выраженных орографических особенностях надо учитывать, что наиболее типичными являются траектории РОЗО по долинам рек и седловинам, вдоль склонов и обтекании горного хребта. В этих случаях синоптик должен учитывать все местные особенности перемещения облачности и рассматривать их вместе с данными МРЛ. Последние особенно полезны, когда МРЛ фиксирует аномальные траектории (переваливание Сб через горный хребет).

Рис. 2.15. Схема использования радиолокационной, наземной и спутниковой информации в синоптическом анализе при разработке и контроле оправдываемости краткосрочного прогноза погоды.

4. Полученные значения $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{прод}}$, $t_{\text{ок}}$ уточняются на основании тенденции характеристик РОЗО. Изменения площади ΔS , отражаемости ΔZ и высоты ΔH , появление или переход опасных явлений $\nabla \rightarrow \blacktriangleleft \rightarrow \blacktriangle$, а ячеек $\rightarrow$ ММП $\rightarrow$ БМП являются надежным показателем обострения процесса. Сравнение $H_{\text{макс}}$ с прогнозируемым уровнем конвекции $H_{\text{к}}$ и возможность оценки максимальной мгновенной интенсивности осадков по данным МРЛ и соотношению $Z = A I^b$ позволяют оценить, как прогностические значения интенсивности осадков, рассчитанные на максимальный момент развития конвекции (любым способом, принятым синоптиками данного подразделения), совпадают с фактическими (по данным МРЛ).

Настоящая схема (см. рис. 2.17) не претендует на полноту и охват всех возможных ситуаций. Однако она предусматривает расчет прогностических характеристик для широкого класса РОЗО.

Опыт применения этой схемы в каждом прогностическом подразделении позволит уточнить ее и конкретизировать с учетом местных особенностей.

ГЛАВА 3

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ МРЛ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СВЕДЕНИЙ О СТРУКТУРЕ ОСАДКОВ

Постоянное повышение требований к точности и заблаговременности прогноза осадков и опасных явлений делает необходимым детальное изучение структуры поля осадков, закономерностей их образования и эволюции.

В настоящее время информация МРЛ недостаточно используется для этих задач. Изложенное ниже ставит своей целью привлечь внимание синоптиков на возможность более глубокого применения данных МРЛ для изучения региональных особенностей осадков.

3.1. Оценка интенсивности дождя по данным МРЛ

Интенсивность выпадающих осадков может быть как средней (за дождь), так и мгновенной. Средняя и особенно мгновенная интенсивность являются наиболее изменчивыми характеристиками осадков. Так, в морозящих и слабых обложных дождях величина средней (за дождь) интенсивности может быть меньше 0,1 мм/ч, а в сильных ливнях может достигать десятков мм/ч. Мгновенная интенсивность отдельного дождя может изменяться во времени и по территории в десятки и сотни раз. Радиолокационная отражаемость ливневых осадков в горизонтальной плоскости обычно возрастает от периферии к центру очага, поскольку размер капель и интенсивность в таких осадках, как правило, возрастают в том же направлении.

Определение интенсивности выпадающих осадков из облаков радиолокационным способом основано на эмпирических соотношениях между отражаемостью осадков Z и интенсивностью I мм/ч. Из результатов многочисленных исследований известно, что эти соотношения сильно меняются для разных типов осадков и разных условий их образования. Как показывает практика, радиолокационные измерения приводят к завышенным результатам для дождей малой интенсивности и к заниженным при высокой интенсивности.

Площадь, на которой возможна оценка интенсивности и количества осадков, зависит от особенностей распространения радиоволн и температуры воздуха. Максимальным радиусом радиолокационного измерения жидких осадков считается радиус, при котором верхняя граница диаграммы направленности МРЛ лежит ниже уровня нулевой изотермы. При диаграмме направленности антенны в 1° на расстояниях 10 и 100 км ее ширина будет составлять примерно 170 и 1700 м. Нижняя граница диаграммы направленности даже при нулевых углах возвышения антенны МРЛ будет подниматься над поверхностью земли по мере удаления от МРЛ за счет рефракции и кривизны земли. С учетом изменения положения уровня нулевой изотермы в средних широтах от 500 м до 4—4,5 км максимальный радиус измерения осадков будет меняться от 30 до 120 км, при среднем значении в летний период около 100 км и 50—60 км — в переходный.

Внимание синоптика обычно привлекают осадки с максимальной мгновенной интенсивностью более 25 мм/ч. Это соответствует осадкам (длительностью менее 1 ч) со средней интенсивностью не менее 7—8 мм/ч. Выпадение в течение длительного времени (несколько часов) в одних и тех же районах интенсивных осадков может указывать на опасность паводка и наводнения.

На участках территории, расположенных между метеостанциями, информация МРЛ остается практически единственной для определения районов, в которых выпадают осадки, резко превышающие норму.

На удалениях более 100 км от МРЛ оценки интенсивности и количества осадков будут менее точными. Однако и в этом случае данные МРЛ приносят несомненную пользу, особенно при пятнистом характере РОЗО.

3.2. Влияние возвышенностей и крупных городов на выпадение осадков

Орографические эффекты существенны только перед фронтом. За фронтом осадки (если они вообще есть), выпадающие на низменных и холмистых участках, имеют некоторые различия. У линии приземного фронта влияние орографии наименьшее, а при сильном дожде оно совсем незаметно.

Орографический дождь выпадает фактически в зоне 100—200 км впереди холодных фронтов, когда на нижних уровнях (850—900 мбар) влажный поток достаточен для образования эффективного питающего облака и формирования засевающих частиц. Если для потока на нижнем уровне не характерен подъем, то орографический дождь возможен только при условии, что существует механизм для регулирования засева из средней тропосферы (рис. 3.1). В этом случае орографический дождь может выпадать по обе стороны от гребня возвышенности.

При краткосрочном прогнозе сильного орографического дождя полезно применять данные МРЛ для выявления слабых предфрон-

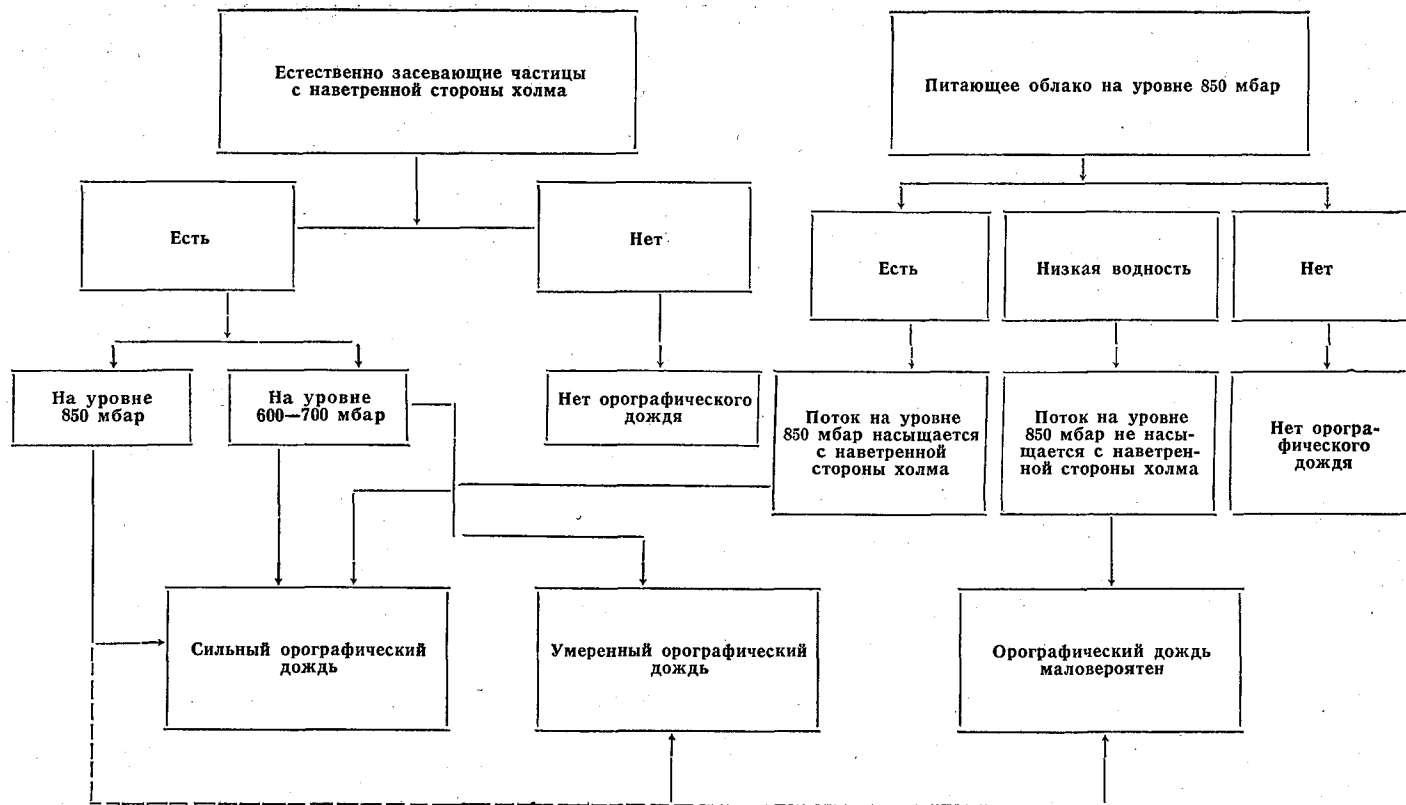


Рис. 3.1. Упрощенная схема образования орографического дождя, связанного со струйными течениями на уровне 850 мбар перед холодным фронтом (по Браунингу).

тальных осадков, которые нужны для засева питающих облаков над холмами, а также для более точного определения положения приземного холодного фронта, особенно в районах с редкой сетью станций. (Такой фронт имеет структуру в виде полос, непрерывных линий осадков или линий дискретных ячеек дождя.)

В последние годы установлено наличие статистически значимых максимумов конвективных осадков над крупными городами. По разным оценкам осадки над крупными городами могут на 10—15% превышать осадки на окружающей территории.

По сравнению с окружающими районами над крупными городами отмечается более высокая температура воздуха, большее количество ядер конденсации, а иногда и большая влажность. Все это должно приводить к более частому появлению спонтанной конвекции и усилению уже развитого процесса осадкообразования.

В таких ситуациях данные МРЛ помогают выделить районы с аномально большим количеством осадков, особенно в случае неожиданно быстрого образования конвективных облаков.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Эффективное использование радиолокационной информации для анализа и прогноза погодных условий может быть достигнуто при ее совместном применении с аэросиноптической и спутниковой. Информация ИСЗ позволяет в ряде случаев компенсировать недостаточную эффективность МРЛ по обнаружению и определению характеристик перистых и слоистообразных облаков.

2. Метеорологические радиолокаторы позволяют получать надежные диагностические данные о конвективной облачности, сопровождаемой опасными явлениями. Эти сведения полезны для прогноза погоды на срок до 1—3 ч и для определения штормовых и штормоопасных районов и траекторий перемещения ливневых, градовых и грозových облаков и их систем.

Такие сведения помогают проверять (не реже одного раза в час) соответствие фактического развития таких важных элементов, как облачность и осадки, в рамках краткосрочного прогноза погоды; при необходимости своевременно корректировать прогноз до получения штормовых оповещений с сети метеостанций.

3. В условиях одной и той же воздушной массы изменение общей площади РКО в моменты ее максимального развития (от предыдущего дня к последующему) позволяет давать оценку трансформации характеристик неустойчивости этой воздушной массы. Уменьшение площади РКО в момент ее максимального развития по сравнению с площадью в предыдущий день указывает на уменьшение неустойчивости данной воздушной массы. Увеличение площади РКО в момент ее максимального развития, а также наступление этого момента в более ранние часы (12—13 ч по сравнению с 15—18 ч в предыдущий день) указывает на трансформацию этой воздушной массы в более неустойчивую — с большим запасом потенциальной неустойчивости и водяного пара.

4. Для прогноза погоды на срок до 6—12 ч данные нескольких МРЛ можно эффективно использовать для оценки направления и скорости перемещения границ зоны выпадающих осадков. Направление перемещения всей зоны выявленных осадков за предыдущие сроки, полученное по данным нескольких МРЛ на стыкованной карте целого региона, наиболее правильно отражает фактическое направление, которое следует рассматривать как возможный путь последующего распространения осадков.

5. Перемещение границ макромасштабных областей радиоэхо связано непосредственно с трансляционными (связанными с переносом) и эволюционными изменениями, которые испытывали в определенный период времени системы облаков и осадков.

Совпадение направления перемещения отдельного изолированного радиоэхо фронтального облачного поля с направлением оси системы радиоэхо облаков и осадков атмосферного фронта указывает на то, что атмосферный фронт малоподвижен.

6. Зоны РКО позволяют классифицировать воздушную массу, в которой они выявлены, как неустойчивую. Образование и развитие очагов РКО в ночные часы указывает на значительную неустойчивость данной воздушной массы. Появление РСО, особенно не приподнятого, в полуденные часы или отсутствие радиоэхо указывает на значительную устойчивость воздушной массы. При наличии стыкованных данных нескольких МРЛ, которые перекрывают большую территорию, это правило позволит разделить соседние воздушные массы по признаку их термодинамической устойчивости.

7. По величине площади радиоэхо облачности и осадков можно оценить временную устойчивость характера погоды, существующего в области распространения этого радиоэхо. Зоны радиоэхо площадью 3000 км^2 и менее редко существуют более 3 ч и, как правило, распадаются за этот период времени или вновь возникают в другом районе (последнее наиболее характерно для внутримассовых явлений). Площади радиоэхо более $10\,000 \text{ км}^2$, как правило, могут существовать значительно большее время (более 6 ч). Они обусловлены существованием больших облачных систем, связанных с крупномасштабными восходящими движениями.

8. Большие области конвективного (РКО), слоистообразного (РСО) и смешанного (РКСО) радиоэхо, как правило, связаны с крупномасштабным упорядоченным подъемом, а также с областями неустойчивости в области фронтальных зон. Последние своим происхождением обязаны различным мезомасштабным неоднородностям в термическом поле средней тропосферы и неоднородностям адвекции на разных высотах, которые не всегда можно выявить при анализе синоптических карт.

9. Направление линии фронта у земли в основном совпадает с направлением наибольшей оси радиоэхо. У теплых фронтов радиоэхо обычно располагается преимущественно перед линией фронта. Холодные фронты большей частью имеют радиоэхо за фронтом. У малоподвижных фронтов с волнами радиоэхо распо-

ложено в основном равномерно по обе стороны от линии фронта, лишь в области волновых возмущений часто наблюдается расширение зоны радиоэхо в сторону холодного воздуха.

Совпадение полос РОЗО и приземных линий фронта возможно на участках атмосферных фронтов, которые находятся на некоторых средних расстояниях между периферийными и центральными частями циклонов. В периферийных частях циклонов, где на характере облачности сказывается размывающее действие гребней антициклонов, фронтальные облачные системы слабо выражены и обычно не сопровождаются значительными осадками. В таких ситуациях данные МРЛ для оценки положения фронтов малоэффективны.

Заметное расхождение между положением радиоэхо облачности (РОЗО) и положением самого фронта должно побудить синоптика к дополнительной проверке общего фронтального анализа (особенно, если ожидается прохождение холодного фронта или стационарного фронта с волнами).

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Схема кода RADOB.

Для передачи радиолокационной метеорологической информации используется код RADOB. Кодирование производится после обработки данных в синоптические сроки и при обнаружении штормовых явлений (сразу после их обнаружения и интерпретации). Для кодирования используются бланки форм № 1 и № 2 и специальные шаблоны. Код состоит из двух частей — А и В. В СССР в настоящее время используется только часть В.

В часть В входят международные национальные группы. Национальная часть кода начинается после отличительной группы 61616. Отличительными буквами, указывающими, что далее следует информация, закодированная кодом RADOB, является ФФББ.

Ниже приводится схема кода.

ФФББ YGGGg Iiiii (99L_aL_aL_a) (Q_cL₀L₀L₀)

e_tW_eI_ea_eH_e bbbrr t_ed_sd_sf_sf_s /999/

e_tW_eI_ea_eH_e bbbrr t_ed_sd_sf_sf_s /999/

61616 ПС_вС_сС_нС_к K///K

7///7 C_rh_rh_rH_rH_r

6///6 L_xL_yIHI

5///5 L_xL_yIHI

4///4 L_xL_yIHI₀

3///3 L_xL_yIHI₀

2///2 L_xL_yIHI₀

ШТОРМ ФФББ YGGGg Iiiii

61616

6///6 L_xL_yIHI

5///5 L_xL_yIHI

4///4 L_xL_yIHI₀

2. Пояснения к группам кода.

Группы YGGGg Iiiii (99L_aL_aL_a) (Q_cL₀L₀L₀) — общепринятые в метеорологической службе группы, характеризующие время и место наблюдений.

Группа e_tW_eI_ea_eH_e используется для передачи сведений о наблюдаемом типе радиоэхо (e_t) и его характеристик (W_e — ширина, I_e — интенсивность радиоэхо, a_e — тенденция изменения и H_e — высота радиоэхо).

Группа bbbrr предназначена для сообщения о местоположении радиоэхо. Кодруется в полярной системе координат по отношению к пункту наблюдений (bbb — азимут, rr — дальность).

Группа t_ed_sd_sf_sf_s служит для сообщения о скорости перемещения радиоэхо, закодированного при помощи e_t. Здесь t_e — интервал времени, за который рассчитано движение, d_sd_s — направление, f_sf_s — скорость перемещения радиоэхо.

Группа /999/ — разделительная, указывающая, что закодированы все сведения об одной системе радиоэхо и далее последуют сведения о другой системе.

Группы 7///7, 6///6, 5///5, 4///4, 3///3, 2///2 — отличительные, служат для указания, что вслед за ними передаются более подробные интерпретированные данные о формах облаков и типах явлений в радиусе обзора МРЛ.

Группа 61616 — группа, предшествующая данным о радиоэхо.

7///7 — сведения об облаках в ближней зоне, наблюдаемых на МРЛ; при отсутствии радиоэхо в ближней зоне группа опускается.

6///6 — градоопасные облака (Сб градоопасные, либо выпадающий град).

5///5 — грозоопасные облака (Сб в предгрозовом состоянии или грозы).

4///4 — ливневые облака (Сб—Си согг. с ливнями или без них).

3///3 — обложные осадки, интенсивность которых измерена.

2///2 — слоистообразные облака или радиоэхо, метеорологическая интерпретация которого неизвестна.

LL11 — координаты квадратной ячейки со стороной, равной 60 км, I — интенсивность радиоэхо градовых или грозовых облаков, I_0 — мгновенная интенсивность ливневых осадков, I_0 — максимальная мгновенная интенсивность обложных осадков, H — высота радиоэхо указанных выше явлений, С — формы слоистообразных облаков или некоторых их сочетаний, S_r — радиоэхо различных форм облаков или их сочетания в ближней зоне; h_r, h_r — высота нижней границы облаков и H, H_r — высота верхней границы облаков в условных единицах.

Пример кодирования информации приведен в подписи к рис. 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационная метеорология. Л., Гидрометеониздат, 1966, с. 98—169. Авт.: А. М. Баранов, Н. И. Мазурин, С. В. Солонин, И. Я. Янковский.
2. Атлас Д. Успехи радарной метеорологии. Пер. с англ. Л., Гидрометеониздат, 1967. 194 с.
3. Баранов А. М. Фронтальные облака и условия полетов в них. Л., Гидрометеониздат, 1964, 240 с.
4. Бин Б. Р., Даттон Е. Дж. Радиометеорология. Пер. с англ. Л., Гидрометеониздат, 1971. 362 с.
5. Брылев Г. Б., Сальман Е. М. О возможном способе ежедневной корректировки радиолокационного критерия грозоопасности.—«Тр. ГГО», 1973, вып. 281, с. 82—85.
6. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. Об определении положения фронта по данным нескольких радиолокаторов МРЛ.—«Тр. ГГО», 1974, вып. 327, с. 78—87.
7. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. Некоторые особенности применения радиолокационных данных при анализе синоптических ситуаций.—«Тр. ГГО», 1975, вып. 328, с. 64—83.
8. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. Особенности пространственных характеристик радиоэхо облачности и зон осадков атмосферных фронтов.—«Тр. ГГО», 1974, вып. 328, с. 84—94.
9. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. Оценка возможности использования данных сети трех радиолокаторов МРЛ для определения положения фронтов.—«Метеорол. и гидрол.» 1974, № 12, с. 50—57.
10. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. О применении данных ИСЗ и «куста» МРЛ для анализа синоптического положения.—«Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 45—51.
11. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. О связи между скоростью и направлением перемещения радиоэхо конвективной облачности и воздушными потоками на стандартных барических уровнях.—«Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 52—62.
12. Брылев Г. Б., Огуряев В. С. Радиолокационные критерии шквалов, связанных с кучево-дождевой облачностью.—«Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 67—72.
13. Ватьян М. Р., Песков Б. Е. Об информативности некоторых радиолокационных параметров кучево-дождевых облаков, сопровождающихся порывами ветра различной силы на Северном Кавказе.—«Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 118—128.
14. Ватьян М. Р., Песков Б. Е. Исследование условий возникновения сильных порывов ветра при градово-грозовых процессах на Северном Кавказе.—«Метеорол. и гидрол.», 1972, вып. 8, с. 31—37.
15. Гольберг М. А., Матвеева Л. И., Артеменок С. В. Грозы на территории Белоруссии по данным МРЛ.—«Тр. НИИГМП», 1975, № 61, с. 43—49.
16. Гутман Л. Н., Моргачев С. В. О новом методе построения вертикальных разрезов фронтов.—«Метеорол. и гидрол.», 1964, № 9, с. 35—43.

17. Дивинская Б. Ш. Опыт применения радиолокационных наблюдений для уточнения синоптического положения.— «Тр. ГГО», 1965, вып. 173, с. 53—62.
18. Дивинская Б. Ш., Брылев Г. Б., Сальман Е. М. О возможности использования радиолокационных характеристик полей облачности для диагноза состояния погоды.— «Метеорол. и гидрол.», 1970, № 11, с. 30—34.
19. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Л., Гидрометеиздат, 1968. 774 с.
20. Код для сообщения данных метеорологических наблюдений, проводимых с помощью наземных радиолокаторов (RADOB). Л., Гидрометеиздат, 1973. 53 с.
21. Комплексное использование радиолокационных и спутниковых наблюдений при анализе мезо- и макромасштабных облачных систем.— «Метеорол. и гидрол.», 1969, № 2, с. 44—49. Авт.: Е. М. Сальман, Г. Б. Брылев, Б. Ш. Дивинская, В. К. Зотов, А. А. Федоров.
22. Комплексное использование спутниковой, радиолокационной и аэросиноптической информации для прогноза значительных осадков на примере снегопада 14—16 октября 1971 г. в центральном районе ЕТС.— «Тр. ГМЦ», 1973, вып. 116, с. 53—60. Авт.: Н. И. Глушкова, Г. Г. Громова, В. Ф. Лапчева.
23. Котов Н. Ф. Радиолокационное измерение количества ливневых осадков на больших площадях.— «Тр. ГГО», 1964, вып. 159, с. 3—34.
24. Методические основы оперативного получения радиолокационной метеорологической информации об облачности и связанных с нею опасных явлениях.— В сб.: Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений. Под ред. Д. П. Беспалова. Л., Гидрометеиздат, 1971, с. 69—119. Авт.: Г. Б. Брылев, С. Б. Гашина, Б. Ш. Дивинская, Е. М. Сальман.
25. Метод прогноза ливней, гроз и града с использованием аэросиноптических, радиолокационных и спутниковых данных.— «Тр. ГМЦ», 1974, вып. 136, с. 42—45. Авт.: Н. И. Глушкова, Г. Г. Громова, В. Ф. Лапчева, Н. Н. Литвин.
26. Минакова Н. Е. Результаты анализа радиолокационных данных по распознаванию ливней и гроз.— «Тр. ГМЦ», 1974, вып. 136, с. 35—41.
27. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА-73). Л., Гидрометеиздат, 1973. 140 с.
28. О привлечении данных МРЛ сети штормоповещения для анализа полусуточных изогнет жидких осадков.— «Тр. ГГО», 1976, вып. 375, с. 69—78. Авт.: Ж. Д. Алибегова, Д. П. Беспалов, Г. Б. Брылев, Н. Ф. Иванова, А. А. Калининская.
29. Опыт радиолокационного изучения мезоструктуры поля осадков холодного фронта.— «Тр. Укр. НИГМИ», 1971, вып. 95, с. 102—111. Авт.: В. М. Волынец, Н. П. Заболоцкая, Л. Г. Кононенко, В. М. Мучник.
30. Пальмен Э., Ньютон Р. Циркуляционные системы атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1973. 616 с.
31. Песков Б. Е. Связь пространственной структуры радиолокационного эхо с объективными характеристиками фронтов.— «Тр. ГМЦ», 1968, вып. 35, с. 69—89.
32. Песков Б. Е., Снитковский А. И. Анализ условий возникновения сильных шквалов с использованием спутниковых и радиолокационных данных.— «Тр. ГМЦ», 1969, вып. 56, с. 84—92.
33. Петерсен С. Анализ и прогноз погоды. Пер. с англ. Л., Гидрометеиздат, 1961. 652 с.
34. Петренко Н. В., Васильев Н. А., Песков Б. Е. Условия образования и прогноз важных для авиации метеорологических явлений.— «Тр. ГМЦ», 1973, вып. 79, с. 82—99.
35. Пономаренко И. Н., Кошенко А. М. Облачные системы фронтов в связи с распределением вертикальных движений.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1968, т. IV, № 9, с. 930—940.
36. Радиолокационные измерения осадков. Л., Гидрометеиздат, 1967. 140 с. Авт.: А. М. Боровиков, В. В. Костарев, И. Л. Мазин, В. И. Смирнов, А. А. Черников.
37. Решетов Г. Д. О продолжительности развития и существования очагов гроз и ливней.— «Тр. ГМЦ», 1969, вып. 46, с. 62—68.
38. Ромов А. И. Вертикальные движения на атмосферных фронтах.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1966, т. 2, № 6, с. 561—575.

39. Ромов А. И., Седлецкий В. М. Влияние гор на погоду и вопросы атмосферной конвекции.— «Тр. Укр. НИГМИ», 1972, вып. 117, с. 112—119.
40. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. Л., Гидрометеиздат, 1974. 334 с.
41. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. ГМЦ СССР, Гидрометеиздат, 1964. Ч. 1 и 2. 519 с.
42. Сальман Е. М., Петрушевский В. А. Определение высоты кучево-дождевых облаков радиолокационным методом.— «Тр. ГГО», 1964, вып. 159, с. 48—58.
43. Сальман Е. М., Гашина С. Б., Дивинская Б. Ш. Радиолокационные критерии разделения грозовой и ливневой деятельности.— «Метеорол. и гидрол.», 1969, № 4, с. 79—83.
44. Сальман Е. М. Способы получения радиолокационных характеристик облаков и облачных систем.— «Тр. ГГО», 1967, вып. 217, с. 3—14.
45. Степаненко В. Д. Радиолокация в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1973. 344 с.
46. Степаненко В. Д. Об эффективности получения и использования радиолокационной метеорологической информации.— «Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 26—33.
47. Труды ГГО, 1969, вып. 243. 60 с.
48. Труды ГГО, 1973, вып. 281. 120 с.
49. Труды ГГО, 1970, вып. 261. 112 с.
50. Труды ГГО, 1976, вып. 383. 147 с.
51. Федоров Ю. К. Программная реализация алгоритмов стыковки данных МРЛ.— «Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 39—44.
52. Федоров Ю. К. К вопросу комплексной обработки данных об облачности и атмосферных явлениях.— «Тр. ГГО», 1976, вып. 383, с. 79—84.
53. Чистяков А. Д., Минакова Н. Е., Чуприн С. Ф. Методика составления прогноза погоды заблаговременностью 1—4 часа для Москвы.— «Тр. ГМЦ», 1973, вып. 116, с. 91—98.
54. Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозное электричество. Л., Гидрометеиздат, 1964. 402 с.
55. Ягудин Р. А. О связи радиолокационных характеристик облачных систем с термодинамическими параметрами атмосферы.— «Тр. ЗСРНИГМИ», 1975, вып. 15, с. 88—101.
56. Atkinson B. W. The Effect of an Urban Area on the Precipitation from a Moving Thunderstorm.— «J. Appl. Met.», 1971, vol. 10, p. 47—55.
57. Austin P. M., House R. A. Analysis of Mesoscale Precipitation Areas.— «J. Appl. Met.», 1972, vol. 11, p. 926—935.
58. Battan L. J. Some Factors Governing Precipitation and Lightning from Convective Clouds.— «J. Atm. Sci.», 1965, vol. 22, p. 79—84.
59. Boucher R. J., Wexler R. The Motion and Predictability of Precipitation Lines.— «J. Met.», 1961, vol. 18, p. 160—171.
60. Browning K. A., Pardoe C. W., Hill F. F. Orographic Rain.— «Quart. J. Roy. Met. Soc.», 1975, vol. 101, p. 333—352.
61. Browning K. A., Harrold T. W. Air Motion and Precipitation Growth at a Cold Front.— «Quart. J. Roy. Met. Soc.», 1970, vol. 96, p. 369—389.
62. Browning K. A., Harrold T. W. Air Motion and Precipitation Growth in a Wave Depression.— «Quart. J. Roy. Met. Soc.», 1969, vol. 95, p. 288—309.
63. Carlson T. N., Ludlam F. H. Conditions for the Occurrence of Severe Local Storms.— «Tellus», 1968, vol. 20, p. 203—226.
64. Harrold T. W., Austin P. M. The Structure of Precipitation System. A Review.— «J. de rech. atm.», 1974, vol. 8, N 1—2, p. 41—57.
65. Huff F. A. Statistics of Precipitation.— «J. de rech. atm.», 1974, vol. 8, N 1—2, p. 73—78.
66. Kessler E., Wexler R. Observation of Cold Front.— «Bull. Amer. Met. Soc.», 1960, p. 253—257.
67. Kreitzberg C. W. Mesoscale Weather Systems within an Occlusion.— «J. Appl. Met.», 1970, vol. 9, N 3, p. 417—432.
68. Kropeli R. A., Miller L. J. Thunderstorm Flow Patterns in Three Dimensions.— «Mon. Wea. Rev.», 1975, vol. 103, N 1, p. 70—71.

69. Fujita T. Precipitation and Cold Air Production in Mesoscale Thunderstorm Systems.—“J. Met.”, 1959, vol. 16, N 4, p. 454—466.

70. Fujita T. Study of Mesosystems Associated with Stationary Radar Echoes.—“J. Met.”, 1959, vol. 16, p. 38—52.

71. Fujita T. Results of Detailed Synoptic Studies of Squal Lines.—“Tellus”, 1955, vol. 7, p. 405—436.

72. Matsumoto S. Mesometeorological Aspect of Precipitation.—“J. de rech. atm.”, 1974, vol. 8, N 1—2, p. 205—212.

73. Ninomiya K., Akiyama T. Band Structure of Mesoscale Echo Clusters Associated with the Low Level Jet Stream.—“J. Met. Soc. Japan”, 1974, vol. 52, p. 300—313.

74. Smith P. L., Hardy R. K., Glover K. M. Applications of Radar to Meteorological Operations and Research.—“Proc. IEE”, 1974, p. 724—745.

75. Wilk K. E., Kessler E. Quantitative Radar Measurements of Precipitation.—“Met. Monograph”, 1970, vol. 11, N 3.

76. Wilson J. W., Kessler E. Use of Radar Summary Maps for Weather Analysis and Forecasting.—“J. Appl. Met.”, 1963, N 2.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Условные обозначения	4
Введение	5
Глава 1. Методические основы оперативного радиолокационного метода метеорологических наблюдений	7
1.1. Физические основы радиолокационного метеорологического метода наблюдений	—
1.2. Классификация информации МРЛ	9
1.3. Особенности методики радиолокационных наблюдений	16
1.4. Порядок получения и распространения информации	18
1.4.1. Сроки наблюдений	—
1.4.2. Потребители радиолокационной информации	—
1.4.3. Способы передачи данных	—
1.4.4. Стыковка данных нескольких МРЛ	20
Глава 2. Использование радиолокационных данных в синоптическом анализе	21
2.1. Общие положения	—
2.2. Применение данных МРЛ для определения характера и пространственного распределения облачности	22
2.2.1. Характер облачности	—
2.2.2. Ориентация РОЗО относительно приземной линии фронта	23
2.3. Количественные характеристики РОЗО атмосферных фронтов на примере сети МРЛ Белорусского УГМС	28
2.4. Определение опасных явлений	32
2.4.1. Метеорологическая эффективность радиолокационной информации об опасных явлениях	34
2.5. Прогноз движения радиоэхо	36
2.5.1. Движение ячеек и изолированных мезомасштабных площадей радиоэхо конвективной облачности	38
2.5.2. Движение площади радиоэхо синоптического масштаба	40
2.5.3. Заблаговременность прогноза времени начала и продолжительности опасных явлений в пункте	42
2.6. Примеры применения данных одного и трех МРЛ в анализе синоптических ситуаций	44
2.7. Пример применения данных МРЛ и ИСЗ при анализе синоптических ситуаций	52
2.8. Использование информации МРЛ в прогностических подразделениях	53
2.9. Схема прогноза наступления опасных явлений с использованием радиолокационных данных	59

Глава 3. Применение данных МРЛ для получения дополнительных сведений о структуре осадков	61
3.1. Оценка интенсивности дождя по данным МРЛ	—
3.2. Влияние возвышенностей и крупных городов на выпадение осадков	62
Общие рекомендации	64
Приложение	67
Список литературы	70

Г. Б. Брылёв, Г. Л. Низдойминова

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Использование радиолокационных данных в синоптической практике

Редактор Е. И. Ильиных. Техн. редактор Г. В. Ивкова. Корректор В. И. Гинцбург.
Сдано в набор 27/VI 1977 г. Подписано к печати 16/XII 1977 г. М-20442. Формат 60×90^{1/16},
бум. тип. № 2. Печ. л. 5 в т. ч. вкл. Уч.-изд. л. 5,14. Тираж 1550 экз. Индекс МЛ-53.
Заказ № 344. Цена 25 коп. Гидрометеиздат. 199053, Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.