МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л.М. Севастьянова, А.С. Ахметшина

МЕТОДЫ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Гидрометеорология»

Под редакцией канд. геогр. наук, доц. И.В. Кужевской

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2014

УДК 551.589:509
ББК 26.234.6
С28

Рецензенты:
зав. кафедрой метеорологии и охраны атмосферы
Пермского государственного национального исследовательского университета,
доктор географических наук, профессор *Н.А. Калинин*;
зав. кафедрой гидрологии Томского государственного университета,
доктор географических наук, профессор *В.А. Земцов*

Севастьянова Л.М., Ахметшина А.С.
С28 Методы краткосрочных прогнозов погоды общего назначения : учеб. пособие / под ред. И.В. Кужевской. – Томск : Издательский Дом ТГУ, 2014. – 268 с.

ISBN 978-5-9462-1441-4

В учебном пособии изложены сведения о синоптическом анализе и об элементах краткосрочного прогноза погоды. Оно содержит региональные методы краткосрочных прогнозов погоды общего назначения, информацию о применении современных мировых технологий в области анализа и краткосрочного прогноза погоды, в частности, гидродинамических моделей атмосферы, геоинформационной системы (ГИС) Метео, об использовании радиолокационных наблюдений и снимков ИСЗ в синоптическом анализе и в прогностических целях.

Для студентов, обучающихся по направлению «Гидрометеорология»; может быть использовано при проведении практических занятий по курсам «Синоптическая метеорология», «Региональные синоптические процессы» и «Использование современного программного обеспечения в учебном бюро погоды», для самостоятельной работы студентов и при прохождении практики в подразделениях Росгидромета.

УДК 551.589:509
ББК 26.234.6

ISBN 978-5-9462-1441-4
© Севастьянова Л.М., Ахметшина А.С., 2014
© Томский государственный университет, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 7

ВВЕДЕНИЕ 9

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИНОПТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ И КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗАХ ПОГОДЫ 12
   1.1. Синоптический анализ. Основные понятия и определения 12
   1.2. Прогноз погоды. Основные определения 18

2. РАЗРАБОТКА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ 22
   2.1. Содержание краткосрочного прогноза погоды общего назначения и основные этапы его подготовки 22
   2.2. Порядок разработки краткосрочного прогноза погоды 30
   2.3. Обзор синоптических процессов и условий погоды 33
   2.4. Построение траекторий воздушных частиц 40

3. ПРОГНОЗ ОБЛАЧНОСТИ 42
   3.1. Синоптические условия образования основных форм облаков 42
   3.2. Термины, применяемые в прогнозах облачности 51
   3.3. Прогноз количества облаков 52

4. ПРОГНОЗ ОСАДКОВ 53
   4.1. Синоптические условия образования осадков 53
   4.2. Термины, применяемые в прогнозах осадков 55
   4.3. Общий прогноз осадков 58
   4.4. Прогноз осадков холодного полугодия (метод М.П. Пономарёвой) 60
   4.5. Прогноз осадков тёплого полугодия (метод З.В. Торбиной) 67

5. ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ 77
   5.1. Синоптические условия возникновения атмосферных явлений 77
      5.1.1. Метель 77
      5.1.2. Туман 80
      5.1.3. Шквал 84
      5.1.4. Гололёд 86
      5.1.5. Изморозь 87
      5.1.6. Гололедица 88
      5.1.7. Ливни и грозы 89
      5.1.8. Град 91
   5.2. Термины, применяемые в прогнозах атмосферных явлений 93
   5.3. Прогноз гололёда (метод Р.А. Ягудина) 97
   5.4. Прогноз конвективных явлений (гроз, града и ливневых осадков) по методу Н.И. Глушковой и В.Ф. Лапчевой 100

6. ПРОГНОЗ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА 111
6.1. Термины, применяемые в прогнозах ветра 112
6.2. Прогноз направления ветра 114
6.3. Прогноз скорости ветра (метод В.М. Ярковой) 115

7. ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА 119
7.1. Термины, применяемые в прогнозах температуры воздуха 119
7.2. Прогноз минимальной и максимальной температуры воздуха (метод М.К. Гиляровой) 121
7.3. Уточнение значений минимальной и максимальной температуры воздуха 136

8. ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ 137
8.1. Общие положения 137
8.2. Показатели успешности краткосрочных прогнозов погоды 137
8.3. Оценка успешности прогнозов метеорологических величин и атмосферных явлений по пункту и территории 140
8.3.1. Оценка успешности прогнозов температуры воздуха 140
8.3.2. Оценка успешности прогнозов количества осадков 145
8.3.3. Оценка успешности прогнозов ветра 149
8.3.4. Оценка успешности прогнозов явлений погоды……..... 151
8.4. Расчёт показателей успешности прогнозов погоды по пункту и территории..... 152
8.5. Оценка успешности штормовых предупреждений 152

9. ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (ГИС) МЕТЕО И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ В ОПЕРАТИВНОЙ РАБОТЕ СИНОПТИКА 158
9.1. Назначение и основные возможности ГИС Метео 158
9.2. Базы данных 162
9.3. Содержание ГИС Метео 165
9.4. Практическое использование ГИС Метео 173
9.5. Создание образца слайда и расписания..... 182
9.6. Анализ и прогноз погоды в оперативной работе синоптиков с использованием ГИС Метео 183
9.7. Описание условий погоды с использованием ГИС Метео 185

10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ 195
10.1. Сведения о метеорологических ИСЗ 196
10.2. Доступ к спутниковой информации 197
10.3. Особенности дешифрирования космических снимков 198
10.4. Дешифрирование снимков облачности 201
10.4.1. Граница и количество облаков 201

10.4.2. Форма облачности 202
10.5. Облачность воздушных масс, атмосферных фронтов и струйных течений..... 204
10.5.1. Облачность холодных воздушных масс 205
10.5.2. Облачность тёплых воздушных масс 205
10.5.3. Облачность холодных фронтов 205
10.5.4. Облачность тёплых фронтов 208
10.5.5. Облачность фронтов окклюзии 208
10.5.6. Предфронтальные и зафронтальные линии шквалов 209
10.5.7. Облачность стационарного фронта 209
10.5.8. Облачность струйных течений 209
10.6. Облачность циклонов и антициклонов..... 211
10.6.1. Облачность фронтальных циклонов в различных стадиях их развития 211
10.6.2. Облачность местных циклонов 213
10.6.3. Облачность антициклонов 213
10.7. Оценка эволюции и перемещения облачных образований 214
10.7.1. Признаки формирования, эволюции и перемещения облачной полосы атмосферного фронта 214
10.7.2. Признаки циклогенеза 215
10.7.3. Эволюция и перемещение циклонов 218
10.8. Использование данных спутниковых наблюдений для анализа и прогноза условий погоды 220
10.8.1. Осадки 220
10.8.2. Туман 224
10.8.3. Ветер 225
10.9. Карта нефанализа 226

11. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ПОГОДЫ 229
11.1. Радиолокационная структура облаков..... 230
11.2. Анализ зон осадков и опасных явлений 233
11.2.1. Негрозоопасные облака и ливни 233
11.2.2. Грозоопасные облака и ливневый дождь с грозой 233
11.2.3. Градоопасные облака и грозовые облака с градом 235
11.3. Структура облачных систем атмосферных фронтов 236
11.3.1. Облачность холодного фронта 236
11.3.2. Облачность тёплого фронта 238
11.3.3. Облачность фронта окклюзии 238
11.3.4. Эволюция атмосферных фронтов 239

12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ 240
12.1. Глобальные и региональные гидродинамические модели прогнозов погоды 241
12.1.1. Глобальная спектральная модель Гидрометцентра России T169L31 241
12.1.2. Глобальная гидродинамическая полулагранжева модель ПЛАВ 2008 243
12.1.3. Региональная гидродинамическая модель краткосрочного прогноза метеорологических полей и осадков 246
12.1.4. Ансамблевые прогнозы погоды 247
12.2. Мезомасштабные модели прогноза погоды 248
12.2.1. Мезомасштабная модель WRF 248
12.2.2. Мезомасштабная модель COSMO-RU 251
12.3. Получение и визуализация гидрометеорологической информации 253
12.3.1. Программный комплекс обработки гидрометеорологической информации 253
12.3.2. Программный комплекс визуализации данных 258
12.3.3. Выходная продукция гидродинамических моделей прогноза погоды 261

ЛИТЕРАТУРА 263

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АМСГ – авиационная метеорологическая станция гражданская
АМЦ – авиационный метеорологический центр
АРМ – автоматизированное рабочее место
АТ – абсолютная топография изобарической поверхности
БД – база данных
ВМО – Всемирная метеорологическая организация
ВФЗ – высотная фронтальная зона
ГАМЦ – гражданский авиационный метеорологический центр
ГВЦ – главный вычислительный центр
ГИС – географическая информационная система
ИК – инфракрасный
ИСЗ – искусственный спутник Земли
КМЯ – комплекс метеорологических явлений
ЛАССО – локальные автоматизированные средства общей системы обработки оперативных данных
ММЦ – мировой метеорологический центр
МРЛ – метеорологический радиолокатор
МЧС России – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
НИГМИ – научно-исследовательский гидрометеорологический институт
НИЦ – научно-исследовательский центр
ОТ – относительная топография
ОЯ – опасное метеорологическое явление
ПВФЗ – планетарная высотная фронтальная зона
ПСД – платформа сбора данных (измерительные станции, расположенные на суше, воде и в воздухе)
Росгидромет – Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
РЦПОД – региональный центр приёма и обработки данных
ССПД – система сбора и передачи данных
ТВ – телевизионный

УГМС – Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ – Федеральное государственное бюджетное учреждение

ЦГМС – областной (республиканский, краевой, окружной и др.) центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ЦГМС-Р – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями

ЦГМС-РСМЦ – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды

ЧС – чрезвычайная ситуация

UTC – Universal Coordinated Time, всемирное координированное время, – стандарт, по которому общество регулирует часы и время. Среднее время по Гринвичу (***GMT***) может рассматриваться как эквивалент всемирного координированного времени. Встречается синоним – всеобщее скоординированное время

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозы погоды относятся к категории наиболее сложных научных задач, поскольку изменения погоды зависят от многих факторов.

Научно-технический прогресс и развитие вычислительной техники постепенно расширяют возможности и точность объективных методов прогноза погоды, к которым относятся численные методы прогноза погоды.

Основой современной технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды является оперативный численный прогноз погоды на базе гидродинамических моделей атмосферы и автоматизированных технологий сбора и обработки гидрометеорологической информации.

Однако гидродинамические модели атмосферы, лежащие в основе численных прогнозов погоды, прогнозируют не локальные, а осреднённые по ячейкам расчётной координатной сетки значения метеорологических параметров, т.е. дают «фоновые» прогнозы.

Современные гидродинамические модели позволяют прогнозировать поля практически всех метеорологических величин: атмосферного давления у поверхности земли, геопотенциала главных изобарических поверхностей, вертикальных скоростей, ветра, температуры, влажности и других характеристик с заблаговременностью несколько суток.

Однако в настоящее время численные методы прогноза погоды не способны прогнозировать с приемлемым уровнем успешности целый ряд явлений погоды, включая опасные явления, которые имеют локальный характер и сложную природу образования.

Поэтому синоптики уточняют «фоновые» прогнозы и прогнозируют явления погоды с учётом локальных особенностей, используя при этом физико-статистический, синоптико-статистический, расчётный и синоптический методы, а также качественно-физические заключения об ожидаемом течении атмосферных процессов в данном регионе.

Кроме этого для краткосрочных прогнозов погоды дополнительно привлекаются снимки облачности с ИСЗ и данные радиолокационных наблюдений.

Комплексное использование всех существующих методов прогноза погоды, а также наличие опыта работы и знание местных особенностей возникновения опасных явлений погоды позволяют успешно разрабатывать прогнозы погоды.

Теоретическая подготовка в области комплексного анализа атмосферных процессов синоптического масштаба и составления краткосрочного прогноза погоды требует закрепления на практике.

Настоящее учебное пособие позволяет получить практические навыки в анализе синоптического положения и краткосрочном прогнозе погоды общего назначения. Оно даёт знания для приобретения квалификации, позволяющей самостоятельно работать в области краткосрочного прогнозирования погоды.

Пособие позволяет ознакомиться с процессом прогноза погоды на основе современных технологий (в частности ГИС Метео), включающих:

– мировую сеть метеорологических станций, ведущих непрерывные наблюдения за погодой у земной поверхности и на высотах до 30 км;

– математическое моделирование атмосферных процессов;

– компьютерные методы их реализации;

– глобальную информационную сеть Интернет.

Использование пособия в учебном процессе поможет студенту овладеть техникой синоптического анализа основных синоптических объектов, характеристик полей метеорологических величин, научиться давать анализ развития синоптических процессов и определяемых ими изменений погоды. Он сможет разрабатывать краткосрочный прогноз погоды общего назначения по области и городу, используя различные методы прогноза погоды в комплексе.

Учебное пособие позволяет решить несколько задач:

1) показать возможности современного программного комплекса ГИС Метео, позволяющего осуществлять оперативную работу

по анализу и прогнозу погоды с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) синоптика по «безбумажной технологии»;

2) получить представление о применении гидродинамических моделей атмосферы, снимков ИСЗ и радиолокационной информации для краткосрочных прогнозов погоды;

3) объединить в одном издании региональные методы прогноза условий погоды, применяемые ФГБУ «Томский ЦГМС» в оперативной работе. До этого момента региональные методы прогноза различных метеорологических величин и атмосферных явлений на юге Западной Сибири были изложены только в методических указаниях и рекомендациях, имеющихся лишь в подразделениях Росгидромета, и недоступны для студентов в период учёбы.

Учебное пособие составлено с учётом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования к уровню подготовки выпускников по направлению «Гидрометеорология» (квалификация «бакалавр», «магистр»).

В пособии введение, главы 7–12 написаны Л.М. Севастьяновой, главы 1–6 – совместно А.С. Ахметшиной и Л.М. Севастьяновой.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИНОПТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ И КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗАХ ПОГОДЫ

1.1. Синоптический анализ. Основные понятия и определения

Синоптический анализ – исследование условий погоды и погодообразующих атмосферных процессов над большой территорией с помощью синоптических карт и разного рода вспомогательных средств, т.е. синоптическим методом.

Синоптический метод – метод анализа и прогноза атмосферных макропроцессов и условий погоды на больших пространствах с помощью синоптических карт и вспомогательных к ним средств (аэрологические диаграммы, вертикальные разрезы и пр.).

Синоптическая карта (карта погоды) – географическая карта, на которую цифрами и условными знаками (символами) нанесены результаты одновременных метеорологических или аэрологических наблюдений во многих пунктах, т.е. сведения о погоде в этих пунктах.

Приземные карты погоды – синоптические карты, составляемые по результатам метеорологических наблюдений.

Высотные карты погоды – синоптические карты, составляемые по результатам аэрологических наблюдений.

Основные синоптические карты – приземные синоптические карты, которые составляют по данным метеорологических наблюдений в основные сроки (00, 06, 12 и 18 ч *UTC*). Масштаб карт $1 : 15 \cdot 10^6$ (в 1 см 150 км).

Дополнительные карты погоды, или кольцевые («кольцовки») – приземные синоптические карты, которые составляют по

данным метеорологических наблюдений в промежуточные или дополнительные сроки (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 ч *UTC*). Масштаб карт 1 : $5 \cdot 10^6$ (в 1 см 50 км). Такие карты охватывают меньшую территорию, чем основные, и используются преимущественно для уточнения прогнозов на несколько часов вперёд, в частности для обеспечения работы авиации.

Вспомогательные карты (приземные и высотные) – карты опасных и других явлений погоды, карты экстремальных (минимальных и максимальных) температур, осадков, снежного покрова и состояния почвы, карты влажности, карты максимальных скоростей ветра, карты тропопаузы и т.п. Они не являются обязательными.

Барическая топография – распределение геопотенциалов (геопотенциальных высот) той или иной изобарической поверхности над уровнем моря (абсолютная барическая топография) или над уровнем другой ниже лежащей изобарической поверхности (относительная барическая топография).

Геопотенциал – потенциальная энергия единицы массы относительно уровня моря, определяемая положением этой массы в поле силы тяжести. Геопотенциал в некоторой точке атмосферы численно равен работе, которую нужно затратить, чтобы поднять единицу массы в поле силы тяжести от уровня моря в данную точку.

Геопотенциальная высота – геопотенциал в данной точке или на данной изобарической поверхности, выраженный в геопотенциальных метрах (гп м).

Геопотенциальный метр – единица геопотенциала. Геопотенциальный метр равен работе против силы тяжести, которую надо затратить, чтобы поднять единицу массы на высоту 1 м при ускорении силы тяжести 9,8 м/с^2.

Карты барической топографии – карты топографии изобарических поверхностей. Их составляют обычно два раза в сутки (за 00 и 12 ч *UTC*). Масштаб карт 1 : $15 \cdot 10^6$.

Карты абсолютной топографии (АТ) – карты барической топографии, которые содержат сведения о высоте той или иной изо-

барической поверхности $p = const$ над уровнем моря и о ряде характеристик погоды на уровне данной изобарической поверхности. Наиболее часто составляют карты АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300 и АТ-200. Карты абсолютной топографии позволяют анализировать барическое поле на высотах, вблизи которых располагаются соответствующие изобарические поверхности, а также поля других метеорологических элементов (ветра, температуры).

Карты относительной топографии (ОТ) – карты барической топографии, которые содержат сведения о высоте той или иной изобарической поверхности над уровнем другой ниже лежащей изобарической поверхности. Как правило, составляют карты $ОТ_{1000}^{500}$.

Синоптические процессы – атмосферные макромасштабные процессы, изучаемые с помощью синоптических карт и являющиеся причиной режима погоды на больших географических пространствах. Это возникновение, перемещение и изменение свойств воздушных масс, атмосферных фронтов; возникновение, развитие и перемещение циклонов и антициклонов.

Синоптическое положение (синоптическая ситуация) – совокупность взаимно связанных воздушных масс, фронтов, циклонов и антициклонов над некоторым участком земной поверхности, определяющая состояние погоды на этом участке.

Барическое образование (барическая система) – крупномасштабная область в барическом поле атмосферы с определенным типичным распределением атмосферного давления.

Циклон – атмосферное возмущение с пониженным давлением воздуха (минимальное давление в центре) и с циркуляцией воздуха вокруг центра против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке – в южном.

Антициклон – крупномасштабный атмосферный вихрь, в котором частицы воздуха перемещаются по часовой стрелке в северном полушарии, против часовой стрелки – в южном. Антициклон – область повышенного атмосферного давления с замкнутыми концентрическими изобарами с максимальным давлением в центре.

Вторичный циклон (частный) – небольшое циклоническое образование на периферии более обширного глубокого (основного) циклона, образовавшегося ранее.

Вторичный антициклон (отрог, ядро) – часть антициклона, более или менее обособленная от основного антициклона, иногда с отдельным центром высокого давления, однако более слабым, чем основной центр.

Барический гребень – вытянутая область относительно повышенного давления с незамкнутыми изобарами (изогипсами).

Барическая ложбина – вытянутая область относительно пониженного давления с незамкнутыми изобарами. Существует несколько видов барических ложбин: *U*-образная, *V*-образная, замаскированная.

Перемычка (полоса) повышенного давления – область повышенного давления с растянутыми незамкнутыми изобарами между двумя областями пониженного давления.

Перемычка (полоса) пониженного давления – область пониженного давления с растянутыми незамкнутыми изобарами между двумя областями повышенного давления.

Седловина – область барического поля между двумя областями высокого давления и двумя областями низкого давления, расположенными в шахматном порядке. Точка в центре седловины называется точкой седловины.

Блокирующий антициклон – обширный высокий и малоподвижный антициклон, нарушающий господствующий в умеренных широтах западный перенос на длительное время (от нескольких суток до нескольких недель).

Атмосферный фронт – узкая переходная зона между соседними воздушными массами, характеризующаяся резкими изменениями метеорологических величин.

Тёплый фронт – атмосферный фронт, перемещающийся в сторону холодной воздушной массы.

Холодный фронт – атмосферный фронт, перемещающийся в сторону тёплой воздушной массы.

Стационарный (малоподвижный) фронт – атмосферный фронт, существенно не меняющий своего положения.

Фронт окклюзии – сомкнутый фронт, который образуется в результате смыкания холодного и тёплого атмосферных фронтов.

Струйное течение – сильный узкий поток с почти горизонтальной осью в верхней тропосфере или в стратосфере, характеризующийся большими вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра и одним или более максимумами скорости.

Ось струйного течения – линия тока с максимальной скоростью ветра в пределах данной высотной фронтальной зоны.

Высотная фронтальная зона (ВФЗ) – переходная область между высоким тёплым антициклоном (гребнем) и высоким холодным циклоном (ложбиной) в средней или верхней тропосфере, обнаруживаемая по сгущению изогипс на картах абсолютной и относительной топографии. Для ВФЗ характерны повышенные значения горизонтальных градиентов температуры и давления.

Планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ) – высотная фронтальная зона, имеющая большое протяжение (вокруг всего полушария) в умеренных или субтропических широтах.

Воздушная масса – большой объём воздуха в тропосфере, соизмеримый с большими частями материков и океанов, обладающий некоторыми общими свойствами и определённым типом стратификации.

Тёплая воздушная масса – воздушная масса, движущаяся в более холодную среду, т.е. в более высокие широты (с более низкой температурой лучистого равновесия) и (или) на более холодную подстилающую поверхность.

Холодная воздушная масса – воздушная масса, движущаяся в более тёплую среду, т.е. в более низкие широты (с более высокой температурой лучистого равновесия) и на более тёплую подстилающую поверхность.

Устойчивая воздушная масса – воздушная масса, обладающая в нижних сотнях метров устойчивой стратификацией, т.е. малыми вертикальными градиентами температуры.

Неустойчивая воздушная масса – воздушная масса, обладающая в нижней тропосфере неустойчивой стратификацией, т.е. вертикальными градиентами температуры выше сухоадиабатических (или близкими к сухоадиабатическим) до уровня конденсации и выше влажно-адиабатических над уровнем конденсации.

Трансформация воздушной массы (относительная) – постепенное изменение свойств воздушной массы при её перемещении вследствие изменения условий подстилающей поверхности.

Трансформация воздушной массы (абсолютная) – изменение свойств воздушной массы настолько коренное, что воздушная масса, меняя свой географический тип, превращается в воздушную массу другого основного типа.

Стадии развития циклона – в цикле жизни циклона от возникновения до исчезновения можно выделить следующие стадии его развития:

– начальная стадия – от момента возникновения до появления первой замкнутой изобары на приземной карте;

– стадия молодого циклона – от момента оформления циклона до начала окклюдирования;

– стадия максимального развития – от начала окклюдирования до начала заполнения;

– стадия заполнения – от момента начала заполнения до полного исчезновения на приземной карте.

Стадии развития антициклона – цикл жизни антициклона принято разделять на следующие стадии развития:

– стадия возникновения и молодого антициклона – антициклон у поверхности земли имеет вид отрога, возникшего в тылу циклона за холодным фронтом, или может быть оформлен одной замкнутой изобарой;

– стадия максимального развития – антициклон на приземной карте очерчивается несколькими изобарами и достигает наибольшей интенсивности развития;

– стадия разрушения – сокращается количество замкнутых изобар на приземной карте и занимаемая антициклоном площадь. Стадия разрушения определяется от начала падения давления в

центре антициклона до полного его исчезновения на приземной карте.

Регенерация антициклона – усиление заново антициклона, уже начавшего ослабевать (возрастание давления в центре, увеличение площади и пр.).

Регенерация циклона – вторичное углубление циклона, уже начавшего заполняться (после окклюдирования).

Эволюция циклона, антициклона, фронта – последовательное изменение свойств данного объекта.

1.2. Прогноз погоды. Основные определения

Прогноз погоды – составление научно обоснованных предположений о будущем состоянии погоды.

Краткосрочный прогноз погоды – прогноз метеорологических величин и явлений погоды на период от 12 до 72 ч (3 сут).

Прогноз погоды общего назначения (пользования) – прогноз погоды, публикуемый для общего сведения и не имеющий определённой специфики.

Период действия прогноза погоды (срок прогноза) – промежуток времени, на который составляется прогноз погоды.

Заблаговременность прогноза погоды – временной интервал между временем составления прогноза и началом срока его реализации.

Региональный прогноз – прогноз погоды по определённой области, административной или географической.

Погода – непрерывно меняющееся состояние атмосферы над любым пунктом или районом земного шара. Она в данном месте в данный момент времени характеризуется совокупностью значений метеорологических величин и атмосферных явлений.

Условия погоды – характер погоды в данном месте или в районе в определённый момент или промежуток времени, описанный количественно (метеорологическими величинами) или качественно.

Метеорологические элементы – общее название для ряда характеристик состояния воздуха и некоторых атмосферных процессов. К метеорологическим элементам относят: атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, ветер, облачность, количество и вид осадков, туманы, метели, грозы и др.

Метеорологические величины – количественные характеристики состояния атмосферы, которые получают в результате непосредственных наблюдений на сети метеорологических станций. К ним относятся: температура воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, количество осадков, характеристики влажности воздуха и др.

Атмосферные явления – физические явления в атмосфере, которые визуально наблюдаются на метеорологической станции и в её окрестностях. К ним относят: туман, грозу, метель, шквал, пыльную бурю, гололёд, росу, иней и др.

Опасные метеорологические явления (ОЯ) – природные процессы и явления, возникающие в атмосфере и (или) у поверхности земли, которые по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности оказывают или могут оказать поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду.

Комплекс метеорологических явлений (КМЯ) – сочетание метеорологических явлений, каждое из которых по интенсивности не достигает критерия отдельного ОЯ, но близко к нему.

Штормовое предупреждение – информация о прогнозируемом ОЯ.

Заблаговременность штормового предупреждения – время от момента передачи предупреждения до момента возникновения ОЯ.

Штормовое оповещение – информация о начавшемся ОЯ.

Оценка успешности прогнозов погоды (штормовых предупреждений) – расчёт количественных показателей успешности прогнозов, характеризующих связь между соответствующими выборками прогнозов (штормовых предупреждений) и наблюдений.

Абсолютная ошибка (точность) прогноза метеорологической величины – разность между прогностическим значением метеорологической величины и фактически наблюдавшимся её значением.

Оправдываемость прогнозов погоды – степень соответствия прогнозируемых метеорологических величин и явлений погоды фактически наблюдавшимся.

Оправдываемость штормовых предупреждений – степень соответствия прогнозируемых характеристик ОЯ фактически наблюдавшимся явлениям (значениям метеорологических величин).

Обложные осадки – длительные, достаточно равномерной интенсивности осадки в виде дождя или снега, одновременно выпадающие на значительной площади из слоисто-дождевых и высокослоистых облаков.

Морось – атмосферные осадки в виде очень мелких капель, выпадающие из слоистых, реже слоисто-кучевых облаков.

Метель – перенос снега ветром над поверхностью земли. Различают три вида метели:

– *общая метель* возникает при выпадении снега и ветре 7 м/с и более;

– *низовая метель* представляет собой перенос сухого, ранее выпавшего снега, поднимаемого с поверхности земли до высоты несколько метров ветром от 10–12 м/с;

– *позёмок* представляет собой перенос сухого, ранее выпавшего снега в тонком слое, непосредственно прилегающем к поверхности земли. Возникает обычно при скорости ветра, превышающей 5 м/с.

Туман – помутнение приземного слоя воздуха из-за наличия в нём взвешенных капель воды, ледяных кристаллов или их смеси, при котором горизонтальная дальность видимости становится менее 1 км хотя бы в одном направлении.

Дымка – слабое помутнение воздуха у поверхности земли, вызываемое рассеянием света на взвешенных мельчайших капельках воды или кристалликах льда. Видимость при дымке от 1 до 10 км.

Ливневые осадки – осадки большой интенсивности, но малопродолжительные, выпадающие из кучево-дождевых облаков как в жидком, так и в твёрдом виде (снег, мокрый снег, крупа, град).

Гроза – комплексное атмосферное явление, необходимой частью которого являются многократные электрические разряды (молнии) между облаками или между облаком и землёй, сопровождающиеся звуковым явлением – *громом*.

Град – осадки, выпадающие в тёплое время года из мощных кучево-дождевых облаков в виде частичек плотного льда различных размеров (диаметр от 5 мм до 20 см).

Гололёд – слой плотного льда, нарастающего на поверхности земли и на предметах в результате замерзания капель переохлаждённого дождя или мороси.

Гололедица – лёд на земной поверхности, образовавшийся после оттепели или дождя в результате наступления похолодания, а также вследствие замерзания мокрого снега, дождя или мороси от соприкосновения с сильно охлаждённой поверхностью.

Изморозь – отложение льда на ветвях деревьев, проводах и т.п. при тумане в результате сублимации водяного пара (*кристаллическая изморозь*) или намерзания капель переохлаждённого тумана (*зернистая изморозь*).

Шквал – резкое усиление ветра у поверхности земли в течение короткого времени, сопровождающееся изменением его направления. Скорость ветра при шквале нередко превышает 20–30 м/с, продолжительность явления обычно несколько минут.

2. РАЗРАБОТКА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

2.1. Содержание краткосрочного прогноза погоды общего назначения и основные этапы его подготовки

2.1.1. *Прогноз погоды общего назначения* (пользования) – прогноз погоды, публикуемый для общего сведения и не имеющий определённой специфики.

Краткосрочные прогнозы погоды общего назначения составляют на период от 12 до 72 ч.

Прогнозы погоды составляют по *пункту и территории ответственности*. Под территорией ответственности следует понимать территорию субъекта Российской Федерации (республики, края, области, округа и т.д.) или её часть, обслуживаемую ЦГМС-РСМЦ, ЦГМС-Р, ЦГМС; под пунктом – территорию населённого пункта (центра субъекта Российской Федерации).

Краткосрочные прогнозы погоды на сроки до 72 ч составляют ежедневно до 12 ч местного времени. Конкретное время составления прогнозов устанавливают межрегиональные территориальные органы, ФГБУ УГМС. Прогнозы публикуют в ежедневном гидрометеорологическом бюллетене (ЕГМБ) и распространяют через средства массовой информации и другие средства связи.

Прогнозы погоды на сутки уточняют *полусуточным прогнозом* на текущий день. Если в уточнении нет необходимости, то формулировку суточного прогноза погоды повторяют в полусуточном прогнозе на день.

Полусуточный прогноз погоды составляют не позднее 7 ч местного времени и распространяют по согласованным схемам обслуживания.

Прогноз погоды на сутки составляют раздельно на *ночь* (с 12 до 00 ч *UTC) и день* (с 00 до 12 ч *UTC* следующих суток). Если характер погоды в течение прогнозируемого периода ожидается однородным, то допускается прогноз погоды на сутки давать общим текстом. Период действия прогноза погоды на ночь и день ограничивается временем утреннего и вечернего измерения осадков.

Прогноз погоды *на последующие двое суток* составляют по пункту и по территории.

Прогноз погоды на последующие двое суток составляют для каждых суток раздельно (с указанием даты). Если характер погоды в течение последующих двух суток ожидается однородным, то разрешается составлять объединенный прогноз погоды (прогноз погоды на последующие двое суток).

Для детализации времени суток следует использовать его характеристики: утро, первая половина дня, вторая половина дня, вечер, первая половина ночи, вторая половина ночи (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Характеристики времени суток

Характеристика	Период, ч (время местное)
Утро	С 05 до 10
Первая половина дня	С 10 до 13
Вторая половина дня	С 13 до 17
Вечер	С 17 до 22
Первая половина ночи	С 22 до 01
Вторая половина ночи	С 01 до 05

Прогноз погоды на сутки и полусуточный прогноз погоды для территории и пункта передают, как правило, общим текстом. При этом в прогнозе температуры воздуха для населённого пункта и для территории применяют разные градации. Если погода предполагается различной, то прогноз составляют для территории и для пункта отдельно.

Если предполагается, что в некоторых частях территории прогнозируемые гидрометеорологические величины и явления будут

значительно различаться, то рекомендуется выделить эти части, использовав характеристики географического положения (запад, юг, северная половина, центральные районы, правобережье, прибрежные районы, пригороды и т.д.), а также особенности рельефа (пониженные места, низины, предгорья, перевалы и т.д.).

Детализация прогноза по территории или пункту с использованием дополнительной градации и терминов «в отдельных районах области, края, республики, города» или «местами» допускается, как правило, при наличии влияния (воздействия) атмосферных процессов (явлений) мезометеорологического масштаба:

– ливневых осадков, гроз, града, шквала, связанных с развитием интенсивной конвекции;

– туманов и температуры воздуха (включая заморозки в воздухе и на почве), обусловленных влиянием особенностей рельефа местности или радиационными факторами.

С целью учёта влияния радиационных факторов допускается детализация прогноза температуры воздуха с использованием дополнительной градации и терминов «при прояснениях», «при натекании облаков».

Использование в прогнозе погоды терминов «местами» или «в отдельных районах» подразумевает, что ожидаемое явление погоды или значение метеорологической величины будет подтверждено данными наблюдений не более чем 50% станций, находящихся на обслуживаемой территории.

Не допускается применять термины «местами» и «в отдельных районах» к прогнозу отсутствия осадков и явлений погоды.

Наличие условий возникновения смерчей характеризуют терминами «имеется опасность возникновения (формирования) смерчей» или «имеется опасность возникновения (формирования) смерча над морем и выхода его на сушу».

При наличии методик вероятностного прогноза явлений погоды их вероятность разрешается указывать в процентах.

В краткосрочных прогнозах погоды общего назначения указывают следующие сведения:

– общую характеристику облачности;

– указание на возможность выпадения осадков, их вид и интенсивность;

– атмосферные явления;

– направление и скорость ветра;

– значение минимальной температуры воздуха ночью и максимальной температуры днём.

Дополнительно в прогнозе погоды иногда указывают тенденцию изменения давления.

В прогнозах погоды общего назначения применяют термины и градации, приведённые в «Наставлении по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» (2009 г.).

Примеры

1. Прогноз погоды по Томской области и г. Томску с 19 ч местного времени 06.07.2009 г. до 19 ч 07.07.2009 г.

По области и городу ночью и днём переменная облачность. Временами дожди, грозы. Ветер западный, 6–11 м/с, при грозах усиление до 16 м/с. Температура воздуха ночью: по области +7…+12°С, по городу +9…+11°С. Температура днём: по области +15…+20 °С, по городу +16…+18°С.

2. Прогноз погоды с 19 ч 11.04.2007 г. до 19 ч 12.04.2007 г.

По Томской области ночью и днём переменная облачность. В отдельных районах осадки. Ветер западный, 3–8 м/с, с усилением до 11–16 м/с. Температура ночью +3…–2°С, при прояснениях –5…–10°С. Температура днём +3…+8°С, по северу +3…–2°С.

По Томску ночью и днём переменная облачность, без осадков. Ветер западный, 6–11 м/с. Температура ночью –1…+1°С. Температура днём +6…+8°С.

2.1.2. *Основу информационной базы* для подготовки синоптиками краткосрочных прогнозов погоды должен составлять информационный минимум согласно «Базовым требованиям к технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды» (2009 г.).

Компоненты информационного минимума для подготовки краткосрочных прогнозов погоды:

– карты приземной фактической погоды с фронтальным анализом (далее – карты) за последний и предшествующие основные сроки синоптических наблюдений.

Масштаб карт должен обеспечивать достаточную степень детализации прогнозов. С другой стороны, отображаемый на картах регион должен быть достаточно обширен для анализа эволюции существенных для прогноза погодообразующих структур;

– высотные карты, построенные на основе результатов объективного анализа полей метеорологических параметров за последний и предшествующие сроки наблюдений:

а) высота изобарических поверхностей 700 и 500 гПа;

б) температура и влажность воздуха на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа;

– карты гидродинамических прогнозов мирового метеорологического центра (ММЦ) и региональных специализированных метеорологических центров (РСМЦ) соответствующих заблаговременностей:

а) давление на уровне моря;

б) температура и влажность воздуха на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа;

в) высота изобарических поверхностей 700 и 500 гПа.

В составе информационного минимума должно быть обеспечено поступление оперативного численного прогноза погоды Росгидромета:

– экстренная информация об опасных природных явлениях со станций штормового кольца и от ближайших оперативно-прогностических организаций;

– результаты последнего аэрологического зондирования ближайшего или территориально наиболее представительного в данной синоптической ситуации пункта радиозондирования (аэрологическая диаграмма);

– карты минимальных и максимальных значений приземной температуры воздуха и полусуточных сумм осадков за прошедшие сутки.

2.1.3. *Основные этапы* типового процесса подготовки краткосрочного прогноза погоды:

– анализ текущей синоптической ситуации;

– экстраполяция погодообразующих процессов во времени и пространстве;

– подготовка прогноза в терминах элементов и явлений погоды.

Первый этап – анализ текущей синоптической ситуации. Задачей данного этапа является установление происхождения и общего характера текущих атмосферных процессов, определяющих погодные условия по региону обслуживания, и выявление особенностей текущей типовой ситуации.

Анализ текущей синоптической ситуации должен включать в себя фронтальный анализ полей метеорологических параметров.

Рекомендуемый порядок анализа текущих атмосферных процессов: от крупных масштабов – к детализации. На фоне крупномасштабных процессов развиваются процессы среднего масштаба (мезомасштаба), которые в основном определяют условия погоды в конкретной местности.

Пространственная область анализа должна включать регион обслуживания и прилегающие территории. Размеры прилегающих территорий определяются заблаговременностью прогноза.

Продолжительность рассматриваемой предыстории атмосферных процессов должна соответствовать их характерным временным масштабам.

Второй этап – экстраполяция погодообразующих процессов во времени и пространстве. Задача данного этапа – оценка положения и степени развития основных значимых для подготовки прогноза погодообразующих структур (фронтальных разделов, циклонов, антициклонов, термобарических гребней и ложбин) на момент прогноза.

Основным методом экстраполяции развития погодообразующих структур во времени и пространстве в современной технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды является численный прогноз полей метеорологических параметров на базе гидродинамических моделей циркуляции атмосферы.

В зависимости от качества объективной прогностической продукции может быть целесообразным её использование параллельно с «ручной» синоптической экстраполяцией погодообразующих процессов на основе последовательности предшествующих фактических карт погоды, спутниковых снимков и т.д.

Третий этап – подготовка прогноза в терминах элементов и явлений погоды.

Задачи и содержание работ данного этапа:

– определение интервалов наиболее вероятных значений прогнозируемых метеорологических параметров для заданного пункта или территории на основе применения расчётных методов, учёта местных особенностей, суточного хода, структуры и особенностей жизненного цикла прогнозируемых явлений погоды;

– оценка возможности возникновения и интенсивности опасных метеорологических явлений;

– формулирование текста окончательного прогноза погоды.

2.1.4. Развитие численных методов прогноза постепенно трансформирует *роль специалиста-прогнозиста* в общей технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды.

В современной технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды акцент должен быть сделан на тех функциях специалиста-прогнозиста, которые плохо поддаются полной формализации и, соответственно, автоматизации. Одна из важных функций специалиста-прогнозиста – обобщение разнородной по содержанию и форме представления информации:

– данных различных видов фактических карт погоды и прогностических полей метеорологических параметров, выпущенных различными прогностическими центрами;

– спутниковой информации;

– результатов выполненных специалистом-прогнозистом расчётов на основе объективных методов прогноза;

– климатической информации для района прогноза;

– результатов станционных наблюдений;

– результатов высотного зондирования и т.д.

Комплексный подход к анализу разнородной метеорологической информации – один из важнейших методологических принципов её экспертной оценки и интерпретации.

Как правило, комплексное использование нескольких видов актуальной информации способствует уменьшению ошибок прогноза. При этом каждый вид используемой информации имеет свои преимущества, недостатки и технологические особенности.

Рекомендуемая практика коллективного обсуждения прогноза при подготовке его несколькими специалистами также является разновидностью обобщения различных источников информации и способствует выработке более объективного варианта прогноза. Кроме этого, важными функциями специалиста-прогнозиста являются:

– интерпретация численных прогнозов в терминах явлений и параметров приземной погоды, и в первую очередь оценка возможности возникновения и интенсивности опасных явлений и резких изменений погоды;

– оценка влияния локальных физико-географических особенностей района прогноза на эволюцию погодообразующих структур.

Развитие методов и технологий численных прогнозов погоды определяет такие качественно новые аналитические функции специалиста-прогнозиста, как выявление и учёт особенностей систематических ошибок численных прогнозов погоды для региона прогноза.

2.1.5. *Для комплексного использования* данных наблюдений и численной прогностической информации прогнозист должен иметь возможность визуализировать её в удобном виде и свободно оперировать ею.

Многие функции специалиста-прогнозиста могут быть реализованы более эффективно с помощью специализированных автоматизированных рабочих мест.

Развивающиеся новые технологии со временем способны существенно расширить возможности краткосрочного прогноза погоды и в значительной степени трансформировать процесс его подготовки.

2.2. Порядок разработки краткосрочного прогноза погоды

2.2.1. Прогноз погоды общего назначения в обучающих целях может разрабатываться на основе следующих материалов:

– синоптических карт, поступающих из УГМС в режиме реального времени;

– информации из оперативных баз данных ГИС Метео за предыдущие сутки и из архива синоптических данных по северному полушарию;

– прогностической информации по гидродинамическим моделям атмосферы из сети Internet.

Для составления прогноза погоды общего назначения необходимы следующие материалы:

– приземная синоптическая карта («Анализ приземный») за срок 00 ч *UTC*;

– кольцевая синоптическая карта («Кольцовка») за тот же срок;

– карты барической топографии АТ-925, АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-400, АТ-300, АТ-200, ОТ_{1000}^{500} за тот же срок;

– карта минимальных температур и осадков;

– карты прогностических вертикальных скоростей на 24 и 36 ч;

– прогностические приземные карты («Прогноз приземный») на 24 и 36 ч.

Для уточнения прогноза погоды применяют следующие карты:

– приземная синоптическая карта («Анализ приземный») за срок 12 ч *UTC*;

– кольцевая синоптическая карта («Кольцовка») за тот же срок;

– карты барической топографии АТ-925, АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-400, АТ-300, АТ-200, ОТ_{1000}^{500} за тот же срок;

– карта максимальных температур и осадков.

Дополнительно для прогноза погоды и его уточнения могут быть использованы следующие материалы:

– прогностические карты барической топографии;

– карты особых явлений погоды;

– карты полей температуры;

– карты полей осадков;

– спутниковые снимки;

– данные метеорологического радиолокатора (МРЛ) и др.

Для учёта истории развития синоптических процессов используют синоптические карты и вспомогательные материалы за предшествующие сутки.

2.2.2. Разработка краткосрочного прогноза погоды производится в следующей последовательности:

– анализ синоптических процессов в регионе прогноза и на окружающей территории. Для этого используют приземную синоптическую карту, карты барической топографии за срок 00 ч *UTC*;

– оценка изменения положения и эволюции барических образований, термобарического поля по картам будущего поля давления, геопотенциала и температуры на 1–3 сут вперёд, полученные численными методами прогноза;

– построение путей воздушных частиц на 24 и 36 ч по картам АТ-700 или АТ-500 за срок 00 ч *UTC* текущих суток. В результате определяют начальные точки пути, откуда придёт воздушная частица через 24 и 36 ч в пункт прогноза;

– предварительный прогноз погоды синоптическим методом. Для этой цели осуществляют перенос начальных точек траекторий

с карты АТ-700 или АТ-500 на приземную карту за срок 00 ч *UTC* текущих суток. В этих точках и по траекториям определяют прогностические характеристики погоды (с учётом поправок на эволюцию барических образований, атмосферных фронтов, трансформацию воздушных масс и суточный ход);

– прогноз погоды региональными методами (физико-статистическими, расчётными и др.). Региональные методы прогноза метеорологических величин и атмосферных явлений позволяют учитывать местные особенности региона прогноза;

– прогноз облачности, зон моросящих осадков, направления ветра, ряда атмосферных явлений, который осуществляется синоптическим методом;

– составление текстов краткосрочных прогнозов погоды общего назначения на ближайшую ночь и предстоящий день по области и по городу. Окончательный прогноз погоды (прогноз облачности, осадков, атмосферных явлений, ветра, температуры воздуха) на основе использования синоптического и региональных методов прогноза метеорологических величин и атмосферных явлений;

– разработка краткосрочного прогноза погоды с использованием ГИС Метео;

– использование прогностической информации, полученной по гидродинамическим моделям атмосферы;

– обобщение результатов разработки прогнозов погоды, полученных по различным методам и моделям.

2.2.3. При разработке прогноза погоды по территории и пункту необходимо выполнить следующие виды работ:

– анализ истории развития синоптических процессов на основе приземных карт погоды, кольцевых карт, карт барической топографии за предшествующие даты и за текущие сутки;

– синоптический анализ карт погоды за 00 ч *UTC* текущих суток, обзор синоптических процессов и условий погоды над Европой и рассматриваемой территорией (по синоптическим картам за срок 00 ч *UTC* текущих суток);

– уточнение прогноза синоптического положения над рассматриваемой территорией на следующие сутки по прогностическим приземным картам («Прогноз приземный») на 24 и 36 ч;

– выявление барических образований, атмосферных фронтов, которые будут определять погоду на рассматриваемой территории и в пункте в ближайшую ночь и предстоящий день по прогностическим приземным картам («Прогноз приземный») на 24 и 36 ч;

– обработка кольцевых карт погоды («кольцовок»);

– проведение изотерм на картах АТ-850;

– «подъём» приземной карты, выделение на ней изаллобарических очагов;

– предварительный прогноз условий погоды по рассматриваемой территории и в пункте на ближайшую ночь (24 ч) и на следующий день (36 ч) синоптическим методом (по траектории) по исходным картам за 00 ч *UTC*;

– уточнение условий погоды по рассматриваемой территории и в пункте (исходные карты за 12 ч *UTC*);

– прогноз метеорологических величин и атмосферных явлений по рассматриваемой территории и в пункте региональными методами прогноза на ближайшую ночь и следующий день;

– анализ и прогноз погоды на ближайшую ночь и следующий день с помощью ГИС Метео;

– сопоставление краткосрочных прогнозов погоды, полученных по разным методам и гидродинамическим моделям атмосферы;

– разбор не оправдавшихся прогнозов погоды;

– оценка успешности прогнозов погоды.

2.3. Обзор синоптических процессов и условий погоды

Исходными материалами являются: приземная карта и карты барической топографии АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300, ОТ_{1000}^{500} за срок 00 ч *UTC*.

Обзор начинают с характеристики основного процесса, определяющего условия погоды в данный момент на обширной территории. После этого дают характеристику эволюции барических образований, изаллобарических очагов, фронтальных разделов, воздушных масс и условий погоды. Обзор синоптических процессов и условий погоды представляют в следующей последовательности:

1) характеристика основного процесса, определяющего погоду в данный момент на обширной территории;

2) географическое положение барических центров, обширность занимаемой территории, число замкнутых изобар;

3) величина экстремального давления в барическом центре;

4) направление и скорость перемещения барических центров (расстояние, делённое на время: S / 24 ч; S определяют за период от 00 ч предыдущих суток до 00 ч текущих суток. Масштаб карты $1 : 15 \cdot 10^6$ (в 1 см 150 км);

5) эволюция барических образований за последние сутки;

6) стадии развития барических образований;

7) положение изаллобарических очагов по отношению к центру барического образования (в передней, тыловой частях), их эволюция, а также соотношение между абсолютными значениями барических тенденций в центрах областей роста и падения давления;

8) вертикальная мощность барических образований:

а) если приземные, то какие барические системы располагаются над ними на высоте;

б) если высокие, то до какой высоты они распространяются. Оценить наклон высотной оси (указать направление наклона по восьми румбам или ось квазивертикальна);

9) термическая структура барического образования. Адвекция температуры в передней и тыловой частях барического образования (см. ОТ_{1000}^{500}, АТ-850, АТ-700);

10) типы воздушных масс, их термодинамическая характеристика, степень трансформации;

11) наличие атмосферных фронтов. Их положение на синоптической карте;

12) положение ВФЗ (ориентация) и её интенсивность в °С на 1000 км (по $ОТ_{1000}^{500}$). Наличие струйного течения (по карте максимального ветра или АТ-300);

13) степень выраженности атмосферных фронтов:

а) у поверхности земли (контрасты температуры, облачность, атмосферные явления, скорость и направление ветра в зоне фронта);

б) на высотах (контраст температуры, дефицит точки росы в зоне фронта, сходимость ветра на АТ-850, АТ-700);

14) характеристика условий погоды в барических образованиях (облачность: вид, количество, преобладающая высота, занимаемая площадь; осадки: вид, интенсивность; атмосферные явления). Если есть различия в разных частях барического образования, то описать особенности условий погоды отдельно для каждой его части (сектора).

Пример

Обзор синоптических процессов и условий погоды над Западной Сибирью за срок 00 ч *UTC* 10 ноября 2008 г. (см. рис. 2.1).

Основным барическим образованием, определяющим погодные условия за срок 00 ч *UTC* над северной и центральной частью Западной Сибири, является обширный малоподвижный циклон, сформировавшийся на арктическом фронте. Центр циклона располагается в районе мыса Челюскин. Давление в центре циклона составляет 987,4 гПа. Циклон описан шестью замкнутыми изобарами. Он достиг стадии максимального развития и начинает заполняться, на что указывает рост давления в его центральной части (0,1 гПа за 3 ч).

В передней части циклона (перед тёплым фронтом) над Красноярским краем наблюдается изаллобарический очаг падения давления с минимальным падением 3,2 гПа за 3 ч. В тылу циклона (за

холодным фронтом) над островами Новая Земля отмечается рост давления, который достигает 2,7 гПа за 3 ч. Падение давления за последние сутки уменьшилось. Давление в тылу циклона заметно выросло. Однако по величине падение давления превышает рост давления в изаллобарической паре. Линия нулевой тенденции проходит вблизи центра циклона.

Этот циклон высокий: он хорошо развит на всех изобарических поверхностях до 300 гПа (он имеет замкнутую циркуляцию до высоты около 9 км). Высотная ось циклона квазивертикальна; контрасты температуры в его центральной части невелики, что указывает на начало окклюдирования циклона и постепенное последующее его заполнение.

Хорошо прослеживаются два основных атмосферных фронта: арктический и полярный. Они отделяют холодный арктический воздух, расположенный над Полярным бассейном и севером Сибири, от тёплого тропического воздуха, расположенного над югом Западной Сибири и Казахстаном. Фронтам соответствует высотная фронтальная зона на $ОТ_{1000}^{500}$ и струйное течение на высоте 7–9 км, которое направлено с Баренцева моря на Северный Урал, Красноярский край, затем на юго-запад. Максимальные скорости ветра на его оси достигают 180 км/ч.

Арктический фронт хорошо выражен у поверхности земли и на изобарической поверхности 850 гПа.

Тёплый фронт, являющийся участком главного арктического фронта, проходит через полуостров Таймыр до Хатанги, затем поворачивает на юго-запад и располагается западнее Красноярска и Абакана. Фронт хорошо выражен в полях всех метеорологических величин у земной поверхности и в поле температуры на поверхности 850 гПа.

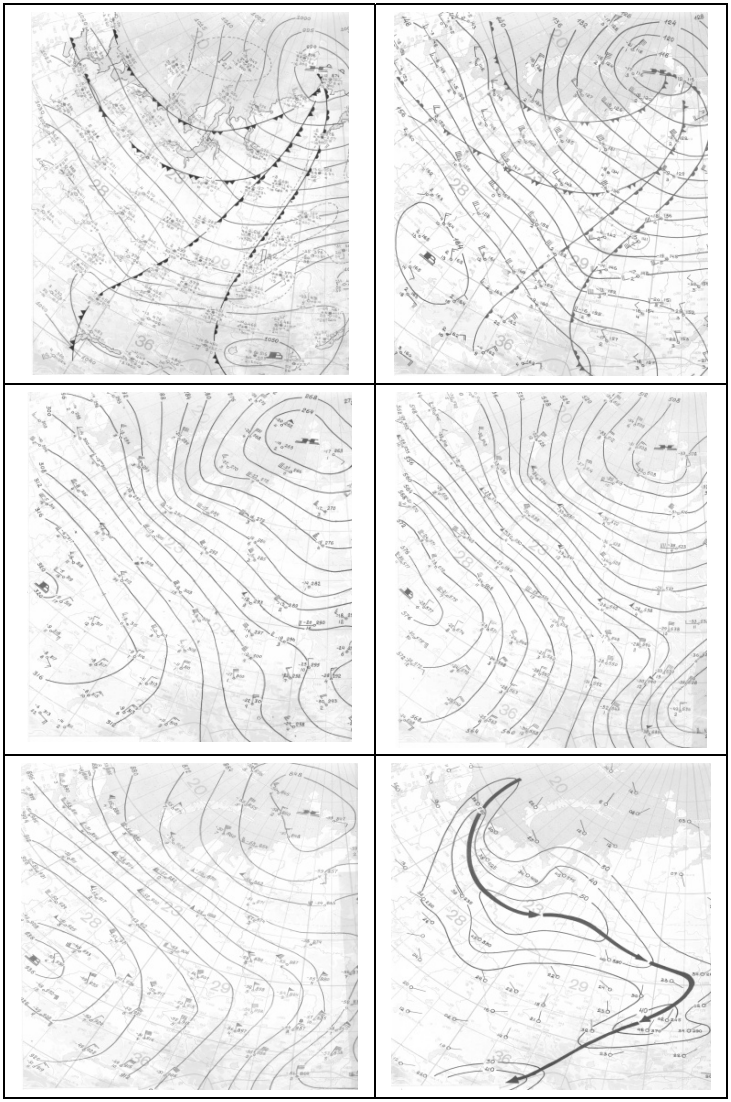


Рис. 2.1. Синоптические карты, используемые
для обзора синоптических процессов

В зоне тёплого фронта наблюдаются высоко-слоистые (As) и слоисто-дождевые облака (Ns). Высота облачности 200–600 м, видимость 6–8 км, с ухудшением до 1–2 км при снегопадах.

Скорость ветра составляет 3–5 м/с. С прохождением тёплого фронта направление ветра резко изменяется на юго-западное и отмечается сильное потепление до –8…–11°С. Контрасты температуры на фронте достигают у земли и на изобарической поверхности 850 гПа 10°С.

Холодный участок арктического фронта проходит по побережью Карского и Баренцева морей и определяет погодные условия этой территории. Холодный фронт хорошо выражен у поверхности земли и характеризуется комплексом признаков в полях различных метеорологических величин:

– при прохождении холодного фронта отмечается резкий поворот ветра вправо с западного перед фронтом на северо-западный за фронтом;

– значительное понижение температуры от –1…0°С перед фронтом до –7…–15°С за фронтом;

– за фронтом наблюдается хорошо выраженный очаг роста давления.

С холодным фронтом связана пасмурная погода. Перед холодным фронтом и за ним наблюдаются слоисто-кучевые облака (Sc), маскирующие систему облаков холодного фронта. За холодным фронтом вблизи центра циклона выпадает слабый непрерывный обложной снег. Местами отмечаются позёмки.

В тылу циклона за холодным фронтом в районе Амдермы и южной части островов Новая Земля наблюдаются кучево-дождевые облака (Cb) и ливневый снег в холодной неустойчивой воздушной массе. Скорость ветра достигает 10 м/с.

Кроме арктического фронта над Западной Сибирью проходит полярный фронт. Он хорошо прослеживается как у поверхности земли, так и на карте АТ-850. Он хорошо выражен в поле ветра и температуры.

Полярный фронт разделяет воздушные массы с положительными и отрицательными температурами. Перед тёплым участком фронта наблюдается температура воздуха до –10…–12°С, а в тёплом секторе – +2…+4°С. В зоне тёплого фронта выпадают осадки (преимущественно в виде мокрого снега), ухудшающие видимость до 2–4 км, наблюдается сплошная облачность высотой 100–200 м. Такие условия наиболее типичны при смещении тёплого воздуха на холодную подстилающую поверхность.

Над югом Западной Сибири располагается антициклон, центр которого с давлением 1051,5 гПа находится к юго-западу от озера Байкал. Положение его характерно для хорошо развитого Сибирского антициклона. Гребень антициклона направлен на Восточную Сибирь. Этот антициклон низкий. Как замкнутое барическое образование он прослеживается только в пограничном слое атмосферы и уже на изобарической поверхности 700 гПа (и выше) не имеет замкнутых изогипс.

У поверхности земли антициклон имеет три замкнутые изобары. На высотах ему соответствует барический гребень, который несколько смещён относительно приземного центра антициклона в сторону тёплого воздуха. В передней части антициклона наблюдается адвекция холода. В тыловой части (на юге Западной Сибири) – адвекция тепла. Арктический и полярный фронты проходят у поверхности земли по западной периферии антициклона.

В нижнем трёхкилометровом слое атмосферы наблюдается замедленное понижение температуры с высотой в Предбайкалье, что свидетельствует об устойчивости холодной воздушной массы.

В области антициклона наблюдается преимущественно пасмурная погода, в отдельных районах слабый снег, на западной периферии – ясная или малооблачная сухая погода, слабые ветры (до штиля). Отмечаются низкие температуры воздуха: –20…–25°С в центральной части антициклона, –7…–13°С в тылу антициклона, до –40°С в области отрога антициклона над Якутией.

2.4. Построение траекторий воздушных частиц

Построение прогностических траекторий воздушных частиц с заблаговременностью 12, 24 и 36 ч используют для определения района, откуда придёт воздушная масса в пункт прогноза.

По карте АТ-700 (летом по АТ-500) за исходный срок t_0 (00 ч *UTC*) производится построение траекторий в сторону, противоположную направлению изогипс в пункте прогноза.

Для этой цели используют градиентные линейки (рис. 2.2). С помощью нижней части градиентной линейки по расстоянию между изогипсами определяют скорость геострофического ветра (V, км/ч).

Линейку прикладывают нижней шкалой (V, км/ч) по нормали к изогипсам примерно в середине пути. По шкале (V, км/ч) между двумя изогипсами (в точке пересечения со второй изогипсой) определяют среднюю скорость $V_{ср}$. Затем определяют скорость переноса частицы $V_ч$ по правилу ведущего потока:

на АТ-700 $\quad V_ч = 0{,}8 \cdot V_{ср}$;

на АТ-500 $\quad V_ч = 0{,}6 \cdot V_{ср}$.

Далее определяют путь частицы за 12 ч (S_{12}) при заданной скорости переноса. Он численно равен скорости переноса частицы $V_ч$. Путь частицы за 24 ч равен $S_{24} = 2 \cdot S_{12}$; путь частицы за 36 ч равен $S_{36} = 3 \cdot S_{12}$.

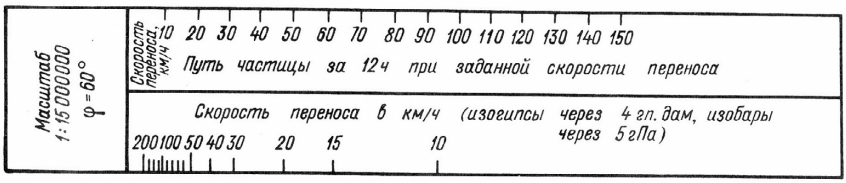


Рис. 2.2. Градиентная линейка для широты 60°

По верхней шкале линейки откладывают путь частицы от пункта прогноза в направлении, противоположном направлению изогипс, с учётом их изгиба. Пример построения траектории воздушной частицы по фактической карте АТ-700 приведён на рис. 2.3.

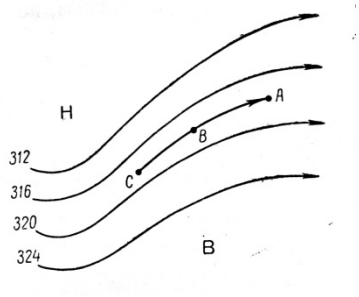


Рис. 2.3. Построение траектории частицы воздуха:
А – пункт прогноза; В – середина пути частицы;
С – начальная точка траектории

Таким способом находят начальные точки, откуда частица воздуха переместится в пункт прогноза за 12, 24 и 36 ч соответственно при отсутствии существенных изменений барического поля.

При построении прогностических траекторий воздушных частиц с учётом изменений барического поля для определения района, откуда придёт воздушная масса, используют прогностические карты и фактическую карту за исходный срок наблюдений t_0. Построение прогностических траекторий воздушных частиц при этом следует начинать с прогностических карт, имеющих самую большую заблаговременность, а затем использовать последовательные карты меньшей заблаговременности и фактическую карту. При прогнозе траекторий воздушных частиц с различной заблаговременностью используют прогностические и фактические карты АТ-700 (или АТ-500), относящиеся к следующим моментам времени:

– при прогнозе на 36 ч: (t_0+36), (t_0+24), (t_0+12), (t_0) ч;
– при прогнозе на 24 ч: (t_0+24), (t_0+12), (t_0) ч;
– при прогнозе на 12 ч: (t_0+12), (t_0) ч.

3. ПРОГНОЗ ОБЛАЧНОСТИ

3.1. Синоптические условия образования основных форм облаков

Главной методической основой прогноза облачности является учёт основных причин образования и эволюции облаков.

К основным формам *внутримассовой облачности* относятся слоистые (St), слоисто-кучевые (Sc), кучевые (Cu) и кучево-дождевые (Cb) облака.

St и Sc характерны для тёплых устойчивых воздушных масс. Над континентом они чаще образуются в холодную половину года; над морем – в тёплую.

Cu и Cb типичны для холодных неустойчивых воздушных масс. Над континентом они появляются преимущественно в тёплую половину года, над морем – в холодную.

Фронтальная облачность зависит от типа атмосферного фронта. Для тёплого фронта характерна система облаков: перистые – перисто-слоистые – высоко-слоистые – слоисто-дождевые (Ci – Cs – As – Ns). Под облаками As – Ns в зоне выпадающих обложных осадков наблюдаются облака слоистые разорванные (St fr) и кучевые разорванные плохой погоды (Cu fr). Вся система облаков простирается перед линией тёплого фронта на расстоянии 700–900 км (рис. 3.1). Возможны некоторые видоизменения системы облаков тёплого фронта (рис. 3.2). На рис. 3.3 приведён пример тёплого фронта на приземной карте.

На медленно перемещающихся холодных фронтах первого рода облачная система, если не развита конвекция, представляет собой зеркальное отражение системы облаков тёплого фронта.

Горизонтальные размеры системы облаков Ns – As – Cs значительно меньше (около 100 км). Она расположена позади линии фронта. Перед фронтом могут наблюдаться Cb (рис. 3.4).

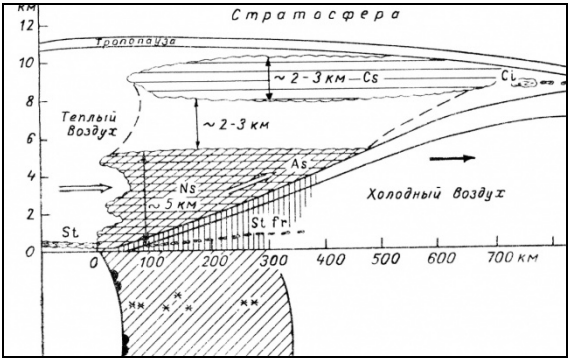


Рис. 3.1. Типичная схема облачности тёплого фронта

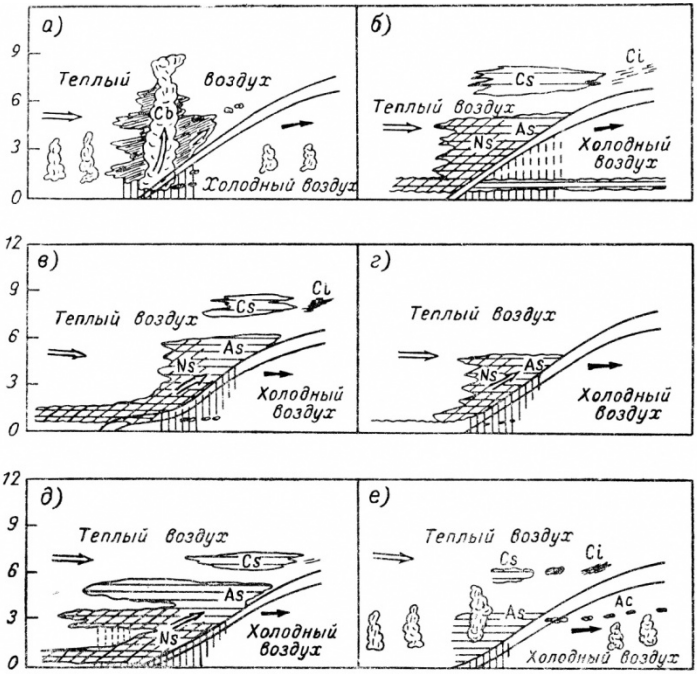


Рис. 3.2. Некоторые видоизменения системы облаков тёплого фронта

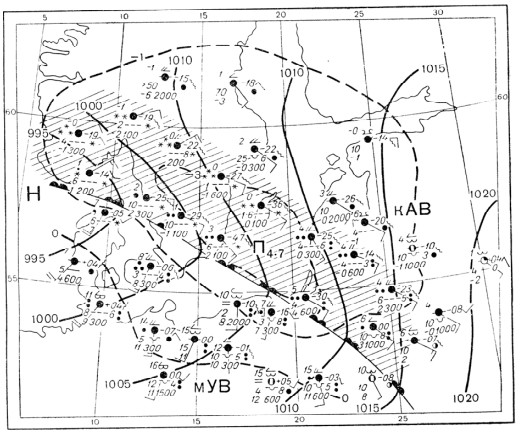


Рис. 3.3. Тёплый фронт на приземной карте

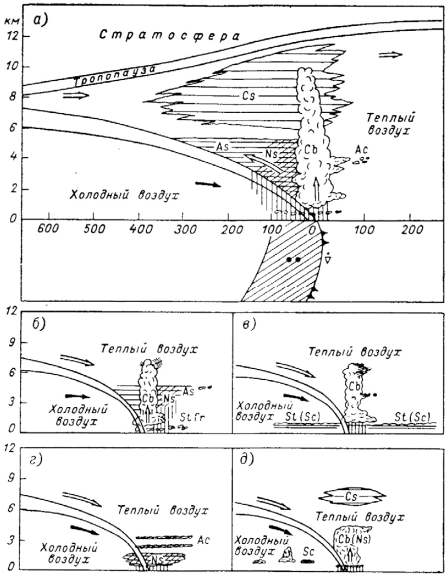


Рис. 3.4. Типичная схема облаков медленно перемещающегося холодного фронта первого рода (*а*) и некоторые её изменения (*б–д*)

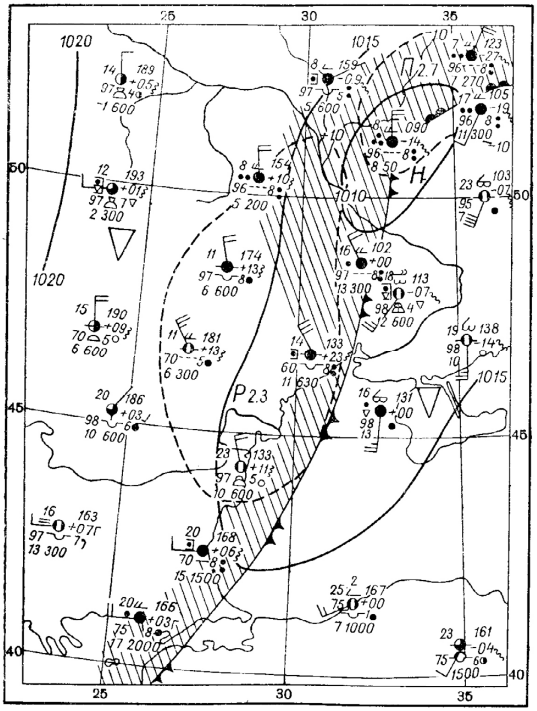


Рис. 3.5. Холодный фронт первого рода на приземной карте

На рис. 3.5 приведён пример холодного фронта первого рода на приземной карте.

Перед холодными фронтами второго рода узкой полосой (шириной 50–100 км) образуются Cb, связанные с интенсивной конвекцией (рис. 3.6). При растекании Cb могут образоваться в небольшом количестве перистые (Ci), перисто-кучевые (Cc), высоко-кучевые (Ac) и слоисто-кучевые (Sc). На рис. 3.7 приведён пример холодного фронта второго рода на приземной карте.

Позади линии фронта, в более холодном воздухе, наблюдаются нисходящие движения, поэтому после прохождения холодного фронта второго рода наступает быстрое прояснение.

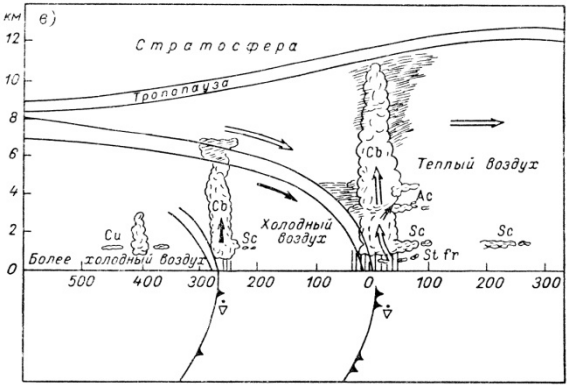


Рис. 3.6. Типичная схема облачности быстро перемещающегося холодного фронта второго рода

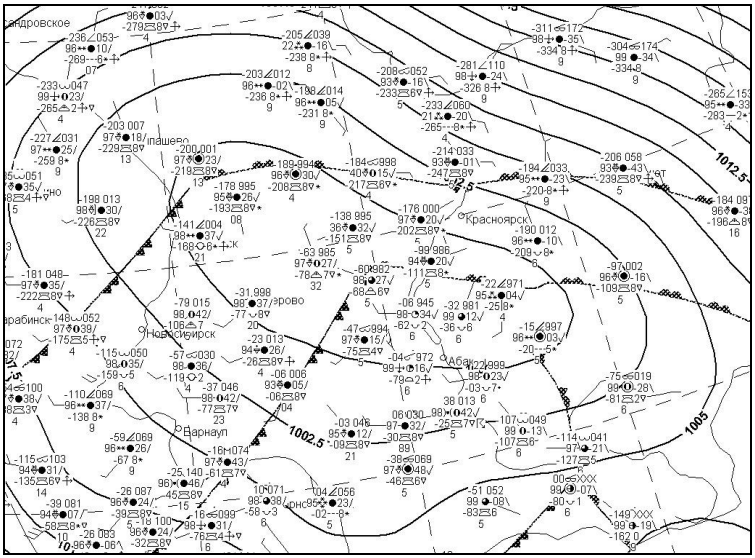


Рис. 3.7. Пример приземной синоптической карты. Холодный фронт второго рода

Вторичные холодные фронты имеют облачную систему, сходную с системой облаков холодного фронта второго рода, но мощность облаков меньше.

Фронты окклюзии образуются при смыкании тёплого и холодного фронтов, при этом сливаются и их облачные системы (рис. 3.8).

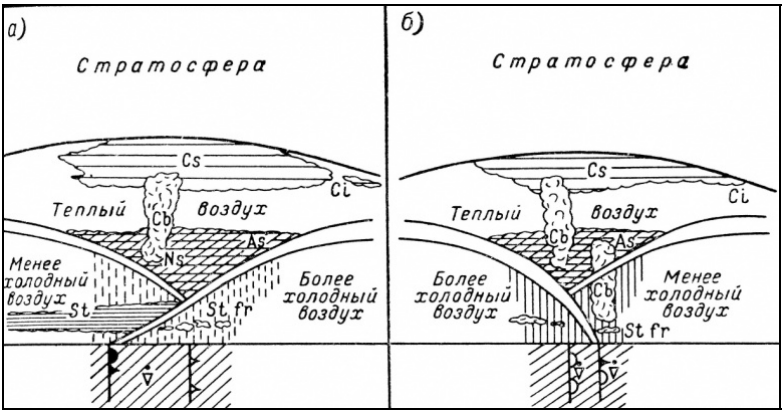


Рис. 3.8. Типичная схема облаков тёплого (*а*) и холодного (*б*) фронтов окклюзии

Облачные системы располагаются по обе стороны от фронта окклюзии. Вблизи линии фронта окклюзии могут сохраняться Cb, так что при прохождении фронта окклюзии Ns сменяются Cb, а затем вновь Ns.

В облачных системах фронтов окклюзии часто наблюдаются Ac или Ac в сочетании с As.

По мере удаления точки окклюзии от центра циклона процесс облакообразования ослабевает. Облачная система расслоена и имеет разрывы в заполняющихся барических ложбинах.

В реальных условиях возможны существенные *отклонения* от типичных схем облаков (рис. 3.9), в зависимости от влажности тёплого воздуха, от интенсивности восходящих движений на различных уровнях, от стадии развития циклона и его глубины, от сезона года, от географических особенностей района и т.д.

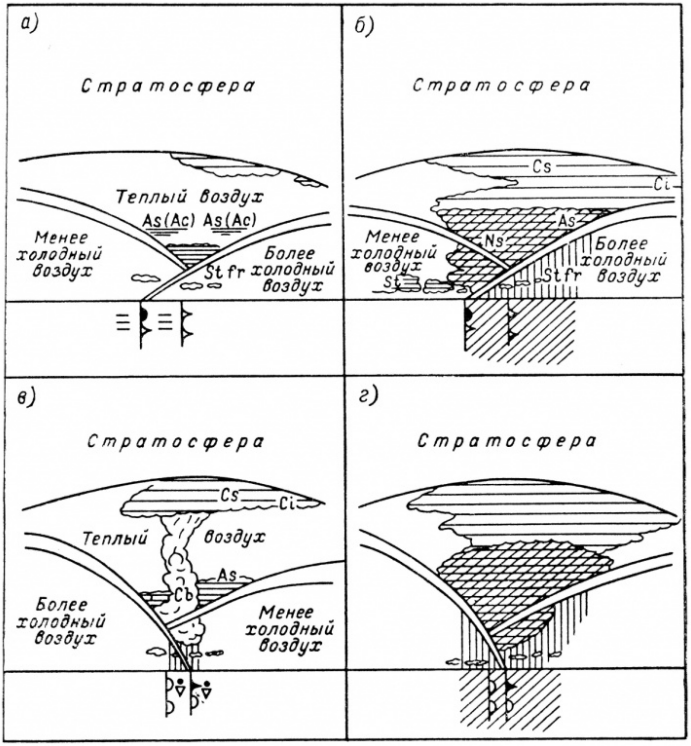


Рис. 3.9. Некоторые видоизменения систем облаков фронтов окклюзии

На рис. 3.10 и 3.11 приведены примеры тёплого и холодного фронтов окклюзии на приземной карте.

Ясная погода наблюдается в центральных частях антициклонов и на осях гребней. Ночью, в сухих воздушных массах при нисходящих движениях ясная погода может отмечаться и в тылу циклонов.

Летом ясная погода может быть в гиперболических точках деформационных полей (точках седловин) и в тёплых секторах циклонов. Ясная погода прогнозируется в тех случаях, когда уровень конденсации лежит высоко, и особенно тогда, когда ниже его имеется слой инверсии.

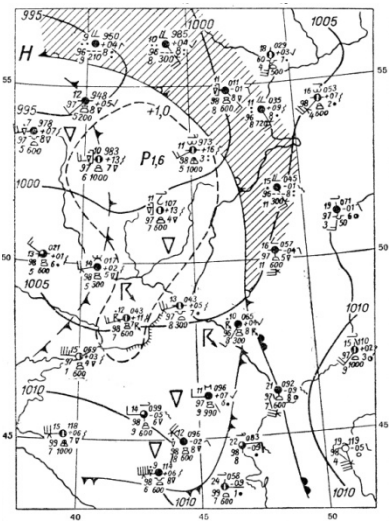


Рис. 3.10. Холодный фронт окклюзии на приземной карте

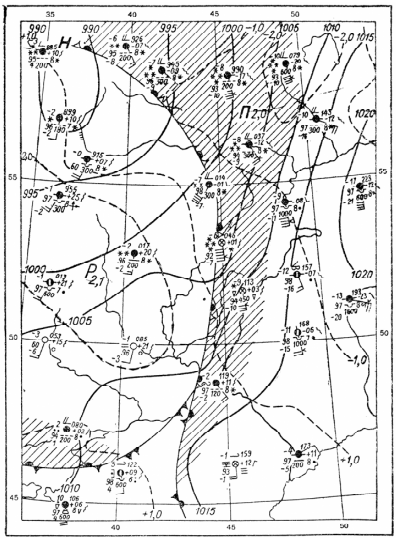


Рис. 3.11. Тёплый фронт окклюзии на приземной карте

Небольшая облачность (кучевые облака днём, слоисто-кучевые и высоко-кучевые – в любое время суток, перистые в любом количестве) наблюдаются при тех же условиях, что и ясная погода, но при большем влагосодержании.

Переменная (меняющаяся) облачность кучевых, кучево-дождевых, слоисто-кучевых и высоко-кучевых форм характерна для неустойчивых воздушных масс и размытых фронтов.

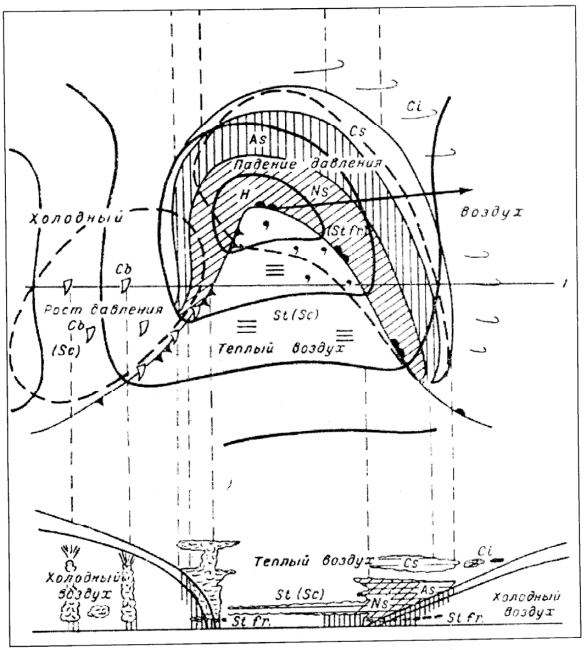


Рис. 3.12. Условия погоды в различных частях молодого циклона; внизу разрез вдоль линии *I*

Летом эта облачность может наблюдаться в антициклонах, размытых полях седловин и в тылу циклонов; зимой – в тылу циклонов.

Резко меняющаяся облачность кучево-дождевой формы характерна для тыловых частей циклонов при прохождении здесь вторичных фронтов, если холодный воздух стратифицирован неустойчиво.

Иногда кучево-дождевые облака растекаются в слоисто-кучевые. В этом случае прогнозируется *облачная погода с прояснениями*.

Значительная облачность слоистых, слоисто-дождевых, слоисто-кучевых и плотных высокослоистых форм в холодную половину года наблюдается перед тёплыми фронтами и фронтами окклюзии, в центральных частях и в тёплых секторах циклонов, в тыловой и центральной частях малоподвижных антициклонов, на северной периферии антициклонов. В тёплую половину года она отмечается перед тёплыми фронтами и в центральных частях циклонов. На рис. 3.12 приведены условия погоды в различных частях циклона.

3.2. Термины, применяемые в прогнозах облачности

Прогноз общего назначения включает в себя прогноз количества облаков словесной характеристикой. При этом употребляются специальные термины (Наставление по краткосрочным прогнозам погоды… 2009).

Термины, применяемые в прогнозах облачности, и соответствующие количественные характеристики приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Термины, применяемые в прогнозах облачности

Термин	Количество облаков
Ясно, ясная погода, малооблачно, небольшая облачность, малооблачная погода, солнечная погода	Любое количество облаков верхнего яруса или до 3 баллов облаков среднего и (или) нижнего яруса
Переменная (меняющаяся) облачность	От 1–3 до 4–7 баллов облаков нижнего или среднего яруса
Облачно с прояснениями, облачная погода с прояснениями	4–7 баллов облаков нижнего или среднего яруса или сочетание облаков среднего и нижнего яруса общим количеством до 7 баллов
Облачно, облачная погода, значительная облачность, пасмурно, пасмурная погода	8–10 баллов облаков нижнего яруса или плотных, непросвечивающих форм облаков среднего яруса

Если в течение полусуток ожидается значительное изменение количества облаков, допускается использовать две характеристики облачности из терминологии, приведённой в табл. 3.1, а также применять термин «уменьшение» или «увеличение».

Пример

Утром малооблачно, днём увеличение облачности до значительной.

3.3. Прогноз количества облаков

Исходными материалами для прогноза количества облаков являются приземная синоптическая карта, карты барической топографии за срок 00 ч *UTC* и прогностические приземные карты («Прогноз приземный») на 24 и 36 ч.

Прогноз облачности находится в тесной связи с прогнозом общей синоптической обстановки.

На синоптических картах определяют:

– барическое образование, обусловливающее погоду в районе прогноза;

– влияние атмосферного фронта на район прогноза;

– характеристику воздушной массы (устойчивая, неустойчивая) и её влагосодержание (влажная, сухая);

– влияние местных условий на формирование облачности.

Прогноз облачности сводится, в первую очередь, к определению того района, откуда в данный пункт придут воздушные массы, фронты или барические образования на следующие сутки. Для этого строят траектории перемещения частиц на срок прогноза (на 24 и 36 ч) обычным путём.

Количество облаков в начальной точке траектории и является первым приближением для прогноза. Затем в это первое приближение вносят уточнения, учитывающие изменения облачности в связи с трансформацией воздушной массы и суточным ходом разных форм облаков.

4. ПРОГНОЗ ОСАДКОВ

4.1. Синоптические условия образования осадков

В зависимости от процессов образования, размеров выпадающих частиц и длительности выпадения различают следующие типы осадков: моросящие, обложные и ливневые.

Моросящие осадки выпадают из слоистых (St) и слоисто-кучевых (Sc) облаков. Они характерны для тёплых устойчивых воздушных масс. Моросящие осадки чаще всего выпадают в тёплых секторах циклонов и в зоне размытых старых фронтов. Иногда морось отмечается также и в области антициклонов (чаще на периферии), сформированных в воздушной массе морского происхождения. Морось в основном наблюдается при температурах у поверхности земли, близких к 0°С, реже – при положительных температурах. При отрицательных температурах наблюдаются переохлаждённая морось или снежные зёрна. Обычно морось выпадает длительное время; её интенсивность небольшая (2–4 мм за 12 ч).

Обложные осадки выпадают из слоисто-дождевых облаков (Ns), иногда (и только в холодный период года) из плотных высокослоистых облаков (As). Образование зоны обложных осадков связано, как правило, с областями активных восходящих движений воздуха. Обычно зоны обложных осадков наблюдаются вблизи центра циклона, перед тёплыми фронтами, фронтами окклюзии по типу тёплых. Менее широкие зоны обложных осадков наблюдаются за холодными фронтами первого рода. Обложные осадки имеют интенсивность не более 14 мм за 12 ч. Обложные осадки могут выпадать как непрерывно, так и с перерывами от нескольких часов до нескольких дней.

Ливневые осадки выпадают из кучево-дождевых облаков (Cb). Они характерны для неустойчивых воздушных масс, холодных

фронтов и фронтов окклюзии по типу холодных, реже для тёплых фронтов. Более подробно синоптические условия образования ливневых осадков описаны в п. 5.1.7. Ливневые осадки кратковременны: от нескольких минут до 1–3 ч (иногда больше), в последнем случае они бывают чаще всего с перерывами. Интенсивность ливневых осадков зависит от их продолжительности. При продолжительности в 5 мин ливнем следует считать (по Э.Ю. Бергу) дождь со средней интенсивностью в 0,50 мм/мин, в 30 мин – 0,23 мм/мин, в 1 ч – 0,20 мм/мин.

Успешность прогноза обложных осадков во многом зависит от того, насколько точно дан прогноз эволюции и перемещения циклона и атмосферных фронтов. Углубление циклона и обострение фронта сопровождается расширением зоны обложных осадков.

Если область осадков первоначально связана со стационарным фронтом, то развитие волнового возмущения на нём приводит к расширению площади осадков перед тёплым фронтом и к увеличению их интенсивности. Интенсивность осадков тем больше, чем больше влажность воздушной массы и величина упорядоченных вертикальных движений.

Что касается количества осадков в опредёленном пункте при прохождении фронта, то оно зависит не только от интенсивности осадков, но и от скорости движения фронта. Чем медленнее проходит фронт над пунктом, тем больше сумма осадков.

Прогноз осадков тесно связан с прогнозом облачности различных форм, из которых выпадают соответствующие осадки. Однако прогноз осадков каждого типа имеет свои особенности.

Выпадение обложных осадков и фронтальных ливневых осадков отличается относительной устойчивостью во времени. Их можно предсказывать одновременно с прогнозом перемещения линии фронта, внося те или иные коррективы в связи с эволюцией фронта, суточным ходом облаков и осадков, влиянием орографии и других местных особенностей района.

Предсказание внутримассовых ливневых осадков связано с большими трудностями по нескольким причинам:

– облака, из которых ожидается их выпадение, часто ещё не существуют в момент составления прогноза;

– в связи с неточностями прогноза стратификации атмосферы;

– из-за локального характера выпадения этих осадков, поскольку в пунктах, удалённых друг от друга всего на несколько километров, характер погоды может быть различным.

Внутримассовые ливневые осадки наиболее подвержены местным влияниям и имеют большой суточный ход. Они могут прекращаться вечером (над сушей) и возобновляться на следующий день, если неустойчивость воздушной массы сохраняется.

Не меньшие трудности вызывает прогноз мороси. Если из Ns и Cb осадки выпадают всегда, за исключением редких случаев особой сухости нижнего слоя воздуха, когда осадки испаряются, не достигая поверхности земли, то из St и Sc осадки выпадают сравнительно редко. Поэтому из прогноза появления облаков St или Sc ещё не следует прогноз мороси.

В умеренных и высоких широтах основным условием выпадения осадков является наличие в облаке трёх фаз – водяного пара, капелек и ледяных элементов. Добавочными условиями являются большая вертикальная протяжённость облака и большие скорости вертикальных движений внутри облака, определяющие интенсивность выпадающих осадков.

4.2. Термины, применяемые в прогнозах осадков

В прогнозах погоды используют термины, характеризующие факт наличия или отсутствия осадков, при наличии осадков – их вид (фазовое состояние), количество и продолжительность.

Термины, применяемые в прогнозах осадков, и соответствующие им количественные характеристики для жидких и смешанных осадков приведены в табл. 4.1, для твёрдых осадков – в табл. 4.2.

Для более детальной характеристики ожидаемого распределения количества осадков по территории в прогнозе рекомендуется использовать дополнительные (как правило соседние) градации

количества осадков, допускается применять термины «местами», «в отдельных районах».

Не допускается применять термины «местами» и «в отдельных районах» к отсутствию осадков.

Таблица 4.1

Термины, применяемые в прогнозах жидких и смешанных осадков

Термин	Количество осадков за 12 ч, мм
Без осадков, сухая погода	–
Небольшой дождь, слабый дождь, морось, моросящие осадки, небольшие осадки	0,0–2
Дождь, дождливая погода, осадки, мокрый снег, дождь со снегом; снег, переходящий в дождь; дождь, переходящий в снег	3–14
Сильный дождь, ливневый дождь (ливень), сильные осадки, сильный мокрый снег, сильный дождь со снегом, сильный снег с дождём	15–49
Очень сильный дождь, очень сильные осадки, очень сильный мокрый снег, очень сильный дождь со снегом, очень сильный снег с дождём	≥ 50
Сильный ливень (сильные ливни)	≥ 30 мм за период ≤ 1 ч

Таблица 4.2

Термины, применяемые в прогнозах твёрдых осадков

Термин	Количество осадков за 12 ч, мм
Без осадков, сухая погода	–
Слабый снег, небольшой снег	0,0–1
Снег, снегопад	2–5
Сильный снег, сильный снегопад	6–19
Очень сильный снег, очень сильный снегопад	≥ 20

Примеры

1. Днём по территории края ожидаются сильные дожди, во второй половине дня на побережье – очень сильные.

2. Во второй половине дня по области ожидаются грозовые дожди, местами – сильные ливни.

Для характеристики вида осадков (жидкие, твёрдые, смешанные) применяют термины: «дождь», «снег», «осадки». Термин «осадки» можно применять только с обязательным дополнением одного из терминов, приведённых в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Термины, применяемые в прогнозах вида (фазового состояния) осадков

Термин	Характеристика осадков
Дождь со снегом	Дождь и снег одновременно, но преобладает дождь
Мокрый снег	Снег и дождь одновременно, но преобладает снег; тающий снег
Снег, переходящий в дождь	Сначала ожидается снег, а затем дождь
Дождь, переходящий в снег	Сначала ожидается дождь, а затем снег
Снег с дождём	Чередование дождя и снега с преобладанием снега

Для качественной характеристики продолжительности осадков рекомендуется применять термины, приведённые в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Термины, применяемые в прогнозах продолжительности осадков

Термин	Общая продолжительность осадков, ч
Кратковременный дождь, кратковременные дожди, кратковременный снег, кратковременный дождь со снегом, кратковременный мокрый снег, снег (мокрый снег) зарядами	≤ 3
Дождь, снег, мокрый снег, дождь со снегом, продолжительный дождь, продолжительный снег, продолжительный мокрый снег, продолжительный дождь со снегом, временами дождь, временами снег, временами дождь со снегом, временами мокрый снег	> 3

Для детализации времени начала (прекращения) осадков следует использовать характеристики времени суток, приведённые в табл. 2.1 (глава 2).

Если в прогнозах указана «небольшая облачность» или «малооблачная погода», то термин «без осадков» разрешается не использовать.

В прогнозах погоды для характеристики интенсивности осадков (дождя, снега, мокрого снега и т.д.) термин «очень сильный» применяют в том случае, если ожидают, что явление по интенсивности достигнет критериев опасного явления (ОЯ).

4.3. Общий прогноз осадков

Общий прогноз осадков осуществляется по следующей схеме.

1. Предсказывается появление, перемещение и эволюция облаков, дающих осадки, особенно фронтальных систем облаков, с которыми связано преобладающее число случаев выпадения осадков.

2. Предсказывается перемещение существующей зоны осадков, её расширение или сужение в зависимости от эволюции системы облаков, углубления или заполнения циклона, обострения или размывания фронта.

3. Предсказывается положение изотермы –10°С относительно верхней границы облаков. При достаточной вертикальной протяженности облаков и при температуре –10°С в облаках может начаться кристаллизация, т.е. они могут иметь облачные элементы в смешанной фазе и давать обложные осадки.

Вид осадков предсказывается с учётом ожидаемой температуры у поверхности земли и высоты изотермы 0°С над поверхностью земли. Эмпирически найдено, что при высоте изотермы 0°С более 500 м и температуре в приземном слое выше +3°С выпадает только дождь. При высоте изотермы 0°С менее 500 м и температуре в приземном слое ниже +3°С выпадает снег или мокрый снег.

Моросящие осадки выпадают преимущественно в холодное время года или в переходные сезоны, реже – в тёплое время года,

из низких слоистых облаков. Они образуются в тёплых устойчивых воздушных массах и в зонах размытых атмосферных фронтов.

Моросящие осадки чаще отмечаются при температуре около 0°С. При отрицательных температурах наблюдаются переохлаждённая морось или снежные зёрна.

Осадки в виде мороси возможны в том случае, когда высота верхней границы облаков не превышает уровень изотермы –10°С. Эти осадки формируются при трансформационном охлаждении воздуха, что имеет место при адвекции тепла. Для выпадения мороси вертикальные движения должны быть слабыми. При увеличении скорости вертикальных движений морось переходит в дождь.

Прогноз мороси основан на учёте перемещения уже существующей зоны осадков по ведущему потоку на поверхности 850 гПа и её эволюции. Перемещение зон моросящих осадков, связанных с тёплым сектором циклона, соответствует перемещению этого циклона. Если осадки наблюдаются на периферии антициклона, то перемещение их зоны происходит вместе с антициклоном и внутри него по направлению градиентного ветра.

При прогнозе мороси следует учитывать орографию местности и суточный ход осадков. Так, вероятность выпадения моросящих осадков на наветренных склонах гор и возвышенностей больше, чем на подветренных, и увеличивается над лесными и заболоченными участками местности. В суточном ходе максимум повторяемости моросящих осадков приходится на ночные часы, когда они могут усиливаться за счёт радиационного охлаждения, а минимум – на местный полдень.

Прогноз обложных осадков осуществляется одновременно с прогнозом перемещения центра циклона и фронтов, с которыми связаны эти осадки.

Прогноз обложных осадков и их интенсивности осуществляется как синоптическим, так и численными методами.

Ниже рассматриваются некоторые способы расчёта обложных осадков (разделы 4.4 и 4.5).

Прогноз ливневых осадков осуществляется одновременно с прогнозом перемещения неустойчивой воздушной массы или фронтов, с которыми связаны ливневые осадки. Способ расчёта этих осадков будет рассмотрен ниже (раздел 5.4).

Моросящие и обложные осадки часто усиливаются в ночные часы в результате добавочного радиационного охлаждения верхней границы облаков. Ливневые осадки над сушей выпадают преимущественно в дневные и вечерние часы, когда конвективные движения воздуха наиболее интенсивны.

4.4. Прогноз осадков холодного полугодия (метод М.П. Пономарёвой)

Осадки холодного полугодия обусловлены взаимодействием большого числа факторов. Наиболее существенными из них являются упорядоченные вертикальные движения, влажность и трансформация воздуха. Осадки в большинстве случаев связаны с деятельностью фронтов и циклонов, где вследствие наибольшей кривизны изобар развиваются наибольшие по величине вертикальные движения. Небольшие осадки (менее 2 мм) наблюдаются при незначительных нисходящих движениях (+30, +40 гПа / 12 ч). Такие явления имеют место в разрушающихся антициклонах, седловинах, гребнях.

Основное количество зимних осадков связано с прохождением фронтальных разделов (основных и вторичных) – 94%. Небольшое число случаев (около 6%) приходится на внутримассовые осадки.

Фронты окклюзии, как правило, сопровождаются осадками. Тёплые фронты вызывают осадки как при непосредственном прохождении, так и перед фронтом на расстоянии более 300 км. Холодные фронты сопровождаются осадками в основном на расстоянии менее 200 км от линии фронта – 89% случаев, и только в 11% случаев осадки наблюдались на расстоянии более 200 км.

Осадки интенсивностью более 3 мм наблюдаются при длительных синоптических процессах, благоприятных для образования и выпадения осадков. При этом продолжительность их 9 ч и более.

Исходными материалами для прогноза осадков холодного полугодия (с 1 октября по 30 апреля) являются приземная синоптическая карта, карты барической топографии АТ-850, АТ-700 за срок 00 ч *UTC*; прогностические карты вертикальных движений на 24 и 36 ч; приземные прогностические карты («Прогноз приземный») на 24 и 36 ч.

Для прогноза осадков используются данные о прогностических значениях следующих величин:

– дефицита точки росы (D_{850}, °С);

– вертикальных скоростей на изобарической поверхности 850 гПа (τ_{850}, гПа/12 ч);

– лапласиана приземного давления (Δp, гПа/(500 км)^2),

– разности температуры на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа (ΔT_{850}^{700}, °С);

– суммы дефицитов точки росы на этих же поверхностях ($\sum_{850}^{700} D$, °С).

Для прогноза осадков в холодное полугодие используют зависимости, приведённые на рис. 4.1–4.4.

Порядок расчёта:

1. По карте АТ-700 за 00 ч *UTC* обычным путём строят траектории воздушной частицы для пункта прогноза на 24 и 36 ч ($V = 0{,}8 \cdot V_{700}$).

2. На траектории определяют наименьшие значения дефицитов точки росы на поверхностях 850 гПа (D_{850}) и 700 гПа (D_{700}).

3. В точках с наименьшими дефицитами определяют значения температуры на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа (T_{850}, T_{700}) и массовой доли водяного пара (удельной влажности) (по значениям температуры точки росы T_d по табл. 4.5) на изобарической поверхности 850 гПа (q_{850}). Примечание: $T_d = T - D$.

Таблица 4.5

Определение массовой доли водяного пара (удельной влажности воздуха) *q* (‰ или г/кг) по температуре точки росы T_d (°С) на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа

T_d, °С	*q*, ‰ (г/кг)		T_d, °С	*q*, ‰ (г/кг)		T_d, °С	*q*, ‰ (г/кг)	
	850 гПа	700 гПа		850 гПа	700 гПа		850 гПа	700 гПа
–35	0,2	0,3	–15	1,4	1,7	5	6,4	7,7
–34	0,2	0,3	–14	1,5	1,8	6	6,9	8,3
–33	0,3	0,3	–13	1,6	2,0	7	7,3	9,0
–32	0,3	0,4	–12	1,8	2,2	8	7,8	9,6
–31	0,3	0,4	–11	1,9	2,4	9	8,4	10,3
–30	0,4	0,4	–10	2,1	2,5	10	9,0	11,0
–29	0,4	0,5	–9	2,2	2,7	11	9,6	11,7
–28	0,4	0,5	–8	2,4	3,0	12	10,3	12,7
–27	0,5	0,5	–7	2,6	3,2	13	11,3	13,4
–26	0,5	0,6	–6	2,8	3,5	14	11,7	14,5
–25	0,6	0,7	–5	3,0	3,7	15	12,4	15,4
–24	0,6	0,8	–4	3,3	4,0	16	13,3	16,4
–23	0,7	0,8	–3	3,5	4,5	17	14,2	17,5
–22	0,8	0,9	–2	3,8	4,7	18	15,1	18,7
–21	0,8	1,0	–1	4,2	5,0	19	16,1	20,0
–20	0,9	1,1	0	4,5	5,4	20	17,2	21,3
–19	1,0	1,2	1	4,7	5,8	21	18,4	–
–18	1,1	1,3	2	5,2	6,3	22	19,7	–
–17	1,2	1,4	3	5,6	6,7	23	20,9	–
–16	1,3	1,6	4	5,9	7,2	24	22,1	–

4. Находят разность температуры на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа:

$$\Delta T_{850}^{700} = T_{850} - T_{700}. \qquad (4.1)$$

5. Вычисляют сумму дефицитов точки росы на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа:

$$\sum_{850}^{700} D = D_{850} + D_{700}. \qquad (4.2)$$

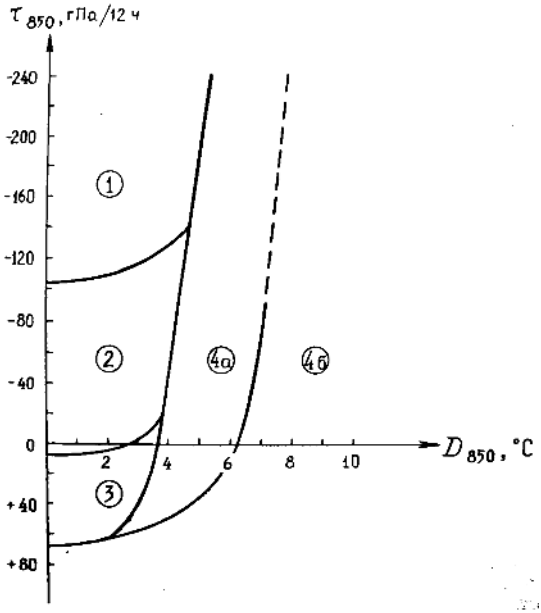


Рис. 4.1. Вероятность осадков в зависимости от вертикальных скоростей на изобарической поверхности 850 гПа (τ_{850}, гПа/12 ч) и дефицита точки росы (D_{850}, °C) на ней: *1* – значительные осадки – 47%, осадки – 40%; *2* – значительные осадки – 19%, осадки – 41%, слабые осадки – 40%; *3* – слабые осадки – 95%; *4а* – без существенных осадков; *4б* – без осадков

6. По прогностической карте вертикальных скоростей на 24 (36) ч определяют значение τ_{850} в пункте прогноза.

7. По приземной карте будущего положения («Прогноз приземный») на 24 (36) ч рассчитывают лапласиан приземного давления Δp в пункте прогноза по формуле:

$$\Delta p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - 4p_0, \tag{4.3}$$

или

$$\Delta p = (p_1 - p_0) + (p_2 - p_0) + (p_3 - p_0) + (p_4 - p_0), \tag{4.4}$$

где p_0 – давление в пункте прогноза, гПа; p_1, p_2, p_3, p_4 – давление (гПа) в четырёх точках, каждая из которых удалена от пункта прогноза на 500 км по широте и долготе.

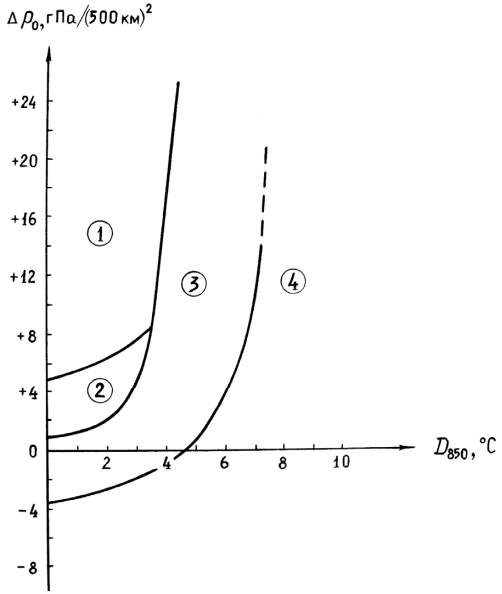


Рис. 4.2. Вероятность осадков в зависимости от лапласиана давления (Δp, гПа/(500 км)^2) и дефицита точки росы на АТ-850 (D_{850}, °С): *1* – значительные осадки – 24%, осадки – 43%; *2* – значительные осадки – 19%, осадки – 33%, слабые осадки – 48%; *3* – слабые осадки – 50%; *4* – без осадков

8. Расчет вероятности осадков производится с помощью эмпирических графиков (рис. 4.1–4.4).

Кроме факта осадков графики позволяют предсказать интенсивность, по градациям: значительные осадки (> 3 мм), осадки (1–3 мм) и слабые осадки (< 1 мм).

Однако следует отметить, что термины и градации, предложенные в методе прогноза осадков, необходимо приводить в соответствие с терминами, применяемыми при прогнозе осадков

(табл. 4.1, 4.2), согласно требованиям (Наставление по краткосрочным прогнозам погоды… 2009).

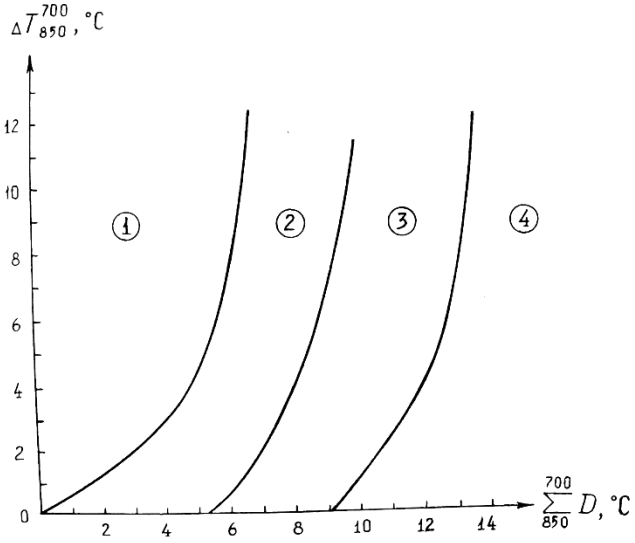


Рис. 4.3. Вероятность осадков в зависимости от разности температур на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа и суммы дефицитов точки росы на них: *1* – значительные осадки – 22%, осадки – 42%, слабые осадки – 36%; *2* – осадки – 38%, слабые осадки – 56%; *3* – без существенных осадков; *4* – без осадков

Осадки не следует прогнозировать, если выполняются следующие условия:

1) ожидается значение дефицита точки росы на АТ-850 $D_{850} > 6$°С, на АТ-700 $D_{700} > 12$°С;

2) лапласиан приземного давления $\Delta p < -10$ гПа/(500 км)^2;

3) вертикальные скорости на изобарической поверхности 850 гПа $\tau_{850} > +60$ гПа/12 ч;

4) на рис. 4.1–4.4 точка попадает в зону «без осадков»;

5) устанавливается устойчивый ветер восточного направления (от северо-восточного до юго-восточного) у земли и на основных изобарических поверхностях.

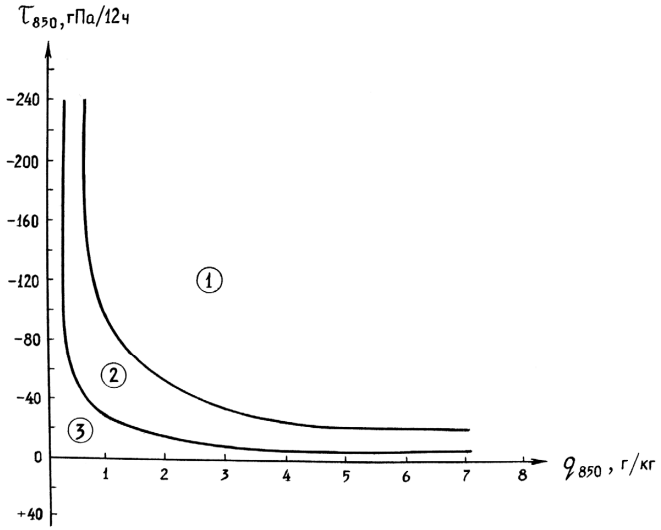


Рис. 4.4. Вероятность осадков различной интенсивности в зависимости от вертикальных движений на изобарической поверхности 850 гПа (τ_{850}, гПа/12 ч) и массовой доли водяного пара (удельной влажности) на ней (q_{850}, г/кг): *1* – значительные осадки – 60%; *2* – осадки – 64%; *3* – слабые осадки

Слабые осадки прогнозируют, если выполняются следующие условия:

1) точка хотя бы на одном из графиков (рис. 4.1–4.4) попадает в зону, указывающую на вероятность слабых осадков не менее 56% при любой синоптической ситуации;

2) точка с исходными данными попадает на графиках (рис. 4.1–4.4) в зону 1 или 2, но при этом ожидается антициклон, гребень, седловина, антициклоническая кривизна изобар у земли и изогипс на высотах, а также при прохождении фронтов на фоне высокого давления.

Значительные осадки ожидаются, если точка с оптимальными параметрами оказывается в области, где указана вероятность выпадения значительных осадков не менее 19%. При этом значительные осадки выпадают только при прохождении через пункт прогноза центральной части циклона, системы фронтов.

Если не выполняются условия для выпадения значительных или слабых осадков, в прогнозе следует указывать «*осадки*». При имеющихся данных о вертикальных скоростях и массовой доле водяного пара (удельной влажности) на изобарической поверхности 850 гПа по графику (рис. 4.4) уточняется интенсивность осадков в градациях: слабые осадки (< 1 мм), осадки (1–3 мм) и значительные осадки (> 3 мм).

4.5. Прогноз осадков тёплого полугодия (метод З.В. Торбиной)

Летние осадки связаны с различными по своему характеру синоптическими процессами. Они могут формироваться как в циклонических, так и в антициклонических полях, в частности в гребнях и на периферии антициклонов. В большинстве случаев дожди выпадают при прохождении основных и вторичных холодных фронтов. Реже они отмечаются на тёплых фронтах и фронтах окклюзии. При прохождении циклонов непосредственно через территорию дожди отмечаются с любым типом фронтов.

В половине случаев дожди начинаются непосредственно при прохождении фронтов через пункт прогноза, а в остальных случаях – до их прохождения (на расстоянии 300 км от линии фронта).

Чаще всего дожди с количеством осадков 9 мм и более за 12 ч выпадают при прохождении юго-западных циклонов (30% случаев). Реже они связаны с западными и северо-западными циклонами, а также с ложбинами, перифериями циклонов и ложбин, размытыми областями пониженного давления. Ещё реже такие осадки связаны с областями повышенного давления (10% случаев) и седловинами (3% случаев).

Кроме общих циркуляционных условий при прогнозе осадков необходимо учитывать целый комплекс факторов: влагосодержание воздуха, вертикальные движения в слое трения и в свободной атмосфере, адвекцию температуры и влажности и др.

Для прогноза факта выпадения летних осадков или их отсутствия рекомендуется использовать графические зависимости, построенные для юга Западной Сибири и представленные на рис. 4.5–4.9.

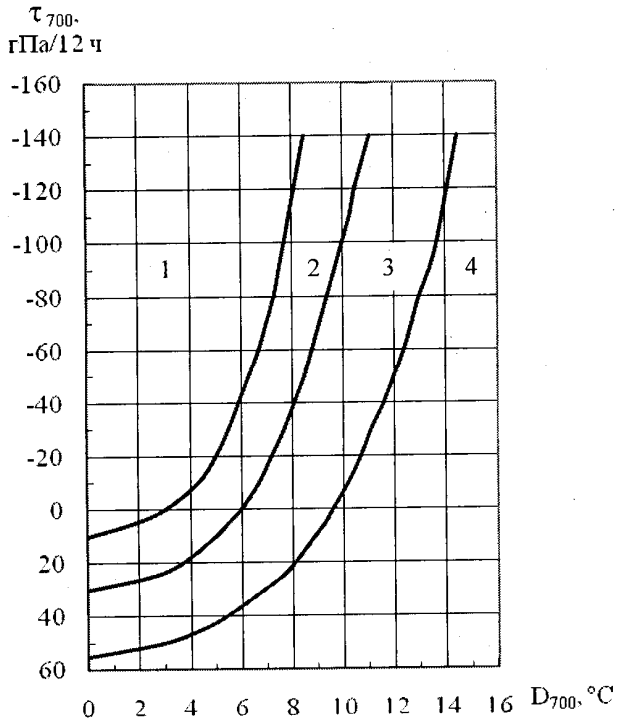


Рис. 4.5. Вероятность осадков в зависимости от вертикальных движений и дефицита точки росы на АТ-700:
1 – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки; *4* – без осадков

Прогноз осадков базируется на гидродинамическом прогнозе поля давления, вертикальных движений, температуры воздуха и дефицита точки росы.

Исходными материалами для прогноза летних осадков (с 1 мая по 30 сентября) являются приземная карта, карты барической топографии АТ-850, АТ-700, АТ-500 за срок 00 ч *UTC*, прогностические приземные карты и карты вертикальных скоростей на 24 и 36 ч.

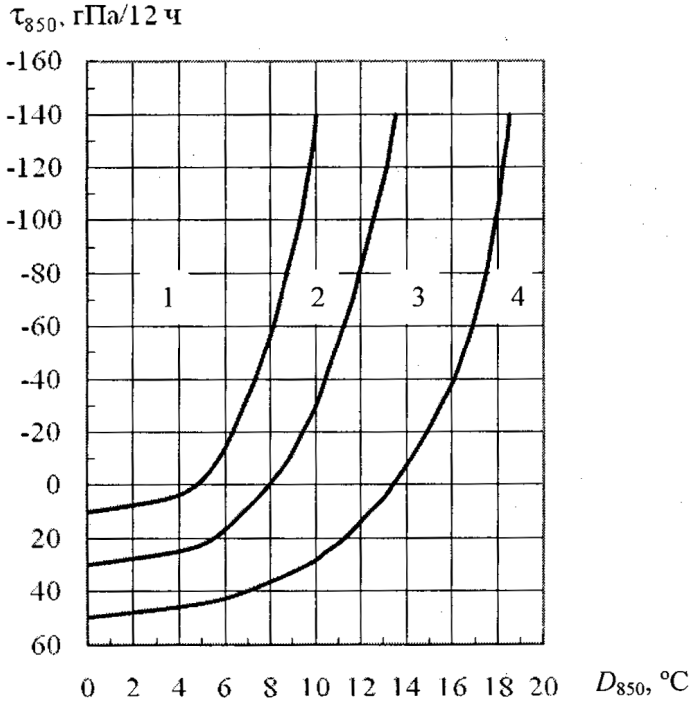


Рис. 4.6. Вероятность осадков в зависимости от вертикальных скоростей и дефицита точки росы на АТ-850:
1 – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки; *4* – без осадков

Порядок расчёта:

1. Строят траектории частицы на 24 и 36 ч обычным путём.
2. Определяют следующие показатели:

а) в начальных точках траекторий прогностические значения дефицитов точки росы (D_{850}, D_{700}, D_{500}) и температуры воздуха (T_{850}, T_{700}, T_{500}) на изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа;

б) вертикальные скорости на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа (τ_{850}, τ_{700}, гПа/12 ч) на 24 и 36 ч в пункте прогноза на прогностических картах вертикальных скоростей.

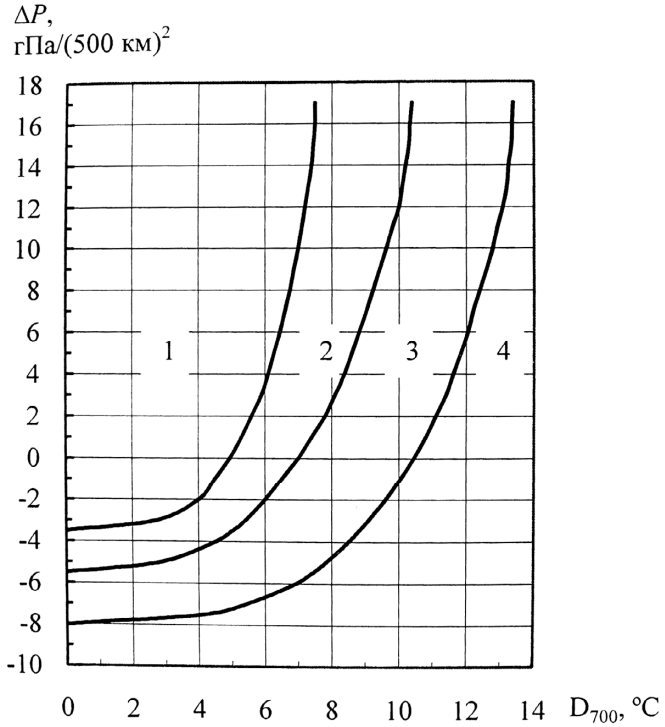


Рис. 4.7. Вероятность осадков в зависимости от лапласиана давления и дефицита точки росы на АТ-700:
1 – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки; *4* – без осадков

3. Рассчитывают следующие параметры:

$$\sum_{850}^{700} D = D_{850} + D_{700}, \tag{4.5}$$

$$\sum_{850}^{500} D = D_{850} + D_{700} + D_{500}, \tag{4.6}$$

$$\Delta T_{850}^{700} = T_{850} - T_{700}, \tag{4.7}$$

$$\Delta T_{850}^{500} = T_{850} - T_{500}. \tag{4.8}$$

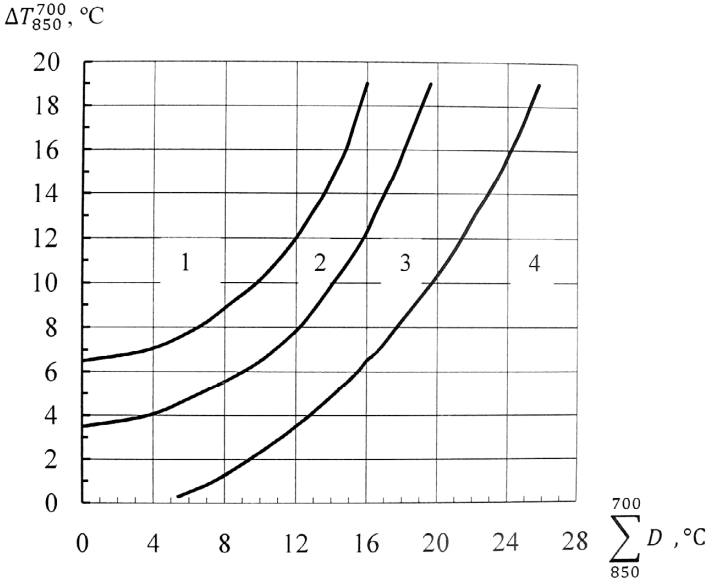


Рис. 4.8. Вероятность осадков в зависимости от разности температур и суммы дефицита точки росы на АТ-850 и АТ-700:
1 – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки; *4* – без осадков

4. По прогностическим приземным картам на 24 и 36 ч будущего синоптического положения на соответствующие сроки определяется лапласиан приземного давления по формуле

$$\Delta p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - 4p_0, \tag{4.9}$$

где p_0 – давление в пункте прогноза; p_1, p_2, p_3, p_4 – давление в точках, отстоящих от пункта прогноза на расстоянии 500 км по широте и долготе.

5. Прогноз факта выпадения дождя составляют способом «отслеживания» различных ситуаций (см. рис. 4.5–4.9).

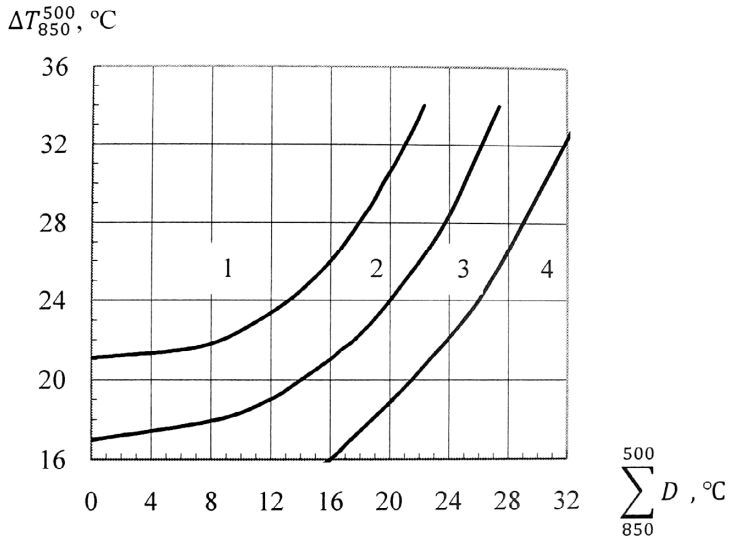


Рис. 4.9. Вероятность осадков в зависимости от разности температур на АТ-850 и АТ-500 и суммы дефицита точки росы на изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа: *1* – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки; *4* – без осадков

При этом отсутствие осадков прогнозируется, если ожидается следующая ситуация:

а) прохождение центральной части антициклона;

б) прохождение гребня или периферии антициклона при условии, что осадки отсутствовали в предыдущие сроки;

в) прохождение периферийных частей (кроме тыловых) циклонов и ложбин при отсутствии фронтальных разделов и при условии отсутствия осадков в предыдущие сутки;

г) суммарный дефицит точек росы на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа, равный 30°С и более;

д) хотя бы на одном из графиков точка с соответствующими значениями параметров попадает в область «без осадков»;

е) точка на всех графиках попадает в область 3.

Если указанные условия не выполняются и точка попадает в одну из областей 1–3, то прогнозируется выпадение осадков с вероятностью:

– более 95%, если точка на всех графиках попадает в область 1 (11111);

– 95%, если точка на каком-либо графике попадает в области 1, 2 и 3 в следующих комбинациях: 11112, 11113, 11122, 11123, 11222;

– 80%, если точка попадает в области 1, 2, 3 в следующих комбинациях: 11133, 11223, 11233, 11333, 12222, 12223, 12233, 12333, 13333, 22222;

– 60% при комбинации областей 22223, 22233, 22333, 23333.

6. Вероятность интенсивности осадков определяют в зависимости от вертикальных скоростей и массовой доли водяного пара (удельной влажности) на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа (q_{850} и q_{700}) с использованием рис. 4.10, 4.11. Массовую долю водяного пара на поверхностях 850 и 700 гПа определяют по значениям температуры точки росы T_d на них по табл. 4.5.

Интенсивность осадков определяют по градациям: значительные (≥ 9 мм/12 ч), умеренные (3,0–8,9 мм/12 ч), слабые (0,1–2,9 мм/12 ч).

Значительные осадки (≥ 9 мм/12 ч) ожидаются, если на всех рисунках точка попадает в область 1 при выполнении следующих дополнительных условий:

а) через территорию прогноза ожидается прохождение центральной части циклона независимо от типа фронтального раздела;

б) при смещении циклона на расстоянии 500 км и более от пункта прогноза значительные дожди ожидаются только при прохождении оси ложбины и вторичных холодных фронтов;

в) скорость смещения циклона и фронтов менее 50 км/ч;

г) ожидаемое приземное давление не превышает 1010 гПа;

д) ожидаемая температура воздуха на 850 гПа выше 0°С, на изобарической поверхности 700 гПа выше –10°С, на изобарической поверхности 500 гПа выше –25°С;

е) ожидаемая скорость ветра у земли не более 5 м/с.

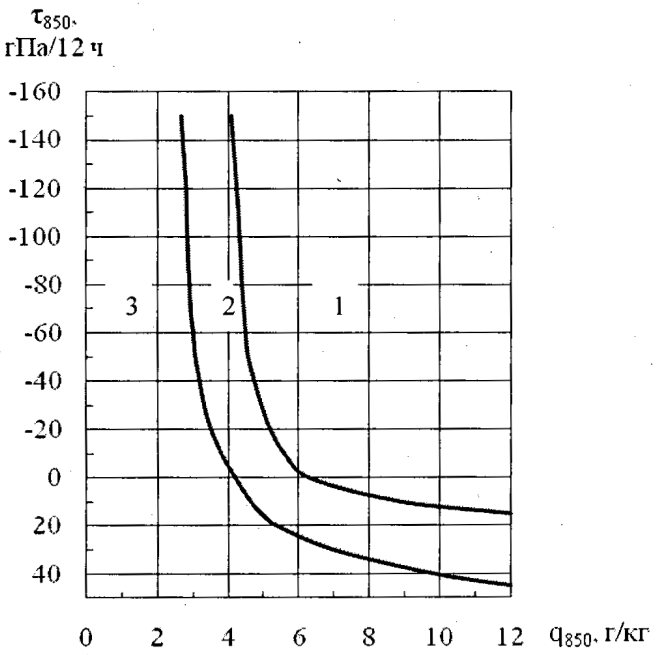


Рис. 4.10. Вероятность интенсивности осадков в зависимости от массовой доли водяного пара (удельной влажности) и вертикальных скоростей на изобарической поверхности 850 гПа: *1* – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки

Слабые осадки (0,1–2,9 мм/12 ч) прогнозируют, если точка попадает в область 3 хотя бы на одном из рисунков, а также в тех случаях, когда точка попадает в области 1–2, а у поверхности земли ожидаются:

а) периферия гребня (антициклона);

б) прохождение периферийного участка тёплого фронта;

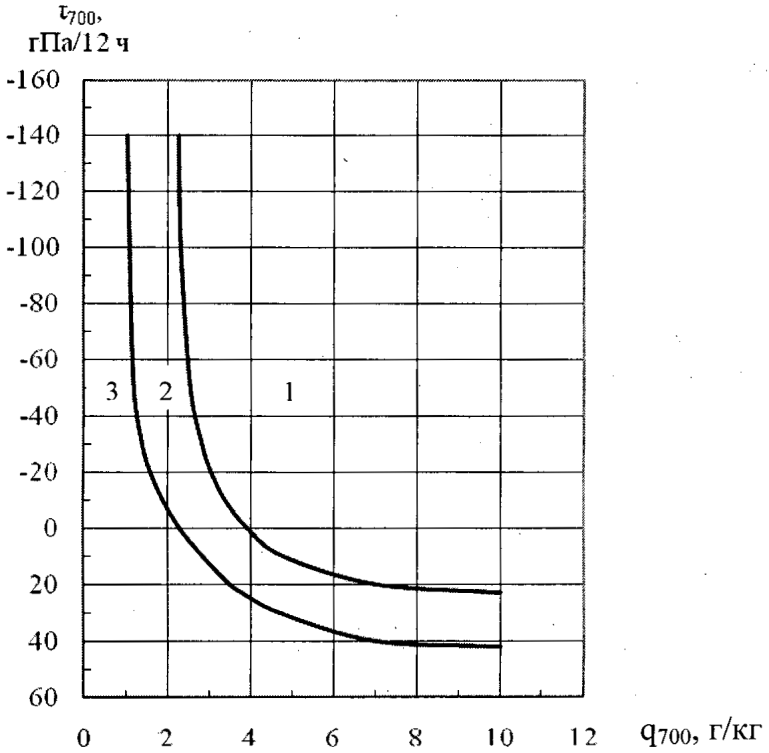


Рис. 4.11. Вероятность интенсивности осадков в зависимости от массовой доли водяного пара (удельной влажности) и вертикальных движений на изобарической поверхности 700 гПа:
1 – значительные осадки; *2* – осадки; *3* – слабые осадки

в) прохождение периферийной части циклона (ложбины) без фронтальных разделов (кроме их части за холодным фронтом);

г) фронтальные разделы проходят в гребне антициклона;

д) в предыдущие сутки в пункте прогноза осадки не отмечались, а у поверхности земли ожидается малоградиентное барическое поле, периферийные части циклонов или ложбин без фронтальных разделов.

Если не выполняются условия для выпадения слабых или значительных осадков, то в прогнозе следует указать *умеренный дождь* (3,0–8,9 мм/12 ч).

Следует отметить, что термины и градации, предложенные в методе прогноза осадков, необходимо приводить в соответствие с терминами, применяемыми при прогнозе осадков (табл. 4.1, 4.2), согласно требованиям (Наставление по краткосрочным прогнозам погоды… 2009).

5. ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

5.1. Синоптические условия возникновения атмосферных явлений

5.1.1. Метель

Метели наблюдаются в течение всего периода выпадения снега, но чаще в декабре – феврале. Наиболее опасные метели возникают в зоне между углубляющимся циклоном и усиливающимся антициклоном.

Общие метели, возникающие при выпадении снега и скорости ветра 7 м/с и более, имеют в основном фронтальное происхождение и чаще всего наблюдаются на тёплых фронтах и тёплых фронтах окклюзии в углубляющихся (регенерирующих) циклонах. Сильные общие метели возникают в зоне фронтальных снегопадов и в тыловых частях циклонов при снегопадах. На холодных фронтах общие метели отмечаются сравнительно редко. Внутримассовые общие метели могут возникать в неустойчивых влажных воздушных массах при ливневом снегопаде, сопровождающемся сильным ветром. Такие метели обычно называют «зарядами», так как они перемежаются периодами прояснений и хорошей видимости.

Низовые метели и позёмки, представляющие собой перенос сухого, ранее выпавшего снега ветром, скорость которого более 10 м/с и 5 м/с соответственно, отмечаются в тыловых частях циклонов и на периферия антициклонов при сильных ветрах после выпадения сухого снега.

Пример погоды с метелями и позёмками на приземной синоптической карте приведён на рис. 5.1 и 5.2.

Вероятность возникновения метелей возрастает при синоптических ситуациях, приводящих к локальным увеличениям барических градиентов.

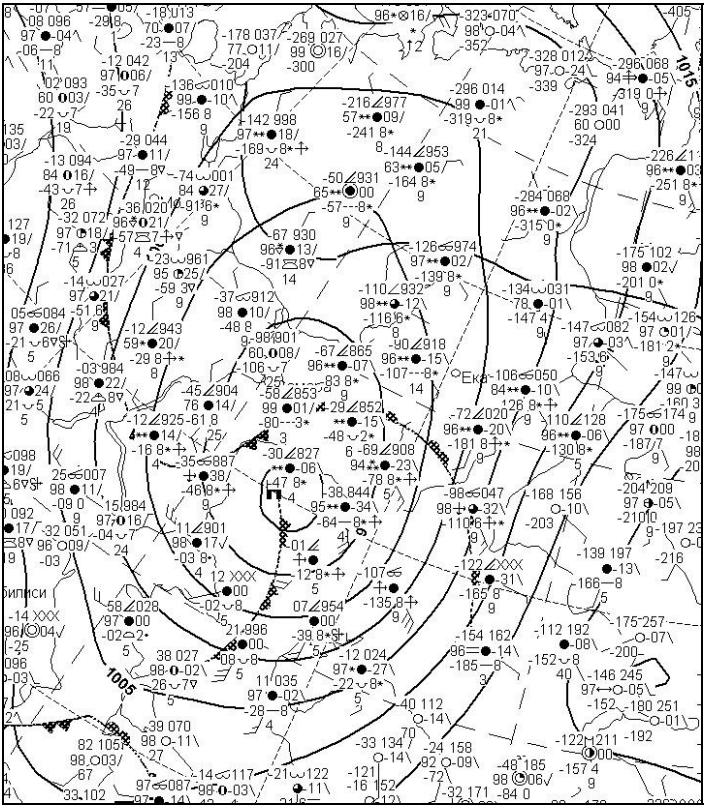


Рис. 5.1. Пример погоды с метелями на приземной синоптической карте за 00 ч *UTC* 07.02.2011

К таким ситуациям относятся случаи приближения циклонов к стационарному усиливающемуся антициклону, распространение гребня антициклона в сторону малоподвижного обширного циклона и др.

Для метелевой деятельности характерны региональные особенности, связанные со специфичностью синоптических процессов, её определяющих.

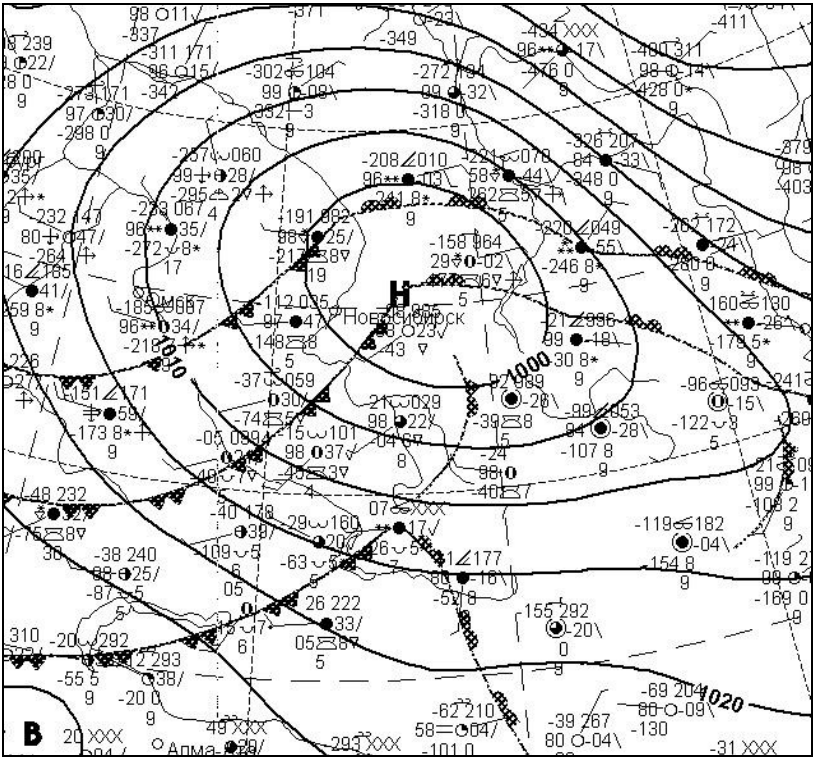


Рис. 5.2. Позёмок в тыловой части циклона, ливневый снег в центральной части циклона на приземной синоптической карте за 00 ч *UTC* 30.11.2010

Прогноз метелей основывается на прогнозе характерных синоптических процессов, при которых возникают метели в данном регионе, и сводится к прогнозу снегопада и скорости ветра при отрицательных температурах с учётом состояния снежного покрова.

5.1.2. Туман

В зависимости от синоптических условий образования выделяют два типа туманов: внутримассовые и фронтальные. В зависимости от основных физических процессов образования туманы делят на три основных класса: туманы охлаждения, туманы испарения, туманы при сильных морозах. В свою очередь каждый из классов подразделяется на несколько разновидностей. Например, туманы охлаждения подразделяются на радиационные, адвективные и радиационно-адвективные.

Основная причина образования радиационного тумана – ночное понижение температуры воздуха в приземном слое ниже начального значения точки росы, обусловленное радиационным охлаждением подстилающей поверхности. Чаще всего радиационные туманы образуются в антициклонах, гребнях, отрогах, барических седловинах, малоградиентных полях пониженного давления. Наиболее благоприятными для возникновения радиационных туманов являются следующие условия погоды:

– ясная погода или небольшая облачность ночью;

– слабый ветер (2–3 м/с);

– малый начальный дефицит точки росы;

– большая относительная влажность воздуха вечером (более 60%);

– увлажнение воздуха вечером в связи с выпадением дождя;

– сухая поверхность почвы (малая теплопроводность, в связи с чем поток тепла из глубины почвы к поверхности мал);

– инверсионное распределение температуры при малом дефиците точки росы в слое до 50–300 м от поверхности земли.

Пример погоды с радиационным туманом на приземной синоптической карте приведён на рис. 5.3.

Возникновению тумана способствует вогнутый рельеф местности (долина, котловина), где ночью стекающий с более высоких мест охлаждённый воздух застаивается и дополнительно выхолаживается.

Адвективный туман возникает при адвекции тёплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность, в результате чего происходит трансформационное охлаждение воздуха и конденсация содержащегося в нём водяного пара.

Для возникновения адвективного тумана необходимо, чтобы турбулентное перемешивание, зависящее от скорости ветра и стратификации воздуха, не успевало переносить образующиеся в приземном воздухе продукты конденсации вверх. В противном случае образуется низкая облачность, а не туман.

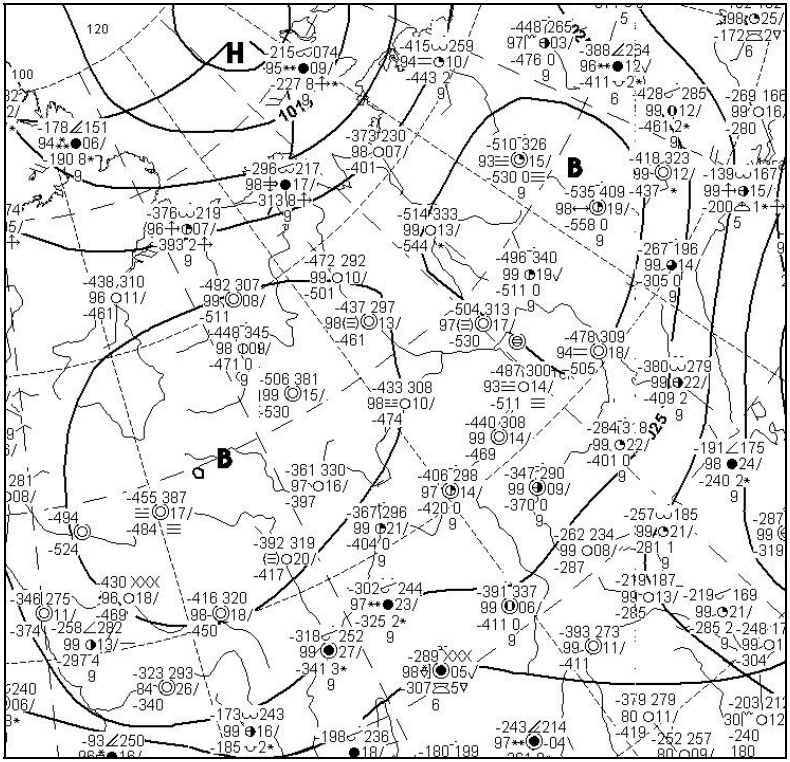


Рис. 5.3. Радиационный туман на приземной синоптической карте за 00 ч *UTC* 07.02.2011

Наиболее благоприятные условия для возникновения адвективного тумана создаются в тыловой части антициклона, в передней части циклона и в его тёплом секторе.

Адвективный туман возникает обычно при скорости ветра на уровне флюгера не более 12 м/с и на расстоянии 100–200 км от границы, разделяющей тёплую и холодную подстилающие поверхности. Причём это расстояние тем меньше, чем больше влажность воздуха, поступающего на холодную подстилающую поверхность.

Адвективные туманы могут наблюдаться в любое время суток, хотя чаще всего они уплотняются ночью в связи с добавочным радиационным охлаждением приземного слоя воздуха. При слабой адвекции тепла туманы могут возникать только в ночные часы, после восхода Солнца они рассеиваются. Такие туманы являются адвективно-радиационными.

При образовании адвективного тумана разность температур в начале и в конце траектории обычно составляет 1–3°С, а дефицит точки росы в начале траектории чаще всего не превышает 2°С при положительных температурах и 3°С при отрицательных. Если скорость ветра на уровне флюгера более 10 м/с и разность температур в начале и в конце траектории 7°С и более, то возникновение адвективного тумана возможно при большем дефиците точки росы в начале траектории (до 3°С).

Пример погоды с адвективным туманом на приземной синоптической карте показан на рис. 5.4.

Туман при сильных морозах образуется благодаря поступлению водяного пара в воздух с продуктами сгорания топлива. Этот вид тумана следует ожидать в населённых пунктах при развитии антициклона или его отрога, в котором создаются условия для застоя и сильного выхолаживания воздуха над снежным покровом.

В холодном воздухе перед тёплым фронтом туман испарения образуется вследствие испарения с поверхности капель дождя, температура которых только на 3–6°С выше температуры холодного воздуха. Это связано с тем, что относительная влажность холодного воздуха до прихода его в предфронтальную зону дождя

бывает близкой к 80–100% вследствие адвективного охлаждения при перемещении на более холодную подстилающую поверхность. Предфронтальный туман чаще возникает на наветренных склонах возвышенностей при скорости ветра на высоте 10 м 1–3 м/с при скорости движения тёплого фронта менее 20 км/ч.

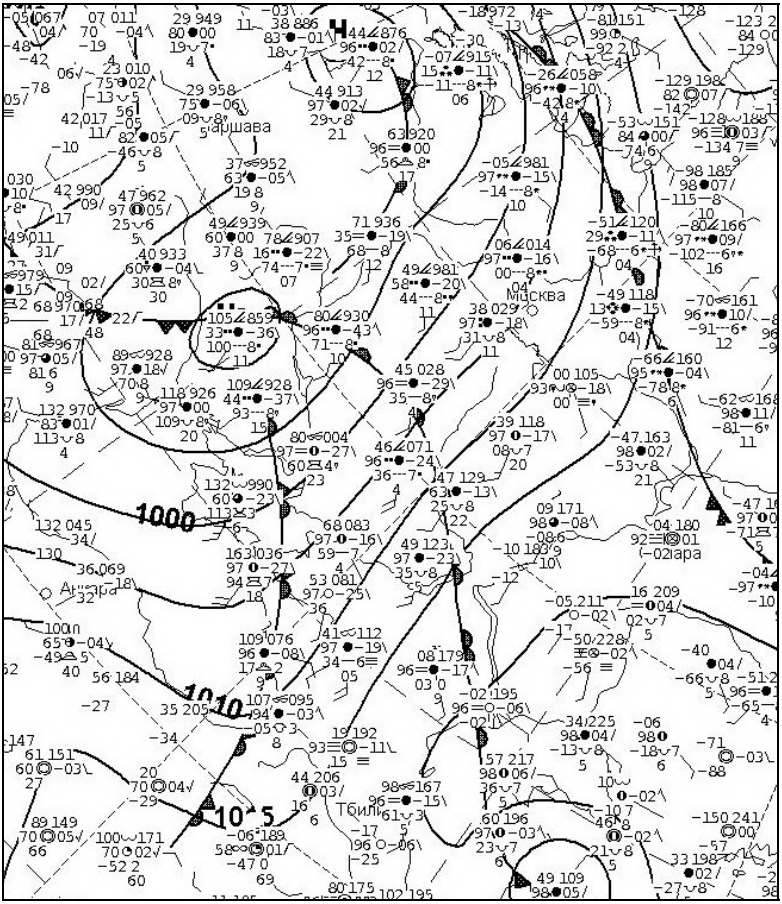


Рис. 5.4. Адвективный туман на приземной синоптической карте за 00 ч *UTC* 24.11.2010

В медленно перемещающемся холодном воздухе за холодным фронтом основную роль в образовании тумана играют два процесса:

– испарение с поверхности более тёплой почвы, увлажнённой дождями, или с тающего снежного покрова днём;

– понижение температуры воздуха ночью вследствие радиационного охлаждения земной поверхности.

5.1.3. Шквал

Шквалы связаны с мощными кучево-дождевыми облаками, поэтому время их существования как перемещающихся мезомасштабных объектов составляет несколько часов. В результате на местности возникает узкая шкваловая полоса шириной от нескольких сотен метров до нескольких километров и протяженностью до сотни километров.

Шквалы обычно сопровождаются ливнями и грозами, часто с выпадением града. Перед шквалом, как правило, давление сильно падает. При шквале оно резко растет, а после прекращения ливневого дождя вновь падает. Температура воздуха при шквале резко понижается. После прекращения шквала чаще всего она немного повышается, но остается более низкой по сравнению с температурой до шквала. Падение температуры и рост давления при шквале связаны с выпадением ливневого дождя и охлаждением воздуха в его зоне.

Шквалы над сушей чаще всего развиваются во второй половине дня, когда конвективная облачность становится наиболее мощной. По этой же причине шквалы над сушей отмечаются обычно в тёплое полугодие. Над океаническими акваториями они наблюдаются в течение всего года.

Шквалы могут быть внутримассовыми и фронтальными.

Внутримассовые шквалы – сравнительно редкое явление. Возникают внутримассовые шквалы преимущественно при активных вторжениях холодного воздуха с высокой влажностью в тылу цик-

лонов. Установлено, что если при таких вторжениях в области роста давления за холодным фронтом барические тенденции достигают 5 гПа/3 ч и больше, то шквалистые усиления ветра днём достигают 15–20 м/с.

Внутримассовые шквалы, связанные с кучево-дождевыми облаками, возникающими при термической конвекции в малоградиентных барических полях и в заполняющихся циклонах, – явление в умеренных широтах редкое, и существенной опасности, как правило, они не представляют. Они наблюдаются в тёплых неустойчивых воздушных массах с высокой влажностью при развитии грозовой деятельности.

Наиболее интенсивные шквалы возникают чаще всего на атмосферных фронтах. Примерно девять из каждых десяти шквалов в европейской части России связаны с фронтами, восемь из них связаны с холодными фронтами или холодными фронтами окклюзии.

Фронтальные шквалы не являются, как внутримассовые, единичными образованиями, а обычно сгруппированы в полосах развитой конвективной неустойчивости, параллельных облачным полосам фронтов. На спутниковых фотографиях облачности такие полосы часто прослеживаются, что позволяет использовать эту информацию в прогностических целях, экстраполируя перемещение и эволюцию облачных образований. Передняя кромка этой полосы, имеющей ширину 50–75 км, называется *линией неустойчивости* или *линией шквалов*. Эта линия часто совпадает с приземной линией фронта. При высокой влажности воздуха в тёплом секторе циклона линия шквалов может находиться на удалении от облачной полосы холодного фронта до 50–100 км. В этом случае непосредственно за линией шквалов иногда удается обнаружить мезомасштабный («карликовый») антициклон, с которым на барограмме связан рост давления («грозовой нос»).

Наиболее благоприятной синоптической ситуацией для возникновения шквалов являются холодные фронты, ориентированные с юго-запада или юга на северо-восток или север, при наличии на них волновых возмущений. Шквалы в этих случаях обычно возникают в тёплом воздухе вблизи вершин возмущений. При возник-

новении циклонической циркуляции холодный фронт получает дополнительное ускорение в своем движении в сторону тёплого воздуха. В результате усиливается вынужденная конвекция, приводящая к увеличению толщины кучево-дождевых облаков, усилению в них вертикальных движений и интенсивности шквалов.

Шквалы также довольно часто возникают вблизи центра циклона, особенно вблизи вершины тёплого сектора молодого циклона.

Все случаи фронтальных шквалов наблюдаются *на антициклонической стороне струйного течения в его дельте*, т.е. там, где существует расходимость изогипс и уменьшение скорости воздушного потока вдоль него в верхней тропосфере. При этом направление перемещения шквалов обычно совпадает с направлением струйного течения. Замечено, что шквалы возникают при сильной сходимости воздушных течений у поверхности земли и расходимости воздушных течений на высотах. Очевидно, в этих случаях должны существовать активные упорядоченные восходящие движения, способствующие реализации энергии неустойчивости.

При прогнозе шквала предполагается учитывать как синоптические, так и термодинамические условия его развития.

Если ожидаемое синоптическое положение благоприятно для развития шквала (вершина фронтальной волны, скорость смещения которой 30–40 км/ч и более; холодные фронты и фронты окклюзии; передние части высотных барической и термической ложбин), то рассчитывают термодинамические параметры развития шквала.

5.1.4. Гололёд

При прогнозе гололёда следует исходить из того, что гололёд образуется при определённых метеорологических условиях, а следовательно и при определённых синоптических ситуациях. Он может быть как внутримассовым, так и фронтальным.

Внутримассовые гололёды возникают при синоптических положениях, обеспечивающих образование низкой внутримассовой слоистой облачности или плотного адвективного тумана (рис. 5.4). Обычно это – западные и северные периферии малоподвижных антициклонов, восточные и южные периферии стационарных циклонов, а также тёплые секторы подвижных циклонов.

Фронтальные гололёды чаще всего связаны с тёплыми фронтами и тёплыми фронтами окклюзии и возникают в связи с выпадением переохлаждённого дождя. Наиболее интенсивные фронтальные гололёды образуются при больших контрастах температуры между холодным и тёплым воздухом (более 10°С/500 км) и при скорости движения фронта не более 20–25 км/ч. Иногда гололёд образуется в зоне медленно перемещающегося холодного фронта (первого рода), а также на квазистационарных фронтах.

Следует иметь в виду, что наибольшая повторяемость гололёда характерна для районов с резкими изменениями погодных условий, где часто наблюдается переход от морозной погоды к оттепели и наоборот. На повышенных участках рельефа, особенно на его наветренных склонах, повторяемость гололёда выше, чем на равнине.

5.1.5. Изморозь

Условием образования изморози является возникновение тумана при отрицательных температурах. При этом происходит сублимация водяного пара и осаждение капелек тумана, замерзающих при соприкосновении с ледяными частицами, находящимися на предметах.

Синоптические условия образования *зернистой изморози* (рис. 5.4) точно такие же, как и при возникновении внутримассового гололёда. Вид наземного обледенения (гололёд или изморозь) зависит от преобладающего размера капель тумана: если они меньше 20 мкм, то образуется зернистая изморозь, а если больше, то гололёд.

Кристаллическая изморозь появляется при радиационных и адвективно-радиационных туманах чаще всего в условиях малоградиентного барического поля, т.е. в центральных частях антициклонов, перемычках высокого давления, в циклонах и ложбинах, находящихся в стадии заполнения.

5.1.6. Гололедица

Образование гололедицы зависит не только от атмосферных условий, но и от состояния подстилающей поверхности, и в первую очередь от её температуры. Учитывая, что гололедица представляет большую опасность для движения автомобильного транспорта, при прогнозе гололедицы обычно считают, что подстилающей поверхностью является транспортная магистраль – ровная автомобильная дорога.

Возникновение гололедицы возможно при температуре поверхности дороги ниже 0°С, что обеспечивает замерзание на ней выпадающих жидких осадков, мокрого снега или имевшейся на ней до замерзания талой воды. Гололедица может возникать и после выпадения твёрдых осадков (снега) в результате появления снежного наката (спрессованного колёсами снега с гладкой поверхностью), таяния и последующего замерзания верхнего слоя снежного дорожного покрытия – оледенелого снега.

Рассмотренные выше синоптические и метеорологические условия, благоприятные для возникновения всех видов наземного обледенения и особенно гололёда и зернистой изморози, также благоприятны для образования гололедицы.

Таким образом, если ожидается синоптическая ситуация, при которой будет наблюдаться адвекция тёплого влажного воздуха при температуре поверхности почвы несколько ниже 0°С, а также дождь, снег, дождь со снегом, морось, туман или низкие слоистые облака, и на поверхности почвы имеется или предполагается наличие талой или дождевой воды, то следует приступить к оценке возможности возникновения гололедицы.

5.1.7. Ливни и грозы

Ливневые осадки выпадают из кучево-дождевой облачности, которая возникает при определённых синоптических положениях в данном регионе. Знание таких синоптических положений является одним из основных условий успешности прогноза ливневых осадков, а также гроз и града.

Все виды конвективных явлений, в том числе и ливни, могут быть как *внутримассовыми*, так и *фронтальными.*

Пример погоды с ливневыми осадками показан на рис. 5.5.

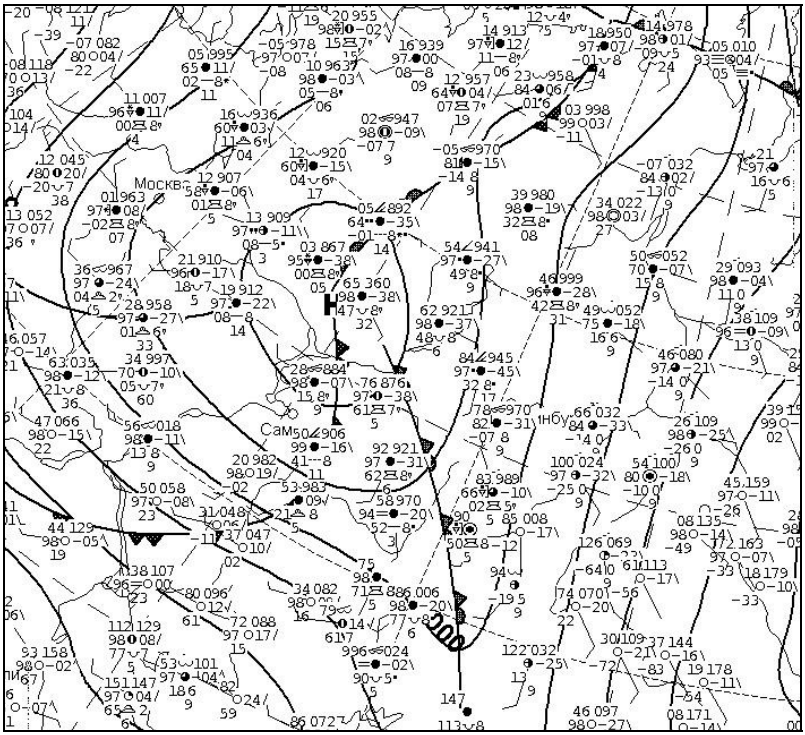


Рис. 5.5. Ливневые дожди в разных секторах циклона на приземной синоптической карте за 00 ч *UTC* 13.10.2010

Благоприятные термодинамические условия для выпадения *внутримассовых ливневых осадков* часто возникают в тыловых частях циклонов и антициклонов (при достаточной влажности воздуха в этих частях барических образований), в заполняющихся циклонах, ослабевающих антициклонах.

Фронтальные ливневые осадки могут выпадать на фронтах всех типов и обычно вместе (на фоне) с обложными осадками. Однако чаще всего фронтальные ливни, грозы и град связаны с холодными фронтами и фронтами окклюзии по типу холодного фронта.

Значительно реже они возникают на тёплых фронтах и фронтах окклюзии по типу тёплого фронта.

Гроза обычно связана с выпадением ливневых осадков (рис. 5.6). При грозах наблюдаются шквалы. При большой сухости нижнего слоя воздуха гроза иногда не сопровождается осадками (сухие грозы).

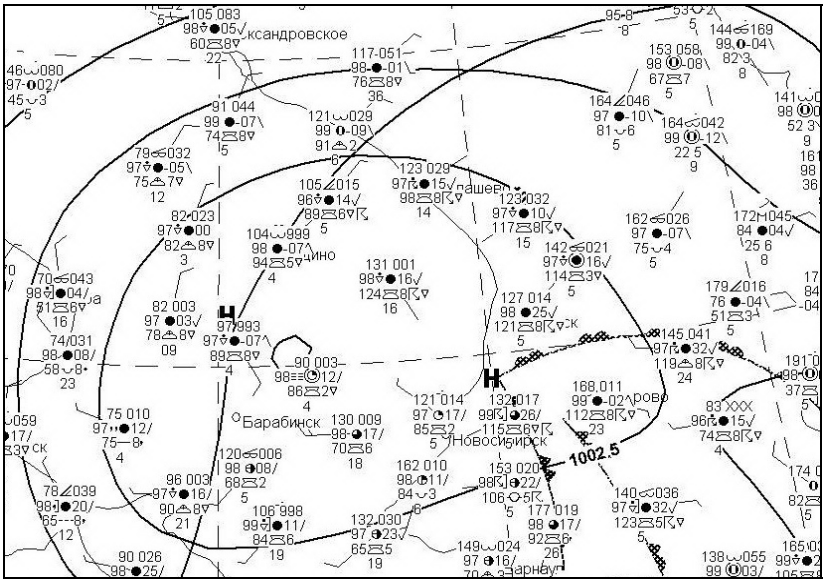


Рис. 5.6. Грозы и ливни на кольцевой синоптической карте за 15 ч *UTC* 26.05.2011

Грозы относятся к опасным метеорологическим явлениям.

Различают внутримассовые и фронтальные грозы соответственно выпадению внутримассовых и фронтальных осадков.

Внутримассовые грозы наблюдаются летом во влажных неустойчивых воздушных массах при большой удельной влажности в приземном слое (более 12 г/кг) и сильном дневном прогреве приземного слоя воздуха. Такие условия создаются в размытых барических полях, в слабовыраженных и заполняющихся циклонах, иногда в тёплых секторах циклонов, на западных окраинах антициклонов.

Фронтальные грозы наиболее часто связаны с медленно перемещающимися холодными фронтами и с размытыми фронтами окклюзии, когда при сохранении высокой влажности и большой неустойчивости до значительных высот просветы в облаках способствуют дневному прогреванию поверхности земли и развитию конвективных движений. Довольно часты грозы и при прохождении тёплых фронтов (в том числе ночные грозы), если зафронтальная тёплая воздушная масса достаточно неустойчива.

5.1.8. Град

При условиях, благоприятных для возникновения интенсивных осадков и гроз, образуется и *град*. При значительной водности кучево-дождевого облака и большой скорости восходящих движений обеспечивается быстрый рост градин.

При выпадении града наиболее характерны следующие синоптические условия:

– холодные фронты с волнами при больших контрастах температуры;

– вторичные холодные фронты,

– фронты окклюзии с хорошо выраженным верхним холодным фронтом.

Внутри однородных воздушных масс град отмечается редко.

Вероятность града увеличивается, если на карте АТ-500 наблюдается адвекция холода, а на АТ-850 – адвекция тепла. При прогнозе града желательно определить направление перемещения очага холода на поверхности 500 гПа и время прохождения его над районом прогноза.

В годовом ходе максимум повторяемости числа дней с градом приходится на май – июль, в суточном ходе – на послеполуденные часы.

Град образуется в облаке в том случае, если скорость восходящего конвективного потока превышает 5 м/с. Происходит нарастание вертикальной составляющей скорости воздушного потока с высотой. Своего максимального значения эта скорость достигает примерно в средней части облака. При этом создаются условия для образования зоны, в которой наблюдается накопление твёрдых и жидких крупнокапельных частиц, – зоны аккумуляции. Она располагается над уровнем, где скорость конвективного потока достигает максимального значения. Градины растут в зоне аккумуляции в том случае, когда эта зона располагается выше изотермы 0°С. Рост градин зависит от температуры окружающего воздуха и водности облака в зоне аккумуляции. Режим роста градин может быть «влажным» и «сухим». Град, образовавшийся во влажном режиме, приносит наибольший ущерб отраслям экономики.

Для прогноза града используются либо данные утреннего зондирования атмосферы с учётом суточного хода стратификации температуры и влажности в пограничном слое атмосферы при внутримассовых процессах, либо прогностические кривые стратификации температуры и точки росы, построенные обычным способом.

Данные утреннего зондирования атмосферы рекомендуется использовать в следующих случаях:

– когда в момент составления прогноза над пунктом или в его районе радиусом 50 км по данным МРЛ наблюдаются отдельные очаги радиоэха или когда они перемещаются в сторону пункта прогноза в радиусе 100 км;

– когда на снимке ИСЗ над районом прогноза находится малоподвижное крупномасштабное скопление кучево-дождевых облаков;

– когда отсутствует адвекция.

5.2. Термины, применяемые в прогнозах атмосферных явлений

В прогнозы погоды необходимо включать информацию о следующих из ожидаемых явлений погоды: *осадки (дождь, снег), позёмок, метель, пыльная (песчаная) буря, шквал, туман, град, гроза, гололёд, изморозь, налипание (отложение) мокрого снега на проводах и деревьях, гололедица на дорогах и снежные заносы на дорогах.*

В прогнозах погоды для характеристики интенсивности явлений погоды термин «сильный», а для осадков «очень сильный» применяют в том случае, если ожидают, что явление по интенсивности достигнет критерия ОЯ.

В остальных случаях характеристики интенсивности явления («слабое» и «умеренное»), за исключением интенсивности осадков, разрешается не указывать.

При наличии методик прогноза количественных характеристик гололёдно-изморозевых отложений и града разрешается указывать их величину (размер).

В прогнозе шквала указывают максимальную скорость ветра.

В прогнозах атмосферных явлений при необходимости применяют термины «усиление», «ослабление», «прекращение» с указанием «день», «ночь» или с использованием характеристик времени суток, приведённых в табл. 2.1.

Детализация прогноза по территории и пункту с использованием терминов «в отдельных районах» или «местами» допускается, как правило, при наличии процессов, связанных с развитием интенсивной конвекции (шквала, града, грозы, ливневых осадков), а также тумана и заморозков в воздухе и на почве.

Наличие условий возникновения смерчей характеризуют термином «имеется опасность возникновения (формирования) смерчей».

Не допускается применять термины «местами» и «в отдельных районах» к отсутствию осадков и явлений погоды.

Метеорологические явления оцениваются как ОЯ при достижении ими определённых значений (критериев). Типовой перечень ОЯ приведён в табл. 5.1.

К ОЯ относится и сочетание (комплекс) метеорологических явлений (КМЯ), каждое из которых по интенсивности не достигает критерия отдельного ОЯ, но близко к нему.

Таблица 5.1

Типовой перечень опасных явлений (ОЯ)

Название ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
Очень сильный ветер	Скорость ветра при порывах не менее 25 м/с или средняя скорость не менее 20 м/с
Ураганный ветер (ураган)	Скорость ветра 33 м/с и более
Шквал	Резкое кратковременное (в течение нескольких минут, но не менее 1 мин) усиление ветра до 25 м/с и более
Смерч	Сильный маломасштабный вихрь в виде столба или воронки, направленный от облака к подстилающей поверхности
Сильный ливень	Сильный ливневый дождь с количеством выпавших осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч
Очень сильный дождь (очень сильный мокрый снег, очень сильный дождь со снегом, очень сильный снег с дождём)	Выпавший дождь, ливневый дождь, дождь со снегом, мокрый снег с количеством не менее 50 мм за период времени не более 12 ч
Очень сильный снег	Выпавший снег, ливневый снег с количеством не менее 20 мм за период времени не более 12 ч
Продолжительный сильный дождь	Дождь с короткими перерывами (не более 1 ч) с количеством осадков не менее 100 мм за период времени более 12 ч, но менее 48 ч или 120 мм за период времени более 2 сут
Крупный град	Град диаметром 20 мм и более

Окончание табл. 5.1

Название ОЯ	Характеристики и критерии или определение ОЯ
Сильная метель	Общая или низовая метель при средней скорости ветра не менее 15 м/с и видимости менее 500 м продолжительностью не менее 12 ч
Сильный туман (сильная мгла)	Сильное помутнение воздуха за счёт скопления мельчайших частиц воды (пыли, продуктов горения), при котором видимость не более 50 м продолжительностью не менее 12 ч
Сильное гололёдно-изморозевое отложение	Диаметр отложения на проводах гололёдного станка: гололёда не менее 20 мм; сложного отложения или мокрого (замерзающего) снега не менее 35 мм; изморози не менее 50 мм
Сильный мороз	В период с ноября по март значение минимальной температуры воздуха достигает критериев установленного для данной территории опасного значения или ниже его (для Томской обл. –40°С и ниже в течение трёх суток и более)
Аномально холодная погода	В период с ноября по март в течение 5 дней и более значение средней суточной температуры воздуха ниже климатической нормы на 7°С и более
Сильная жара	В период с мая по август значение максимальной температуры воздуха достигает установленного для данной территории опасного значения или выше его (для Томской обл. +35°С и выше в течение трёх суток и более)
Заморозки	Понижение температуры воздуха или поверхности почвы до значений ниже 0°С на фоне положительных средних суточных температур в период активной вегетации сельскохозяйственных культур, приводящее к их повреждению или гибели
Аномально жаркая погода	В период с апреля по сентябрь в течение 5 дней и более значение средней суточной температуры воздуха выше климатической нормы на 7°С и более
Чрезвычайная пожарная опасность	Показатель пожарной опасности относится к 5 классу (10 000°С по формуле В.Г. Нестерова)

Критерии метеорологических явлений, сочетания которых образуют ОЯ, приведены в табл. 5.2.

В штормовых предупреждениях указывают метеорологические величины и отдельные явления погоды, которые по своим количественным критериям относятся к ОЯ или сочетания которых образуют ОЯ.

Если ожидается возникновение одновременно или друг за другом нескольких ОЯ, в штормовом предупреждении указывают время возникновения, название и интенсивность каждого из них.

Штормовые предупреждения составляют и передают в соответствии со «Схемой штормового предупреждения и штормового оповещения об ОЯ». Текст штормового предупреждения должен содержать:

– порядковый номер штормового предупреждения;

– дату, время возникновения и, по возможности, продолжительность ожидаемого ОЯ;

– район возникновения (распространения) ОЯ;

– название и максимальную интенсивность ОЯ.

Таблица 5.2

Типовой перечень и критерии метеорологических явлений, сочетания которых образуют ОЯ

Наименование явлений	Критерии метеорологических явлений
Сильный ветер, в том числе шквал	Скорость ветра не менее 80% от установленного регионального критерия ОЯ по скорости ветра (для Томской обл. – 20–24 м/с)
Гололёдно-изморозевое отложение	Диаметр отложения на проводах гололёдного станка: гололёда не менее 10 мм; изморози не менее 18 мм; мокрого (замерзающего снега) не менее 25 мм
Низкие температуры	Значения температуры воздуха устанавливаются ГУ УГМС (для Томской обл. –30…–39°С любой продолжительности)
Сильный дождь (сильный дождь со снегом, сильный мокрый снег)	Не менее 35 мм за период не более 12 ч
Ливень	Не менее 20 мм за период не более 1 ч
Град	Диаметр менее 20 мм
Гроза	В комплексе с другими конвективными явлениями

Для более полной характеристики погодных условий наряду с ОЯ штормовые предупреждения могут содержать прогноз явлений, к ОЯ не относящихся или не достигающих критериев ОЯ.

Пример

Ожидаются сильные ливни, грозы, шквалистое усиление ветра до 20–25 м/с, местами град.

При необходимости уточнения времени возникновения, интенсивности, района распространения ОЯ составляют уточнение к штормовому предупреждению.

В штормовых предупреждениях время возникновения (усиления) и окончания явления указывают в часах с интервалом от 1 до 3 ч, если ожидается, что явление возникнет (усилится, окончится) в ближайшие 6–12 ч.

При этом допускается применять термин «в ближайшие 3–6 ч», а при необходимости – «в ближайший час» или «в ближайшие 2–3 ч».

В штормовых предупреждениях не следует применять термины «возможно», «вероятно», «маловероятно».

Штормовое предупреждение составляют при появлении угрозы возникновения ОЯ с максимально возможной заблаговременностью.

Если ОЯ возникло внезапно (не было выпущено штормовое предупреждение), то немедленно составляют штормовое оповещение, в котором следует указать время возникновения и интенсивность наблюдаемых явлений.

5.3. Прогноз гололёда (метод Р.А. Ягудина)

Образование гололёда наиболее вероятно в холодный период года (с 1 октября по 30 апреля) при смещении циклонов с запада и юго-запада, реже с северо-запада, когда осуществляется адвекция тёплого и влажного воздуха. Наиболее часто гололёд образуется при прохождении тёплых фронтов, фронтов окклюзии, волновых

возмущений, сопровождающихся выпадением осадков в виде мокрого снега, переохлаждённого дождя или мороси.

Гололёд наиболее вероятен при температуре воздуха у поверхности земли и на изобарической поверхности 850 гПа от 0 до –5°С. Информативным фактором образования гололёда является высота уровня кристаллизации, который можно косвенно оценить по уровню изотермы –10°С (H_{-10}). Гололёд чаще образуется, когда H_{-10} составляет 2–3 км. При $H_{-10} \leq 1{,}9$ км осадки наблюдаются преимущественно в виде снега, а при $H_{-10} > 3$ км – в виде дождя, что не способствует появлению гололёда.

Для прогноза гололёда можно использовать графические связи между вероятностью гололёдных явлений, температурой у поверхности земли и на изобарической поверхности 850 гПа и высотой уровня кристаллизации (изотермы –10°С), приведённые на рис. 5.7 и 5.8. Расчёты производятся в тех случаях, когда ожидается прохождение фронтов, волн, адвекция тёплого и влажного воздуха, сопровождающаяся выпадением осадков.

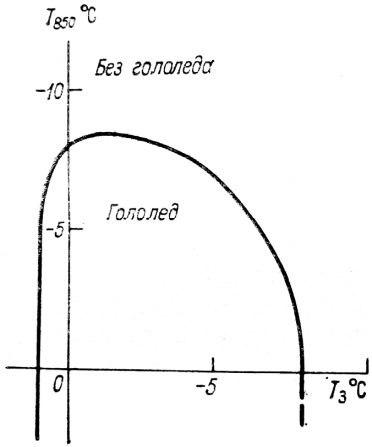


Рис. 5.7. Зависимость образования гололёда от температуры у поверхности земли (T_3, °С) и температуры на изобарической поверхности 850 гПа (T_{850}, °С)

Порядок расчёта:

1. По фактической и прогностической картам АТ-700 общепринятым способом определяется траектория воздушных частиц на тот срок, когда ожидается прохождение тёплого фронта (фронта окклюзии, волн и т.д.).

2. Анализируются данные радиозондирования на том участке фронта, прохождение которого ожидается через данный район. Определяются температура на изобарической поверхности 850 гПа (T_{850}) и высота изотермы –10°С (H_{-10}).

3. По рис. 5.7 определяется возможность образования гололёда. Предполагаемую интенсивность обледенения оценивают по рис. 5.8. При этом используется прогностическое значение температуры у поверхности земли ($T_З$), полученное региональным расчётным методом (метод М.К. Гиляровой). Если по одному из графиков прогнозируется гололёд, а по другому – его отсутствие, то в прогнозе указывается возможность слабого гололёда.

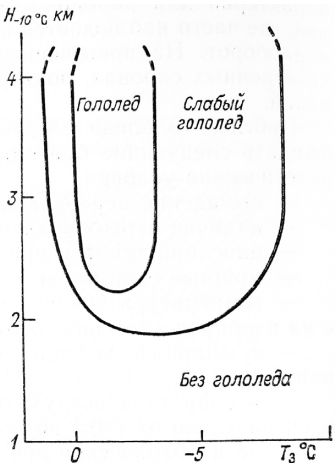


Рис. 5.8. Зависимость интенсивности гололёда от температуры у поверхности земли ($T_З$, °С) и высоты изотермы –10°С (H_{-10}, км): *1* – умеренный гололёд; *2* – слабый гололёд

Прогнозы наличия гололёда оправдываются на 65–70%, его отсутствия – на 90–95%. Общая оправдываемость прогноза гололёда составляет 75–80%.

5.4. Прогноз конвективных явлений (гроз, града и ливневых осадков) по методу Н.И. Глушковой и В.Ф. Лапчевой

Прогноз конвективных явлений по методу Н.И. Глушковой и В.Ф. Лапчевой основан на использовании параметров конвекции на момент её максимального развития при внутримассовой кучево-дождевой облачности или на момент ожидаемого прохождения фронта.

Исходными материалами для прогноза конвективных явлений в период с 1 мая по 30 сентября являются основная приземная и кольцевая синоптические карты, карты барической топографии на изобарических поверхностях 925, 850, 700, 500, 400, 300, 200 гПа за срок 00 ч *UTC*, прогностическая приземная карта на день текущих суток («Прогноз приземный» на 36 ч, получена в предшествующие сутки). Дополнительно можно использовать снимки облачности с ИСЗ и карты данных МРЛ пункта прогноза за срок, ближайший к сроку составления прогноза.

Порядок расчёта:

1. Если ожидается развитие внутримассовой конвекции, а прохождение фронтов не ожидается, то по исходной карте АТ-700 за срок 00 ч *UTC* строят траекторию движения частиц на 9 ч (к 15 ч местного времени, когда наблюдается максимальное развитие конвекции).

2. В начальной точке траектории определяют адвективные значения температуры T и температуры точки росы T_d на изобарических поверхностях 925, 850, 700, 500, 400, 300, 200 гПа в срок 00 ч

UTC. Значение T_d у поверхности земли определяют по эмпирической формуле

$$T_d = 8{,}04 \ \ +0{,}916 T_{d\,850},$$

где $T_{d\,850}$ – температура точки росы (°С) на изобарической поверхности 850 гПа, определяется в пункте прогноза за срок 00 ч *UTC*.

Их используют для построения прогностических кривых стратификации T и T_d на момент максимального развития конвекции.

3. Если ожидается прохождение фронта, то определяют значения температуры и значения температуры точки росы на указанных выше поверхностях на момент прохождения фронта (берут фактические данные радиозондирования за срок 00 ч *UTC* в пункте, расположенном в непосредственной близости от фронта). Значение температуры точки росы T_d у поверхности земли принимают равным максимальному значению T_d в зоне облачной системы, приближающейся к пункту прогноза, по фактическим данным наблюдений за срок 00 ч *UTC*. Эти данные используют для построения кривых стратификации T и T_d на момент прохождения фронта.

4. На бланке аэрологической диаграммы строят прогностические кривые стратификации T и T_d. У поверхности земли на бланке аэрологической диаграммы наносится только температура точки росы T_d.

Если *ожидается прохождение фронта*, но время его прохождения не совпадает с моментом максимальной конвекции, то необходимо построить кривые стратификации T и T_d для двух моментов времени:

– на момент прохождения фронта;

– на момент максимального развития термической конвекции.

Прогноз конвективных явлений составляют по наибольшему значению максимальной скорости восходящего потока ($W_{\text{макс}}$) из двух расчётов.

Если *прохождение фронта совпадает с моментом максимального прогрева*, то кривые стратификации T и T_d строят на момент

максимального развития термической конвекции. Значение T_d у поверхности земли определяют по фактическим данным и принимают равным максимальному значению T_d в наиболее интенсивной части облачной системы, смещающейся к пункту прогноза.

Если прохождение фронтальных разделов не ожидается (*внутримассовые условия*), то расчёт производят по прогностическим кривым стратификации T и T_d на момент максимального развития термической конвекции.

5. Определяют уровень конденсации. Для его определения проводят изограмму от значения T_d у земли кверху до пересечения с кривой стратификации T. По изобаре, проходящей через эту точку пересечения, определяют уровень конденсации ($H_{\text{конд}}$). Он соответствует нижней границе конвективной облачности. Если пересечение изограммы с кривой стратификации температуры произойдет ниже изобарической поверхности 850 гПа, то необходимо от значения температуры на изобарической поверхности 850 гПа провести сухую адиабату вниз до пересечения с указанной изограммой. По изобаре, проходящей через эту точку пересечения, определяют уровень конденсации.

6. Выясняют необходимость дальнейших расчётов, для чего определяют температуру, при которой может развиваться конвекция. Для определения температуры T', благоприятной для развития термической конвекции, необходимо от найденного уровня конденсации опуститься по сухой адиабате до значения приземного давления. Если $T' > T_{\text{макс}}$ на 2–3° и более, то прогнозируется отсутствие развития конвекции и расчёты далее не производятся. Максимальная температура $T_{\text{макс}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{макс}} = T_{850} + 14,$$

где T_{850} – температура на изобарической поверхности 850 гПа в пункте прогноза за срок 00 ч *UTC*.

Если $T' < T_{\text{макс}}$, то термическая конвекция возможна и расчёты следует продолжить.

7. Строят кривую состояния: от уровня конденсации проводят линию вдоль влажной адиабаты вверх до пересечения с кривой стратификации температуры. По изобаре, проходящей через эту точку пересечения, определяют уровень конвекции ($H_{конв}$). Он соответствует верхней границе конвективной облачности.

8. Определяют уровень максимальной скорости восходящего потока ($H_{W макс}$), где отклонение кривой состояния от кривой стратификации температуры ($\Delta T_{макс}$) становится максимальным.

9. Определяют максимальную скорость восходящего потока $W_{макс}$. Для этого находят следующие параметры:

– $\Delta T_{макс}$ – максимальное отклонение кривой состояния от кривой стратификации температуры T;

– p_1 – давление на уровне конденсации;

– p_2 – давление на уровне $W_{макс}$.

По табл. 5.3 по значениям p_1 и p_2 определяют $\lg \frac{p_1}{p_2}$.

Таблица 5.3

Значения $\lg \frac{p_1}{p_2}$ при различных значениях p_1 и p_2, гПа

p_1	p_2														
	900	850	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200
900	0	0,02	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,21	0,25	0,30	0,35	0,41	0,47	0,55	0,65
850		0	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,19	0,23	0,28	0,33	0,39	0,45	0,53	0,65
800			0	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,50	0,60
750				0	0,03	0,06	0,09	0,13	0,17	0,22	0,27	0,33	0,36	0,47	0,57
700					0	0,03	0,06	0,10	0,14	0,19	0,24	0,30	034	0,44	0,54
650						0	0,03	0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,33	0,41	0,51
600							0	0,04	0,08	0,13	0,18	0,24	0,30	0,38	0,48
550								0	0,04	0,09	0,14	0,20	0,26	0,34	0,44
500									0	0,05	0,10	0,16	0,22	0,30	0,40
450										0	0,05	0,11	0,17	0,25	0,35
400											0	0,06	0,12	0,20	0,30
350												0	0,05	0,14	0,24
300													0	0,08	0,18
250														0	0,10
200															0

По значениям $\Delta T_{макс}$ и $\lg\frac{p_1}{p_2}$ по графику на рис. 5.9 определяют максимальную скорость конвективного потока $W_{макс}$.

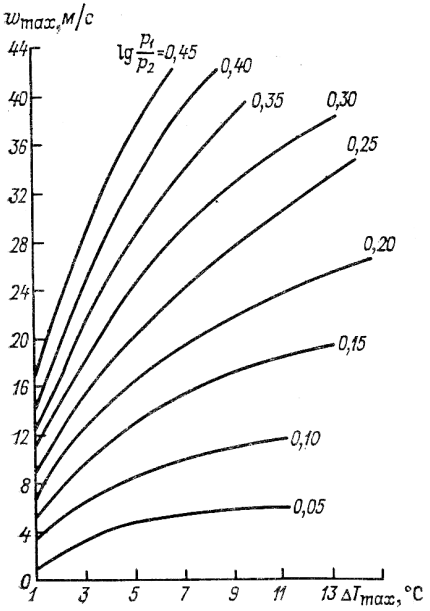


Рис. 5.9. График для определения максимальной скорости конвективного потока $W_{макс}$ (м/с) в облаках по $\Delta T_{макс}$ (°С) при разных значениях $\lg\frac{p_1}{p_2}$

10. Дают *прогноз количества ливневых осадков*.

Для прогноза количества осадков необходимо определить следующие параметры:

– $T_{конд}$ – температуру на уровне конденсации;

– $T_{Wмакс}$ – температуру на уровне $W_{макс}$, снимается с кривой стратификации T;

– $T_{ср}$ – среднюю температуру, определяется по формуле

$$T_{ср} = (T_{конд} + T_{Wмакс})/2;$$

– $p_{ср}$ – среднее давление, определяется по формуле

$$p_{ср} = (p_1 + p_2)/2.$$

На рис. 5.10 по значениям $T_{ср}$ и $p_{ср}$ определяют среднюю плотность воздуха ρ.

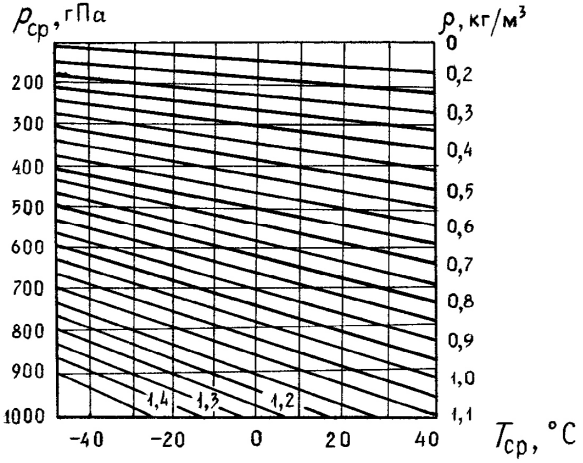


Рис. 5.10. Номограмма для определения средней плотности воздуха ρ (по И.П. Смирнову) по значениям среднего давления ($p_{ср}$) и средней температуры ($T_{ср}$)

На рис. 5.11 по значениям $W_{макс}$ и ρ определяют максимальное количество ливневых осадков $Q_{макс}$.

11. Прогнозируют *возможность возникновения грозы*.

Грозы не ожидаются, если выполняется хотя бы одно из указанных ниже условий:

– ожидаемые значения дефицита точки росы на изобарических поверхностях

D_{850} >15°С, D_{700} > 11°С, D_{500} > 19°С, $D_з$ > 15°С ($D_з$ – дефицит точки росы у поверхности земли);

– суммарный дефицит точки росы на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа больше 30°С. Если $\sum_{850}^{500}\left(T - T_d\right)$ > 30°С, то дальнейшие расчёты не производятся, так как при большой сухости в нижней половине тропосферы конвекция не приводит к образованию кучево-дождевых облаков;

– ожидаемые значения температуры воздуха на изобарических поверхностях

T_{850} = –1°С, T_{700} = –12°С, T_{500} = –28°С;

– ожидается высота уровня конденсации 850 гПа и выше.

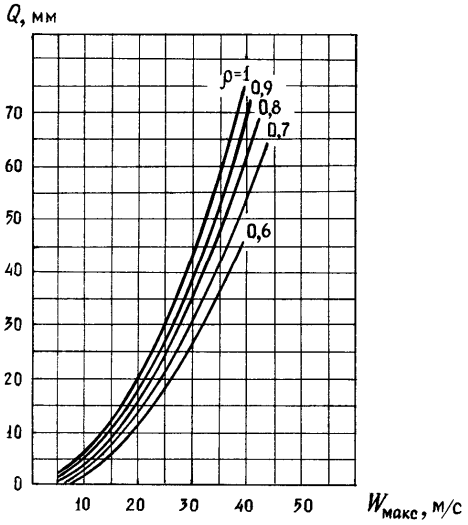


Рис. 5.11. График для определения максимального количества ливневых осадков Q по значениям максимальной скорости восходящих движений $W_{макс}$ и плотности воздуха ρ

Если эти условия не выполняются, то производится расчёт гроз.

Для прогноза гроз определяются следующие параметры:

– $T_{конв}$ – температура на уровне конвекции, снимается с кривой стратификации T на уровне $H_{конв}$;

– H_0 – высота нулевой изотермы (км).

По $T_{конв}$ и $W_{макс}$ определяют возможность возникновения грозы (рис. 5.12).

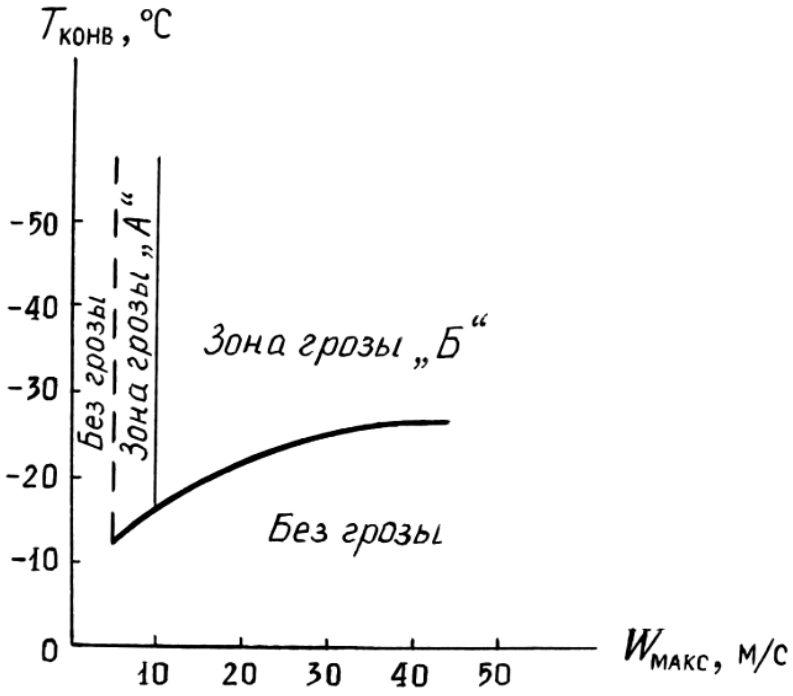


Рис. 5.12. График зависимости возникновения грозы от величины максимальной скорости конвективного потока $W_{макс}$ и температуры на уровне конвекции $T_{конв}$

В области «А» прогнозируют грозу лишь в случаях, когда высота нулевой изотермы (H_0) над поверхностью земли менее или равна 1,5 км. В остальных случаях следует давать прогноз «без грозы». В области «Б» гроза прогнозируется независимо от высоты нулевой изотермы (H_0) над поверхностью земли.

12. Составляют *прогноз града*.

Для прогноза града, образовавшегося во влажном режиме, определяется температура на уровне максимальной скорости $T'_{W\text{макс}}$ (снимается с кривой состояния). По значениям $T'_{W\text{макс}}$ и $W_{\text{макс}}$ определяют возможность образования града (рис. 5.13).

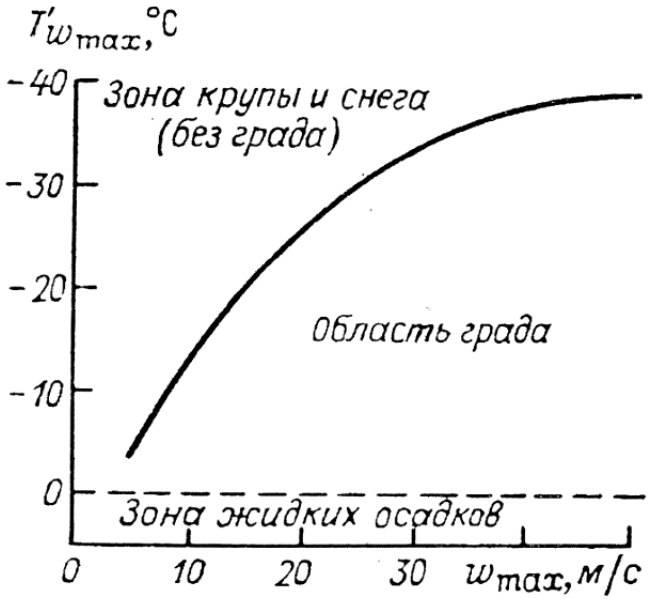


Рис. 5.13. Определение возможности образования града в зависимости от максимальной скорости восходящего потока $W_{\text{макс}}$ и температуры $T'_{W\text{макс}}$ на этом уровне

Если точка попадает в зону града, то определяется размер града по рис. 5.14. По значениям максимальной скорости восходящих движений $W_{макс}$ и высоте нулевой изотермы H_0 определяют размер градин с учётом таяния. При значениях $W_{макс} \geq 25$ м/с и при прохождении через район прогноза обширной системы кучево-дождевых облаков, связанной с циклоном, с помощью рис. 5.15 по значениям $W_{макс}$ определяют размер градин без учёта таяния.

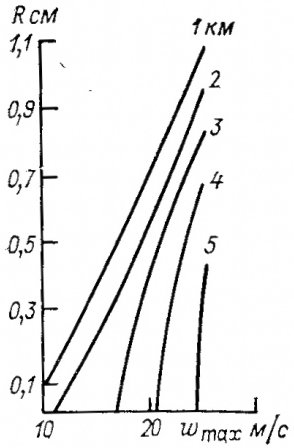


Рис. 5.14. График для определения размера градин с учётом таяния при различной высоте нулевой изотермы (H_0, км) по максимальной скорости восходящего потока $W_{макс}$

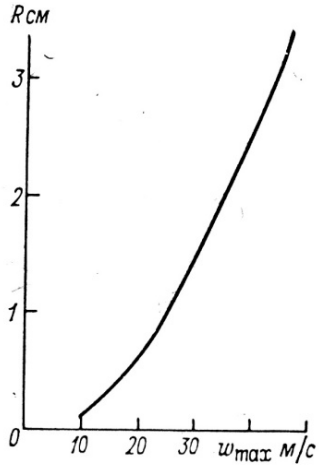


Рис. 5.15. График для определения размера градин без учёта таяния по максимальной скорости восходящего потока $W_{макс}$

Выпадение града также следует предусмотреть в прогнозе, когда $H_0 < 2{,}5$ км, а точка, определяемая по значениям $W_{макс}$ и $T'_{Wмакс}$ (рис. 5.13), оказывается в зоне крупы и снега.

На рис. 5.14 приведён пример построений на аэрологической диаграмме для прогноза максимального количества ливневых осадков, возможности возникновения грозы, образования града и определения его размера.

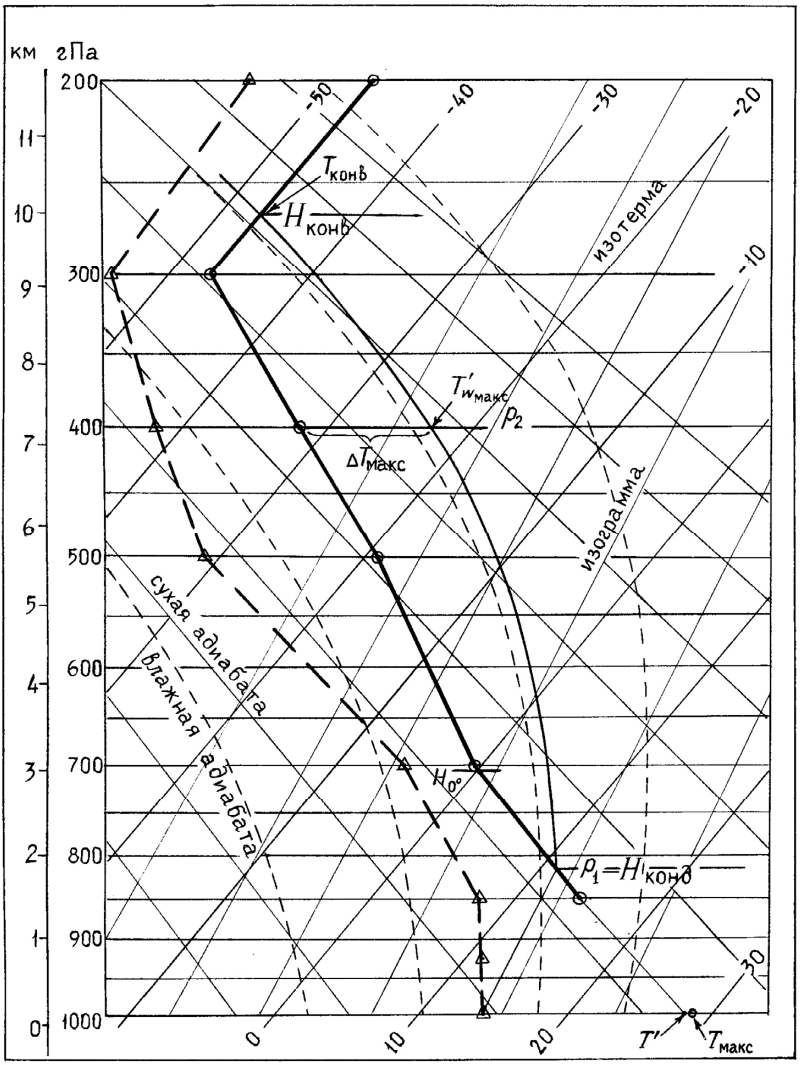


Рис. 5.16. Пример построений на аэрологической диаграмме для прогноза количества ливневых осадков, возможности возникновения грозы и образования града

6. ПРОГНОЗ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА

Направление и скорость ветра определяются, прежде всего, барическим полем – направлением и густотой изобар. Поэтому прогноз среднего направления и скорости ветра основывается на прогнозе поля давления, представленного на прогностических картах («Прогноз приземный»).

Для прогноза ветра учитывают следующие факторы:

1) изменение барического градиента (его увеличение или уменьшение сопровождается соответственно усилением или ослаблением ветра);

2) изменение термодинамической устойчивости воздушной массы в приземном слое (с возрастанием неустойчивости воздушной массы ветер в приземном слое усиливается и характеризуется порывистостью, а его направление приближается к направлению геострофического ветра);

3) усиление ветра при прохождении днём атмосферного фронта;

4) суточный ход ветра (усиление днём, ослабление ночью; чем больше неустойчивость воздушной массы и суточный ход температуры воздуха, тем больше суточный ход скорости ветра);

5) влияние трения (трение ослабляет ветер);

6) влияние местных орографических особенностей (в сужениях рельефа, при гравитационном стоке ветер усиливается и т.д.).

В приземном слое в условиях сложной орографии наблюдаются местные ветры (новороссийская бора, бакинский норд, урсатьевский ветер и др.), возникновение которых имеет свои особенности. Для каждого местного ветра разрабатываются локальные способы прогноза.

6.1. Термины, применяемые в прогнозах ветра

В прогнозах погоды указывают *направление и скорость ветра*. Разрешается использовать детализацию прогноза характеристик ветра (направления, скорости) по частям обслуживаемой территории.

Направление ветра указывают *по восьми румбам* (откуда дует ветер): северо-восточный, южный и т.д.

Если в течение полусуток ожидается изменение направления ветра в пределах двух соседних румбов, то указывают два соседних румба; если ожидается изменение направления ветра более чем на два румба, то используют термин «с переходом».

Примеры

1. Ветер юго-восточный, южный.
2. Ветер южный с переходом на северо-западный.
3. Ветер юго-восточный с переходом во второй половине дня на западный.

В прогнозах погоды указывают максимальную скорость ветра при порывах в метрах в секунду (далее – максимальная скорость ветра) или максимальную среднюю скорость при условии, если порывы не ожидаются. Максимальная средняя скорость ветра – это наибольшая средняя скорость ветра, которая ожидается в любой 10-минутный интервал времени периода действия прогноза (полусуточного, суточного) или в период действия штормового предупреждения.

В прогнозах погоды и штормовых предупреждениях скорость ветра указывают *градациями с интервалом не более 5 м/с.*

При слабом ветре (скорость $\leq$ 5 м/с) разрешается не указывать направление или использовать термин «слабый, переменных направлений».

Если ожидается, что в течение полусуток скорость ветра будет значительно меняться, следует указать на эти изменения, приме-

нив термин «ослабление» или «усиление» с добавлением характеристики времени суток из табл. 2.1 (глава 2).

Пример

Ветер южный скоростью 3–8 м/с с переходом во второй половине дня на северо-западный с усилением до 20 м/с (это означает, что максимальная скорость ветра при порывах достигнет 15–20 м/с).

Если в прогнозируемый интервал скорости ветра попадают значения скорости ветра, достигающие критерия ОЯ, то составляют штормовое предупреждение.

При прогнозе шквала направление ветра не указывают. В прогнозах следует применять выражения «шквалистое усиление ветра до ... м/с» или «шквал (шквалы) до ... м/с» с указанием максимальной скорости ветра при шквале или один интервал скорости.

Пример

При грозе шквалистое усиление ветра до 20–25 м/с (или шквал до 25 м/с, т.е. максимальная скорость ветра при шквале достигнет 20–25 м/с).

В прогнозах погоды, помещаемых в ЕГМБ и передаваемых пользователям информации, одновременно с количественным значением ожидаемой скорости ветра разрешается применять качественную её характеристику в соответствии с табл. 6.1.

Таблица 6.1

Качественные характеристики, применяемые в прогнозах скорости ветра

Диапазон скорости ветра, м/с	Качественная характеристика ветра
0–5	Слабый
6–14	Умеренный
15–24	Сильный
25–32	Очень сильный
33 и более	Ураганный

Если прогнозируемая скорость ветра соответствует двум качественным характеристикам, то используют характеристику для верхней границы диапазона.

Пример

Ветер с прогнозируемой скоростью 12–17 м/с имеет качественную характеристику «сильный», так как значение 17 м/с входит в диапазон скорости 15–24 м/с.

6.2. Прогноз направления ветра

Исходными материалами для прогноза направления ветра служат приземная синоптическая карта за срок 00 ч *UTC* и прогностические приземные карты на 24 и 36 ч.

Прогноз направления ветра даётся специалистами синоптическим методом. Это значит, что синоптик, оценив будущее синоптическое положение (прогноз поля давления), определяет преобладающее направление ветра.

Направление ветров у земной поверхности в различных барических системах приведено на рис. 6.1.

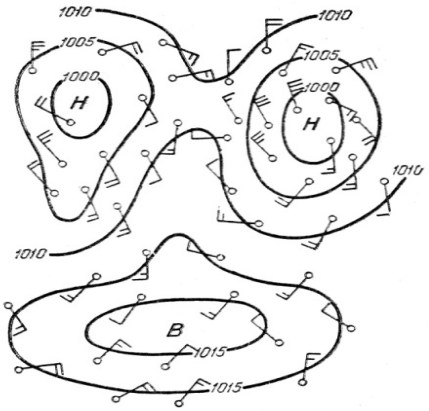


Рис. 6.1. Ветры в приземном слое в различных барических системах

Действительный ветер у поверхности земли вследствие действия силы трения отклоняется от изобар в сторону низкого давления (влево в северном полушарии). В среднем угол между направлением ветра и касательной к изобаре в данном пункте составляет 15° над морем, 30° – над сушей на равнине и 45° – на холмистой местности. При больших скоростях действительного ветра его отклонение от направления изобар меньше, чем при малых скоростях.

6.3. Прогноз скорости ветра (метод В.М. Ярковой)

Метод основан на учёте взаимосвязи скорости ветра у поверхности земли и на изобарической поверхности 850 гПа. Усиление ветра происходит в основном в зоне динамически значимых фронтов, смещающихся с большой скоростью. Одним из необходимых условий усиления ветра является быстрое перемещение циклонов с севера, северо-запада, запада и юго-запада по территории Западной Сибири при наличии над Казахстаном или Монголией антициклона. При этом скорость ветра зависит от интенсивности атмосферных процессов. Чем больше величина падения или роста давления соответственно в передней и тыловой частях циклона, тем значительнее усиление ветра. Сильный ветер у земли связан также со струйными течениями.

Метод разработан В.М. Ярковой для прогноза скорости ветра у поверхности земли на юго-востоке Западной Сибири.

Усиление ветра следует ожидать при следующих условиях:

– над Монголией или Казахстаном располагается антициклон, а на районы Западной Сибири по одной из указанных выше траекторий смещается циклон с давлением в центре 1000 гПа и менее. Чем меньше давление в центре циклона, тем вероятнее усиление ветра. Чаще всего усиление ветра происходит, если циклон перемещается на расстоянии менее 1000 км от пункта расчёта;

– изаллобарические очаги хорошо выражены;

– скорость смещения циклонов и фронтов составляет 30 км/ч и более;

– фронтальные разделы динамически значимы: контрасты температуры в их зоне на карте АТ-850 составляют 6°С/1000 км расстояния и более;

– ветер усиливается с высотой и во времени (по сравнению с предшествующими сутками);

– район к моменту прогноза будет находиться в области струйного течения;

– прослеживается циклоническая кривизна изогипс на высотах; небольшая антициклоническая кривизна также не препятствует усилению ветра.

Если выполняются все перечисленные выше условия, то скорость ветра у поверхности земли $V_з$ определяют по V_{850} в начальной точке траектории по табл. 6.2 при коэффициенте К = 1.

Если не выполняется хотя бы одно из приведённых условий, то скорость ветра у земли находят по табл. 6.2 при коэффициенте К = 0,7.

Если прохождения фронтов через пункт прогноза не ожидается, то для условий однородной воздушной массы К = 0,5.

Усиление ветра *маловероятно* при следующих условиях:

– в район прогноза смещается неглубокий или окклюдированный циклон с небольшой скоростью (менее 30 км/ч);

– контрасты во фронтальной зоне на АТ-850 менее 6°С/1000 км расстояния;

– скорость смещения фронта менее 30 км/ч;

– прослеживается антициклоническая кривизна изогипс на высотах;

– фронт проходит в поле высокого давления;

– пункт прогноза находится вблизи точки смены знака на фронте;

– струйных течений в зоне фронта нет или они наблюдаются в виде отдельных очагов.

Прогноз скорости ветра в районе пункта прогноза может составляться с заблаговременностью 12–36 ч.

Исходным аэросиноптическим материалом для составления прогноза скорости ветра служат приземная синоптическая карта и карты барической топографии АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300 за срок 00 ч *UTC* текущих суток, приземная синоптическая карта за предшествующие сутки, прогностические приземные карты на 24 и 36 ч.

Порядок расчёта:

1. По исходной карте АТ-850 строят траекторию движения частиц на тот срок, на который составляется прогноз (12, 24 или 36 ч).

2. Определяют прогностическую скорость ветра на изобарической поверхности850 гПа (V_{850}) в начальной точке траектории.

3. Уточняют прогнозируемую синоптическую ситуацию:

а) если через район пункта прогноза ожидается прохождение фронта или он будет находиться на расстоянии 200–300 км от пункта, то с приземной карты снимают величины барических тенденций в той части фронта, которая смещается в данный район. С карты АТ-850 снимают контрасты температуры в зоне фронта на 1000 км расстояния. Рассчитывают скорость смещения фронта;

б) по приземной карте и карте АТ-500 определяют скорость ветра в зоне фронта;

в) по приземной карте в предшествующие сутки определяют скорость ветра в зоне фронта;

г) по фактической приземной карте погоды снимают давление в центре циклона, определяют его траекторию и скорость смещения; уточняют его положение и давление в центре по прогностической приземной карте;

д) по этим же картам устанавливают наличие или отсутствие антициклона над Монголией или Казахстаном, находят его мощность;

е) по карте АТ-500 определяют знак кривизны изогипс (циклоническая или антициклоническая);

ж) по карте АТ-300 или карте максимальных ветров устанавливают наличие или отсутствие струйного течения в области фронта.

4. Полученные характеристики сравнивают с основными условиями, способствующими усилению ветра, и определяют коэффициент К.

5. По табл. 6.2, зная V_{850} и коэффициент К (К = 1; К = 0,7; К = 0,5), находят прогностическую скорость ветра у поверхности земли.

Таблица 6.2

Зависимость скорости ветра у поверхности земли от скорости ветра на изобарической поверхности 850 гПа

V_{850}, км/ч	Ветер у земли, м/с		
	К = 1	К = 0,7	К = 0,5
Менее 40	5–9	0–4	0–4
40–60	10–14	5–9	0–4
61–70	15–19	10–14	5–9
71–80	20–24	15–19	7–12
81–90	25–29	20–24	10–14
91–100	30–35	25–29	15–19

Примечание. К = 1, если выполняются все условия, благоприятные для усиления ветра; К = 0,7, если не выполняется хотя бы одно из условий; К = 0,5 для условий однородной воздушной массы.

Скорость ветра при грозовых шквалах предлагаемым методом рассчитывать не рекомендуется.

7. ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

7.1. Термины, применяемые в прогнозах температуры воздуха

В прогнозах погоды указывают *минимальную температуру воздуха ночью и максимальную температуру воздуха днём* или изменение температуры воздуха при аномальном ходе, составляющее 5°С и более за полусутки.

Ожидаемую минимальную и максимальную температуру указывают *градациями с интервалами для пункта* 2°С, *а для территории* – 5°С. В прогнозах температуры по пункту или по отдельной части территории допускается температуру указывать одним числом: для пункта – с использованием предлога «около», а для части территории – предлога «до». В первом случае имеется в виду середина прогнозируемого интервала температуры для пункта, во втором случае – её предельное значение для части территории.

Примеры

1. В прогнозе по пункту указана температура около 20°С. Это означает, что ожидается температура 19–21°С.

2. По западу территории прогнозируется температура до 20°С. Это означает, что ожидается температура 15–20°С.

Если ожидаемое распределение температуры воздуха по территории не укладывается в интервал, равный 5°С, то рекомендуется применять дополнительные градации температуры с использованием детализации прогноза по частям территории. При этом в прогнозе следует указать районы, где ожидаются эти отклонения температуры (или условия, при которых они будут отмечаться, например, «при прояснениях»).

Примеры

1. Температура 5–10°С, на юге области до 15°С.

2. Температура ночью 1–6°С, при прояснениях до –2°С.

Если ожидается аномальный ход температуры воздуха, то указывают её наиболее высокое (низкое) значение с использованием характеристик времени суток, приведённых в табл. 2.1.

При использовании терминов «повышение» (потепление) или «понижение» (похолодание), «усиление (ослабление) мороза» прогнозируемое значение температуры допускается указывать одним числом с предлогом «до».

Примеры

1. Ослабление мороза от –10...–12°С вечером до –2°С утром.

2. Ожидается похолодание: температура понизится от –5...–7°С утром до –14...–16°С вечером.

Если в период активной вегетации в прогнозируемый интервал температуры воздуха попадают значения ниже 0°С (ОЯ), то составляют штормовое предупреждение о заморозках. Штормовое предупреждение составляют также в том случае, если заморозки ожидаются на поверхности почвы (с указанием значения минимальной температуры).

Примеры

1. При прогнозируемой температуре ночью –2...3°С составляют штормовое предупреждение об ожидаемых заморозках до –2°С.

2. При составленном прогнозе «температура ночью 1–6°С (на почве слабые заморозки до –2°С)» также составляют штормовое предупреждение об ожидаемых заморозках на почве до –2°С.

Если ожидается, что максимальная (минимальная) температура воздуха достигнет значений ОЯ или в прогнозируемый интервал попадают значения температуры, являющиеся критериями ОЯ, то

применяют термин «сильная жара» («сильный мороз») и составляют штормовое предупреждение.

Пример

По территории области ожидается температура 35–40°С; критерий ОЯ по температуре («сильная жара») равен 40°С. Необходимо составить штормовое предупреждение об ожидаемой сильной жаре.

Если ожидается, что средняя суточная температура воздуха, равная половине суммы прогностических значений минимальной и максимальной температуры воздуха, будет значительно (на 7°С и более) ниже (выше) климатической нормы, то необходимо составить специальное информационное сообщение об аномально холодной (аномальной жаркой) погоде.

7.2. Прогноз минимальной и максимальной температуры воздуха (метод М.К. Гиляровой)

Синоптиками Новосибирского бюро погоды была найдена зависимость повторяемости экстремальных температур воздуха у поверхности земли от температуры воздушной массы на изобарической поверхности 850 гПа и облачности в течение суток. Это позволило им составить таблицы повторяемости максимальных и минимальных температур в определённых пределах в зависимости от температуры воздуха на изобарической поверхности 850 гПа и ожидаемого количества облачности для каждого месяца, кроме декабря и января. В зимние месяцы (декабрь и январь), вследствие частого образования мощных инверсий, связь температуры на изобарической поверхности 850 гПа с приземной температурой выражена слабо. Для этих месяцев температуру можно рассчитывать по таблицам для ноября и февраля лишь в случаях резкой смены воздушных масс при отсутствии инверсии.

Количество облаков учитывают по следующим градациям:

а) *облачно* – преобладание 10 баллов нижней или 10 баллов средней облачности;

б) *облачно с прояснениями* – колебание облачности от 8–10 до 5 баллов, преобладание облачности более 5 баллов;

в) *ясно, небольшая облачность* – количество нижней облачности не более 5 баллов, преобладание облачности верхнего яруса (любое количество баллов).

Облачность определяется с учётом изменения её количества в течение суток. Эти зависимости (табл. 7.1–7.20) могут быть использованы при составлении прогноза температуры воздуха при любой синоптической обстановке.

Порядок расчёта:

1. По карте АТ-700 за срок 00 ч UTC обычным путём находят траекторию воздушной частицы для пункта прогноза на 24 и 36 ч, т.е. на ближайшую ночь и на следующий день. При этом считается $V = 0{,}8 \cdot V_{700}$. При слабых потоках на АТ-700 (не более 30 км/ч) траекторию лучше находить по карте АТ-850 ($V = V_{850}$).

2. Траектории воздушных частиц переносят на карту АТ-850. В начальных точках траекторий с АТ-850 снимают температуру.

3. Прогнозируют облачность на ночь и следующий день с учётом синоптической обстановки (см. главу 3 настоящего пособия).

4. По соответствующей температуре на АТ-850 и ожидаемой облачности по табл. 7.1–7.20 определяют прогностическую минимальную и максимальную температуру воздуха. При этом учитывают, что в начале текущего месяца минимум надо брать наиболее низкий из вероятных, а в конце месяца – наиболее высокий.

В таблицы включены только наиболее часто повторяющиеся экстремальные температуры. Не исключены случаи, когда фактический минимум (максимум) не войдет в пределы градаций. Это может наблюдаться, например, при сильном южном выносе воздуха; при сохранении плёнки холодного воздуха у земли днём и в некоторых других случаях.

Таблица 7.1

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Февраль

T_{850}, °С	Синоптическая ситуация	Минимальная температура, °С			Радиационное выхолаживание, °С
		Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–28…–35	Тыл циклона с вторичными фронтами	–	–28…–34	–25	Нет или слабое 2–4
	Устойчивый антициклон или гребень	–35…–45	–	–	10–16
–22…–27	Тыл циклона, фронтальная зона	–26…–29	–26…–29	–26…–29	8–10
	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–30…–35	–	–	10, реже 12–14
	Другие синоптические ситуации	–20…–25	–20…–25	–20…–25	–
–16…–21	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–26…–28	–26…–29	–	8–10, реже 12–16
	Другие синоптические ситуации	–15…–21	–15…–21	–15…–21	–
–11…–15	Независимо от синоптической ситуации	–16…–22	–16…–22	–12…–19	–
–6…–10	То же	–16…–20	–16…–20	–8…–13	–
–1…–5	»	–8…–14	–8…–14	–5…–10	–
0…5	»	–8…–12	–5…–8	–3…–4	–

Таблица 7.2

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Февраль

T_{850}, °С	Синоптическая ситуация	Максимальная температура, °С			Примечание
		Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–28…–35	Тыл циклона с вторичными фронтами	–28…–30	–	–	–
	Устойчивый антициклон или гребень	–28…–30	–	–	Разруш. инверсии
		–34…–39	–	–	Сохран. инверсии
–22…–27	Тыл циклона, фронтальная зона	–22…–27	–22…–27	–22…–27	–
	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–20…–25	–	–	Разруш. инверсии
		–25…–28	–	–	Сохран. инверсии
	Другие синоптические ситуации	–	–	–	–
–16…–21	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–18…–20	–	–16…–20	–
	Другие синоптические ситуации	–	–13…–18	–13…–18	–
–11…–15	Независимо от синоптической ситуации	–	–8…–13	–8…–13	–
–6…–10	То же	–15…–20	–5…–11	0…–5	–
–1…–5	»	0…–5	+1…+3	+2…–4	–
+0…+6	»	+4…+6	–6…+2	–	–

Таблица 7.3

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Март

T_{850}, °С	Синоптическая ситуация	Минимальная температура, °С			Примечание
		Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–23…–29	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–28…–30	–	–	–
	Другие синоптические ситуации	–23…–28	–23…–28	–23…–28	–
–16…–22	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–22…–28	–	–15…–20	–
	Другие синоптические ситуации	–20…–25	–20…–25	–20…–25	–
–11…–15	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–20…–25	–	–	–
	Другие синоптические ситуации	–	–12…–15	–8…–12	В тёплом секторе циклона в зоне фронта при облачном небе –3…–5
–6…–10	Независимо от синоптической ситуации	–14…–19	–9…–14	–4…–10	То же 0…–2
–1…–5	То же	–8…–13	–8…–13	–4…–9	То же +1…+3
0…+5	»	+1…–5	+1…–5	+3…–2	–

Таблица 7.4

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Март

T_{850}, °С	Синоптическая ситуация	Максимальная температура, °С			Примечание
		Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–23…–29	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–18…–21	–	–	Только в первой декаде
	Другие синоптические ситуации	–14…–18	–14…–18	–14…–18	–
–16…–22	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–15…–20	–	–	Только в первой декаде
	Другие синоптические ситуации	–10…–15	–10…–15	–10…–15	В тёплом секторе –6…–8
–11…–15	Антициклон, гребень, малоградиентное поле	–3…–8	–3…–8	–3…–8	Редко –9…–13
	Другие синоптические ситуации	–3…–8	–3…–8	–3…–8	–
–6…–10	Независимо от синоптической ситуации	0…+5	–2…+2	–3…+2	Иногда –5…–10
–1…–5	То же	+1…+8	–2…+5	–2…+5	–
0…+5	»	+1…+7	+1…+7	+1…+7	При сильном южном выносе +9…+14
+6…+10	»	–	–	+4	–

Таблица 7.5

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Апрель

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–26…–32	–24…–27	–	–	–
–21…–25	–24…–27	–	–	–
–16…–20	–15…–20	–9…–15	–	–
–11…–15	–6…–12	–6…–12	–6…–12	–
–6…–10	–5…–10	–5…–10	–1…–7	–
–1…–5	–4…+4	–4…+4	–4…+4	В антициклоне и гребне при ясном небе –5…–8
0…+5	–3…+6	+1…+7	+1…+7	При облачном небе и сильном ветре до +10
+6…+10	+4…+10	+4…+10	+4…+10	–
+11…+18	+12…+14	+12…+14	+12	–

Таблица 7.6

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Апрель

T_{850}, °C	Максимальная температура, °C			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–26…–32	–15…–18	–	–	–
–21…–25	–13…–14	–9…–12	–9…–12	–
–16…–20	–4…–9	–2…–7	–2…–7	–
–11…–15	–1…–2	–4…+1	–4…+1	–
–6…–10	+1…+6	+1…+6	+0…+5	–
–1…–5	+7…+14	+7…+14	+1…+6	–
0…+5	+15…+20	+10…+16	+8…+13	При облачном небе и $T_{850} \approx 0$ возможно +2…+6
+6…+10	+21…+24	+18…+22	+18…+22	–
+11…+15	до +23	–	–	–
+16…+18	+30…+31	–	–	–

Таблица 7.7

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Май

T_{850}, °C	Минимальная температура, °C			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–11…–16	–4…–8	–4…–8	0…–5	–
–6…–10	–1…–4	–1…–4	–1…+1	–
–0…–5	–2…+2	–2…+2	+1…+5	–
+1…+5	+1…+6	+3…+8	+3…+8	–
+6…+10	+7…+14	+7…+14	+7…+14	–
+11…+15	+12…+16	+12…+16	+12…+16	–
+16…+18	+14…+15	+14…+15	–	–

Таблица 7.8

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Май

T_{850}, °C	Максимальная температура, °C			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–11…–16	+1…+4	+1…+4	–0…–3	–
–6…–10	+4…+8	+4…+8	+4…+8	–
–0…–5	+11…+16	+11…+16	+9…+14	При облачном небе и $T_{850} \approx -5$ в первую половину месяца возможно +4…+8
+1…+5	+15…+22	+15…+20	+15…+20	–
+6…+10	+21…+26	+20…+25	+17…+22	–
+11…+15	+27…+31	+26…+28	+25	–
+16…+18	+31…+32	–	–	–

Таблица 7.9

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Июнь

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–5…0	+0…+5	+2…+6	+2…+6	–
+1…+5	+6…+11	+6…+11	+6…+11	–
+6…+10	+10…+15	+10…+15	+10…+15	В начале месяца +6... +8
+11…+15	+12…+17	+12…+17	+12…+17	–
+16…+20	+15…+20	+15…+20	+15…+20	–

Таблица 7.10

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Июнь

T_{850}, °С	Максимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–5…0	–	+10…+15	+10…+15	–
+1…+5	–	+15…+20	+15…+20	–
+6…+10	+20…+25	+18…+24	+18…+24	В начале месяца возможно +16
+11…+15	+25…+30	+23…+28	+21…+26	Редко +20
+16…+20	+28…+33	+28…+33	+28…+33	–

Таблица 7.11

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Июль

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
0…+5	+7…+11	+7…+11	+7…+11	–
+6…+10	+9…+14	+11…+16	+11…+16	–
+11…+15	+12…+17	+13…+18	+13…+18	–
+16…+20	+16…+21	+16…+21	+16…+21	–

Таблица 7.12

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Июль

T_{850}, °С	Максимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
0…+5	+16…+21	+16…+21	+16…+21	–
+6…+10	+21…+26	+20…+25	+18…+23	При $T_{850} \approx 6$ +16
+11…+15	+25…+30	+23…+28	+23…+28	–
+16…+20	+26…+31	+26…+31	+26…+31	–
+21…+25	+32…+37	+32…+37	+32…+37	–

Таблица 7.13

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Август

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–1…–5	–	+3…+8	+3…+8	–
0…+5	+5…+10	+7…+12	+7…+12	–
+6…+10	+8…+13	+9…+14	+10…+15	В отдельных случаях при $T_{850} \approx 6$ +6
+11…+15	+9…+14	+11…+16	+12…+17	В отдельных случаях при $T_{850} \approx 11$ +5
+16…+20	+13…+18	+13…+18	–	–

Таблица 7.14

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Август

T_{850}, °С	Максимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–1…–5	+17…+22	–	–	–
0…+5	–	+15…+20	+13…+18	–
+6…+10	+19…+24	+18…+23	+18…+23	В отдельных случаях +10...+16
+11…+15	+23…+28	+21…+26	+21…+26	В отдельных случаях +16...+17
+16…+20	+28…+33	–	–	–

Таблица 7.15

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Сентябрь

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–5…0	–1…+2	+2…+7	+2…+7	–
+1…+5	+2…+8	+5…+10	+5…+10	–
+6…+10	+6…+11	+6…+11	+6…+11	Крайне редко до +14
+11…+15	+5…+10	+8…+13	+8…+13	–

Таблица 7.16

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Сентябрь

T_{850}, °С	Максимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–5…0	+9…+14	+9…+14	+7…+12	–
+1…+5	+13…+18	+13…+18	+13…+18	Редко +20
+6…+10	+18…+23	+16…+21	+16…+21	–
+11…+15	+22…+27	+22…+27	+22…+27	–

Таблица 7.17

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Октябрь

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–16…–20	–22	–	–	Крайне редко
–11…–15	–14…–19	–5…–11	–5…–11	При сильном ветре до –3
–6…–10	–3…–8	–1…–6	–4…+1	–
–1…–5	–2…–7	–1…+5	–1…+5	В конце месяца при ясном небе до –12, при облачном до –6
0…+5	–1…+4	+2…+7	+2…+7	–
+6…+10	+1…+6	–	–	–

Таблица 7.18

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Октябрь

T_{850}, °С	Максимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–16…–20	–	–	–5…–10	–
–11…–15	–5…–10	–2…–7	–4…+1	–
–6…–10	–5…0	–2…+4	–2…+4	–
–1…–5	0…+5	+2…+8	+2…+8	–
0…+5	+13…+18	+3…+9	+3…+9	–
+6…+10	+15…+20	+10…+15	+10…+15	–

Таблица 7.19

Зависимость минимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Ноябрь

T_{850}, °С	Минимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–16…–20	–21…–28	–	–12…–17	–
–11…–15	–16…–21	–7…–12	–4…–8	Редко при ясном небе –27
–6…–10	–10…–15	–2…–7	–2…–7	–
–1…–5	–1…–8	–4…+1	–4…+1	–

Таблица 7.20

Зависимость максимальных температур воздуха от температуры на АТ-850 и от облачности

Ноябрь

T_{850}, °С	Максимальная температура, °С			Примечание
	Ясно, небольшая облачность	Облачно с прояснениями	Облачно	
–16…–20	–16…–21	–13…–18	–8…–13	–
–11…–15	–13…–18	–4…–10	–4…–10	При слабом ветре и облачной погоде –6…–12
–6…–10	–6…–0	–6…–0	–6…–0	–
–1…–5	–	0…+5	–2…+3	–
0…+5	–3…+2	–3…+2	–3…+2	–

7.3. Уточнение значений минимальной и максимальной температуры воздуха

Уточнение градации минимальной температуры воздуха для прогноза погоды по области и городу производят по карте минимальных температур и осадков. Для этой цели выполняют следующие операции:

1) по координатам начальной точки траектории на 24 ч, полученным на карте АТ-700, находят её положение на карте минимальных температур и осадков;

2) определяют в начальной точке траектории минимальную температуру воздуха;

3) внутри градации минимальной температуры, определённой по методу М.К. Гиляровой, выбирают прогностическую температуру для города в интервале 2°С с учётом значения минимальной температуры в начальной точке траектории;

4) очерчивают на карте примерные границы Томской области около начальной точки траектории, из которой придёт воздушная частица в г. Томск;

5) оценивают пределы изменения минимальной температуры по области и сопоставляют со значениями минимальной температуры, полученными по методу М.К. Гиляровой.

Если наблюдаются значительные различия минимальной температуры в некоторых районах области (распределение температуры не укладывается в интервал 5°С), то в прогнозе применяют дополнительные градации температуры. При этом выделяют эти районы, указав их географическое положение (запад, юг, центральные районы и т.д.) или условия, при которых ожидаются отклонения температуры.

Аналогично производят уточнение прогноза максимальной температуры воздуха. Для этого используют карту максимальных температур и осадков.

8. ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ

8.1. Общие положения

Оценка успешности краткосрочных прогнозов погоды и штормовых предупреждений является обязательной.

В зависимости от поставленной цели оценка прогнозов погоды и штормовых предупреждений может быть административной и научной.

Административная оценка предусматривает расчёт двух-трёх показателей успешности прогнозов (оправдываемости и точности) и выполняется с целью:

– осуществления мониторинга общего качества прогнозирования;

– установления путей его совершенствования и принятия необходимых административных решений (подготовка методических документов, создание новых оперативных технологий, оснащение более современной вычислительной техникой и т.д.).

Научная оценка предусматривает расчёт того или иного ряда показателей успешности с целью определения сильных и слабых сторон методов и технологий прогнозирования, моделей атмосферы, а также для определения конкретных путей их развития и совершенствования путём дополнительных исследований.

8.2. Показатели успешности краткосрочных прогнозов погоды

Оценку успешности прогноза погоды выполняют путём сравнения прогнозируемых метеорологических величин и явлений по-

годы с данными наблюдений метеорологических станций, расположенных на территории, по которой был составлен прогноз, и последующего расчёта соответствующих статистических показателей.

Основным показателем успешности прогнозов погоды является *оправдываемость*.

Оправдываемость прогноза метеорологической величины – степень соответствия прогнозируемого интервала значений метеорологической величины фактически наблюдавшимся её значениям с установленным допуском (своим для каждой метеорологической величины). Прогнозы всех метеорологических величин, кроме количества осадков, оценивают в альтернативной форме: «прогноз оправдался» или «прогноз не оправдался».

Оправдываемость прогноза явлений погоды по пункту (территории) оценивают в альтернативной форме по факту наличия или отсутствия явления («прогноз оправдался» или «прогноз не оправдался»).

Краткосрочные и сверхкраткосрочные прогнозы погоды оценивают по пункту и территории раздельно для дня и ночи. Оправдываемость суточного прогноза определяется как среднее из значений оправдываемости прогнозов на ночь и на день.

Прогнозы погоды по пункту оценивают по данным наблюдений имеющейся метеорологической станции. Если в пункте и в ближайших пригородах регулярно проводят наблюдения на двух и более станциях и постах, то прогнозы оценивают аналогично прогнозам по территории.

В случае детализации прогноза привлекают данные наблюдений всех метеорологических станций и постов, находящихся в данном пункте и в ближайших (до 20 км) пригородах (окрестностях).

Для оценки успешности прогнозов погоды по территории используют данные наблюдений метеорологических станций и постов (в том числе находящихся в пункте), привлечённых к подаче телеграмм в основные и дополнительные сроки и передаче штормовых оповещений.

Для оценки успешности прогнозов погоды по территории, содержащих указание на метеорологические величины и (или) явления погоды, достигающие критериев ОЯ, используют данные наблюдений станций и постов (в том числе, по возможности, других ведомств), привлечённых к подаче телеграмм в основные и дополнительные сроки и передаче штормовых оповещений.

Кроме этого используют данные МРЛ, а также сведения, полученные в результате обследования районов, пострадавших от воздействия ОЯ, специалистами учреждений Росгидромета.

Для выполнения оценки детализированных по территории прогнозов погоды заранее производят районирование обслуживаемой территории с установлением соответствующего перечня метеорологических станций и постов.

Расчёт успешности прогноза погоды по пункту и территории включает расчёты соответствующих показателей для каждой метеорологической величины и каждого явления погоды сначала по пункту, а затем по территории.

При оценке успешности прогнозов метеорологических величин и явлений погоды по пункту (территории) оправдываемость прогнозов метеорологических величин и явлений погоды P (%) рассчитывают по формуле

$$P = \frac{n}{N} \cdot 100, \qquad (8.1)$$

где n – число станций, на которых прогноз рассматриваемой метеорологической величины (атмосферного явления) оправдался; N – общее число метеорологических станций (постов) на рассматриваемой территории.

При оценке успешности детализированных прогнозов метеорологических величин (с использованием дополнительных градаций метеорологических величин и явлений погоды) по территории оправдываемость прогнозов для территории $P_{\text{тер}}$ (%) рассчитывают по формуле

$$P_{\text{тер}} = \frac{n_{\text{осн}} + n_{\text{доп}}}{N} \cdot 100, \qquad (8.2)$$

где $n_{\text{осн}}$ – число станций с оправдавшимся прогнозом метеорологической величины в основной градации; $n_{\text{доп}}$ – число станций с оправдавшимся прогнозом метеорологической величины в дополнительной градации.

Для характеристики точности прогноза максимальной и минимальной температуры воздуха по пункту дополнительно рассчитывают среднюю абсолютную ошибку δ_t (°С) с точностью до 0,1°С отдельно для максимальной и минимальной температуры по формуле

$$\delta_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left| t_n - t_{\text{ф}} \right|_i, \qquad (8.3)$$

где t_n и $t_{\text{ф}}$ – прогностическое значение (среднее значение прогнозируемой градации по пункту) и фактическое значение температуры воздуха (максимальной или минимальной) на каждой метеорологической станции рассматриваемого пункта; N – количество метеорологических станций в пункте.

Оценку успешности прогноза метеорологических величин и явлений погоды производят независимо от того, предусматривались или не предусматривались ОЯ в данном прогнозе, наблюдались или не наблюдались они фактически.

При использовании в прогнозах погоды терминов, приведённых в табл. 2.1, оценка оправдываемости производится с учётом временных допусков (отклонений фактического времени возникновения или окончания явления погоды от прогнозируемого), составляющих ±2 ч от границ интервала времени.

8.3. Оценка успешности прогнозов метеорологических величин и явлений погоды по пункту и территории

8.3.1. Оценка успешности прогнозов температуры воздуха

Оценку успешности прогноза температуры воздуха производят путём сравнения прогностических значений температуры воздуха (днём – максимальной, ночью – минимальной) с фактически наблюдавшимися значениями указанной температуры воздуха на каждой метеорологической станции пункта или территории.

Успешность прогноза температуры воздуха по пункту и территории характеризует оправдываемость (а по пункту – и абсолютная ошибка) прогноза отдельно для максимальной и минимальной температуры.

Определение оправдываемости прогноза температуры на каждой станции производится альтернативно с допуском, составляющим не более 2°С от крайних значений прогнозируемой градации.

Оправдываемость прогноза температуры воздуха на каждой станции P_t = 100%, если фактически наблюдаемая максимальная (минимальная) температура находилась в пределах прогнозируемой градации или отличалась от крайних её значений не более чем на 2°С. Если фактические значения наблюдаемой температуры отличались от крайних значений прогнозируемой градации более чем на 2°С, то оправдываемость P_t = 0%.

Оправдываемость прогноза температуры воздуха по пункту $P_{t\,n}$ и по территории $P_{t\,\text{тер}}$ за полусутки в процентах определяется по формуле (8.1).

Примеры

1. В прогнозе по пункту прогнозировалась минимальная температура ночью 5–7°С, максимальная температура днём 14–16°С. Фактически наблюдалось: ночью минимальная температура 4°С, днём максимальная температура 11°С. Оправдываемость прогноза минимальной температуры $P_{t\,n}$ = 100%, так как она отличается от

крайнего значения прогнозируемого интервала (5°С) на 1°С. Оправдываемость максимальной температуры – 0%, так как она отличается от крайнего значения прогнозируемого интервала (14°С) на 3°С при допуске 2°С.

2. В прогнозе по территории (на которой расположено 13 станций) на ночь прогнозировалась температура минус –10...–15°С. Фактически на 12 станциях минимальная температура отмечена –8°С...–16°С (прогноз оправдался), а на одной станции она была –6°С (прогноз не оправдался). Общая оправдываемость прогноза температуры по территории составит

$$P_{t\text{тер}} = \frac{12}{13} \cdot 100 = 92\% .$$

В случае использования в прогнозе по территории дополнительной градации температуры воздуха расчёт оправдываемости производится по формуле (8.2).

Примеры

1. В прогнозе температуры на ночь по территории дана минимальная температура –9...–14°С, в центральных районах области –19...–24°С.

Число станций на обслуживаемой территории – десять, из них в центральной части области – три.

Фактически наблюдалось: в центральных районах области на одной станции температура была –20°С (прогноз оправдался), на двух станциях температура понижалась до –27°С и –29°С (прогноз не оправдался).

На остальной территории (на семи станциях) отмечена температура: на шести станциях –8...–15°С (прогноз оправдался), на одной станции –17°С (прогноз не оправдался).

Общая оправдываемость прогноза по территории составит

$$P_{t\text{тер}} = \frac{6+1}{10} \cdot 100 = 70\% .$$

2. В прогнозе на день по территории (10 станций) прогнозировалась температура воздуха 18–23°С, при прояснениях до 28°С. Так как термин «при прояснениях» допускает дополнительную градацию «в отдельных районах», оценка прогноза температуры воздуха производится по формуле (8.2).

Фактически на семи станциях температура воздуха была от 17 до 22°С (прогноз оправдался), на одной станции 15°С (прогноз не оправдался), на двух станциях количество облаков уменьшалось (прояснения) и температура воздуха повышалась до 26–27°С (прогноз при прояснениях оправдался).

$$P_{t\text{тер}} = \frac{(7 \cdot 100) + (2 \cdot 100)}{10} \cdot 100 = 90\% .$$

3. В прогнозе на ночь по территории (20 станций) указана температура 3–8°С, по северу территории (пять станций) заморозки до –2°С. Дано штормовое предупреждение о заморозках до –2°С, ожидаемых по северу территории.

Фактически отмечено: на 12 станциях температура была от 4 до 8°С (прогноз оправдался), на трех станциях 0 °С (прогноз не оправдался). На севере территории на трёх станциях температура была –1...–3°С, на двух станциях 0°С (прогноз оправдался). В этом случае

$$P_{t\text{тер}} = \frac{(12 \cdot 100) + (5 \cdot 100)}{20} \cdot 100 = 85\%.$$

4. В прогнозе на день по территории (10 станций) указана температура воздуха 29–34°С, по юго-востоку (две станции) до 39°С (ОЯ). Дано штормовое предупреждение об ожидаемой сильной жаре по юго-востоку территории.

Фактически на всех станциях температура была от 30 до 35°С, т.е. температура критерия ОЯ на юго-востоке территории не достигла. В этом случае

$$P_{t\text{тер}} = \frac{(8 \cdot 100) + (2 \cdot 0)}{10} = 80\%.$$

5. В прогнозе на ночь по территории (10 станций) указана температура –28...–33°С, по северо-востоку территории (три станции) до –40°С (критерий ОЯ).

Фактически наблюдалась по всей территории температура –39...–42°С, т.е. прогноз оправдался лишь в дополнительной градации по северо-востоку (на трёх станциях). В этом случае

$$P_{t\text{тер}} = \frac{(7 \cdot 0) + (3 \cdot 100)}{10} = 30\%.$$

Для определения точности прогнозов максимальной и минимальной температуры воздуха по пункту рассчитывают их средние абсолютные ошибки δ_t, по формуле (8.3).

Оценку прогноза температуры воздуха при аномальном её ходе выполняют тоже только по пункту. В случае значительного (превышающего 5°С) аномального хода температуры оценка прогноза производится:

– по значению температуры в утренние часы при аномальном ходе ночью;

– по значению температуры в вечерние часы при аномальном ходе днём.

Примеры

1. В прогнозе предусматривалось днём сильное похолодание от 2–4°С утром до –8...–10°С к вечеру.

Фактически утром температура была 2°С, к 17 ч она понизилась до –7°С. Прогноз оправдался (P_t = 100%).

2. В прогнозе предусматривалось повышение температуры ночью от –15...–17°С вечером до –3...–5°С к утру.

Фактически температура повысилась от –14°С вечером до –8°С утром. Произошло повышение температуры на 6°С; оценку производят по утреннему её значению. Поскольку значение температуры утром (–8°С) отличается от прогнозируемого интервала более чем на 2 °С, то прогноз считается не оправдавшимся (P_t = 0%).

3. В прогнозе предусматривалась минимальная температура ночью 2–4°С. Фактически она повысилась от 3°С вечером до 7°С к утру. Поскольку аномальный ход составил всего 4°С, то оценка производится по минимальной температуре. Прогноз оправдался (P_t = 100%).

4. В прогнозе предусматривалась максимальная температура воздуха днем 6–8°С (аномальный ход не предусматривался). Фактически температура воздуха была утром 5°С, во второй половине дня понизилась до –3°С. Аномальный ход составил 8°С. Прогноз не оправдался.

8.3.2. Оценка успешности прогнозов количества осадков

Характеристикой успешности прогнозов количества осадков по пункту и по территории является оправдываемость $P_{ос.\ кол}$.

Оправдываемость прогноза количества осадков $P_{ос.\ кол}$ (%) на каждой станции определяют с помощью табл. 8.1 (для жидких и смешанных осадков) и табл. 8.2 (для твёрдых осадков).

Таблица 8.1

Оправдываемость прогноза количества жидких и смешанных осадков

Прогноз количества осадков за 12 ч, мм	$P_{ос.\ кол}$ (%) при фактических осадках за 12 ч, мм				
	Без осадков	0,0–2	3–14	15–49	≥ 50
Без осадков	100	50	0	0	0
0,0–2	50	100	50	0	0
3–14	0	50	100	50	0
15–49	0	0	50	100	50
≥ 50*	0	0	0	50*	100*

* Прогноз количества осадков ≥ 50 мм за 12 ч (градация ОЯ) оценивается с допуском 20%, т.е. $P_{ос.\ кол}$ = 100% при количестве выпавших осадков ≥ 40 мм за период ≤ 12 ч и $P_{ос.\ кол}$ = 50% при количестве выпавших осадков 15–39 мм за период ≤ 12 ч.

Оправдываемость прогнозов количества осадков по пункту и по территории рассчитывают по формуле

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(n_{\text{осн}} \cdot 100 + n_{\text{осн}} \cdot 50 + n_{\text{осн}} \cdot 0) + (n_{\text{доп}} \cdot 100 + n_{\text{доп}} \cdot 50 + n_{\text{доп}} \cdot 0)}{N}, \quad (8.4)$$

где $n_{осн}$ – число станций с оправдавшимся прогнозом количества осадков основной градации (на 100 и 50%) и число станций с не оправдавшимся прогнозом количества осадков этой градации; $n_{доп}$ – число станций с оправдавшимся прогнозом количества осадков дополнительной градации (на 100 и 50%) и число станций с не оправдавшимся прогнозом количества осадков данной градации; N – общее число метеорологических станций (постов) на рассматриваемой территории.

При этом $n_{доп}$ может изменяться от 1 до 0,5 N, а $n_{осн}$, наоборот, от (N–1) до 0,5 N.

Таблица 8.2

Оправдываемость прогноза количества твёрдых осадков

Прогноз количества осадков за 12 ч, мм	$P_{\text{ос. кол}}$ (%) при фактических осадках за 12 ч, мм				
	Без осадков	0,0–1	2–5	6–19	≥ 20
Без осадков	100	50	0	0	0
0,0–1	50	100	50	0	0
2–5	0	50	100	50	0
6–19	0	0	50	100	50
≥ 20*	0	0	0	50*	100*

* Прогноз количества осадков ≥ 20 мм за 12 ч (градация ОЯ) оценивается с допуском 20%, т.е. $P_{\text{ос. кол}}$ = 100% при количестве выпавших осадков ≥ 16 мм за период ≤ 12 ч и $P_{\text{ос. кол}}$ = 50% при количестве выпавших осадков 5–15 мм за период ≤ 12 ч.

Примеры

1. В прогнозе по территории (десять станций) предусматривались дожди. Фактически на семи станциях наблюдались дожди с количеством осадков от 3 до 9 мм за 12 ч, на трёх станциях дождей не было.

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(7 \cdot 100) + (3 \cdot 0)}{10} = 70\%.$$

2. В прогнозе по территории (десять станций) предусматривалась погода без осадков. Фактически на пяти станциях отмечен снег с количеством осадков 0,5–0,9 мм за 12 ч.

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(5 \cdot 100) + (5 \cdot 50)}{10} = 75\%.$$

3. В прогнозе по территории (десять станций) предусматривались дожди, по югу территории (три станции) – сильные.

Фактически на пяти станциях осадков выпало от 3 до 8 мм за 12 ч, на двух станциях – 12–14 мм за 12 ч; на юге две станции отметили 15–16 мм за 12 ч и одна станция – 1 мм за 12 ч.

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(5 \cdot 100 + 2 \cdot 50) + (2 \cdot 100 + 1 \cdot 50)}{10} = 85\%.$$

4. В прогнозе по указанной территории предусматривались дожди. Фактически на восьми станциях количество осадков составило от 5 до 10 мм за 12 ч, на двух станциях дожди были сильные – от 15 до 18 мм за 12 ч.

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(8 \cdot 100) + (2 \cdot 50)}{10} = 90\,\%.$$

5. В прогнозе по территории (21 станция) предусматривался местами слабый снег.

Фактически снег отмечен на 15 станциях, количество осадков составило 0,3–0,5 мм за 12 ч.

Поскольку термин местами предполагает, что количество станций с осадками не превысит 50% (т.е. 10 станций), то из 15 станций, где отмечен снег, прогноз оправдался лишь на 10 станциях.

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(6 \cdot 100 + 5 \cdot 0) + (10 \cdot 100)}{21} = 76\%.$$

6. В прогнозе по территории (десять станций) предусматривался местами кратковременный дождь.

Фактически:

а) дождь отмечен на трёх станциях: на одной станции количество осадков было 16 мм (сильный дождь), на двух станциях – 7–9 мм.

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(7 \cdot 100) + (2 \cdot 100 + 1 \cdot 50)}{10} = 95\%;$$

б) дождя не было ни на одной станции, в этом случае

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(9 \cdot 100) + (1 \cdot 0)}{10} = 90\%;$$

в) на двух станциях отмечен слабый дождь количеством 0,1–0,2 мм, в этом случае

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(8 \cdot 100) + (2 \cdot 50)}{10} = 90\%.$$

7. В прогнозе осадков по территории (десять станций) предусматривались кратковременные дожди, местами сильные.

Фактически дожди были: на двух станциях 1–2 мм, на четырёх станциях 5–8 мм, на двух станциях 15–17 мм, а на двух станциях дождя не было, тогда

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(2 \cdot 50 + 4 \cdot 100 + 2 \cdot 0) + (2 \cdot 100)}{10} = 70\%.$$

8. В прогнозе по территории (20 станций) на день ожидался сильный снег, по западу территории (пять станций) – очень сильный снег. Дано штормовое предупреждение с заблаговременностью 6 ч.

Фактически:

а) очень сильный снег отмечен на 12 станциях, включая пять западных (количество осадков составило 20–23 мм), на восьми станциях – 10–15 мм:

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(8 \cdot 100 + 7 \cdot 50) + (5 \cdot 100)}{20} = 82{,}5\%;$$

б) на 12 станциях количество осадков составило от 7 до 15 мм ($P_{\text{ос. кол}}$ = 100%), на трёх станциях – 4 мм ($P_{\text{ос. кол}}$ = 50%), на западе территории на двух станциях выпало 21 и 23 мм осадков (ОЯ), на трёх станциях – 16–18 мм (с учётом допуска $P_{\text{ос. кол}}$ = 100%):

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(12 \cdot 100 + 3 \cdot 50) + (5 \cdot 100)}{20} = 92{,}5\%;$$

в) на 12 станциях количество осадков составило от 7 до 10 мм ($P_{\text{ос. кол}}$ = 100%), на трех станциях – 3–4 мм ($P_{\text{ос. кол}}$ = 50%), на западе территории на двух станциях выпало 11–12 мм ($P_{\text{ос. кол}}$ = 50%), на двух станциях – 16–18 мм (с учётом допуска $P_{\text{ос. кол}}$ = 100%); на одной станции – 21 мм (ОЯ):

$$P_{\text{ос.кол}} = \frac{(12 \cdot 100 + 3 \cdot 50) + (3 \cdot 100 + 2 \cdot 50)}{20} = 87{,}5\%.$$

8.3.3. Оценка успешности прогнозов ветра

При установлении успешности прогнозов ветра оценке подлежит только скорость ветра.

Оценку успешности прогноза скорости ветра производят путём сравнения прогностической величины скорости с фактически наблюдавшейся максимальной (включая порывы) скоростью ветра.

Для оценки успешности прогноза скорости ветра по территории и пункту рассчитывается его оправдываемость P_v.

Прогноз считается оправдавшимся (P_v = 100%) при условии, что отклонение фактического значения максимальной скорости ветра от крайних значений прогнозируемой градации скорости не превышает 2 м/с. Если отклонение превышает 2 м/с, то оправдываемость прогноза P_v = 0%.

Примеры

1. В прогнозе предусматривалась скорость 7–12 м/с; прогноз считается оправдавшимся, если фактические значения скорости находятся в интервале от 5 до 14 м/с.

2. В прогнозе предусматривалась скорость 17–22 м/с; прогноз считается оправдавшимся, если фактические значения скорости находятся в интервале от 15 до 24 м/с.

3. В прогнозе предусматривалась скорость ветра 9–14 м/с с порывами до 22 м/с. Оценку прогноза скорости ветра следует производить по максимальной скорости (при порыве 22 м/с). Прогноз считается оправдавшимся, если фактическая скорость ветра была в интервале от 15 до 24 м/с.

Оправдываемость прогноза скорости ветра по территории $P_{v\ тер}$ и по пункту $P_{v\ п}$ (при наличии двух и более метеорологических станций) рассчитывается по формуле (8.1), при использовании в прогнозе дополнительных градаций (или прогнозе ветра по частям обслуживаемой территории) оценка производится по формуле (8.2).

Пример

В прогнозе по территории (десять станций) предусматривался западный ветер скоростью 7–12 м/с, на побережье (три станции) – 15–20 м/с.

Фактически наблюдалось: на побережье на двух станциях отмечена скорость от 16 до 18 м/с (прогноз оправдался), на одной станции – 11 м/с (прогноз не оправдался). На остальных станциях

скорость ветра была от 6 до 10 м/с (прогноз оправдался). Оправдываемость прогноза ветра составит

$$P_{v\,\text{тер}} = \frac{(7 \cdot 100) + (2 \cdot 100)}{10} = 90\%.$$

8.3.4. Оценка успешности прогнозов явлений погоды

Прогнозы явлений погоды по пункту и по территории оценивают по факту их наличия или отсутствия. Характеристикой успешности прогнозов явлений погоды является их оправдываемость.

В прогнозах погоды на первые сутки подлежат оценке следующие атмосферные явления: осадки, метели (в том числе низовые), пыльные (песчаные) бури, шквалы, туманы, грозы, град, гололёд, изморозь, налипания мокрого снега. Факт наличия осадков (независимо от их фазы) характеризуют осадки начиная с 0,0 мм за 12 ч.

Оценка успешности прогнозов явлений погоды, достигших критериев ОЯ (очень сильные осадки, сильная метель, сильная пыльная (песчаная) буря, шквал, сильный туман), производится как оценка штормовых предупреждений в соответствии с требованиями (Наставление по краткосрочным прогнозам… 2009).

В прогнозах на вторые и третьи сутки оценке подлежат следующие явления погоды: осадки, метели, пыльные (песчаные) бури, грозы, шквалы.

Расчёт оправдываемости прогноза явлений погоды по территории и (или) пункту производится с применением формул (8.1) и (8.2).

Если в прогнозе явлений применялся термин «местами», то оценка прогноза производится аналогично оценке детализированного по территории прогноза.

Если в прогнозе по пункту или территории предусмотрено несколько явлений погоды, то следует определить оправдываемость

прогноза каждого явления, а затем рассчитать их среднюю оправдываемость $P_{явл}$ по формуле

$$P_{явл} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(P_{явл}\right)_i , \qquad (8.5)$$

где $P_{явл}$ – оправдываемость каждого из прогнозируемых явлений погоды, %; m – количество прогнозируемых явлений погоды.

8.4. Расчет показателей успешности прогнозов погоды по пункту и территории

Для определения успешности прогнозов всех метеорологических величин и явлений погоды по пункту и территории рассчитывают их общую оправдываемость отдельно для пункта и для территории.

Общую оправдываемость прогноза погоды для пункта $P_{оп}$ (%) и территории $P_{о\ тер}$ (%) вычисляют как среднее из значений оправдываемости прогнозов температуры, количества осадков, ветра и атмосферных явлений соответственно по пункту и (или) территории с помощью формулы

$$P_{оп} = \frac{1}{4}\sum\left(P_t + P_{ос.кол} + P_v + P_{явл}\right), \qquad (8.6)$$

где P_t – оправдываемость прогноза температуры; $P_{ос.\ кол}$ – оправдываемость прогноза количества осадков; P_v – оправдываемость прогноза ветра; $P_{явл}$ – оправдываемость прогноза явлений.

8.5. Оценка успешности штормовых предупреждений

Оценке успешности подлежат все штормовые предупреждения с учётом «пропущенных» ОЯ, которые не прогнозировались, но наблюдались.

Оценку успешности штормовых предупреждений производят для территории или её части (пункт включается в территорию).

Оценку успешности штормовых предупреждений, составленных только для пункта, производят по пункту.

Показателями успешности штормовых предупреждений является их оправдываемость и эффективность.

Для определения эффективности штормовых предупреждений рассчитывают их оправдываемость и заблаговременность.

Заблаговременность штормового предупреждения – период времени (в часах) между временем доведения его до потребителя (в соответствии со «Схемой штормового предупреждения») и временем возникновения ОЯ на первом пункте наблюдений (метеорологической станции, посту и других пунктах).

Время возникновения ОЯ определяется моментом времени, когда явление или метеорологическая величина достигли на первом пункте наблюдений соответствующего критерия ОЯ.

Штормовое предупреждение о сохранении успешно предусмотренного ранее ОЯ (продление срока действия штормового предупреждения) не оценивают.

Если предусмотренное в штормовом предупреждении ОЯ не наблюдалось, но штормовое предупреждение было отменено не позднее чем за 2 ч до ожидаемого возникновения ОЯ, то данное штормовое предупреждение не оценивают.

Не предусмотренное прогнозом, но наблюдавшееся ОЯ, интерпретируют как прогноз отсутствия ОЯ, а не составленное штормовое предупреждение об этом ОЯ учитывают как не оправдавшееся.

Оправдываемость штормового предупреждения определяется альтернативно с определёнными ниже допусками.

Штормовое предупреждение считают успешным ($P_{ОЯ}$ = 100%), если наблюдавшиеся явления были отмечены хотя бы на одном пункте наблюдения и по силе (интенсивности) достигали:

– для скорости ветра – не менее 90% от установленного критерия ОЯ;

– для количества осадков – не менее 80% от установленного критерия ОЯ;

– для температуры воздуха (кроме заморозков) – установленного УГМС (ЦГМС) критерия ОЯ с отклонением от него ±2°С;

– для заморозков – понижение температуры воздуха и (или) поверхности почвы до значений ниже 0°С;

– для сильной метели, сильной пыльной бури и периодов аномально холодной и аномально жаркой погоды – не менее 70% от установленных критериев ОЯ по продолжительности.

В табл. 8.5 приведены значения метеорологических величин, при которых штормовое предупреждение считают успешным.

Штормовое предупреждение о возникновении смерча, о выпадении града, об образовании гололёдно-изморозевых отложений считается успешным ($P_{ОЯ}$ = 100%) по факту обнаружения явлений.

Штормовое предупреждение считают успешным ($P_{ОЯ}$ = 100%), если наблюдалось хотя бы одно ОЯ из нескольких указанных в предупреждениях ОЯ.

Пример

В штормовом предупреждении сообщалось об очень сильном снеге, сильной метели с усилением ветра до 15–20 м/с.

Фактически в течение 15 ч по территории отмечалась сильная метель при видимости от 200 до 500 м, скорости ветра 15–18 м/с с порывами до 24 м/с, количество осадков составило от 10 до 15 мм.

Штормовое предупреждение является успешным ($P_{ОЯ}$ = 100%), так как из двух ОЯ оправдалось одно – сильная метель.

Штормовое предупреждение считают успешным ($P_{ОЯ}$ = 100%), если одновременно наблюдалось несколько ОЯ, а предусмотрено хотя бы одно из них.

Пример

В штормовом предупреждении предусматривались сильные метели с усилением ветра до 22–27 м/с (два ОЯ: сильная метель и очень сильный ветер).

Фактически наблюдалась сильная метель, но скорость ветра была 15–20 м/с. Штормовое предупреждение оправдалось.

Таблица 8.5

Значения метеорологических величин, при которых штормовое предупреждение об ОЯ считают успешным

Название ОЯ	Допустимые значения метеорологической величины
Очень сильный ветер (в том числе шквал), ураган	Скорость ветра V (включая порывы) не менее 90% от установленного критерия ОЯ. В Томской обл. не менее 22 м/с (90% от $V_{ОЯ}$ = 25 м/с)
Смерч	При обнаружении
Очень сильный дождь (мокрый снег, дождь со снегом)	Количество осадков не менее 40 мм (80% от установленного критерия ОЯ, равного 50 мм) за период не более 12 ч
Сильный ливень (очень сильный ливневый дождь)	Количество осадков не менее 24 мм (80% от установленного критерия ОЯ, равного 30 мм) за период не более 1 ч
Продолжительные сильные дожди	Количество осадков не менее 80 мм (80% от критерия ОЯ, равного 100 мм) за период более 12 ч, но менее 48 ч, или не менее 96 мм за период более 2 сут
Крупный град	Град любой величины
Сильная метель	Общая или низовая метель при средней скорости ветра не менее 12 м/с и видимости менее 1000 м продолжительностью не менее 8 ч
Сильная пыльная (песчаная) буря	Пыльная (песчаная) буря при средней скорости ветра не менее 12 м/с и видимости не более 1000 м продолжительностью не менее 8 ч
Сильное гололёдно-изморозевое отложение	Наличие отложения любого диаметра
Сильный туман	Туман с видимостью не более 200 м и продолжительность не менее 8 ч
Аномально холодная (жаркая) погода	Продолжительность не менее 3 сут
Сильный мороз	В период ноябрь – март отклонения фактических значений минимальной температуры воздуха не превышают ±2°С от установленных критериев
Сильная жара	В период май – август отклонения фактических значение максимальной температуры воздуха не превышают ±2°С от критериев, установленных УГМС
Заморозки в воздухе или на почве	Минимальная температура воздуха и (или) на поверхности почвы не выше 0°С
Чрезвычайно высокая пожарная опасность	Показатель пожарной опасности относится к четвёртому классу

Штормовое предупреждение об ОЯ, содержащее КМЯ, считается успешным ($P_{КМЯ}$ = 100%), если не менее двух перечисленных в нём явлений достигли установленных значений метеорологических величин и наблюдались в одном пункте и более.

Примеры

1. Дано штормовое предупреждение об усилении ветра с 18 ч до 20–25 м/с (критерий ОЯ по скорости ветра равен 25 м/с).

Фактически в 19 ч ветер усилился на станциях до 14–18 м/с, а на одной станции до 23 м/с.

Штормовое предупреждение оправдалось ($P_{ОЯ}$ = 100%).

2. В прогнозе ожидалась скорость ветра от 18 до 23 м/с (критерий ОЯ по скорости ветра равен 25 м/с), штормовое предупреждение не давалось.

Фактически по области (10 станций) скорость ветра на трёх станциях была от 14 до 16 м/с, на шести станциях – от 19 до 22 м/с, на одной станции – 26 м/с (ОЯ).

В данном случае ОЯ оказалось не предусмотренным, штормовое предупреждение не было составлено и поэтому учитывается как не оправдавшееся ($P_{ОЯ}$ = 0%).

3. В штормовом предупреждении по области (10 станций) указаны сильные дожди, грозы, местами град, шквалистые усиления ветра до 15–20 м/с (ОЯ, включающее в себя КМЯ). Перечень ОЯ дополнен комплексом неблагоприятных явлений: «сочетание ливня (сильного дождя) с градом любого размера и усилением ветра до 20 м/с и более».

Фактически отмечено: на четырёх станциях – ливневые дожди с количеством осадков от 36 до 42 мм, на одной станции – ливневый дождь с количеством осадков 30 мм, град диаметром 5 мм и шквал со скоростью 21 м/с; на пяти станциях – ливневые дожди с количеством осадков от 18 до 27 мм и шквалы 17–20 м/с; повсеместно наблюдались грозы.

Штормовое предупреждение оправдалось ($P_{КМЯ}$ = 100%).

4. В штормовом предупреждении сообщалось об ожидаемой на территории области (восемь станций) сильной метели при видимости 50–500 м и ветре до 18–23 м/с.

Фактически на пяти станциях отмечена метель при видимости от 500 до 1000 м и скорости ветра 12–14 м/с (при порывах до 16–20 м/с), на остальной территории – метель при видимости 1000–1500 м и скорости ветра 12–15 м/с. Продолжительность метели – 9–11 ч.

Штормовое предупреждение оправдалось ($P_{ОЯ}$ = 100%), так как видимость, скорость ветра и продолжительность метели достигли значений, указанных в табл. 8.5.

Штормовое предупреждение считают не оправдавшимся ($P_{ОЯ}$ = 0%), если:

– прогнозировалось одно ОЯ, а наблюдалось другое ОЯ;

– ОЯ не было предусмотрено, а наблюдалось в одном или нескольких пунктах наблюдений;

– указанные в штормовом предупреждении ОЯ фактически не наблюдались.

Штормовое предупреждение считают эффективным ($Э_{ОЯ}$ = 100%), если оно оправдалось и доведено до потребителя с заблаговременностью 2 ч и более. Оправдавшиеся, но переданные с заблаговременностью менее 2 ч, а также не оправдавшиеся штормовые предупреждения считают неэффективными ($Э_{ОЯ}$ = 0%).

9. ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (ГИС) МЕТЕО И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ В ОПЕРАТИВНОЙ РАБОТЕ СИНОПТИКА

9.1. Назначение и основные возможности ГИС Метео

Географическая информационная система (ГИС) – это аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий сбор, хранение, обработку, доступ, накопление, отображение и распространение данных.

ГИС Метео – специализированная геоинформационная система, которая представляет собой интерактивный и работающий в режиме реального времени инструмент, предназначенный для использования в оперативной работе метеорологов. Область применения ГИС Метео: метеорология, агрометеорология, гидрология, океанология, экология и т.п.

Особенностью ГИС Метео является работа с быстро изменяющимися данными: гидрометеорологическая информация поступает со всех гидрометеорологических подразделений в течение ближайшего времени после срока наблюдений. Ещё одной характерной особенностью является многоканальная система ввода информации (проводная, телефонная, спутниковая и т.д.). Таким образом, перед ГИС Метео стоит задача приёма, обработки, накопления и визуализации большого объёма информации в оперативном режиме.

Разработка ГИС Метео началась в конце 80-х гг. прошлого века научно-производственным центром Мэп Мейкер (Россия), и первые версии продукта носили это же название. В 1990 г. разработчики установили первую версию в Южно-Сахалинске. С 1995 г. система носит название ГИС Метео.

К настоящему времени многие оперативные подразделения Росгидромета переведены на «безбумажную» технологию обра-

ботки карт погоды и вспомогательного материала с помощью ГИС Метео.

При необходимости ГИС Метео предоставляет возможность распечатать подготовленный картографический материал, таблицы и графики на любом типе принтеров.

Комплекс может быть подключен к узлам современной глобальной системы телесвязи, к Internet и к приёмной станции SADIS. Вся обработка данных выполняется в среде Microsoft Windows и может быть распределена между несколькими компьютерами, включёнными в локальную сеть.

ГИС Метео создаёт совершенно новую технологию работы синоптика по анализу и прогнозу погоды – без бумаги.

Программный комплекс ГИС Метео, в порядке спонсорской поддержки высших учебных заведений, был передан на кафедры метеорологии многих российских университетов (Московского, Казанского, Саратовского, Санкт-Петербургского, Пермского, Иркутского и др.) и на кафедру метеорологии, экологии и охраны окружающей среды Кыргызско-Российского славянского университета (г. Бишкек), а также в вузы гидрометеорологического профиля в Санкт-Петербурге, Владивостоке, Одессе. Благодаря системе ГИС Метео студенты-метеорологи могут использовать в учебном процессе и научной деятельности современные мировые технологии в области анализа и прогноза метеорологических полей.

Программный комплекс ГИС Метео – это универсальный инструмент метеоролога, предназначенный для изготовления, обработки и документирования метеорологических карт на персональном компьютере.

Программный комплекс ГИС Метео предназначен для организации оперативной работы метеорологов, в том числе в метеоподразделениях аэропортов, аэродромов и центров управления воздушным движением. Он позволяет создавать метеорологические карты в любой картографической проекции и любого масштаба с использованием данных, распространяемых по глобальной сети телесвязи Всемирной метеорологической организации (ВМО), че-

рез Internet, а также спутниковых снимков, данных радиолокационного зондирования и других, что способствует организации работы гидрометеорологического центра любого ранга.

Программный комплекс ГИС Метео состоит из геоинформационной системы, её различных компонент, метеорологической базы данных, отдельных приложений, а также из многочисленных технологических средств сбора и распространения данных. ГИС Метео позволяет с малым штатом сотрудников организовать высокоэффективную технологию оперативного гидрометеорологического обеспечения при очень малых затратах на её эксплуатацию.

ГИС Метео представляет пользователю удобный графический интерфейс для работы с картами, графиками, диаграммами и т.д. Приложения к ГИС Метео реализуют большое число расчётных методов, разработанных в организациях Росгидромета и за рубежом.

ГИС Метео при помощи различных компонент по заранее подготовленному сценарию автоматически или в интерактивном режиме подготавливает многочисленные слои информации на фоне географической карты любого масштаба. Такое совмещение слоёв на мониторе компьютера позволяет осуществлять «безбумажную» технологию работы синоптика по анализу и прогнозу погоды.

ГИС Метео сертифицирована в Росгидромете и рекомендована для использования во всех его подразделениях.

ГИС Метео позволяет пользователю:

1) изготавливать географическую основу карты (бланк) любой территории;

2) выбирать метеорологические параметры из базы данных и наносить их на карту в различных формах (значения, изолинии, пуансоны, цветное поле и др.);

3) выбирать и наносить на карту в различных формах монтажи из снимков метеорологических спутников Земли;

4) проводить на карте фронтальные линии и линии других типов;

5) строить на карте траекторную модель по фактическим и прогностическим данным;

6) формировать сопровождающий текст к карте;

7) наносить на карту названия городов и (или) индексы метеостанций;

8) совмещать на одной карте разные данные;

9) запоминать изготовленные бланки и карты для использования в дальнейшей работе;

10) строить карты автоматически по заданному расписанию;

11) просматривать на экране дисплея имеющиеся метеорологические карты;

12) выделять отдельные области карты для изображения их в укрупнённом масштабе;

13) корректировать сомнительные данные на карте;

14) выводить карты на печатающее устройство.

ГИС Метео строит карты с оперативной информацией наземных гидрометеостанций и постов, морских и океанических станций, средств дистанционного зондирования атмосферы, поступающей со всего земного шара. По данным различных гидродинамических моделей, рассчитываемых в метеорологических центрах России (Москва, Новосибирск), Великобритании (Рединг, Эксетер), США (Вашингтон), Германии (Оффенбах), создаются карты с прогностическими параметрами различной заблаговременности (до 168 ч).

Осуществление оперативной работы в технологии ГИС Метео происходит с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) синоптика, авиационного синоптика, агрометеоролога, радиометеоролога, гидролога. АРМ – индивидуальный комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации работы.

АРМ синоптика позволяет организовать работу любого метеорологического центра путём оперативного создания следующих видов продукции:

– приземных карт погоды, карт абсолютной и относительной топографии, монтажей снимков орбитальных и геостационарных ИСЗ, стыкованных карт по данным МРЛ;

– прогностических карт давления, геопотенциала, температуры, влажности, ветра;

– карт прогнозов осадков с определением их фазового состояния, прогнозов облачности и фронтальных зон;

– карт прогнозов вертикальных скоростей ветра и турбулентности по модели пограничного слоя;

– траекторных расчётов по аэрологическим данным и данным объективного анализа и прогноза полей геопотенциала или ветра;

– фактических и прогностических кривых стратификации температуры, влажности, ветра на бланках аэрологических диаграмм и расчётов по ним;

– вертикальных разрезов атмосферы;

– синоптических таблиц и таблиц осадков, графиков изменения метеорологических параметров.

9.2. Базы данных

Вся поступающая оперативная информация после её раскодирования записывается в базы данных (БД). База данных представляет собой специально организованный файл. Форматирование базы данных производится таким образом, чтобы оптимизировать её по времени хранения информации и по времени доступа.

Для создания оперативных карт используется гидрометеорологическая информация из оперативных баз данных. Базы данных могут формироваться непосредственно в прогностической организации на персональном компьютере, выполняющем функции приема телеграмм с данными наблюдений и прогнозов в кодах GRID и GRIB, либо копироваться из ближайшего центра (УГМС, ЦГМС и т.д.), оснащённого теми же программными средствами. Наиболее полной по составу информации (в рамках глобального обмена данными) является база данных ГВЦ Росгидромета, пользователями которой в локальной сети являются все оперативные отделы Гидрометцентра России, Гидрометеорологическое бюро Москвы и Мос-

ковской области, а также удалённые пользователи: Ярославский и Рязанский ЦГМС, ГАМЦ Внуково и др.

В последние годы стало возможным привлечение данных базы из сети Internet. Эта база уступает базе ГВЦ Росгидромета по полноте синоптической и аэрологической информации, но в ней содержится значительно большее число полей анализов и прогнозов метеовеличин и явлений погоды, передаваемых метеорологическими центрами в Вашингтоне и Брекнелле в коде GRIB с шагом сетки по широте и долготе 1,25°.

В ГИС Метео имеется несколько баз данных:

1) метеорологическая база данных реального времени – METEO.CDB.

В метеорологической базе данных содержится информация буквенно-цифровых кодовых форм SYNOP, SHIP, TEMP, PILOT, AIREP, METAR, TAF, RADOB, GRID и т.д. Для некоторых кодовых форм вместе с раскодированными данными в базу могут записываться тексты телеграмм и параметры бюллетеней. Запись данных в метеорологическую базу производится программой первичной обработки GTSPP в режиме реального времени;

2) база данных прогнозов в коде GRIB – GRIB.CDB.

В эту базу записывается информация, передаваемая в коде GRIB. Для её раскодирования и записи используется программа GRIBPROC.

Базы могут формироваться непосредственно на персональном компьютере, выполняющем функции приёма телеграмм с данными наблюдений и прогнозов в кодах GRID и GRIB, либо копироваться средствами удалённого доступа из ближайшего центра (УГМС, ЦГМС, АМЦ и т.д.), оснащённого теми же программными средствами;

3) базы данных, создаваемые технологическими задачами ГИС Метео.

Кроме баз данных, создаваемых из поступающей информации, в ГИС Метео имеется несколько баз данных, содержание которых либо является результатом работы специалиста-синоптика, либо

формируется в процессе работы специальных технологических задач-приложений:

– база данных, в которую записывается информация о линиях фронтов и графических объектах оформления карты (значки, символы, угловые штампы, надписи);

– база данных, содержащая данные о значениях вертикальных скоростей в узлах регулярной сетки;

– база данных, содержащая прогностические значения метеорологических параметров, таких как температура, температура точки росы, осадки, грозы, облачность и т.д. по каждому из пунктов заданного списка;

4) база данных спутниковых изображений.

Эта база данных может содержать ИК- и ТВ-изображения, принятые с различных орбитальных и геостационарных спутников, включая METEOSAT, NOAA и METEOP. При использовании приёмной аппаратуры станции ЛИАНА (Москва) имеется возможность коррекции географической привязки. Изображения предварительно калибруются и подвергаются географической трансформации. Программное обеспечение вместе со специальной аппаратурой для приёма сигналов от спутника и преобразования его в цифровую форму позволяет принимать изображения в формате APT и помещать их на карту в проекциях Меркатора и стереографической. Одиночные спутниковые снимки и монтажи из них легко совмещаются на карте с любыми другими данными;

5) база данных МРЛ.

Данные от метеорологических радиолокаторов принимаются по коммутируемым или выделенным каналам связи с помощью модемов и записываются в *метеорологическую базу данных реального времени* (MDB), где и хранятся вместе с другими метеорологическими данными;

6) географическая база данных.

Эта база данных содержит береговые линии, границы стран, контуры рек и озёр и т.д. и используется в ГИС Метео для построения основы карт. Географическая база данных может быть *настроена на определённую географическую территорию.* Одно-

временно могут использоваться несколько географических баз данных. Различные слайды могут относиться к различным территориям.

Кроме вышеперечисленных баз данных некоторые компоненты ГИС Метео используют реляционную базу данных, создаваемую по оперативным данным и содержащую информацию за продолжительный промежуток времени: Архив синоптических данных «Синоптика». Использование такой БД позволяет создавать карты с данными на заданный интервал времени (например, суммы осадков по станциям на период от двух суток до месяца, значения экстремальных температур и другие дополнительно вычисленные характеристики).

Вся метеорологическая информация может быть сохранена в долговременных архивах (базах данных) с помощью специальной программы-архиватора.

В настоящее время введён новый формат баз данных. Базы данных нового формата практически не имеют ограничения по количеству блоков, что даёт возможность сохранять в архивных базах информацию за длительный период времени. Наличие большого количества разделов базы данных позволяет записывать и хранить отдельно все раскодированные формы. Новое программное обеспечение позволяет читать все старые форматы баз данных, но запись поступающих данных производится только в базы данных нового формата.

9.3. Содержание ГИС Метео

В составе ГИС Метео имеется географическая основа для всего земного шара с высоким и средним разрешением (линейные размеры географических объектов соответственно от 1 и 10 км). Это позволяет создавать бланки карт в стереографической полярной проекции или проекции Меркатора любого масштаба (от 10 до 100 км в 1 см). Использование единой технологии ГИС оказывает-

ся весьма эффективно для организации работ АРМ, включённых в локальную сеть.

Карты на АРМ готовятся как в интерактивном, так и в автоматическом режиме по созданным образцам слайд-карт. Слайд – это географическая карта с помещённой на неё метеорологической и другой информацией. Метеорологические карты, создаваемые в технологии ГИС Метео, представляют собой многослойные объекты. На один слайд может быть помещено несколько различных слоёв информации. Один слой образует так называемую компоненту слайда. Компонентой называется часть слайда, отображающая некоторую отдельную совокупность графической информации.

ГИС Метео обеспечивает около пятидесяти различных видов компонент. Каждый слой обеспечивает отображение на карте метеорологических величин в виде цифровых значений и символов: изолиний или контуров, разноцветных штриховок и заливок. На один бланк карты можно поместить любое количество слоёв, а затем в процессе работы часть из них «спрятать» или «показать». Слои создаются при помощи компонент ГИС Метео, которые по их функциональному назначению можно разделить на три группы:

1) компоненты для отображения на выбранном бланке карты информационных слоёв с данными оперативных наблюдений (кодовых форм SYNOP и SYNOP SHIP, TEMP и TEMP SHIP и др.), а также полей анализов и прогнозов метеорологических величин, поступающих в кодах GRID и GRIB и снимков ИСЗ. При наличии ошибок в исходных данных пользователь может либо включить встроенный алгоритм контроля грубых ошибок (по заданной критической величине горизонтального градиента конкретной метеовеличины), либо откорректировать данные в интерактивном режиме;

2) компоненты для выполнения обработки карты в интерактивном режиме и записи результатов такой обработки в базу (рисование линий фронтов, текстовых надписей, нанесение специальной символики и т.д.). Фронтальный анализ, выполненный синоптиками на электронной карте за текущий срок, с помощью инструмен-

та, фиксирующего географические координаты и типы фронтов, специальной процедурой записывается в базу в векторной форме. Поэтому он может быть считан из базы и нарисован на электронной карте любого масштаба на любом АРМ, подключённом к базе;

3) компоненты вычисленного уровня, позволяющие получать слои результатов прогноза метеорологических величин, фронтальных и облачных систем, траекторий частиц или объектов и т.д. Эти компоненты имеют встроенные алгоритмы расчёта различных метеорологических величин. Так, например:

– траекторная модель позволяет строить «прямые» (куда) и «обратные» (откуда) траектории воздушных частиц, линий фронтов или областей (зон облачности). Исходными данными для расчёта траекторий служат скорость и направление ветра по аэрологическим наблюдениям или их прогностические поля в кодах GRID или GRIB. Возможны расчёты как двумерных траекторий на выбранной изобарической поверхности, так и трёхмерных траекторий, когда на каждом шаге определяются горизонтальные и вертикальная составляющие скорости перемещения частицы;

– вертикальные скорости рассчитываются на основе уравнений гидродинамики для свободной атмосферы и пограничного слоя атмосферы. Учёт пограничного слоя осуществляется с применением модели пограничного слоя, которая позволяет также рассчитывать профили температуры, ветра и характеристики турбулентности (профили коэффициента турбулентности, диссипации кинетической энергии, высоту пограничного слоя и др.) в слое от поверхности земли до 2 км;

– модель пограничного слоя является одной из составляющих алгоритма прогноза температуры и влажности воздуха, ветра, облачности и осадков, рассчитываемых для заданных пунктов Евразии с заблаговременностью до 2 сут. В этих расчётах используются также фоновый прогноз метеорологических полей, поступающих в кодах GRID и GRIB, и методики параметризации основных физических процессов, адаптированных к локальным условиям пунктов. Результатом этих прогнозов является описание суточного

хода всех прогнозируемых метеорологических величин с дискретностью по времени 3 ч;

– прогноз особых явлений погоды рассчитывается по алгоритмам, составленным авторами программных средств ГИС Метео на основе апробированных в оперативной работе методик. Определяются зоны болтанки и обледенения воздушных судов с указанием нижней и верхней границ этих явлений, области возможной грозовой деятельности и индекс её вероятности, а также даются прогнозы видимости, облачности, осадков и фронтальных зон.

Результаты этих расчётов являются предварительной информацией для подготовки прогнозов синоптиком. При дальнейшем развитии технологии ГИС Метео предполагается усовершенствование и обновление алгоритмов на основе новых методов прогнозов характеристик и явлений погоды.

Продукция ГИС Метео включает следующие компоненты:

1) **География** – нанесение широтно-долготной сетки, береговой линии, рек и озёр, рельефа суши и морского дна, границ стран, областей и экономических районов;

2) **Города** – нанесение названий или индексов населённых пунктов и метеорологических станций в соответствии с выбранным списком (по земному шару, по России и др.);

3) **Приземная наноска** – постанционное нанесение приземных данных по схеме стандартного пуансона;

4) **Синоптика** – нанесение отдельных метеорологических параметров, расчерчивание изолиний по приземным данным. Нанесение экстремальных температур и осадков;

5) **Синоптика с контролем** – нанесение отдельных метеорологических параметров, выполнение автоматического контроля и исключение грубых ошибок приземных данных. Расчерчивание изолиний по приземным данным. Нанесение экстремальных температур и осадков;

6) **Синоптика (обобщения)** – расчёт и построение полей сумм осадков за любой заданный интервал (от нескольких суток до нескольких месяцев), минимальных и максимальных температур;

7) **Аэрология** – постанционное нанесение высотных данных (геопотенциал, ветер, температура, дефицит точки росы, относительный геопотенциал). Расчерчивание изолиний метеорологических параметров на стандартных уровнях. Проведение изолиний на картах относительной топографии по данным радиозондирования;

8) **Аэрологическая наноска** – нанесение аэрологических данных по схеме стандартного пуансона;

9) **Погода** – нанесение явлений погоды по коду КН-01 (гроза, ливень, морось, дождь, снег, туман, град, формы облаков и др.) в виде значков, изолиний, цветного поля, «подъём карты»;

10) **GRID (GRIB)** – отображение метеорологических полей, поступающих в кодах GRID (GRIB). Расчерчивание изолиний и цветных полей с постоянным (переменным) шагом для каждого из метеорологических параметров (давление, геопотенциал, ветер, температура, влажность, осадки, облачность, вертикальная скорость и др.);

11) **Значки** – выполнение «подъёма карты» в интерактивном режиме, нанесение обозначений центров барических образований и символов явлений погоды и ветра;

12) **Текст** – нанесение на карту текстов, углового штампа карты (рамки), скорости перемещения барических образований, линий фронтов и т.д.;

13) **Линии** – рисование линий фронтов, изолиний параметров, контуров облачности и других линий;

14) **Спутник** – монтажи снимков ИСЗ в ИК и ТВ изображениях;

15) **Траектории** – построение траектории перемещения частицы, зоны, линии по аэрологическим данным;

16) **Траектории GRID (GRIB)** – построение траектории перемещения частицы, зоны, линии по данным о скорости и направлении ветра, поступающим в коде GRID (GRIB);

17) **Траектории, анализ** – построение диагностических траекторий перемещения частицы, зоны, линии по данным о скорости и

направлении ветра, вычисляемым из полей геопотенциала, поступающим в коде GRID;

18) **3D Траектории GRID (GRIB)** – трёхмерные траекторные расчёты по данным о скорости и направлении ветра, поступающим в коде GRID (GRIB);

19) **Вертикальные скорости** – построение поля вертикальных скоростей, рассчитанных по данным о давлении и геопотенциале, поступающим в коде GRID;

20) **Разрезы** – построение вертикальных разрезов атмосферы для трасс полёта по фактическим аэрологическим данным;

21) **Разрез GRID (GRIB)** – построение вертикальных разрезов атмосферы по прогностическим данным, поступающим в коде GRID (GRIB);

22) **Струйные течения** – построение зон струйных течений по аэрологическим данным (параметры: ветер, высота струйного течения, температура);

23) **Струйные течения GRID (GRIB)** – анализ и прогноз зон струйных течений по данным о ветре, поступающим в коде GRID (GRIB). Расчёт параметров: ветер, высота струйного течения, температура;

24) **OT GRID (GRIB)** – проведение изолиний и цветных полей на фактических и прогностических картах относительной топографии по данным радиозондирования, поступающим в коде GRID (GRIB);

25) **Обледенение** – анализ зон обледенения воздушных судов по аэрологическим данным;

26) **Обледенение GRIB** – расчёт и построение зон обледенения воздушных судов по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRIB;

27) **Турбулентность** – расчёт и построение зоны болтанки на заданном уровне по аэрологическим данным;

28) **Турбулентность GRID (GRIB)** – расчёт и построение зоны болтанки на заданном уровне по данным, поступающим в коде GRID (GRIB);

29) **Фронты GRIB** – расчёт и построение положения фронтальных зон по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRIB;

30) **Облачность** – построение поля облачности (слоистая, конвективная и общая облачность) по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRIB;

31) **Прогноз осадков** – построение поля осадков (ливневый дождь, обложной дождь, снег, осадки, гололёд) по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRIB;

32) **Грозы GRIB** – расчёт и построение поля гроз по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRIB. Реализованы методы: Адедокана, Вайтинга, Джефферсона, Симиля, Фауста, Шоуолтера;

33) **Шквалы GRIB** – расчёт и построение поля шквалов по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRIB. Реализованы методы: Решетова, Пескова, Фобуша-Миллера;

34) **Погран-слой GRID (GRIB)** – нанесение параметров пограничного слоя атмосферы (температура воздуха, ветер у поверхности земли, вертикальная скорость, турбулентность, высота пограничного слоя), рассчитанных по данным анализов и прогнозов, поступающим в коде GRID (GRIB**)**;

35) **МРЛ комплексная** – построение совмещённой карты явлений погоды (гроза, осадки, град, шквал, высота верхней границы кучево-дождевых облаков, состояние развития, скорость и направление перемещения) по данным метеорологических радиолокаторов (код РАДОБ) и метеорологических станций;

36) **Метеопрогноз GRID** – построение полей метеорологических параметров (температура, дефицит точки росы, облачность, скорость и направление ветра, вертикальная скорость, обложные и ливневые осадки, суммарные осадки, гроза, зоны фронтов, лапласиан давления, адвективные изменения температуры, видимость, снег, гололёд) и зон фронтов, рассчитанных по данным, поступающим в коде GRID;

37) **Пожароопасность** – построение полей анализа и прогнозов классов и показателей пожарной опасности;

38) **Авиационная наноска** – нанесение метеорологических параметров из телеграмм в коде METAP по схеме стандартного пуансона;

39) **Прогноз по аэродрому** – нанесение метеорологических параметров (горизонтальная и вертикальная видимость, скорость и направление ветра, явления погоды) из телеграмм в коде TAF в виде значений, символов и цветного поля;

40) **ООЯ-Авиа** – создание в интерактивном режиме карты опасных явлений для авиации;

41) **Климат** – нанесение данных, проступающих в коде КЛИМАТ (месяц), расчерчивание изолиний, построение полей средних месячных метеорологических величин;

42) **Климат, декада** – нанесение данных, проступающих в коде КЛИМАТ (декада), расчерчивание изолиний, построение полей средних декадных метеорологических величин;

43) **АГРО** – нанесение декадных агрометеорологических и фенологических данных, построение их полей;

44) **АГРО, ежедневные** – нанесение ежедневных агрометеорологических данных, построение их полей.

Другая продукция:

– графики изменения параметров по времени (компонента **График**);

– радиозонд фактический – аэрологическая диаграмма (компонента **Прогностический зонд**, параметры: вертикальная скорость, облачность, обледенение, гроза, град, осадки, шквал, турбулентность, энергия неустойчивости);

– прогностический радиозонд – аэрологическая диаграмма (компонента **Прогностический зонд**);

– выборка текстов авиационных телеграмм METAP, TAF и т.д.;

– запросы в авиационные банки данных;

– построение таблиц по данным SYNOP;

– построение таблиц осадков;

– агрометеорологические таблицы.

В процессе работы с компонентами слайда можно выполнять следующие операции:

– удалять или временно прятать одну или несколько компонент слайда (за исключением географической компоненты);

– изменять форму представления данных, отображаемых компонентой;

– переходить в режим интерактивного взаимодействия с компонентой (работать), например корректировать значения метеорологических параметров.

Подробно порядок работы с отдельными компонентами описан в учебном пособии (Волынцева, Смирнова, 2005).

9.4. Практическое использование ГИС Метео

Широкий спектр информационных и вычислительных возможностей ГИС Метео, удобный графический интерфейс для анализа и обработки карт непосредственно на экране монитора и возможность записи этих результатов в базу позволили организовать замкнутый цикл работы по «безбумажной технологии» в Гидрометцентре России и ГВЦ Росгидромета.

В рамках этой технологии в отделах Гидрометцентра России ежедневно выполняется фронтальный анализ на всех картах для передачи их по факсимильной связи: на кольцевых картах, на картах «Анализ приземный» (по территории от Атлантического до Тихого океана) за все синоптические сроки наблюдений (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч *UTC*), на картах Северного полушария, на картах тропической зоны за сроки 00 и 12 ч *UTC*. Подготавливаются прогностические карты давления на уровне моря, фронтальных систем и связанных с ними опасных явлений погоды с заблаговременностью 24 и 36 ч. Весь перечисленный объём работ по зоне ответственности выполняется одним дежурным прогнозистом на одном АРМ.

Аналогичным образом по «безбумажной технологии» производится подготовка карт «Прогноз опасных явлений погоды для авиации в слое 400–150 гПа на 24 и 36 ч» с использованием расчётов прогноза обледенения воздушных судов, гроз, болтанки, а

также положения и высоты оси струйного течения, тропопаузы. Карта строится путём совмещения нескольких слоёв, что характерно для технологии ГИС Метео. Синоптик выполняет анализ вспомогательных слоев и строит в интерактивном режиме четыре новых слоя прогноза: положение осей струйных течений, характерные точки тропопаузы, активные участки фронтов, на которых возможны опасные явления, а также слой с символами явлений. Результаты интерактивной работы синоптика записываются в базу, а подготовленные электронные карты отправляются в сеть Росгидромета (МЕСОМ).

Для выполнения статистической оценки автоматически архивируются слайд-карты с результатами прогнозов и фактическими данными на срок прогноза.

Использование в оперативной работе технологии ГИС Метео коренным образом изменило характер ежедневной работы синоптиков не только в Гидрометцентре России, но и во многих ЦГМС и АМСГ. После соответствующего обучения синоптиков по индивидуальным программам с учётом местной специфики работы эта технология нашла широкое применение. Впервые у синоптика появилась возможность оценить результаты своей работы непосредственно на своём АРМ. Так, например, прогноз фронтальных систем может быть сопоставлен с их анализом на срок прогноза путём считывания из базы и совмещения на одной карте. Очевидно, в ближайшем будущем появится возможность организовать цифровой обмен электронными картами с результатами интерактивного фронтального анализа по сети МЕСОМ между центральными и периферийными прогностическими организациями. Фронтальный анализ в цифровом виде будет доступен гораздо раньше, чем в аналоговом виде на соответствующих факсимильных картах. Так, например, фронтальный анализ на территории, охватываемой бланком кольцевой карты, выполненный синоптиком в Гидрометцентре России, записывается в базу через 50–60 мин после каждого срока наблюдений и практически сразу может быть готов к распространению.

ГИС Метео изменила систему архивации гидрометеорологической информации, численных анализов и прогнозов из различных центров, а также основных карт. Многолетние архивы карт на бумажной основе, накопленные в различных прогностических органах, требуют специальных условий хранения. Через несколько лет они становятся практически непригодными для работы. В 1989 г. прекращены подготовка в Гидрометцентре и издание во ВНИИГМИ-МЦЦ карт «Синоптический бюллетень. Северное полушарие», широко использовавшихся в службе прогнозов и в учебном процессе вузов гидрометеорологического профиля.

ГИС Метео позволила решить эту задачу на современном уровне. С 1 января 1998 г. в Гидрометцентре России автоматически на АРМ ежедневно изготавливается набор электронных карт погоды, геопотенциала изобарических поверхностей 700, 500, 300, 200, 100 гПа и относительной топографии 500/1000 за 00 ч *UTC*. Фронтальный анализ на картах и обозначения центров барических образований – продукт оперативной работы коллектива синоптиков по вышеописанной «безбумажной технологии». Карты «Синоптический бюллетень Северное полушарие (часть 1)», прошедшие редактирование и согласование с помощью компонент интерактивной обработки, архивируются во внутреннем формате ГИС Метео непосредственно на АРМ, а также записываются на компакт-диск. Это позволяет работать с картами не только в среде ГИС Метео, но и при помощи других общедоступных программных средств на персональном компьютере в любой организации.

С 1 апреля 1997 г. на компакт-дисках сохраняется вся информация оперативной базы данных в формате ЛАССО, а также базы с результатами фронтального анализа, выполненного синоптиками Гидрометцентра России. При необходимости из архивной базы могут быть получены карты практически по любой территории земного шара.

Дальнейшее развитие программных средств ГИС Метео с учётом новых научных разработок позволит сделать следующие шаги в современном процессе перестройки и модернизации оператив-

ной работы специалистов-прогнозистов системы Росгидромета и служб других стран.

Студенты-метеорологи могут использовать возможности ГИС Метео в целях получения практических навыков в анализе и прогнозе погоды общего назначения.

Исходные метеорологические сведения со значительной части северного полушария за прошедшие сутки получают в базах данных из сети Internet. Это возможно благодаря ГИС Метео. С её помощью проводят автоматический поиск информации о состоянии метеорологических полей. Эти материалы служат основой для разработки собственного регионального прогноза погоды на срок до 3 сут.

Краткосрочный прогноз погоды общего назначения, разработанный региональными методами для пункта и территории, может быть сопоставлен с прогнозом погоды, полученным в технологии ГИС Метео.

В зависимости от поставленной задачи можно использовать различные наборы компонент.

Для создания приземной синоптической карты и карт барической топографии можно применить следующие компоненты:

– **География** (для изготовления картографической основы заданной территории);

– **Города** (для нанесения пунктов из списка гидрометеорологических станций);

– **Текст** (для нанесения текста и углового штампа карты);

– **Приземная наноска** (для нанесения приземных синоптических данных);

– **Синоптика** или **Синоптика с контролем** (для нанесения приземных синоптических данных);

– **Значки** (для нанесения данных о ветре);

– **Погода** (для нанесения явлений погоды);

– **Аэрологическая наноска** или **Аэрология** (для нанесения аэрологических данных);

– **GRIB (GRID)** (для отображения метеорологических полей по данным, поступающим в кодах GRIB (GRID));

– **OT GRIB (GRID)** (для отображения полей относительного геопотенциала по данным, поступающим в кодах GRIB (GRID)).

Для первичного анализа (обработки) карт погоды можно использовать следующие компоненты:

– **Синоптика** или **Синоптика с контролем** (параметры **Давление, Барическая тенденция** – для проведения изолиний);

– **Погода** (параметры: **Гроза, Ливень, Туман, Снег** и др.);

– **Значки** (для «подъёма карты», для переноса центров барических образований с приземной карты на текущий слайд с целью оценки стадии развития барических образований);

– **Линии** (для проведения линий фронтов на приземной карте и на изобарической поверхности 850 гПа);

– **Фронт GRIB** (для проведения линий фронтов);

– **Спутник** (для отображения поля облачности и уточнения положения линий фронтов);

– **Аэрологическая наноска** или **Аэрология** (для проведения изогипс);

– **Аэрология (**параметр OT_{1000}^{500} для корректировки положения фронтов).

Для анализа изменений синоптических объектов во времени выполняют наложение слоёв с данными за разные сроки на одном текущем слайде. Для этой цели можно использовать компоненты:

– **Синоптика** или **Синоптика с контролем** (параметр **Давление** для представления двух полей изобар);

– **География** (команда **Измерение расстояний** для вычисления скорости перемещения центров барических образований);

– **Текст** (для проставления на карте вычисленной скорости, значения давления в центре барического образования);

– **Линии** (для сопоставления фронтов за предыдущий срок с положением фронтов текущего срока; для обозначения направления перемещения центров барических образований и линий фронтов).

Для подготовки прогноза погоды можно применить компоненты:

– **Траектории** (строят будущее положение частиц, фронтов, центров барических образований на конкретный срок);

– **Траектории GRIB** (строят прогностическое положение частиц, фронтов, центров барических образований с учётом перестройки процессов).

Траекторные расчёты (двумерные или трёхмерные) могут быть выполнены по фактическим или по прогностическим данным, поступающим в коде GRIB.

Для получения дополнительной информации с целью уточнения прогноза погоды можно использовать компоненты:

– **GRIB (GRID);**
– **МРЛ комплексная**;
– **Прогностический зонд**;
– **Спутник**;
– **Облачность;**
– **Прогноз осадков**;
– **Грозы GRIB**;
– **Шквалы GRIB**;
– **Вертикальные скорости**;
– **Струйные течения** или **Струйные течения GRIB (GRID);**
– **Прогностическая наноска;**
– **Метеопрогноз GRIB (GRID)** и другие компоненты.

Для анализа синоптических процессов и условий погоды в срок 00 ч *UTC* в регионе прогноза можно использовать информацию, поступающую в кодах GRIB или GRID в узлах географической сетки с шагом сетки по широте и долготе 1,25º.

Используя компоненты **GRIB** или **GRID, OT GRIB** или **OT GRID, Фронты GRIB, Облачность, Спутник, Прогноз осадков, Струйные течения GRIB (GRID),** можно построить синоптические карты, на которых отображены следующие поля метеорологических параметров и зоны синоптических объектов:

– фактическое барическое поле (поле давления) на уровне моря;
– поле барических тенденций на приземной карте;
– поле ветра у поверхности земли;
– поле температуры воздуха у поверхности земли;

– поле облачности;

– поле осадков;

– поле температуры на изобарических поверхностях 850, 700, 500, 300 гПа;

– барическое поле на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300;

– зоны струйных течений (направление, скорость ветра, положение оси струйного течения, высота расположения, максимальная скорость ветра на оси);

– поле относительного геопотенциала на карте ОТ_{1000}^{500};

– поле вертикальных скоростей на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа;

– поле дефицита точки росы на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500;

– положение фронтальных зон у поверхности земли и на карте АТ-850.

Для удобства и большей информативности синоптические карты рекомендуется строить путём совмещения нескольких слоёв.

Примеры

1. На карту с изображением барического поля на уровне моря можно поместить информацию о положении зон и полей нескольких метеорологических параметров:

– фронтальных зон;

– зон облачности;

– полей осадков;

– полей явлений погоды.

2. Барическое поле на приземной карте может быть совмещено с полем барических тенденций, полем ветра и фронтальными зонами.

3. Термобарическую карту изобарической поверхности 850 гПа (700, 500, 300 гПа) можно создать, совместив поле температуры и поле геопотенциала на выбранной изобарической поверхности.

4. Часто используется совмещение двух полей метеорологических величин температуры и дефицита точки росы на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500.

Возможны и другие варианты наложенных слоёв на одну синоптическую карту.

На основе полученных карт можно выполнить анализ фактических условий погоды:

– охарактеризовать синоптическое положение у поверхности земли в районе прогноза;

– рассмотреть изменения барического поля с высотой (вертикальная структура барических образований);

– дать термодинамическую характеристику и оценить влажностные свойства воздушной массы (температура, дефицит точки росы, вертикальная скорость на изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа);

– провести фронтальный анализ;

– выявить особенности условий погоды, характерные для района прогноза.

В качестве предварительного прогноза изменений синоптического положения и условий погоды на 24 и 36 ч можно использовать прогностическую информацию, поступающую в кодах GRIB или GRID.

На её основе могут быть построены синоптические карты, на которых приведены следующие поля метеорологических параметров:

– барическое поле на уровне моря, на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле температуры воздуха у поверхности земли, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле температуры на картах на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле ветра на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– фронтальные зоны на карте АТ-850, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле температуры на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле дефицита точки росы на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле изотерм (относительного геопотенциала) на карте $ОТ_{1000}^{500}$, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле вертикальных скоростей на изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле осадков, прогноз на 24 ч и на 36 ч;

– поле лапласиана давления, прогноз на 24 ч и на 36 ч.

Для построения указанных выше полей на синоптических картах можно использовать следующие компоненты:

– **GRIB** или **GRID**;

– **OT GRIB** или **OT GRID**;

– **Метеопрогноз GRIB** или **Метеопрогноз GRID**.

Дополнительно можно применять компоненты:

– **Вертикальные скорости**;

– **Прогноз осадков**;

– **Грозы GRIB**;

– **Шквалы GRIB**.

На одной карте можно совместить следующую прогностическую информацию:

– приземный анализ и монтаж спутниковых снимков;

– барическое поле на уровне моря, зоны облачности и фронтальные зоны;

– фронтальные зоны, поле облачности, струйные течения и опасные явления;

– поле температуры и дефицита точки росы на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500;

– барическое поле, поле температуры (термобарическое поле) и ветер на картах АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-300 и т.д.

Для анализа изменений синоптических объектов и метеорологических параметров во времени используется наложение слоёв с фактическими и прогностическими данными на одной карте. Например, можно совместить прогностические (на 24 или 36 ч) и фактические приземные карты, карты $ОТ_{1000}^{500}$, положение фронтов.

На основе полученной прогностической информации можно представить ожидаемые изменения условий погоды на 24 и 36 ч:

– прогноз будущего положения барического поля;

– фронтальный анализ;

– прогноз облачности, явлений погоды, осадков, ветра, температуры воздуха.

Для большей наглядности метеорологических параметров на синоптических картах могут быть выбраны разные формы (или несколько форм одновременно) их представления:

– **Значения** (для параметров **Давление**, **Барическая тенденция, Температура, Геопотенциал, Вертикальные скорости** и др.);

– **Изолинии** (для параметров **Давление, Барическая тенденция, Температура, Геопотенциал, Дефицит точки росы, Вертикальные скорости** и др.);

– **Цветное поле** (для параметров **Барическая тенденция, Температура, Осадки, Вертикальные скорости** и др.);

– **Значки** (для параметров **Ветер, Явления** и др.);

– **Линии** (для проведения линий фронтов; стрелок, показывающих направление вертикальных движений, и т.д.)

9.5. Создание образца слайда и расписания

Для анализа и прогноза погоды удобно иметь образец слайда с компонентами соответствующего содержания. Например, для анализа изменения синоптических объектов во времени образец слайда имеет вид:

– компонента **Синоптика (Синоптика с контролем)**, параметр **Давление** за 18 ч *UTC*;

– компонента **Синоптика (Синоптика с контролем)**, параметр **Давление** за 00 ч ВСВ;

– компонента **Приземная наноска** за 00 ч *UTC*;

– компонента **Синоптика (Синоптика с контролем)**, параметр **Барическая тенденция** за 00 ч *UTC*;

– компонента **Погода**, параметр **Осадки** за 00 ч *UTC*;

– компонента **Значки** за 00 ч *UTC*;

– компонента **Линия**, параметр **Фронтальная система** за 18 ч *UTC*;

– компонента **Линия**, параметр **Фронтальная система** за 00 ч *UTC*.

После нанесения перечисленных компонент выполняют действия по сохранению образца, присвоив ему, например, имя **Карта погоды с историей**.

Подобным образом создают образцы слайдов для всех карт, нужных синоптику.

Программные средства ГИС Метео позволяют создавать слайды по расписанию на фоне обычной работы. Работы по расписанию, в том числе на фоне обычной работы, осуществимы после создания образцов слайдов и расписания для их создания.

Расписание подготовки карт без участия пользователей создаётся с помощью специального приложения ГИС Метео – **Редактора расписания**.

Подробно создание образца слайда, расписания и режим работы по расписанию описаны в учебном пособии (Волынцева, Смирнова, 2005).

9.6. Анализ и прогноз погоды в оперативной работе синоптиков с использованием ГИС Метео

Для анализа и прогноза синоптических процессов и условий погоды может быть предложен следующий порядок действий.

1. Анализ состояния атмосферы у поверхности земли по приземной карте за исходный срок и другим материалам:

– барические образования, оказывающие влияние на район прогноза, их основные характеристики (стадия развития, динамика, направление и скорость перемещения, условия погоды и т.д.);

– атмосферные фронты, оказывающие влияние на район прогноза (основные характеристики фронтальной зоны, условия погоды, в том числе наличие опасных явлений погоды);

– термобарическое поле на АТ-850 над районом прогноза;

– анализ формирования воздушных масс, их гигротермических характеристик и степени устойчивости с привлечением карт $ОТ_{1000}^{500}$, АТ-500, вертикальных скоростей, дефицита точки росы, данных радиозондирования атмосферы и т.д.;

– анализ лапласиана давления на уровне моря.

2. Анализ состояния атмосферы по карте АТ-700 за исходный срок:

– общая циркуляция атмосферы;

– барические образования, оказывающие влияние на формирование погоды над районом прогноза, их основные характеристики;

– ведущий поток над районом прогноза (направление и скорость), построение траектории смещения воздушной массы;

– степень бароклинности (баротропности) атмосферы над районом прогноза.

3. Анализ состояния атмосферы по карте АТ-500 за исходный срок:

– общая циркуляция атмосферы;

– барические образования, оказывающие влияние на формирование погоды и ведущего потока над районом прогноза;

– отличия барического поля на АТ-500 и АТ-700 над районом прогноза.

4. Анализ струйного течения, оказывающего влияние на район прогноза, по карте АТ-300 за исходный срок.

5. Оценка прогностического состояния атмосферы на период действия прогноза (аналогично п. 1). Дополнительно следует привлечь прогностические карты зон фронтов, облачности, гроз и т.д.

6. Оценка прогностического состояния атмосферы на период действия прогноза по прогностическим картам АТ-700 (аналогично п. 2).

7. Оценка прогностического состояния атмосферы на период действия прогноза по прогностическим картам АТ-500 (аналогично п. 3).

8. Вывод о динамике состояния атмосферы по барическому полю, о причинах изменений.

9. Оценка будущего положения и характеристика струйного течения, оказывающего влияние на район прогноза, по прогностической карте АТ-300. Вывод о возможном влиянии струйного течения на энергетику приземных барических систем.

10. Вывод о динамике состояния атмосферы у поверхности земли и воздушных масс и причинах этих изменений.

11. Вывод о динамике состояния атмосферы по барическому полю на картах АТ-700 и причинах этих изменений.

12. Анализ результатов расчётов опасных явлений по методикам, используемым в подразделении.

13. Анализ снимков облачности, полученных с ИСЗ.

14. Влияние местных условий на формирование погоды над районом прогноза.

15. Краткий вывод о барическом поле, фронтальных разделах и физических параметрах атмосферы, определяющих условия погоды у поверхности земли.

16. Составление прогноза и штормовых предупреждений.

Предлагаемый примерный план может быть изменён или дополнен в зависимости от конкретной синоптической ситуации. Для анализа физического состояния атмосферы над районом прогноза необходимо использовать не только качественные оценки развития атмосферных процессов, но и количественные расчёты, представленные различными компонентами ГИС.

9.7. Описание условий погоды с использованием ГИС Метео

Пример описания синоптических процессов и условий погоды приводится за срок 12 *UTC* 19 апреля 2009 г.

У земной поверхности погодные условия в районе г. Томска определяет тыловая часть циклона с центром севернее Ванавары (рис. 9.1). Давление в центре циклона составляет 994 гПа.

С этим циклоном связаны арктический и полярный атмосферные фронты. Арктический тёплый фронт проходит по районам Ванавары, Мирного и Алдана, а арктический холодный фронт – от района Ванавары на Красноярск и Новокузнецк. Полярный тёплый фронт оказывает влияние на районы Усть-Илимска, Читы, полярный холодный фронт – на районы Братска, Нижнеудинска, Кызыла. Район Томска находится за арктическим холодным фронтом. На территорию южнее Омска, Новосибирска, Красноярска оказывает влияние гребень антициклона, направленный с запада на восток. Центр антициклона с давлением 1024 гПа располагается в районе Уфы.

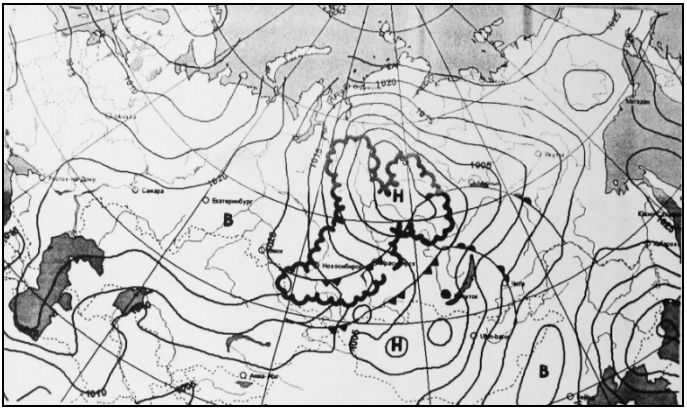


Рис. 9.1. Приземная синоптическая карта

Над Монголией наблюдаются замкнутые области пониженного давления.

Прохождение линии нулевой изаллобары вблизи центров барических образований указывает на то, что они находятся в стадии максимального развития.

Вертикальную структуру циклонов и антициклонов можно оценить при совмещении приземной карты и карт абсолютной барической топографии. Барические образования являются высокими, однако высотные центры отстают от приземных центров (рис. 9.2). Это говорит о том, что они являются термически асимметричными образованиями.

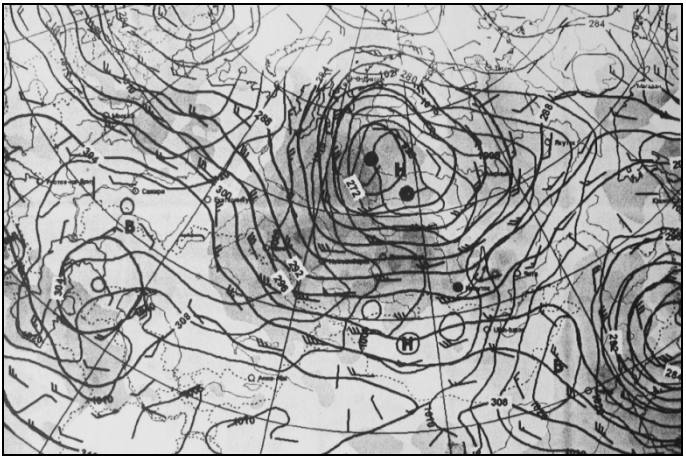


Рис. 9.2. Приземное и высотное (АТ-700) барическое поле

Ведущий поток над Томском обусловлен передней частью высотной ложбины и имеет западное направление и скорость 60 км/ч.

Над значительной частью Сибири атмосфера является бароклинной, на что указывают углы адвекции, близкие к 90° (рис. 9.3).

Юг Восточной Сибири находится под влиянием высотной фронтальной зоны, которая динамически значима, так как контрасты температур на АТ-850 составляют 16–20 °С на 1000 км.

Высотная карта АТ-300 используется для анализа струйных течений, уточнения границ высотных фронтальных зон (рис. 9.4).

На карте АТ-300 видно, что районы юга Восточной Сибири находятся в зоне взаимодействия циклона и антициклона.

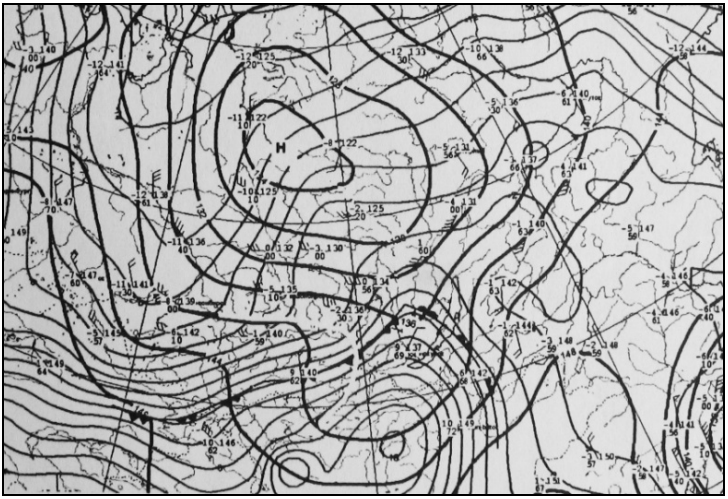


Рис. 9.3. Термобарическое поле

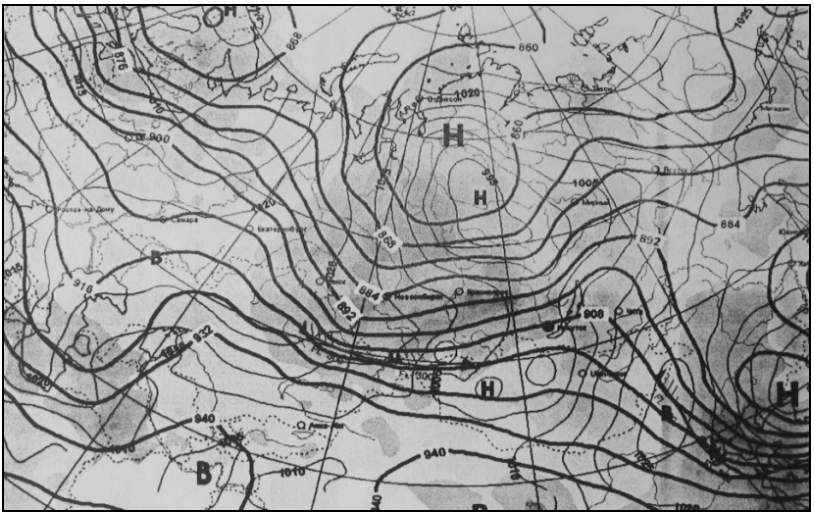


Рис. 9.4. Совмещённые карты АТ-300 и приземная

Максимальные скорости ветра на оси струйного течения наблюдаются над районами Казахстана и Китая. На южной периферии высотных циклонов скорость ветра на оси струйного течения достигает 250 км/ч.

Совмещение полей атмосферного давления на приземной карте и температуры воздуха у поверхности земли (рис. 9.5) показывает, что район Томска оказывается под влиянием арктической воздушной массы. Наблюдается отрицательная температура воздуха (–0,5°С).

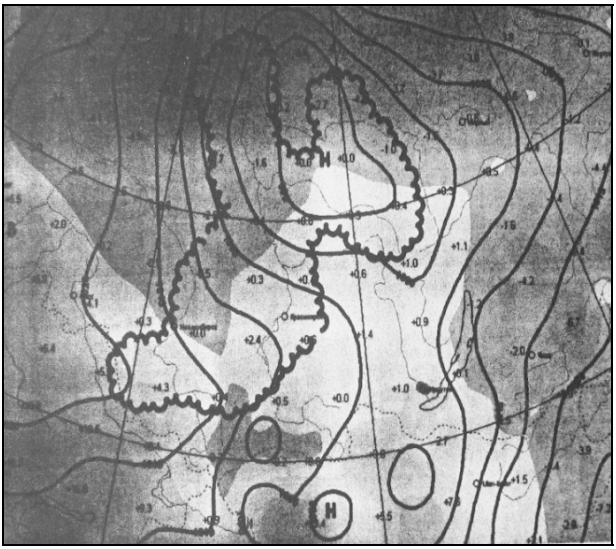


Рис. 9.5. Совмещённые карты барического поля и температуры воздуха у поверхности земли

Для определения влажности воздушной массы совмещают приземное барическое поле и фактические дефициты точки росы у поверхности земли и на высотах (рис. 9.6). Над Томском наблюдается относительно сухая воздушная масса. Дефицит точки росы составляет 2,4°С у поверхности земли и 7,5°С на изобарической поверхности 500 гПа.

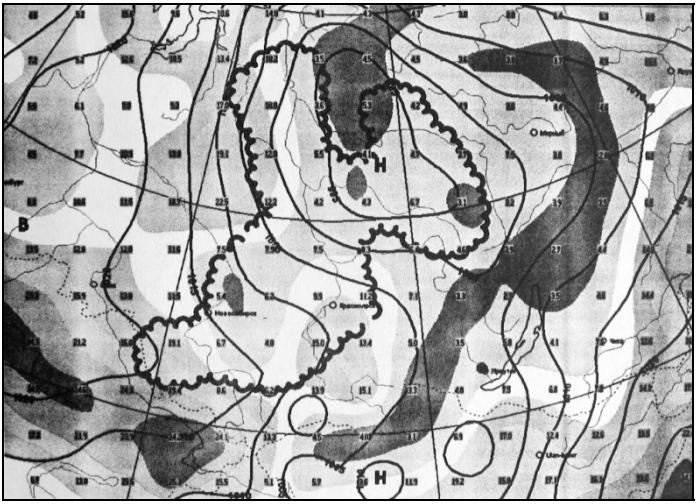


Рис. 9.6. Совмещённые карты приземного барического поля и дефицита точки росы на изобарической поверхности 500 гПа

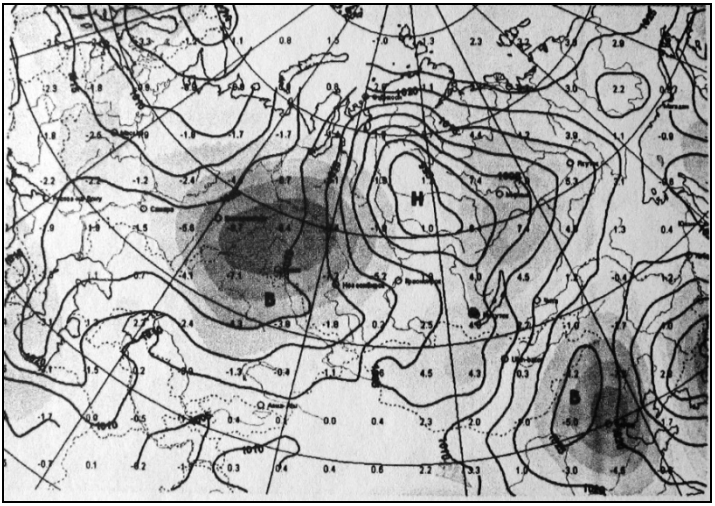


Рис. 9.7. Совмещённые карты разностей геопотенциальных высот H_{700} и приземного барического поля

По разностям геопотенциальных высот на уровне ведущего потока оцениваются динамические факторы цикло- и антициклогенеза у поверхности земли. Положительные значения разностей геопотенциальных высот в Восточной Сибири, достигающие 4 гп дам за 12 ч, указывают на динамические факторы роста давления или антициклогенеза у поверхности земли.

Положительные значения разностей геопотенциальных высот над приземным циклоном и отрицательные разности над приземным антициклоном указывают на то, что антициклон с центром в районе Уфы и циклон с центром севернее Ванавары в дальнейшем будут переходить в заключительные стадии развития (рис. 9.7).

При наложении приземной карты на $ОТ_{1000}^{500}$ видно, что крупномасштабная адвекция холода на высотах ориентирована на Западную Сибирь и Казахстан, а адвекция тепла ориентирована на Урал и Якутию (рис. 9.8).

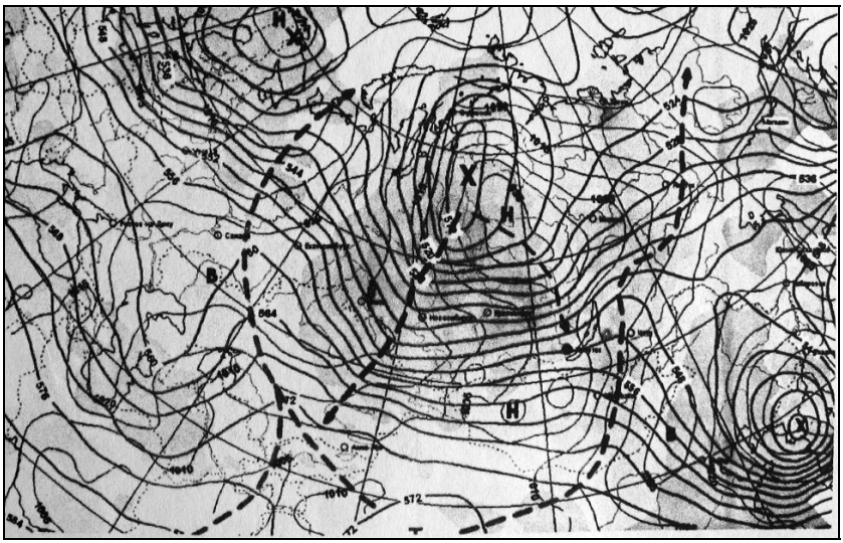


Рис. 9.8. Совмещённые карты $ОТ_{1000}^{500}$ и приземная

Судя по карте вертикальных скоростей, наложенной на поле давления у Земли (рис. 9.9), в циклоне наблюдаются восходящие движения, наиболее интенсивные на южной периферии циклона.

Облачность в тёплом секторе циклона хорошо видна на снимке облачности с ИСЗ (рис. 9.10). В районе Томска наблюдается кучево-дождевая облачность и выпадает ливневый снег.

Поле ветра у поверхности земли (рис. 9.11) показывает, что в районе Томска наблюдается северо-западный ветер скоростью 2–3 м/с.

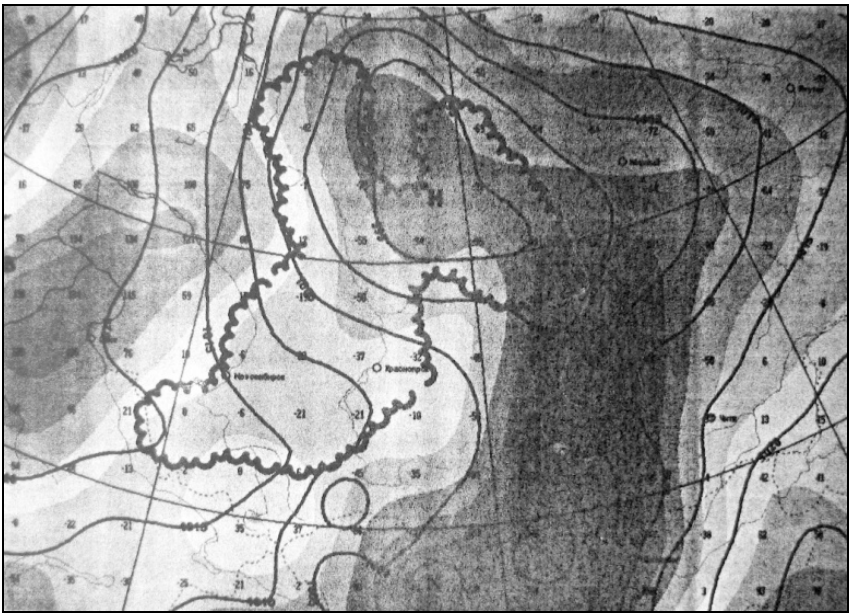


Рис. 9.9. Совмещённая карта вертикальных скоростей и приземная карта

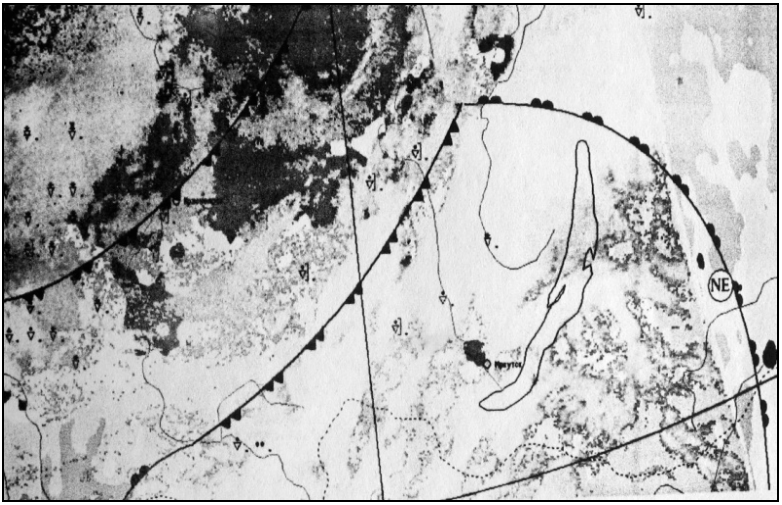


Рис. 9.10. Снимок облачности с ИСЗ и линии фронтальных разделов

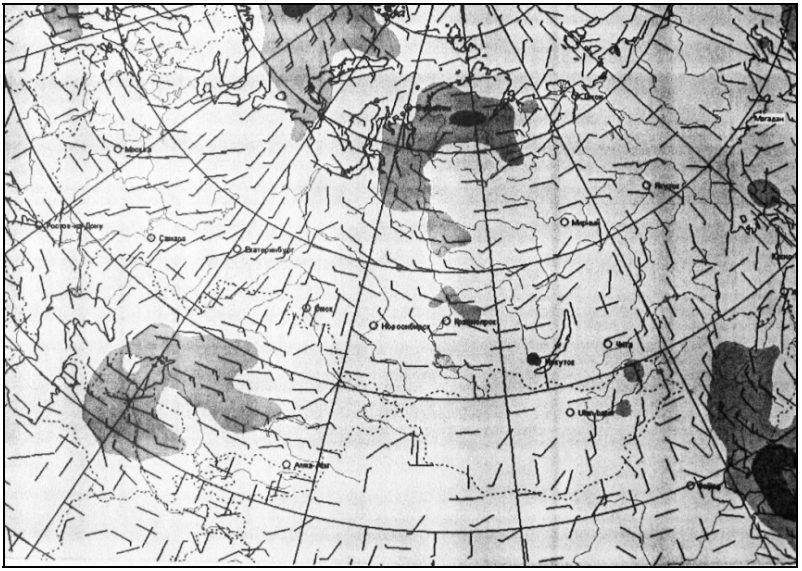


Рис. 9.11. Ветер у поверхности земли

В районе Томска грозы нет. Грозы наблюдаются только в районе Перми, на востоке Узбекистана, северо-западе Кыргызстана и в Монголии (рис. 9.12).

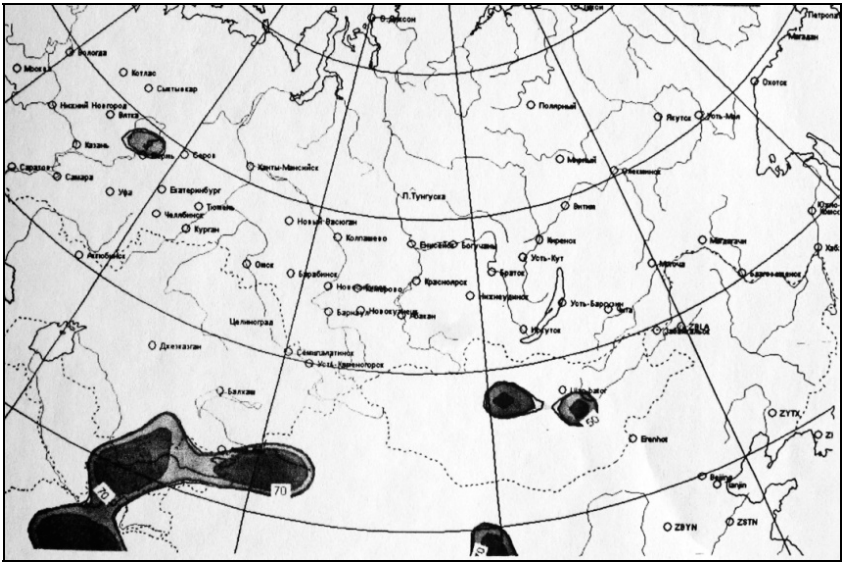


Рис. 9.12. Распределение гроз по территории (компонента **Грозы GRIB**)

10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

В настоящее время в синоптической практике нашли широкое применение снимки с ИСЗ. Они могут быть использованы для анализа и прогноза синоптического положения и условий погоды.

Результаты спутниковых наблюдений представляют собой непрерывное распределение действительной информации об облачности – намного более полной, чем дискретная информация, получаемая с сети наземных станций. Она может быть получена в любое время суток и в любом районе земного шара.

Важным достоинством спутниковых данных об облачности является возможность составления фотомонтажей из ряда снимков, освещающих структуру облачных полей на обширных пространствах (например над полушарием), а также возможность анализа динамики развития облачных образований в отдельных районах по ряду снимков, получаемых в последовательные моменты времени.

Спутниковые изображения облачности дают возможность определить размеры и площади облачных полей, их горизонтальную протяжённость, формы облаков, размеры элементов облачных форм.

Характерный вид полей облачности на спутниковых снимках позволяет определить стадии развития циклонов, воздушные массы, атмосферные фронты, струйные течения, зоны осадков и туманов, оценить эволюцию и перемещение облачных образований, связанных с барическими образованиями и атмосферными фронтами.

При синоптическом анализе обычно применяют спутниковые снимки, получаемые в видимом (ТВ) и инфракрасном (ИК) участках спектра с помощью телевизионной и инфракрасной аппаратуры, устанавливаемой на ИСЗ.

Результаты обработки спутниковых снимков в ТВ- и ИК-участках спектра могут быть представлены в виде снимков с нанесёнными границами изображаемых объектов, количеством и формой облачности, атмосферными фронтами, а также в виде схематических карт облачности, называемых картами нефанализа.

10.1. Сведения о метеорологических ИСЗ

Данные о состоянии атмосферы и океанов поступают с космической подсистемы в главные наземные центры приёма информации. Координирующую роль в международном обмене информацией выполняет ВМО.

Наблюдения в глобальном масштабе ведутся с полярно-орбитальных и геостационарных метеорологических искусственных спутников Земли. В оперативном режиме международный обмен осуществляется с ИСЗ серии NOAA и с ИСЗ METEOSAT-7. В настоящее время в обмен включаются данные геостационарных ИСЗ METEOSAT-5, METEOSAT-7, GOES-9, GOES-EAST, GOES-WEST, ЭЛЕКТРО-Л.

Регулярные наблюдения с помощью приборов, установленных на ИСЗ, объединяются в Глобальную систему наблюдений (GOS – Global Observing System), которая является частью Глобальной системы слежения за погодой (World Weather Watch).

В оперативном режиме информацию ИСЗ принимают в 125 странах мира на более чем 1000 приёмных станций.

Космическая система сбора и передачи данных (ССПД) состоит из космического и наземного сегментов.

ССПД обеспечивает передачу буквенно-цифровой информации с автоматических и обслуживаемых платформ сбора данных (ПСД) сети Росгидромета в центр сбора и обработки данных (г. Москва) в реальном масштабе времени. ССПД может обслуживать и коммерческих абонентов. ССПД разработана научно-исследовательским центром космической гидрометеорологии «Планета» (НИЦ «Планета») Росгидромета.

ГУ «НИЦ «Планета» – ведущая организация Росгидромета по эксплуатации и развитию национальных космических систем наблюдения Земли гидрометеорологического (МЕТЕОР-М, ЭЛЕКТРО), океанографического (Океан) и природно-ресурсного (Ресурс) назначения, а также по приёму и обработке данных с зарубежных спутников серий NOAA, EOS (Terra, Aqua), METEOSAT, GOES, MTSAT и др.

10.2. Доступ к спутниковой информации

Спутниковая информация по различным регионам земного шара представлена на сайте Гидрометцентра России:

1) http://hmc.hydromet.ru (в разделе «Текущая погода. … Спутниковые изображения»);

2) http://meteoinfo.ru (Гидрометцентр России: О погоде – из первых рук – фактические данные – спутниковые снимки – оперативные спутниковые данные).

На основе созданной в Гидрометцентре России технологии построения карт создаются монтажи по данным различных ИСЗ, получаемых как из сети Internet, так и с приёмной спутниковой станции Росгидромета, установленной в НИЦ «Планета». Технология позволяет обрабатывать и представлять информацию об облачности и содержании водяного пара в виде карт в различных удобных для анализа проекциях (преимущественно в стереографической и меркаторской).

Оперативные спутниковые данные поступают в ИК-диапазоне.

На сайте http://www.gismeteo.ru (в разделе «Карты») можно посмотреть спутниковый снимок для региона «Юг Сибири» (выпускается один раз в сутки).

Наиболее информативным в отношении спутниковой информации является сайт ГУ «НИЦ «Планета» http://planet.iitp.ru (НИЦ «Планета» – карта сайта – оперативная продукция – обзорные наблюдения, облачность – Евразия – оперативные данные). На

этом сайте представлены снимки облачности, полученные с разных ИСЗ.

Монтажи цифровых изображений по территории Евразии в ИК-диапазоне приведены по данным ИСЗ серии NOAA (2 раза в сутки), «Метеор-М» № 1 (2 раза в сутки), METEOSAT-7 (до 20 раз в сутки), 9, MTSAT-2R, GOES-E (8 раз в сутки). По данным ИСЗ METEOSAT-7, 9, MTSAT-2R имеются также монтажи снимков облачности, совмещённые с картой термобарического поля. Они выпускаются четыре раза в сутки в основные синоптические сроки: 00, 06, 12, 18 ч *UTC*.

Представленные карты облачности и водяного пара позволяют оценить динамику и эволюцию облачного покрова путём последовательного просмотра снимков по срокам и представления этой информации с помощью любой стандартной анимационной программы.

В Гидрометцентре России создан и постоянно пополняется архив карт облачности в ИК- и ТВ-диапазонах с дискретностью от 0,5 до 12 ч для территории Евразии.

ГУ «НИЦ «Планета» с 1979 года ведёт архив Госфонда РФ по всей принимаемой космической информации, а также специализированные архивы тематической информационной продукции.

10.3. Особенности дешифрирования космических снимков

Процесс распознавания облачности, снега, льда и объектов земной поверхности на космических изображениях, полученных в видимом и инфракрасном участках спектра излучения, называется *дешифрированием.*

Основными дешифровочными признаками, позволяющими различать изображения облаков разного типа и особенности объектов земной поверхности, являются яркость (тон) и рисунок (структура). Исходя из масштабов яркостных неоднородностей естественных объектов и разрешающей способности аппаратуры на косми-

ческих изображениях, получаемых с помощью аппаратуры ИСЗ, выделяют текстуру, мезоструктуру и макроструктуру (структуру синоптического масштаба).

Текстурой изображения называют рисунок мелких деталей, создаваемый различной яркостью отдельных элементов, размеры которых сравнимы с разрешающей способностью аппаратуры. Различают четыре вида текстуры:

– матовая (рис. 10.1, а), характеризуемая однородным тоном изображения;

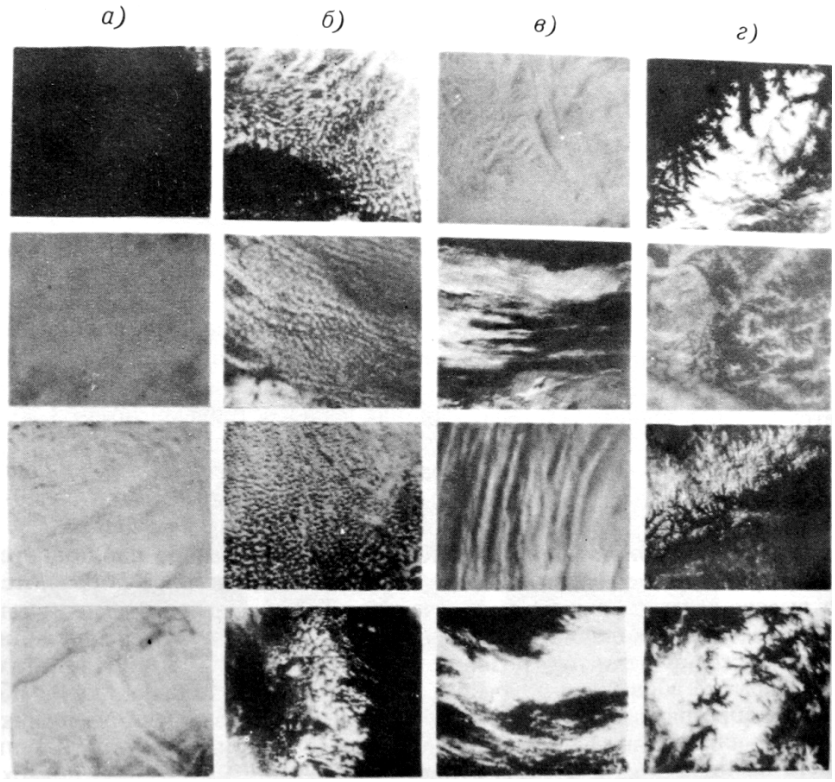


Рис. 10.1. Основные типы текстуры изображения

– зернистая (рис. 10.1, *б*), представляющая скопления пятен, которые просматриваются на определенном фоне;

– волокнистая (рис. 10.1, *в*), т.е. нити, полосы, волокна незначительной толщины, но вытянутые в длину на десятки и сотни километров;

– дендритовая (рис. 10.1, *г*), разветвляющаяся как дерево.

Мезоструктура изображения – это рисунок, обусловленный ориентировкой и расположением на снимке опознаваемых деталей средних размеров, которые могут иметь свою текстуру.

Анализ космических изображений облачности позволяет выделить следующие основные типы мезоструктуры:

– облачные линии продольные и поперечные (рис. 10.2, *а*);

– облачные гряды (рис. 10.2, *а*);

– облачные ячейки: открытые (рис. 10.2, *б*) и закрытые (рис. 10.2, *в*);

– волнистые облака;

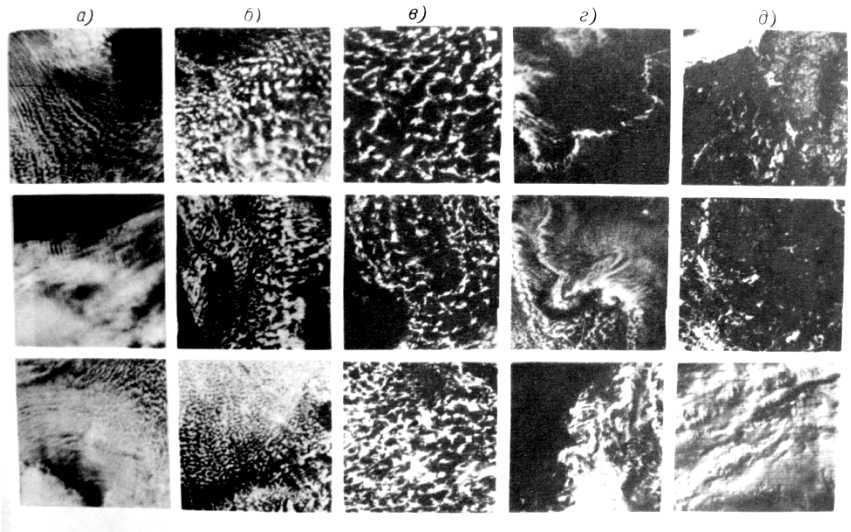


Рис. 10.2. Основные типы мезоструктуры облачности

– мезомасштабные вихри (рис. 10.2, *г*): орографические, конвективные, вторичные облачные вихри;

– аномальные линии облачности (рис. 10.2, *д*).

Макроструктурой изображения называют геометрические особенности больших участков снимка, создаваемых сотнями элементов, имеющих свои мезомасштабные и текстурные характеристики, размеры которых на два-три порядка больше разрешающей способности спутниковой аппаратуры.

К макромасштабным облачным образованиям относятся:

– облачность воздушных масс;

– облачные полосы атмосферных фронтов;

– облачные системы циклонов;

– облачность антициклонов;

– облачность струйных течений;

– облачность тропических циклонов;

– облачность внутритропической зоны конвергенции (ВЗК).

Структурные характеристики макромасштаба позволяют выявить общую синоптическую обстановку, в которой наблюдаются те или иные облачные образования.

10.4. Дешифрирование снимков облачности

Изображения облачности, получаемые с помощью ИСЗ, отличаются от полученных путём наземных наблюдений тем, что дают целостную картину распределения облаков над обширными территориями, соизмеримыми с основными синоптическими объектами. При дешифрировании снимков облачности прежде всего определяют её границы, количество облаков, а затем их тип.

10.4.1. Граница и количество облаков

Границей (контуром) называется линия раздела между полями с различными характеристиками. Контурами очерчиваются райо-

ны (поля), однородные по яркости и структуре изображения облачности.

Границы облачных полей проводятся таким образом, чтобы каждый контур ограничивал облачные массы с одинаковой структурной характеристикой и равномерным распределением по очерченной площади. Количество облаков характеризуют степенью покрытия облаками того или иного участка земной поверхности и определяют отношением (в процентах) площади, занятой облачными элементами внутри контура, ко всей площади, ограниченной контуром.

10.4.2. Форма облачности

При дешифрировании пользуются условной морфологической классификацией облаков, рекомендованной ВМО и составленной с учётом информативности космических изображений.

10.4.2.1. Слоистообразная облачность (*St*)

Основной отличительной чертой этой облачности на телевизионных космических изображениях является её матовый однородный тон, матовая текстура. Яркость изображения может изменяться от белого цвета до серого. Поля слоистообразной облачности, как правило, имеют большие горизонтальные размеры.

Мезоструктура слоистообразной облачности бывает неопределённая или полосная, причём вдоль облачных полос однородность тона (яркости) или сохраняется, или меняется постепенно.

Изображение слоистообразной облачности создаётся слоисто-дождевыми (Ns), слоистыми (St), высоко-слоистыми (As) и плотными перисто-слоистыми (Cs) облаками.

На инфракрасных изображениях слоистообразная облачность выглядит как серая пелена.

10.4.2.2. Слоисто-кучевообразная облачность (*Sc*)

На космических изображениях, полученных в видимом и инфракрасном диапазонах спектра излучения, слоисто-кучевообразная облачность выглядит в виде поля изолированных, крупных или мелких, гранул, расплывшихся пятен, в центре которых, как правило, прослеживается относительно яркое образование из более мощных облаков. Облачные элементы обычно имеют округлую форму. Диаметр их варьирует от 10 до 100 км.

Тон изображения на инфракрасных снимках меняется от светло-серого до тёмно-серого.

10.4.2.3. Кучевообразная облачность (*Cu*)

Изображения кучевообразной облачности отличаются большой яркостной неоднородностью. Тон изображения может колебаться от светло-серого до ярко-белого. Характерной текстурой изображения является зернистая.

Мезоструктурные образования кучевообразной облачности достаточно разнообразны: линии, массивы, гряды, ячейки, вихри.

Изображения кучевообразных облаков создаются облаками вертикального развития: кучевыми (Cu), мощными кучевыми (Cu cong) и некоторыми формами слоисто-кучевых (Sc) облаков.

10.4.2.4. Кучево-дождевые облака (*Cb*)

Основными признаками для дешифрирования на космических ТВ-снимках кучево-дождевых облаков являются: наиболее яркий тон изображения; отчётливо очерченные контуры облачности; значительные колебания горизонтальных размеров; характерные выбросы (шлейфы) наковален перистых облаков.

На инфракрасных изображениях кучево-дождевые облака образуют яркие белые пятна с хорошо выраженными границами. При-

сутствие наковален делает их границы менее резкими, а тон по краям – менее ярким. Наличие этих облаков на космическом изображении является хорошим индикатором для анализа и прогноза гроз, ливней и шквалистых ветров.

10.4.2.5. Перистообразная облачность (*Ci*)

Эта облачность может быть опознана на изображениях в большинстве случаев по волокнистой текстуре и как часть кучево-дождевых облаков.

На снимках видимого диапазона тон изображения плотной перистообразной облачности меняется от светло-серого до белого.

Перистые нитевидные облака образуют полосы шириной 50–100 км и длиной до 1000 км. Сквозь них ясно просматриваются подстилающая поверхность и кучевые облака.

На инфракрасных снимках тон изображения плотных перистых облаков белый или ярко-белый. Перистые облака наковален являются частью кучево-дождевых облаков.

10.5. Облачность воздушных масс, атмосферных фронтов и струйных течений

Воздушные массы формируются непрерывно в любом географическом районе при любых условиях циркуляции. При движении воздушной массы свойства её постепенно изменяются, она трансформируется.

Внешний вид внутримассовых облачных полей зависит от стратификации воздушной массы, вида подстилающей поверхности, времени года и суток.

На космических снимках облачность атмосферных фронтов изображается в виде светлых полос различной ширины, яркости и структуры.

Внешний вид многослойной облачности, представляющей сочетание различных форм облаков, и конфигурация облачной полосы позволяют определить тип фронта.

10.5.1. Облачность холодных воздушных масс

Для холодной воздушной массы в основном характерны кучевообразные облака, линии и гряды такой облачности (зернистая и куполообразная текстура на снимках). Районам адвекции холода соответствуют открытые конвективные ячейки, а районам адвекции тепла – закрытые конвективные ячейки.

В холодном влажном воздухе в подынверсионном слое формируется, как правило, слоисто-кучевая облачность небольшой вертикальной мощности, как над сушей, так и над морем, в течение всего года. Зимой над сушей в холодной воздушной массе преимущественно ясно.

10.5.2. Облачность тёплых воздушных масс

В тёплых воздушных массах чаще всего наблюдается слоистообразная облачность (матовая, волокнистая текстура на снимках) или туман, если он адвективного происхождения. Летом над континентами в тёплой устойчиво стратифицированной воздушной массе облака часто отсутствуют. В неустойчивом тёплом воздухе днём над сушей развиваются кучевообразные облака.

10.5.3. Облачность холодных фронтов

Облачность холодных фронтов имеет чёткую структуру в виде яркой полосы шириной 200–300 км и длиной более 1 000 км, часто с вкраплениями округлых ярких пятен с резко очерченными краями. Облачная полоса имеет хорошо выраженную циклоническую

кривизну, а её ширина заметно уменьшается с увеличением расстояния от центра облачного вихря. Она достаточно чётко отделяется от пред- и зафронтальной облачности сравнительно безоблачными зонами.

Холодным фронтам второго рода (быстро движущимся) соответствуют широкие (400–500 км) ярко-белые полосы сплошной облачности с чёткими признаками кучево-дождевых облаков, часто прикрытых сверху перистыми облаками. Приземная линия фронта располагается вблизи тыловой части облачной полосы.

Холодным фронтам первого рода (медленно движущимся) соответствуют облачные полосы, состоящие из слоистообразной и перистой облачности. Они имеют ширину 250–350 км, ярко-белый тон изображения и большую скорость перемещения (в среднем 25 км/ч). Приземная линия фронта располагается ближе к переднему краю облачной полосы.

Холодным фронтам с волнами, располагающимся в вытянутой ложбине, соответствуют неширокие (150–200 км) полосы куполообразной структуры, состоящие из кучево-дождевых и мощных кучевых облаков (рис. 10.3).

Средняя скорость перемещения таких фронтов составляет 30 км/ч. Основными признаками волны на холодном фронте является локальное расширение облачной полосы. Приземная линия фронта располагается в пределах облачной полосы.

Квазистационарным холодным фронтам соответствуют узкие (100–130 км) ярко-белые или светло-серые полосы слоистообразной или перистой облачности. Приземная линия фронта совпадает с облачной полосой.

Облачность вторичных холодных фронтов обычно имеет вид прерывистой, изогнутой гряды конвективных облаков, расположенной в тылу циклона позади основного холодного фронта. В зависимости от влагосодержания и неустойчивости холодного воздуха ширина облачной полосы колеблется от 50 до 200 км.

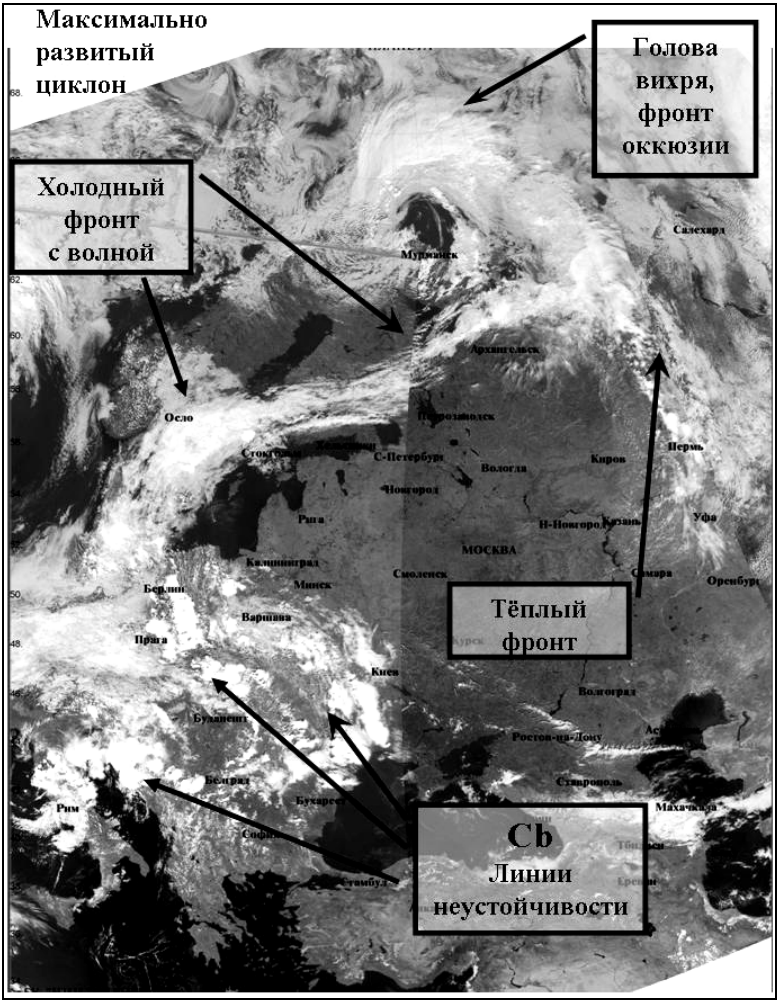


Рис. 10.3. Облачность атмосферных фронтов на снимке с ИСЗ
(снимок предоставлен И. В.Кужевской)

Облачные полосы вторичных холодных фронтов сформированы из кучево-дождевых и кучевообразных облаков.

10.5.4. Облачность тёплых фронтов

Тёплый фронт в поле облачности сравнительно хорошо выражен только на начальных стадиях развития циклона: для него характерна облачная полоса антициклонической кривизны шириной 300–500 км и длиной 500–1000 км. Полоса состоит из однородных слоисто-дождевых облаков, но в тёплое время года может иногда включать кучево-дождевые облака.

Размытые тёплые фронты на космических изображениях просматриваются в виде полос перистообразной облачности.

Квазистационарные тёплые фронты характеризуются полосой облачности хаотического вида.

10.5.5. Облачность фронтов окклюзии

Облачная система фронта окклюзии обычно имеет вид спирали, закрученной против часовой стрелки в северном полушарии (рис. 10.3). Ширина спирали 200–300 км (иногда 500 км).

Протяжённость облачных полос, образующих вихрь, составляет в основном от 500 до 1500 км. В тылу фронтальной спирали могут также образовываться гряды и скопления конвективных облаков.

Облачность, связанная с фронтом окклюзии, на космических изображениях в видимом и инфракрасном диапазонах выглядит одинаково.

Тон изображения фронта окклюзии может быть от ярко-белого (в стадии максимального развития циклона) до серого (в стадии заполнения циклона).

При наличии фронта окклюзии облачность струйного течения, являющаяся продолжением облачности холодного фронта, «отсекает голову» вихря от облачности системы тёплого и холодного фронтов.

Облачность холодного фронта и струйного течения имеют ярко-белый тон изображения. В месте отсечения наблюдается плотный щит перистой облачности с ярко выраженными выбросами.

10.5.6. Предфронтальные и зафронтальные линии шквалов

Облачные полосы, связанные с предфронтальной линией шквалов, располагаются в тёплом воздухе параллельно облачной полосе холодного фронта. Им соответствуют кучево-дождевые облака с наковальнями, имеющие яркий тон изображения, связанные с грозовой деятельностью, ливневыми осадками и резким усилением ветра. Облака зафронтальных линий шквалов в тыловой части циклонов имеют вид прерывистых полос шириной 50–200 км.

10.5.7. Облачность стационарного фронта

Облачная полоса стационарного фронта обычно не имеет циклонической или антициклонической кривизны, менее однородная, чем облачные полосы холодного и тёплого фронтов, с частыми прояснениями. Ширина полосы примерно 200–300 км.

Летом в дневное время на стационарных фронтах развивается процесс волнообразования: у вершин волн наблюдаются скопления мощных кучевых облаков на холодных участках фронта.

10.5.8. Облачность струйных течений

Справа от оси струйного течения в тёплом воздухе развивается преимущественно слоистообразная (высокослоистая и перистослоистая) облачность. Слева от оси струйного течения в холодной воздушной массе – ясно, иногда развиваются кучевообразные низкие облака (рис. 10.4).

Облачность струйного течения имеет форму длинной широкой полосы, часто – ряда узких полос перистых облаков, вытянутых вдоль потока, или форму обширного массива. Ширина облачных полос 400–600 км, а ширина облачного массива может быть значительно больше. Длина облачности над океанами достигает 1 500–2 700 км, но чаще её протяжённость равна 500–1 700 км.

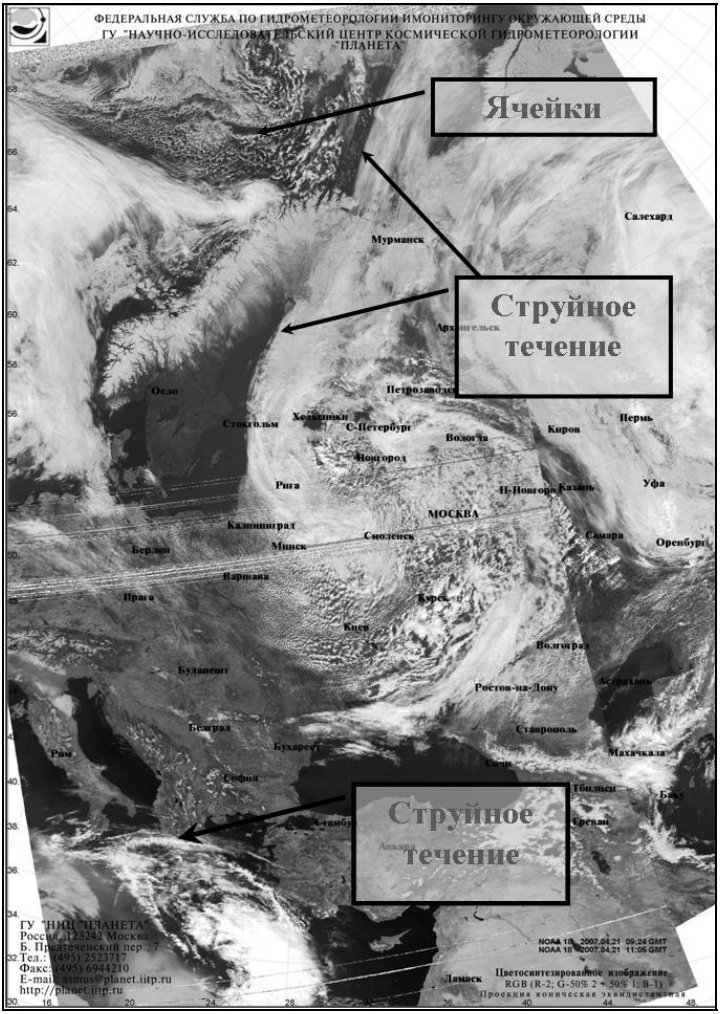


Рис. 10.4. Облачность струйных течений на снимке с ИСЗ
(снимок предоставлен И.В. Кужевской)

Облака струйного течения могут пересекать облачную полосу фронта окклюзии.

Характерной особенностью облачности струйного течения является возникновение в ней поперечных полос в наиболее интенсивных участках струи.

10.6. Облачность циклонов и антициклонов

Особенности циркуляции воздуха в циклонических образованиях в поле облачности чаще всего прослеживаются в виде различных вихрей.

10.6.1. Облачность фронтальных циклонов в различных стадиях их развития

Согласно рекомендации ВМО выделено шесть стадий развития внетропического циклона, отличающихся характерной структурой облачного поля:

– стадия волны;
– стадия молодого циклона;
– стадия циклона максимального развития;
– стадия окклюдирующегося циклона;
– стадия окклюдированного циклона;
– стадия циклона в стадии заполнения (след циклона).

По мере развития циклона происходит преобразование облачности, вызванное перестройкой термобарического поля, которое сопровождается изменением вертикальных движений воздуха.

Вследствие возникновения *волны* впереди её в результате восходящего движения тёплого воздуха формируются мощные слоистообразные облака, расширяющие облачную полосу атмосферного фронта, которая выгибается в сторону холодного воздуха. В тылу волны, наоборот, фронтальная облачная полоса становится уже и прогибается в сторону тёплого воздуха.

Центр волнового циклона располагается под тыловой кромкой облачной полосы холодного фронта в месте её наибольшей кри-

визны или несколько сдвинут от этой точки в сторону передней кромки облачной полосы.

В стадии *молодого циклона* образуются две облачные спирали, сходящиеся в вершине волны и соответствующие тёплому и холодному фронтам. Наиболее мощная облачность наблюдается у вершины ещё широкого тёплого сектора. Перед тёплым фронтом могут появиться узкие гряды кучевообразных облаков, параллельные краю фронтальной облачности, которые свидетельствуют о наличии неустойчивого воздуха перед фронтом. Деформация фронтальной полосы увеличивается.

Центр молодого циклона располагается под тыловой кромкой облачной полосы холодного фронта в месте её наибольшей кривизны вблизи головы облачного вихря.

В стадии *максимального развития* циклона облачная система приобретает резко выраженную спиралевидную форму (рис. 10.3). В центральной части циклона происходит смыкание облачных спиралей, связанных с тёплым и холодным фронтами, в единую спираль фронта окклюзии, закручивающуюся к центру высотного циклона. Наблюдается резкое сужение тёплого сектора и уменьшение безоблачного или малооблачного пространства между тёплым и холодным фронтом. Сравнительно малооблачная зона прослеживается в тыловой части циклона, где могут интенсивно развиваться гряды кучевообразных облаков.

Центр циклона максимального развития располагается, так же как и в стадии молодого циклона, под тыловой кромкой облачной полосы холодного фронта в месте её наибольшей кривизны вблизи головы облачного вихря.

В стадии *окклюдирующегося* циклона облачная спираль фронта окклюзии всё больше закручивается. Центр окклюдирующегося циклона совпадает с точкой, где сходятся мысленно продолженные линии фронта окклюзии и вторичных холодных фронтов или, если нет вторичных холодных фронтов, под тыловой кромкой фронта окклюзии вблизи головы облачного вихря.

В стадии *окклюдированного* циклона облачная полоса, связанная с тёплым фронтом, полностью деградирует, от неё остаётся

лишь небольшой выступ. Основная облачная полоса циклона имеет форму единой спирали и соответствует фронту окклюзии, который переходит в холодный фронт. В тылу циклона появляются облачные полосы вторичных холодных фронтов. Центр циклона находится вблизи вершины общей облачной спирали и несколько смещён от центра вихря к тыловой кромке фронта окклюзии.

В циклоне, находящемся в стадии *заполнения*, основное значение приобретает сходимость спиралей кучевообразных облаков. Облачный вихрь заполняющегося циклона имеет вид сходящихся к центру узких гряд кучевообразной облачности или облачной спирали тёмно-серого тона изображения. Центр облачного вихря заполняющегося циклона совпадает с его приземным центром. После заполнения остатки облачной спирали иногда ещё могут сохраняться в течение одного-двух дней.

10.6.2. Облачность местных циклонов

Местные (термические) циклоны возникают летом преимущественно над сушей, зимой – над тёплыми морями. Они не связаны с атмосферными фронтами, имеют небольшие горизонтальные размеры и слабо развиты по вертикали.

Они развиваются внутри одной и той же воздушной массы. В таких циклонах развивается конвективная облачность, иногда располагающаяся в виде небольших вихрей.

10.6.3. Облачность антициклонов

В антициклонах и гребнях, как правило, наблюдаются внутримассовые облака нижнего яруса и вертикального развития или малооблачная погода.

В антициклоне, сформированном в холодной воздушной массе, облачность зависит в основном от свойств подстилающей поверхности: зимой над континентом – ясная погода, над тёплой поверх-

ностью океана или тёплой сушей (летом) развивается облачность в виде открытых конвективных ячеек и гряд. В тёплое время года в холодных антициклонах могут образовываться конвективные мезовихри.

При формировании антициклона в тёплой воздушной массе и незначительном различии в температуре воздуха и подстилающей поверхности погода в основном малооблачная. При значительной разнице температуры воздуха и подстилающей поверхности в антициклонах наблюдаются обширные массивы слоистообразных облаков, туманы или закрытые конвективные ячейки.

10.7. Оценка эволюции и перемещения облачных образований

Анализ космического изображения облачности целесообразно начинать с облачных образований крупного масштаба, а затем переходить к деталям облачного поля.

10.7.1. Признаки формирования, эволюции и перемещения облачной полосы атмосферного фронта

Первоначальным признаком формирования фронтальной облачной системы служит появление над неплотными и не организованными в полосу кучевообразными и слоистообразными облаками тонкой пелены перистых облаков, вытянутых в направлении воздушного потока.

Признаком активизации облачной полосы является формирование вблизи неё облачности струйного течения в виде отдельных тонких полос перистой облачности. Признаком обострения тёплого фронта является образование массива перистообразной облачности в виде «факела» или «купола» и появление антициклонического искривления в сторону холодной воздушной массы.

Признаком обострения холодного фронта является циклонический изгиб его облачной полосы в сторону тёплого воздуха.

Активизация холодного фронта способствует образованию в тылу циклона вторичного облачного вихря из кучево-дождевой облачности.

Холодный фронт размывается, если в основной облачной массе формируются отдельные полосы облаков и просветы.

Холодный фронт становится малоподвижным, если его облачная полоса вытягивается меридионально и приобретает квазипрямолинейность.

10.7.2. Признаки циклогенеза

Циклогенез сопровождается определёнными вертикальными движениями воздуха и в первую очередь проявляется в появлении перистых облаков в виде выбросов по потоку от основного облачного массива.

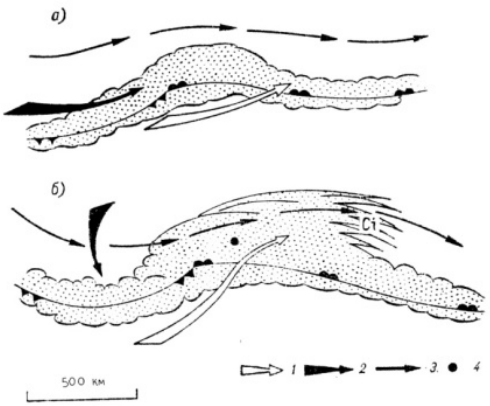


Рис. 10.5. Облачная шапка фронтальной волны слабовыраженной (*а*) и активной (*б*): *1* – траектория движения тёплого воздуха; *2* – траектория движения холодного воздуха; *3* – ось струйного течения; 4 – центр области падения давления

Известны пять основных облачных структур, которые являются предвестниками большинства циклонов умеренных широт и признаками регенерации уже существующих:

– облачная шапка фронтальной волны (рис. 10.5);

– шапка-«щит» перистых облаков с резко очерченным, выпуклым к северу краем (рис. 10.6);

– шапка-«веер» перистых облаков на северном конце гряды облаков холодного фронта (иногда имеет форму «молота» или «булавы») (рис. 10.7);

– массив кучевых и кучево-дождевых облаков (рис. 10.8);

– вторичный облачный вихрь за холодным фронтом в системе глубокого обширного циклона (рис.10.9).

Рис. 10.6. Шапка-«щит» перистой облачности: *а* – в зоне фронта с развитой облачной системой; *б* – в зоне фронта со слаборазвитой облачной системой; *в* и *г* – в точке окклюзии. *1* – траектория движения тёплого воздуха; *2* – траектория движения холодного воздуха; *3* – ось струйного течения; *4* – центр области падения давления

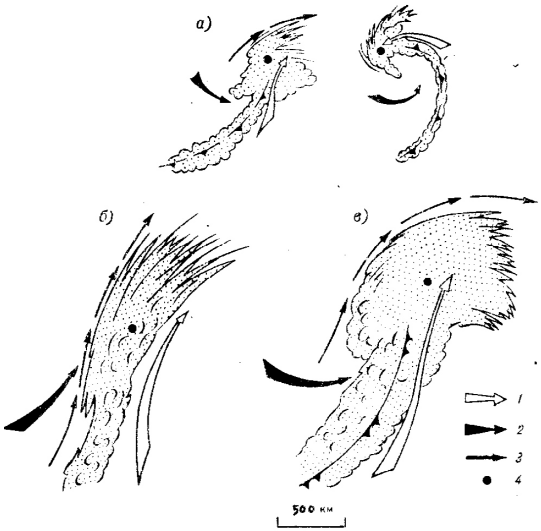


Рис. 10.7. Шапка на северном конце облачной полосы холодного фронта:
а – «молот»; *б* – «веер»; *в* – «булава». *1* – траектория движения тёплого воздуха;
2 – траектория движения холодного воздуха; *3* – ось струйного течения;
4 – центр области падения давления

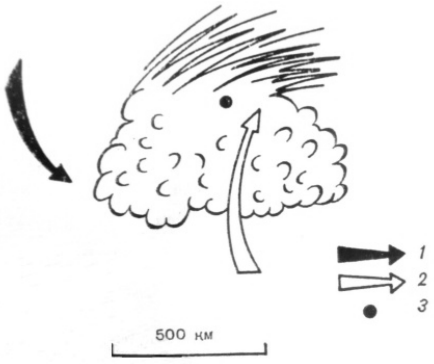


Рис. 10.8. Массив развивающейся конвективной облачности.
1 – траектория движения холодного воздуха; *2* – траектория движения
тёплого воздуха; *3* – центр области падения давления

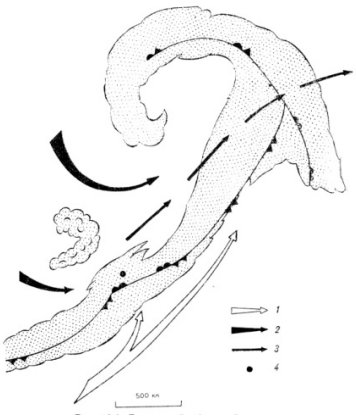


Рис. 10.9. Вторичный облачный вихрь.
1 – траектория движения тёплого воздуха; *2* – траектория движения холодного воздуха; *3* – ось струйного течения; *4* – центр области падения давления

Образование частного циклона у точки окклюзии заполняющегося циклона происходит при наличии следующих обязательных условий:

– голова облачного вихря имеет серый или тёмно-серый тон изображения в отличие от ярко-белых полос облачности холодного фронта и струйного течения;

– четко выражена облачность струйного течения;

– со стороны тёплого фронта вблизи точки окклюзии наблюдаются выбросы перистой облачности;

– на облачной полосе холодного фронта у точки окклюзии отмечается заметный прогиб в сторону тёплого воздуха.

10.7.3. Эволюция и перемещение циклонов

Основными признаками развития циклона, когда на снимках прослеживается облачная полоса его холодного фронта, являются:

– расширение облачной полосы;

– уплотнение облачности фронтальной полосы;

– появление антициклонического изгиба облачной полосы в сторону холодного воздуха;

– возникновение мезомасштабных облачных полос вдоль антициклонически изогнутой границы основного облачного массива.

Оценка направления перемещения циклона может быть выполнена по космическим снимкам полей облачности, имеющих спиралевидную структуру, с помощью следующих правил:

– над равнинной местностью и океанической поверхностью волновое возмущение и молодой циклон перемещаются в направлении выбросов перистых облаков, образующихся над циклоном (рис. 10.10, а);

– циклон с развитой облачной спиралью (напоминающей по форме логарифмическую или гиперболическую спираль) перемещается вдоль вектора, соединяющего центр сравнительно безоблачной зоны с центральной частью массива наиболее яркой облачности в пределах облачной спирали (рис. 10.10, б);

– циклон, облачный вихрь которого имеет форму архимедовой спирали, перемещается по потоку на поверхности 500 гПа, за исключением случаев, когда вихрь совпадает с областью пониженного геопотенциала на этой поверхности и остается малоподвижным.

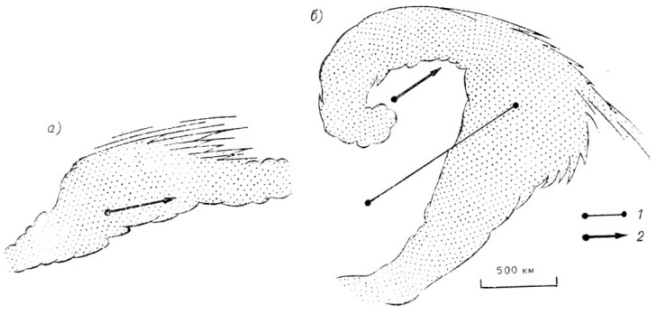


Рис. 10.10. Схема движения циклона:
а – облачная система не имеет форму вихря; *б* – облачная система имеет форму вихря; *1* – линия соединяющая центры наиболее плотной облачности и безоблачной зоны; *2* – направление движения центра циклона

Чем быстрее увеличивается кривизна спирали, тем медленнее будет двигаться циклон.

10.8. Использование данных спутниковых наблюдений для анализа и прогноза условий погоды

Прогноз количества осадков является одной из наиболее сложных задач при прогнозе погоды.

Типы облачности, различаемые на спутниковых снимках, не полностью соответствуют тем формам облаков, которые наблюдают метеорологи с Земли.

Вместе с тем идентичность в определении по спутниковым снимкам и по наблюдениям с Земли тех форм облаков, из которых выпадают осадки, достаточно велика, и это даёт основание использовать снимки облачного покрова для анализа и прогноза зон осадков.

10.8.1. Осадки

При диагнозе и прогнозе осадков прежде всего следует помнить, что они выпадают в тех районах, где, судя по снимкам, располагается облачность кучево-дождевых (Cb) или слоистообразных (Ns–As) форм.

С циклоническими облачными вихрями обычно связаны зоны осадков. Они возникают в начальной стадии развития циклона и сокращаются по площади по мере его заполнения.

Все облачные системы, из которых выпадают дожди интенсивностью более 10 мм за 12 ч, можно разделить на ряд групп.

Облачные вихри по внешнему виду можно разделить на четыре группы:

1) облачные вихри неправильной формы (рис. 10.11, *а*), соответствующие молодым циклонам. В их пределах выпадают преимущественно обложные дожди;

2) вихри в виде изогнутых широких полос, расширяющиеся к одному концу (рис. 10.11, *б*). В них тоже преобладают обложные дожди. Такие облачные вихри чаще всего соответствуют циклонам в стадии максимального развития;

3) вихри, состоящие из хорошо выраженных облачных и безоблачных полос (рис. 10.11, *в*), характерные для циклонов в стадиях окклюдирования. Осадки здесь могут носить как обложной, так и ливневый характер;

4) деградирующие облачные вихри, наблюдающиеся в старых заполняющихся циклонах (рис. 10.11, *г*). Облачный покров неоднороден; осадки, как правило, ливневые.

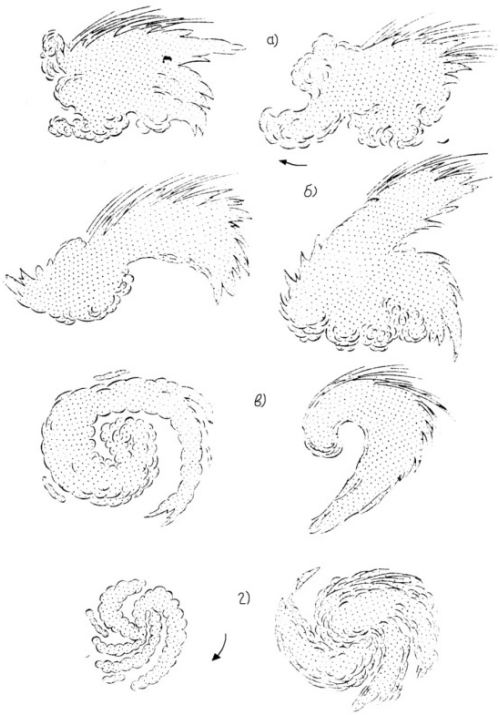


Рис. 10.11. Виды облачных вихрей, с которыми связаны области дождей

Облачные полосы, с которыми связаны дожди, имеют обычно резко очерченные границы, а на краях видны выбросы перистой облачности. Все они являются фронтальными. По своим размерам и характеру осадков их можно разделить на три группы:

1) облачные полосы шириной более 500 км при длине 2–3 тыс. км (рис. 10.12, *а*). Они характерны для холодных фронтов с волнами и холодных фронтов в молодых циклонах. С ними связаны продолжительные обложные дожди;

2) облачные полосы шириной около 500 км и длиной около 2000 км (рис. 10.12, *б*). Они связаны с малоподвижными широтно ориентированными фронтами или с холодными фронтами. Дожди в этих облачных полосах носят ливневый характер;

3) облачные полосы небольших размеров (рис. 10.12, *в*). С ними связаны ливневые дожди на вторичных и размывающихся фронтах и фронтах окклюзии.

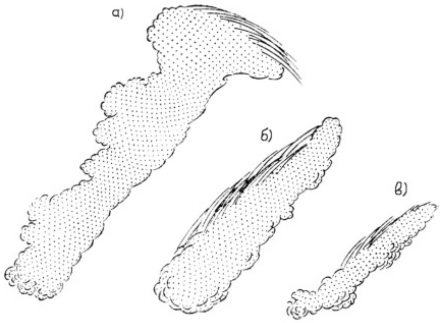


Рис. 10.12. Виды облачных полос, с которыми связаны области дождей

Из облачных массивов нерегулярной формы (рис. 10.13), которые представляют собой хаотическое сочетание облаков различной формы и размеров, также часто выпадают дожди, преимущественно ливневого характера. Только из облачной системы вытянутой структуры (рис. 10.13, в) с длиной 500–1000 км могут выпадать как ливневые, так и обложные дожди.

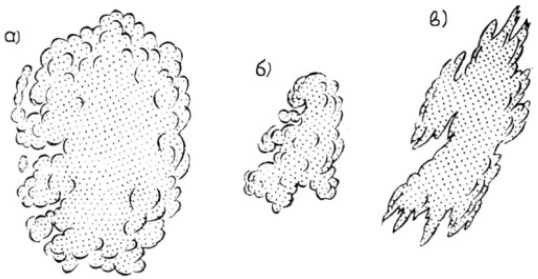


Рис. 10.13. Виды нерегулярных облачных систем, с которыми связаны области дождей

Снегопады с интенсивностью более 3 мм за 12 ч связаны с перемещением облачных вихрей, которые возникли в результате следующих процессов:

1) облачный вихрь возник из волны на фронтальной облачной полосе. Зона снегопада появляется в наиболее широкой части облачной полосы, а затем смещается к вершине волны (рис. 10.14, *а*);

2) облачный вихрь сформировался у точки окклюзии при отсечении струйным течением фронтальной облачной полосы от облачного вихря старого циклона. Область снегопадов возникает под и южнее облачности струйного течения (рис. 10.14, *б*);

3) в изолированных облачных шапках зона снегопадов образуется в её центральной части (рис. 10.14, *в*);

4) облачный вихрь образовался из веерообразной облачной системы. Зона снегопадов возникает в её северной части (рис. 10.14, *г*). Затем, по мере получения волнового изгиба облачной полосы, зона значительных снегопадов смещается в область волны (рис. 10.14, *д*);

5) вторичный облачный вихрь сформировался в тылу развитого циклона. В его пределах зона снегопадов может находиться в любом месте (рис. 10.14, *е*).

Прогноз положения зон осадков по спутниковым данным сводится к прогнозу эволюции облачной системы и экстраполяции внутри этой системы уже появившейся зоны осадков.

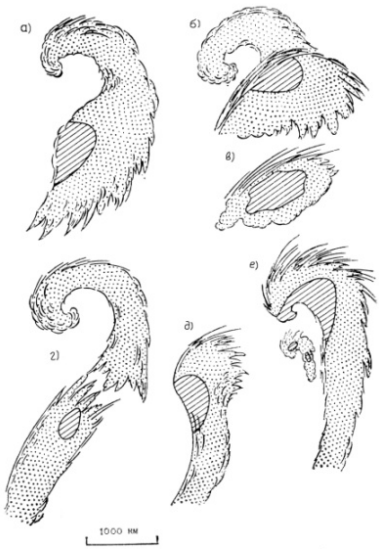


Рис. 10.14. Положение областей снегопадов (заштрихованы) в облачных образованиях начальной стадии циклогенеза

10.8.2. Туман

На космических снимках туман и низкие слоистообразные облака часто наблюдаются совместно и практически трудно отличимы друг от друга. Характерными чертами изображения тумана и низких слоистых облаков в видимом участке спектра излучения являются ровная однообразная верхняя поверхность (от светло-серого до белого тона в зависимости от их плотности, толщины, освещения) и хорошо очерченные края, которые у тумана обозначены особенно чётко.

На инфракрасных спутниковых изображениях низко расположенные слоистые облака и туман обнаружить трудно из-за их малого теплового контраста с фоном (подстилающей поверхностью); яркими на них будут лишь высоко поднявшиеся слоистообразные облака.

Если туман адвективный, то его верхняя поверхность может иметь не типичную однородную (матовую), а полосную (волокнистую) структуру.

При сильных ночных инверсиях на инфракрасных изображениях туман выглядит темнее безоблачной местности – это так называемый чёрный туман.

Плотный туман легко опознаётся даже на фоне снега, поскольку закрывает контуры подстилающей поверхности. Слабый (просвечивающий) туман обнаруживается только при отсутствии снега и облачности.

10.8.3. Ветер

Для оценки направления и скорости ветра в тропосфере используют наблюдаемые на космических изображениях мезомасштабные и макромасштабные облачные структуры.

Облачные конвективные ячейки образуются над сравнительно однородной подстилающей поверхностью при слабых ветрах. Направление ветра в районах, занятых ячейками, определить трудно.

Гряды и цепочки конвективных облаков обычно ориентируются по направлению ветра в слое от земной поверхности до изобарической поверхности 500 гПа.

Волнистые облака орографического происхождения образуются при воздушном потоке, квазиперпендикулярном основному горному препятствию, и скорости ветра на его вершине 10 м/с и более.

Цепочки мезовихрей облачности над океаном, наблюдаемые на снимках ИСЗ, выстраиваются, как правило, с подветренной стороны островов в направлении воздушного потока в нижней тропосфере.

Конвективные облачные мезовихри, характеризуя конвергенцию воздушных потоков, указывают зоны, в которых порывы скорости ветра могут достигать 10 м/с и более.

Шлейфы перистых облаков над ансамблями кучево-дождевой облачности и массивами фронтальной облачности всегда вытянуты в направлении ветра в верхних слоях атмосферы.

Облачные полосы атмосферных фронтов чаще всего располагаются параллельно вектору ветра в слое между изобарическими поверхностями 500 и 300 гПа.

Облачные спирали в циклонах ориентируются под некоторым углом к направлению ветра на верхней границе облаков.

Граница облачности струйного течения со стороны холодного воздуха с большой вероятностью совпадает с его осью.

Для оценки и прогноза скорости ветра в верхней тропосфере возможно использование особенностей структуры массивов кучево-дождевых облаков.

В тех случаях, когда в верхней тропосфере над облачным массивом преобладает воздушный поток одного направления, по ориентации шлейфов перистых облаков с подветренной стороны потока можно оценить и экстраполировать направление ветра.

При сильных ветрах шлейф перистых облаков на наветренной стороне бывает слаборазвитым или вообще отсутствует.

10.9. Карта нефанализа

Схематическое обобщение результатов дешифрирования космических изображений осуществляется с помощью специальных карт.

Карта нефанализа представляет собой расшифрованный спутниковый снимок, все детали изображения которого с помощью специальных условных обозначений с учётом масштаба перенесены на бланк с географической основой. На таких картах отмечают границы и типы облачных образований, количество облаков, размеры отдельного облачного поля и безоблачных промежутков, структурные особенности облачных систем и некоторые характеристики подстилающей поверхности. На рис. 10.15 и 10.16 приведены примеры снимка облачности с ИСЗ и карты нефанализа.

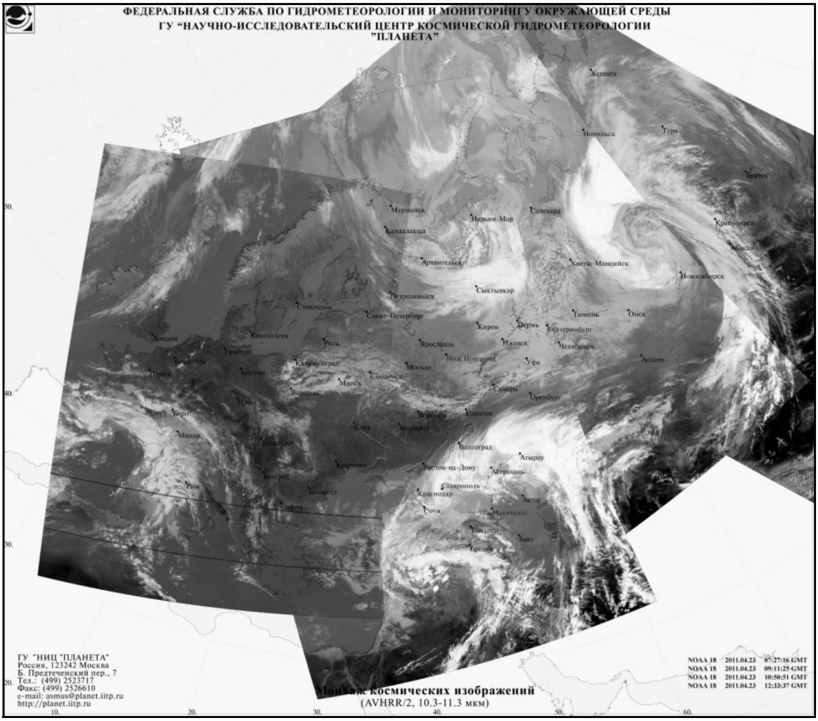


Рис. 10.15. Облачность циклонических образований на снимке ИСЗ (http://planet.iitp.ru)

Карты нефанализа дают возможность качественно восстановить синоптическую ситуацию, выявить местонахождение и состояние основных барических систем и т.д.

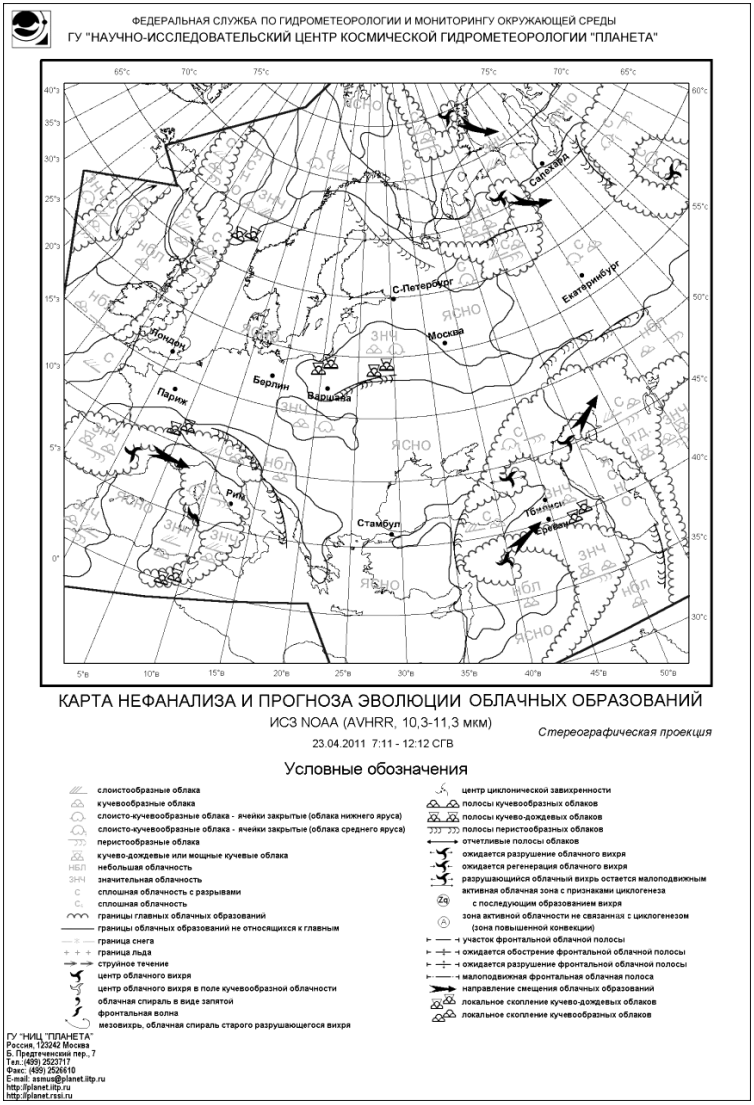


Рис. 10.16. Облачность циклонических образований на карте нефанализа (http://planet.iitp.ru)

11. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Радиолокационные и комплексные карты в сочетании с данными ИСЗ и другими видами информации успешно используются для анализа условий погоды в зонах фронтов, для определения характера воздушной массы (устойчивая, неустойчивая), а также для уточнения положения фронтальных разделов и их эволюции.

В настоящее время используются МРЛ импульсного типа (МРЛ-5) и более эффективные допплеровские МРЛ. Радиолокационный метод наблюдений позволяет получить следующие виды информации:

– размеры и местоположение облаков и связанные с ними явления погоды (ливни, грозы, град);

– площади, занятые радиоэхом осадков;

– мгновенную максимальную интенсивность выпадающих осадков в радиусе до 90 км от метеорологического радиолокатора (МРЛ);

– эволюцию кучево-дождевых облаков;

– тенденцию изменения радиолокационных характеристик отдельных облаков и облачных систем в срок наблюдений;

– скорость и направление перемещения зон радиоэха кучево-дождевых облаков и осадков обложного характера;

– верхнюю границу радиоэха всех обнаруживаемых облаков;

– нижнюю границу радиоэха облаков верхнего и среднего ярусов, а также межоблачные прослойки;

– высоту нулевой изотермы при наличии слоисто-дождевых облаков.

В настоящее время радиолокационные данные представляются в трех видах:

– радиолокационные карты по данным одного МРЛ;

– радиолокационные карты по данным сети МРЛ, или стыкованные карты МРЛ;

– комплексные карты.

Первые два вида карт содержат только радиолокационную информацию, последний вид дополняется данными метеорологических станций.

В сочетании с традиционными видами метеорологической информации, основным преимуществом которых является их количественная оценка, радиолокационные наблюдения позволяют более надёжно производить анализ атмосферных процессов и явлений.

Подробная информация о структуре облачности, распознавании зон осадков, опасных явлений по радиолокационным наблюдениям и о использовании их в диагнозе и прогнозе погоды изложена в учебных пособиях (В.С. Чередниченко, 1998; В.П. Горбатенко, В.И. Слуцкий, Л.Н. Бычкова, 2007).

11.1. Радиолокационная структура облаков

Данные МРЛ позволяют выделить пять видов облачности:

1) *C* – облака верхнего яруса (все формы облаков верхнего яруса);

2) *A* – облака среднего яруса (все формы облаков среднего яруса);

3) *S* – слоистые облака нижнего яруса (St, Sc);

4) *N* – слоисто-дождевые облака (Ns);

5) *Q* – облака вертикального развития (Cu cong, Cb).

С помощью МРЛ можно определить также сочетания разных видов облаков.

Слоисто-дождевые облака (N). Радиоэхо этих облаков занимает большие площади и имеет довольно близкие величины отражаемости в горизонтальной плоскости. Вертикальная протяженность зоны радиоэха таких облаков может простираться до высоты 7–10 км.

Радиолокационная отражаемость у них значительна в течение всего года. В тёплое время года на вертикальном разрезе вблизи уровня нулевой изотермы часто наблюдается яркая полоса. Слоисто-дождевая облачность уверенно обнаруживается до расстояния 200 км и более в зависимости от сезона года и региона.

Слоистые облака (S, A, C). Облака нижнего яруса (St, Sc) обычно занимают довольно большие площади протяжённостью до 100 км, иногда и более. В то же время радиоэхо слоистых облаков нижнего яруса часто имеет протяжённость всего несколько десятков километров, особенно облачность типа Sc.

По вертикали эти облака простираются до высоты около 2 км. Иногда радиоэхо слоистых облаков нижнего яруса сливается с радиоэхом облаков среднего яруса.

Величина отражаемости от слоистых облаков нижнего яруса невелика и однородна по горизонтали и вертикали. Они обнаруживаются радиолокатором только на расстоянии до 100 км. Небольшой радиус обнаружения обусловлен небольшими высотами, на которых наблюдаются эти облака.

Радиоэхо *облаков среднего яруса* (As, Ac) имеет горизонтальные размеры несколько меньше, чем слоисто-дождевых, но заметно больше, чем радиоэхо слоистых облаков нижнего яруса. По вертикали радиоэхо этих облаков наблюдается в слое 3–5 км. Величина отражаемости по горизонтали меняется мало. По вертикали она тоже почти постоянна, заметно превышая отражаемость облаков нижнего яруса.

Радиоэхо *облаков верхнего яруса* (Cs, Cc) располагается на высотах 6–9 км. Величина отражаемости от таких облаков слабая (наименьшая среди отражаемости всех типов облачности). Пространственная и вертикальная протяжённость радиоэха этих облаков невелика.

Из-за малой отражаемости радиус уверенного их обнаружения не превышает 80 км летом и 40 км зимой. Вместе с тем в сочетании с другими типами облачности (кучево-дождевыми и облаками среднего яруса) облака верхнего яруса могут обнаруживаться на расстоянии 200 км.

Облака вертикального развития. Некоторые облака этой группы могут обнаруживаться на расстоянии до 300 км.

Они имеют обычно небольшие горизонтальные размеры (не более 10×10 км). Однако, объединяясь в полосы или группы (системы), они могут занимать большие площади. Время жизни отдельного облака не превышает двух часов, а система облаков может жить долго (18–36 ч).

Облака вертикального развития простираются по вертикали от уровня конденсации до высоты 10 км и более. В среднем величины отражаемости lg Z кучево-дождевых облаков наибольшие (особенно в центральной части облака) по сравнению с другими видами облаков.

Распределение по вертикали lg Z в кучево-дождевых облаках зависит от стадии их развития.

Радиометеорологические наблюдения проводят в ближней зоне на расстоянии до 30–40 км от пункта наблюдения или в дальней зоне на расстоянии от 30–40 до 300 км.

В этих зонах по особенностям структуры вертикального и горизонтального радиоэха качественно определяют форму облаков и измеряют некоторые количественные характеристики:

– максимальную высоту $H_{макс}$ радиоэха;

– радиолокационную отражаемость на высоте 1 км от поверхности земли (lg Z_1), на уровне нулевой изотермы (lg Z_2) и на высоте 2,0–2,5 км выше уровня нулевой изотермы (lg Z_3).

На основании этих характеристик в дальней зоне определяют три основных типа радиоэха: слоистообразной облачности (РСО), кучевообразной облачности (РКО) и смешанной кучевообразной и слоистообразной облачности (РКСО).

В ближней зоне определяют пять типов радиоэха: РСО каждого яруса в отдельности, РСО большой вертикальной протяжённости и РКО.

11.2. Анализ зон осадков и опасных явлений

По данным МРЛ можно выделить только те опасные явления, которые связаны с конвективной облачностью:

– негрозоопасные конвективные облака и ливни;

– грозоопасные облака и ливневый дождь с грозой;

– градоопасные кучево-дождевые облака и грозовые облака с градом.

11.2.1. Негрозоопасные облака и ливни

Негрозоопасными облаками являются мощные кучевые и кучево-дождевые облака, которые в процессе развития не достигают стадии грозового облака, но могут сопровождаться интенсивными восходящими движениями и ливневыми дождями различной интенсивности и продолжительности.

В тёплый период года зоны осадков выделяются лишь на расстоянии до 90 км, причём критерием служит значение отражаемости $\lg Z_1 > 0$. В холодный период зонами осадков считаются все очаги радиоэха, зафиксированные при углах возвышения антенны радиолокатора от 0,2 до 1° в радиусе до 90 км, в которых отражаемость $\lg Z_1 \geq 0{,}3$. Интенсивность жидких и твёрдых осадков определяется по реальным значениям отражаемости $\lg Z_1$, а количество осадков, выпавших за какой-либо период времени, – по типу радиоэха облачности, его преобладающей и максимальной высоте.

11.2.2. Грозоопасные облака и ливневый дождь с грозой

К грозоопасным облакам относятся кучево-дождевые облака на предгрозовой, грозовой и послегрозовой стадиях. В большинстве случаев (90%) высота радиоэха кучево-дождевых облаков при ливневых осадках достигает уровня изотермы –14°С, а при грозах – превышает этот уровень.

Пример отображения грозоопасных облаков приведён на карте радиолокационной информации (рис. 11.1).

Критерием разделения грозовых и ливневых очагов может служить отношение высоты радиоэха к высоте нулевой изотермы: летом для гроз оно равно 0,9, а для ливней – 0,2. Для разделения можно использовать также значения радиолокационных отражаемостей lg Z_2 и lg Z_3, определённые полуэмпирическим путём в различных районах европейской части России.

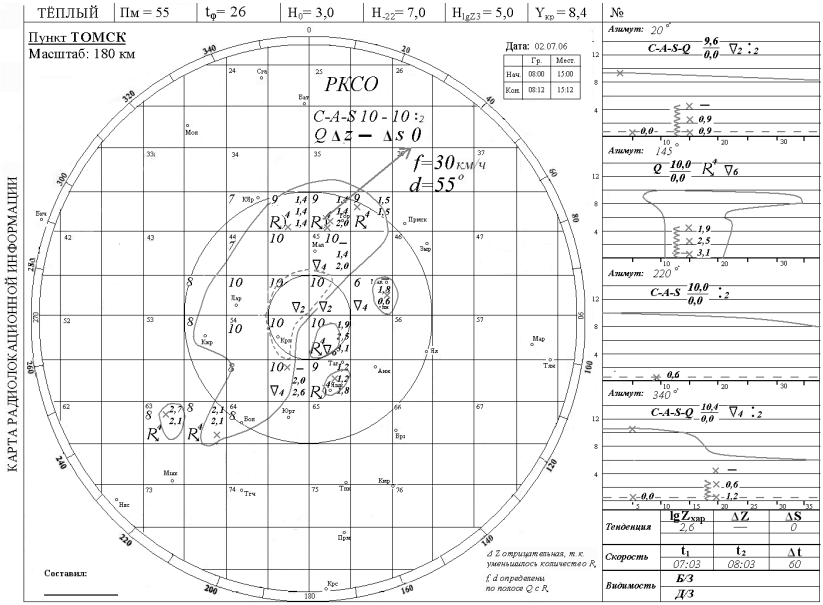


Рис. 11.1. Карта радиолокационной информации МРЛ-5
(предоставлена В.П. Горбатенко)

Для определения степени грозоопасности используют комплексный критерий

$$y = H_{\text{макс}} \cdot \lg Z_3, \qquad (11.1)$$

где y – критерий грозоопасности; $H_{макс}$ – максимальная высота радиоэха в ячейке 30×30 км^2; lg Z_3 – радиолокационная отражаемость на третьем уровне.

Согласно этому соотношению различные грозовые явления определяются с различной вероятностью. На расстоянии более 150 км не всегда можно определить значение lg Z_3. В таких случаях наличие грозовых очагов можно обнаружить по типу радиоэха облачного поля и по величине

$$\Delta H = H_{макс} - H_{-22°C}, \qquad (11.2)$$

где $H_{-22°C}$ – высота изотермы –22°С.

При $\Delta H > 5$ км практически во всех РКО и РКСО наблюдаются грозы; при $\Delta H = 3$–5 км ливни с грозой и без грозы равновероятны, а при $\Delta H = 1$–3 км грозовые очаги отсутствуют.

Интенсивность выпадающих осадков оценивается по величине lg Z_1.

11.2.3. Градоопасные облака и грозовые облака с градом

Облака, в которых образуется град диаметром 0,5 см и более, принято называть градовыми. Если высота нулевой изотермы равна 3–4 км, то диаметр образующегося града обычно меньше 1,6–1,8 см, и такой град тает при падении, не достигая земной поверхности. Облака, в которых образуется такой град, называют градоносными. Если же изотерма 0°С располагается на высоте 1,5–2 км, то такие облака становятся градоопасными, так как выпадающий из них град, как правило, достигает поверхности Земли. Радиоэхо градовых и дождевых облаков резко различается вертикальными профилями радиолокационной отражаемости lg Z_2 и lg Z_3. Однозначным критерием распознавания грозовых облаков с градом является достижение или превышение этими отражаемостями значения 4,5 (вероятность не менее 90%).

11.3. Структура облачных систем атмосферных фронтов

Для получения наиболее полного и детального представления о погодных условиях в конкретном районе информацию ИСЗ целесообразно дополнить данными наблюдения метеорологического радиолокатора – структурными характеристиками радиоэха облачности и зоны осадков (РОЗО) атмосферного фронта. При этом следует учитывать, что наблюдения МРЛ обладают некоторыми особенностями:

– картина радиоэха меняется в зависимости от расстояния до пункта наблюдения, т.е. по мере приближения радиоэхо увеличивается по площади, и отдельные очаги (ливней, гроз и др.) могут слиться в одну зону;

– зона облачности, осадков и атмосферных явлений обычно вытянута вдоль фронта, а ширина радиоэха уменьшается по мере удаления от центра циклона;

– в холодное время года фронтальные разделы плохо отображаются в поле радиоэха.

Стыкованные и комплексные радиолокационные карты позволяют уточнить положение атмосферных фронтов и их эволюцию. Для уточнения положения фронтов используются характерные особенности радиоэха в их зонах. В основном радиоэхо в зонах фронтов представляется в виде полос различной ширины. На рис. 11.2 приведён пример расположения зон осадков, связанных с атмосферными фронтами, на стыкованной карте МРЛ.

11.3.1. Облачность холодного фронта

По данным наблюдений МРЛ, холодные фронты (основные и вторичные) прослеживаются в виде изолированных очагов или полос РКО, ориентированных вдоль фронта. Чем лучше фронт выражен в полях температуры, влажности и ветра, тем отчётливее, длиннее и плотнее очаги радиоэха. В зоне фронта можно

проследить до четырёх гряд РКО, ширина которых колеблется от 20 до 80 км.

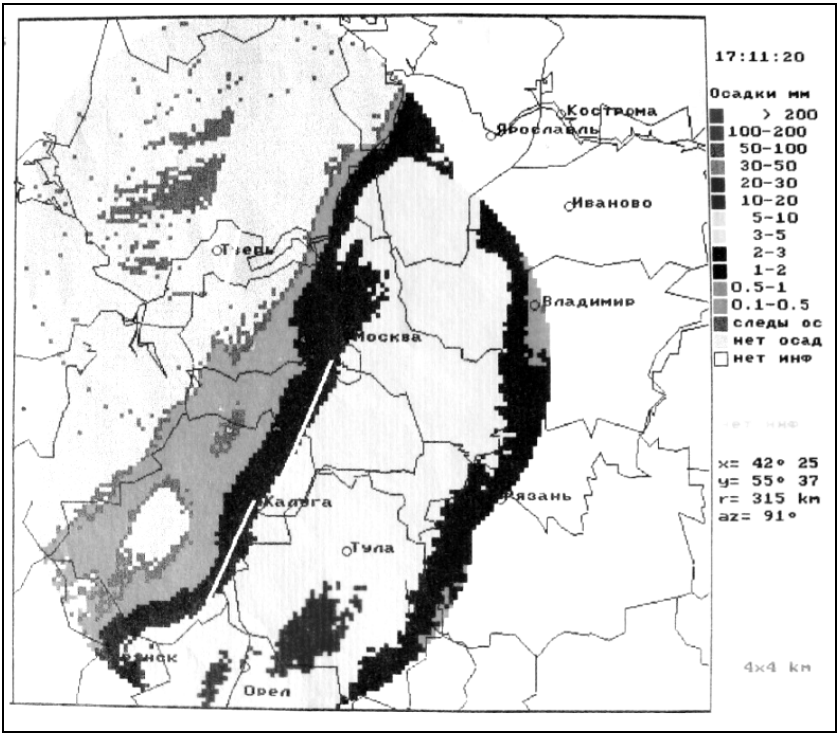


Рис. 11.2. Зоны осадков на карте допплеровского МРЛ

Наиболее широкая гряда обычно соответствует приземной линии фронта.

Общая ширина радиоэха изменяется от 150–200 км за фронтом до 100 км перед ним в центральной части развитых циклонов, и соответственно от 40–60 км за фронтом до 20–30 км перед ним – на периферии циклона. В волновых возмущениях ширина РОЗО у вершины волны на 30–50% превышает ширину РОЗО на других участках фронта.

Верхняя граница кучево-дождевой и слоисто-дождевой облачности, из которой выпадают осадки, почти одинакова и составляет 5–7 км. Верхняя граница кучево-дождевых облаков с грозами достигает 9–13 км. Летом ночью на холодных фронтах в 50% случаев и более осадки прекращаются и облачность размывается. Днём конвективная облачность вновь развивается и нередко сопровождается ливнями и грозами.

11.3.2. Облачность тёплого фронта

Данные радиолокационных метеорологических наблюдений показывают, что основная площадь РОЗО располагается перед линией тёплого фронта, которая не совпадает с границей радиоэха, если в тёплом секторе циклона выпадают моросящие осадки или наблюдаются редкие РКО. Полосы радиоэха конвективных облаков могут обнаруживаться и перед фронтом, параллельно ему. Ширина радиоэха предфронтальной облачности в среднем составляет 170 км (вблизи центра циклона она увеличивается до 250–300 км, а на его периферии уменьшается до 40–60 км). Ширина зафронтальной зоны радиоэха изменяется от 100 км вблизи центра циклона до 50 км на его периферии. Летом хорошо прослеживается суточный ход радиоэха (ночью и утром в 70% случаев отмечается максимальное развитие радиоэха, иногда с ливнями и грозами; в середине дня радиоэхо часто отсутствует).

Вблизи центра циклона суточный ход может быть замаскирован из-за большого скопления разнообразной облачности. Верхняя граница радиоэха слоисто-дождевых облаков составляет 3–7 км, кучево-дождевой облачности с грозой – 9–10 км.

11.3.3. Облачность фронта окклюзии

На экране метеорологического радиолокатора фронт окклюзии может быть выражен грядами радиоэха, расположенными и перед

фронтом, и за ним (если на изобарической поверхности 850 гПа ещё прослеживается участок тёплого фронта, линия которого на карте барической топографии совпадает с предфронтальной грядой радиоэха), или обширными областями радиоэха (особенно когда пункт наблюдения находится вблизи центра циклона). Ширина радиоэха вдоль фронта изменяется мало. В среднем она составляет 160 км и колеблется в пределах 40–260 км. За фронтом окклюзии ширина РОЗО изменяется от 40 до 90 км. Верхняя граница слоисто-дождевых облаков в зоне фронта составляет 3–7 км, а кучево-дождевых облаков с ливневыми осадками 6–9 км. При грозах эта граница может достигать 11 км.

11.3.4. Эволюция атмосферных фронтов

Эволюция атмосферных фронтов определяется по структуре радиоэха и его характеристикам (интенсивность, высота верхней границы, тенденция к изменению):

– если фронт не выражен в поле облачности и осадков, то он будет обостряться, когда вдоль линии фронта появляются очаги радиоэха;

– если фронт выражен в поле облачности и осадков, но по синоптическим данным ожидается его размывание, а МРЛ наблюдает увеличение высоты, интенсивности и площади радиоэха, то в ближайшие 6–12 ч фронт размываться не будет;

– если визуально фронт ещё хорошо выражен в облачности и осадках, но по данным МРЛ его радиоэхо начало уменьшаться, то следует отдать предпочтение наблюдениям метеорологического радиолокатора;

– холодный фронт замедляется, если его радиоэхо расширяется и распространяется в сторону холодного воздуха; рост давления сменяется падением и может возникнуть волна.

12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Основой современной технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды является оперативный численный прогноз погоды на базе гидродинамических моделей атмосферы и автоматизированных технологий сбора и обработки гидрометеорологической информации.

Основные ограничения автоматизированных технологий численных прогнозов погоды обусловлены несовершенством используемых гидродинамических моделей атмосферы, а также неполнотой и неточностью информации об исходном состоянии атмосферы и подстилающей поверхности. Гидродинамические модели атмосферы прогнозируют не локальные, а осреднённые по ячейкам расчётной координатной сетки значения метеорологических величин. В моделях атмосферы представлены лишь основные погодообразующие механизмы. Физические процессы при этом воспроизводятся приближённо.

Результаты численных прогнозов погоды на основе гидродинамических моделей атмосферы используют в качестве объективной основы краткосрочного прогноза погоды. Рекомендуется использовать прогностическую информацию нескольких гидродинамических моделей атмосферы.

По охватываемому масштабу территории гидродинамические модели делят на глобальные, региональные, мезомасштабные, локальные модели.

Основой разработки краткосрочных прогнозов погоды для всей России могут служить глобальные модели атмосферы. Локальный гидродинамический прогноз погоды требует применения мезомасштабных и локальных моделей атмосферы.

Для реализации современных гидродинамических моделей атмосферы в краткосрочном прогнозе погоды используются самые мощные высокопроизводительные суперкомпьютеры, имеющиеся в Гидрометцентре России и в других учреждениях Росгидромета.

Подробно описание современных гидродинамических моделей прогноза погоды приведено в учебном пособии (Барашкова, Кижнер, Кужевская, 2010) и в статьях. Ниже приводится лишь краткая информация о некоторых моделях, используемых в Гидрометцентре России.

12.1. Глобальные и региональные гидродинамические модели прогнозов погоды

Глобальные гидродинамические модели прогнозов погоды разрабатываются для всего земного шара. Региональные модели охватывают большие по территории страны, отдельные крупные регионы.

12.1.1. Глобальная спектральная модель Гидрометцентра России T169L31

Гидрометцентром России разработана оперативная технология выпуска гидродинамических прогнозов метеорологических полей с шагом по времени 6 ч и прогнозируемым временем 12–240 ч на основе глобальной модели атмосферы высокого пространственного разрешения T169L31.

Основным назначением глобальной модели атмосферы является выпуск гидродинамических прогнозов для всего земного шара.

Модель включает в себя уравнения динамики, притока тепла и переноса влажности.

В данной глобальной модели используется горизонтальное разрешение с шагом широтно-долготной сетки 0,7°. От поверхности

земли до верхней границы глобальной модели (10 гПа) по вертикали атмосфера разделена на 31 слой.

На основе глобальной спектральной модели ведётся разработка гидродинамического прогноза элементов погоды: осадков, приземной температуры и на разных изобарических поверхностях, облачности, давления на уровне моря, геопотенциала на главных изобарических поверхностях, характеристик ветра, фронтальных зон.

В модели учитывается влияние рельефа, шероховатости и вида подстилающей поверхности, влажности почвы, температуры океанов и суши.

На рис. 12.1, 12.2 приведены прогностические карты распределения атмосферного давления на уровне моря и температуры воздуха по глобальной спектральной модели атмосферы на 24 ч от исходного срока 00 ч *UTC*.

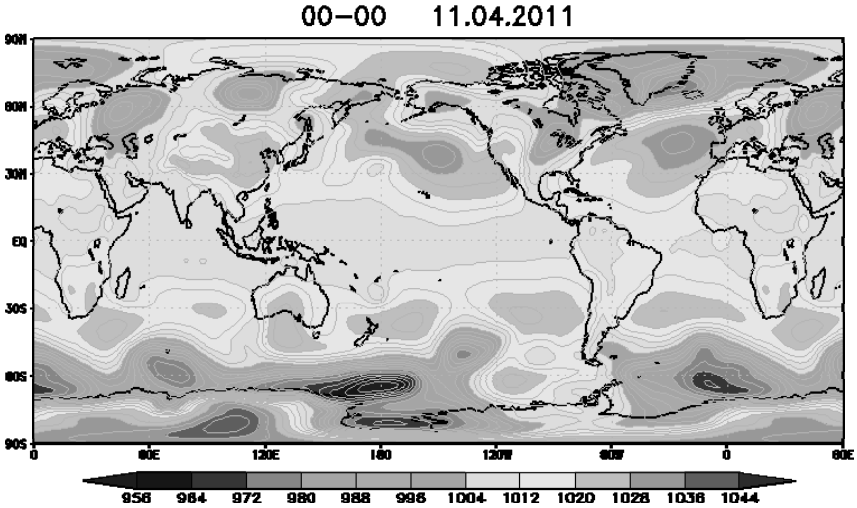


Рис. 12.1. Прогностическая карта распределения атмосферного давления на уровне моря по глобальной спектральной модели атмосферы (http://meteoinfo.ru)

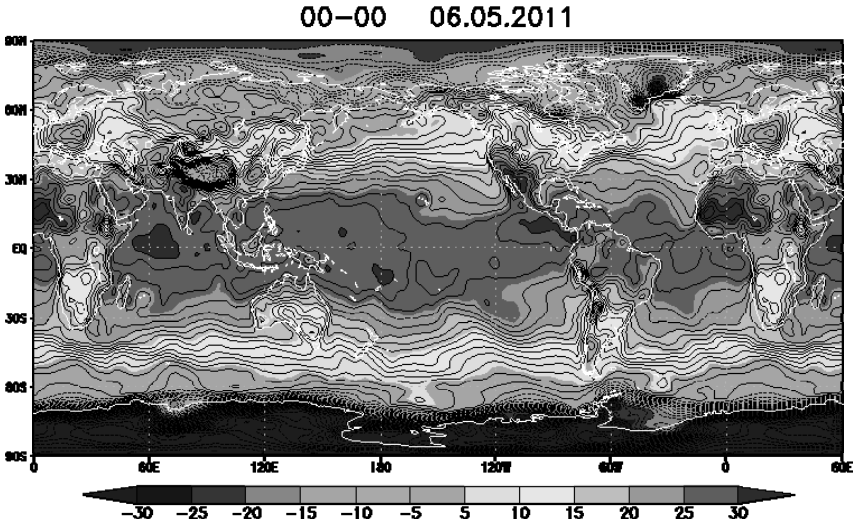


Рис. 12.2. Прогностическая карта распределения температуры воздуха по глобальной спектральной модели атмосферы (http://meteoinfo.ru)

12.1.2. Глобальная гидродинамическая полулагранжева модель ПЛАВ 2008

Глобальная гидродинамическая модель прогноза погоды ПЛАВ 2008 (автор М.А. Толстых) – модель прогноза элементов метеорологических полей с заблаговременностью до 10 суток. В Гидрометцентре России совместно с Институтом вычислительной математики РАН разработана глобальная полулагранжева конечно-разностная модель прогноза полей метеорологических величин.

Модель имеет шаг по широте 0,72°, по долготе 0,9° и 28 неравномерно расположенных по вертикали уровней.

Прогноз полей метеорологических элементов и численное решение уравнений гидротермодинамики осуществляются в сигма-системе координат на сфере. Модель включает подсеточные мас-

штабы (потоки радиации, конвекцию, теплообмен и влагообмен с подстилающей поверхностью).

Выходная продукция, получаемая синоптиками, приходит в коде GRIB через сервер Гидрометцентра России. Примеры прогностических карт метеорологических полей по результатам модели ПЛАВ приведены на рис. 12.3 и 12.4.

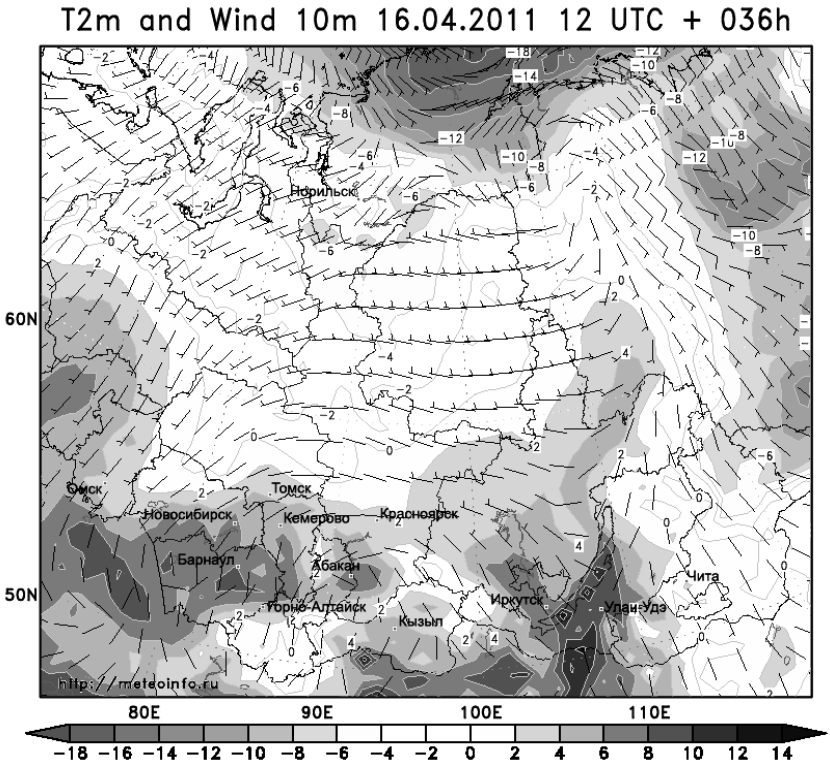


Рис. 12.3. Прогностическая карта приземной температуры (°С) и среднего приземного ветра (м/с) на 36 ч от 12 ч *UTC* 16.04.2011 по результатам модели ПЛАВ (http://meteoinfo.ru)

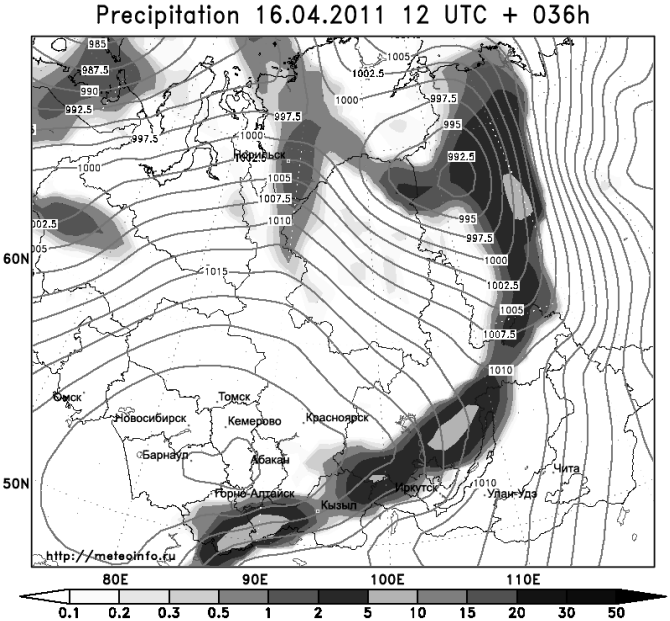


Рис. 12.4. Прогностическая карта осадков (мм/6 ч) и давления на уровне моря (гПа) на 36 ч от 12 ч *UTC* 16.04.2011 по результатам модели ПЛАВ (http://meteoinfo.ru)

Выходной продукцией модели являются поля следующих метеорологических параметров:

– давление на уровне моря и на уровне орографии;

– геопотенциал стандартных изобарических поверхностей (от 1000 до 10 гПа);

– относительная топография 500/1000;

– температура на изобарической поверхности 850 гПа и приземная;

– направление, зональные и меридиональные составляющие скорости ветра;

– влажность на стандартных изобарических поверхностях;

– суммарные и конвективные осадки.

12.1.3. Региональная гидродинамическая модель краткосрочного прогноза метеорологических полей и осадков

В Гидрометцентре России разработана региональная модель прогноза полей метеорологических величин с шагом сетки не более 50 км, в сигма-системе координат (автор В.М. Лосев). Модель уникальна тем, что шаг сетки по горизонтали и количество уровней по вертикали могут быть заданы исходя из задачи исследования. Модель можно настроить на регионы меньшей площади с повышенным пространственным разрешением (до 25 км). Региональная модель имеет 30 расчётных уровней по вертикали.

Региональная модель прогноза включает расчёт радиационных потоков видимого, инфракрасного и теплового (длинноволнового) излучения. Эта модель учитывает турбулентные пульсации и содержит блоки решения уравнения теплового баланса и задачи приземного подслоя.

С помощью модели разрабатывается прогноз полей интенсивности осадков и атмосферного давления на уровне моря. Прогноз осадков осуществляется в синоптическом масштабе и в зонах фронтальных разделов на срок до 48 ч.

В данной модели учитывается рельеф местности.

Начальные поля геопотенциала изобарических поверхностей, зональной и меридиональной составляющих скорости и направления ветра, относительной влажности воздуха задаются на стандартных изобарических поверхностях от 10 до 1000 гПа.

В данной региональной модели в прогнозе отсутствуют высокочастотные колебания, связанные с несогласованностью данных ветра и изобарических поверхностей.

Начальными данными для прогноза являются результаты оперативной схемы объективного анализа полей метеорологических величин на полусфере, которые берутся из базы данных «Прогноз». Шаг сетки по широте и долготе 2,5°, проводится интерполяция на стереографической проекции.

Проведена адаптация региональной модели к территории Дальнего Востока, Республики Беларусь. Проводятся испытания региональной модели для Западно-Сибирского региона (осадки, приземная температура) и для Северного Кавказа.

12.1.4. Ансамблевые прогнозы погоды

Наиболее перспективными и современными методами численного прогноза погоды являются ансамблевые методы. Они позволяют не только более точно прогнозировать состояние атмосферы, но и оценить неопределённость (достоверность) прогноза.

В ансамблевом прогнозе, в отличие от детерминированного прогноза, выполняется многократное интегрирование одной или нескольких моделей атмосферы с использованием нескольких наборов «возмущённых» в пределах ошибки наблюдений данных о начальном состоянии атмосферы.

Впервые ансамблевые системы прогноза погоды были внедрены в оперативную практику Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) и метеорологической службой США в 1992 г., и с тех пор ансамблевые методы постоянно развиваются.

В Гидрометцентре России ансамблевые прогнозы составляют на основе нескольких зарубежных и отечественных моделей атмосферы различного масштаба.

Для прогноза метеорологических элементов используют чаще всего ансамбль двух или трёх моделей: для температуры – UKMO (Великобритания), NCEP (США) и REGION (Россия) или UKMO и NCEP; для осадков – UKMO, NCEP и ПЛАВ (Россия) или UKMO и NCEP.

Пример ансамблевого прогноза в виде метеограммы (среднее по ансамблю) для Томска приведён на рис. 12.5.

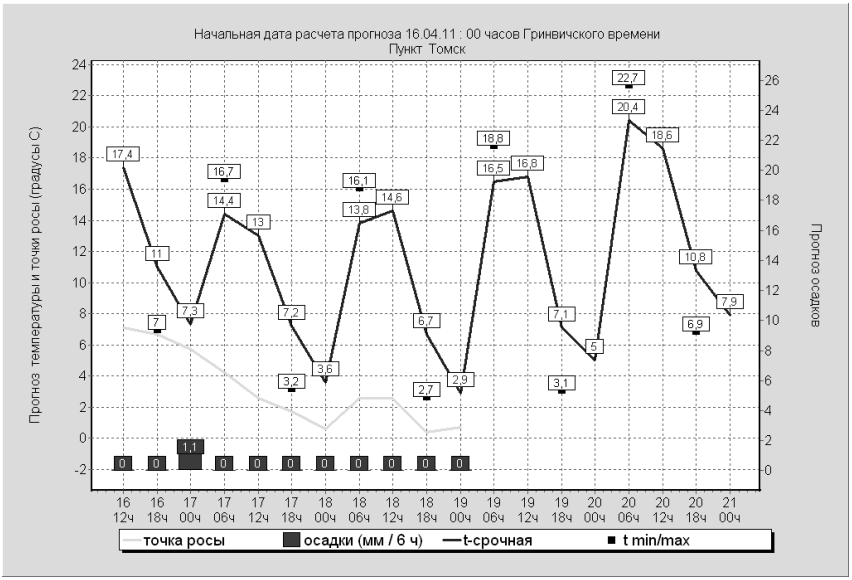


Рис. 12.5. Ансамблевый прогноз температуры воздуха, температуры точки росы и осадков для Томска

Как правило, ансамблевые прогнозы дают несколько лучшие результаты, чем лучшая из включённых моделей.

12.2. Мезомасштабные модели прогноза погоды

К мезомасштабным процессам относятся процессы с горизонтальным масштабом порядка десятков и сотен километров.

12.2.1. Мезомасштабная модель WRF

Модель для исследования и прогноза погоды WRF (Weather Research and Forecast) разработана в Национальном центре атмо-

сферных исследований США. Модель WRF может использоваться при решении широкого круга задач атмосферных исследований, в том числе при прогнозе синоптических ситуаций для выбранного региона. Она позволяет проводить исследования развития мезомасштабных конвективных систем, прохождения фронтов, динамики береговых бризов, горно-долинной циркуляции, влияния городского «острова тепла», качества атмосферного воздуха и его оптических свойств.

Негидростатическая модель позволяет варьировать горизонтальное разрешение от сотен метров до десятков и сотен километров. Модель включает возможность организации проведения расчётов во вложенных областях.

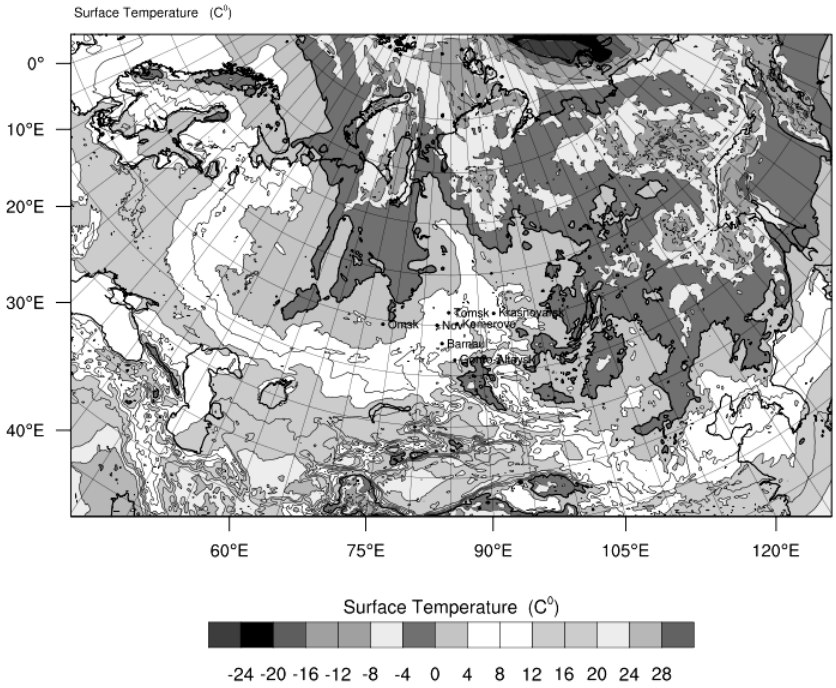


Рис. 12.6. Прогностическая карта температуры воздуха, °С

Модель рассчитывает метеорологические поля: горизонтальные и вертикальную компоненты вектора скорости ветра, давление, температуру, влажность воздуха, характеристики облачности и осадков, потоки тепла, влаги, количества движения, потоки коротковолновой и длинноволновой радиации и т.д.

На рис. 12.6, 12.7 приведены примеры прогностических карт полей метеорологических величин, рассчитанных по модели WRF в Сибирском НИГМИ (http://sibnigmi.ru).

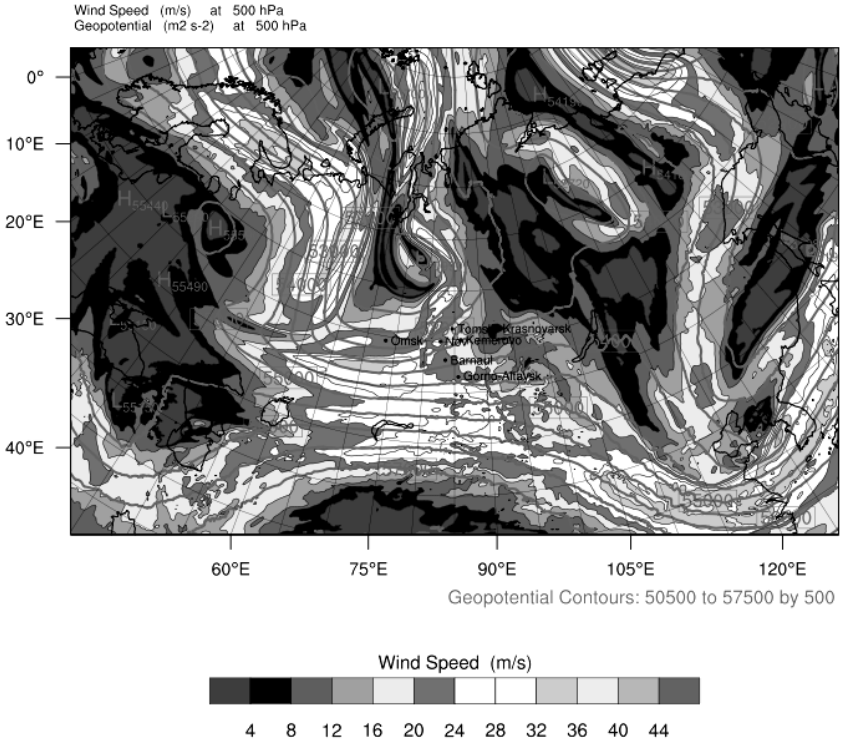


Рис. 12.7. Прогностическая карта скорости ветра (м/с) и геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа (гп дам)

12.2.2. Мезомасштабная модель COSMO-RU

В 2007 г. Россия (Росгидромет) вошла в состав консорциума COSMO и принимает активное участие в работе по совершенствованию модели COSMO. Консорциум COSMO основали метеорологические службы Германии, Греции, Италии и Швейцарии. В дальнейшем метеорологические службы Польши (2002 г.), Румынии (2007 г.) и России (2009 г.) стали полноправными членами этого консорциума. Используемая в Гидрометцентре России модель называется COSMO-RU.

Мезомасштабная модель COSMO-RU является негидростатической. Модель с шагом сетки 7 км имеет заблаговременность прогнозирования до 78 ч и определяет характеристики на 40 уровнях.

Начальными данными модели COSMO являются: постоянные внешние параметры: высота поверхности земли, тип почвы и параметр шероховатости. Кроме этого учитываются следующие характеристики подстилающей поверхности и атмосферы:

– характеристики растительности (покрытие растительностью, индекс площади листьев, площадь покрытия ячейки вечнозелёным и лиственным лесом);

– характеристики почвы и поверхности (температура поверхности снега, водность снега, температура подстилающей поверхности и на глубинах, а также её влагосодержание, индекс свежести снега и мощность снежного покрова);

– характеристики атмосферы (зональные и меридиональные составляющие скорости ветра, вертикальная компонента скорости ветра, температура воздуха, отклонение давления от среднего, удельное влагосодержание).

Прогностическими переменными являются: атмосферное давление, температура воздуха, составляющие ветра по горизонтали и вертикали, пять компонентов атмосферной влаги.

Данные для начальных граничных условий получают с помощью глобальной модели атмосферы GME (разработка метеослужбы Германии) для исходных сроков 00 и 12 ч *UTC*. Начальные по-

ля и данные прогноза погоды на срок до 78 ч поступают с дискретностью 3 ч.

Далее данные подвергаются горизонтальной и вертикальной интерполяции на расчётной сетке, интегрирование модели производится до 78 ч. После интегрирования формируется выходной файл прогностических метеорологических полей в σ-, *z*- и *p*-системах вертикальных координат с дискретностью 3 ч (в коде GRIB), а также метеограмм для заданных точек с дискретностью 1 ч (текстовые файлы).

На рис. 12.8 и 12.9 приведены примеры прогностических карт метеорологических полей, рассчитанных по модели COSMO-RU в Гидрометцентре России.

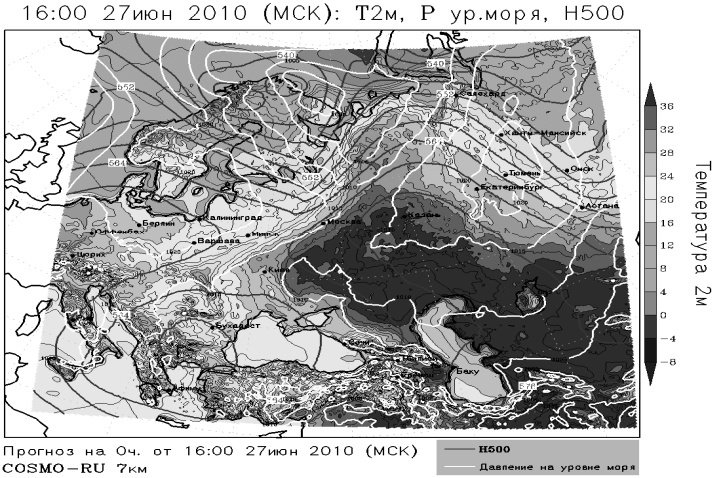


Рис. 12.8. Прогноз температуры воздуха, давления на уровне моря и высоты изобарической поверхности 500 гПа (H_{500}) по модели COSMO-RU

Исходная информация размещается на сервере и архивируется. Горизонтальная интерполяция производится на широтно-долготную сетку с размещением результатов счёта на различных сетках в оперативных пользовательских базах Гидрометцентра Рос-

сии. Выходные данные размещаются на сервере в виде «готового» продукта для распространения прогнозистам. Визуализация осуществляется программным комплексом ISOGRAPH.

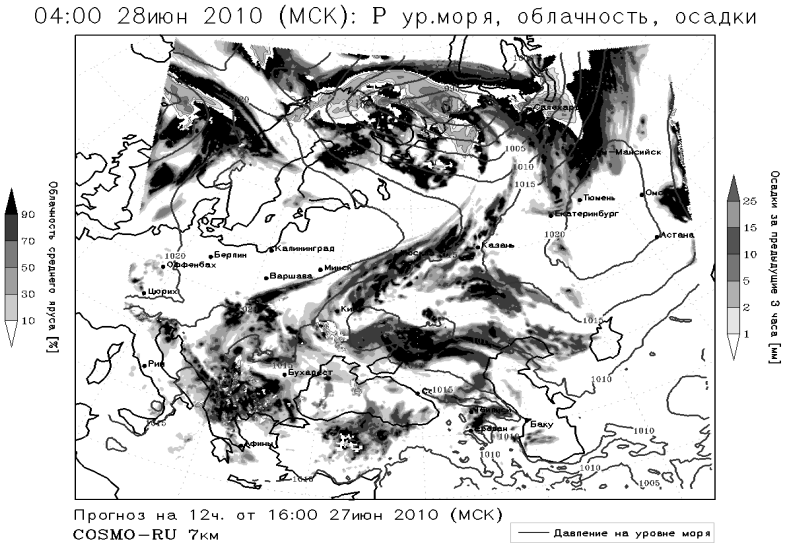


Рис. 12.9. Прогноз облачности и осадков по модели COSMO-RU

Модель COSMO-RU07 решением ЦМКП Росгидромета от апреля 2011 г. была признана базовой мезометеорологической моделью ФГБУ «Гидрометцентр России».

12.3. Получение и визуализация гидрометеорологической информации

12.3.1. Программный комплекс обработки гидрометеорологической информации

Программный комплекс обработки гидрометеорологической информации PROMETEI создан для получения, раскодирования, хра-

нения и предоставления потребителю информации в локальной вычислительной сети любой степени сложности.

Источником информации для программного комплекса PROMETEI является система связи Росгидромета.

Синоптики с рабочих мест имеют доступ к серверам баз данных.

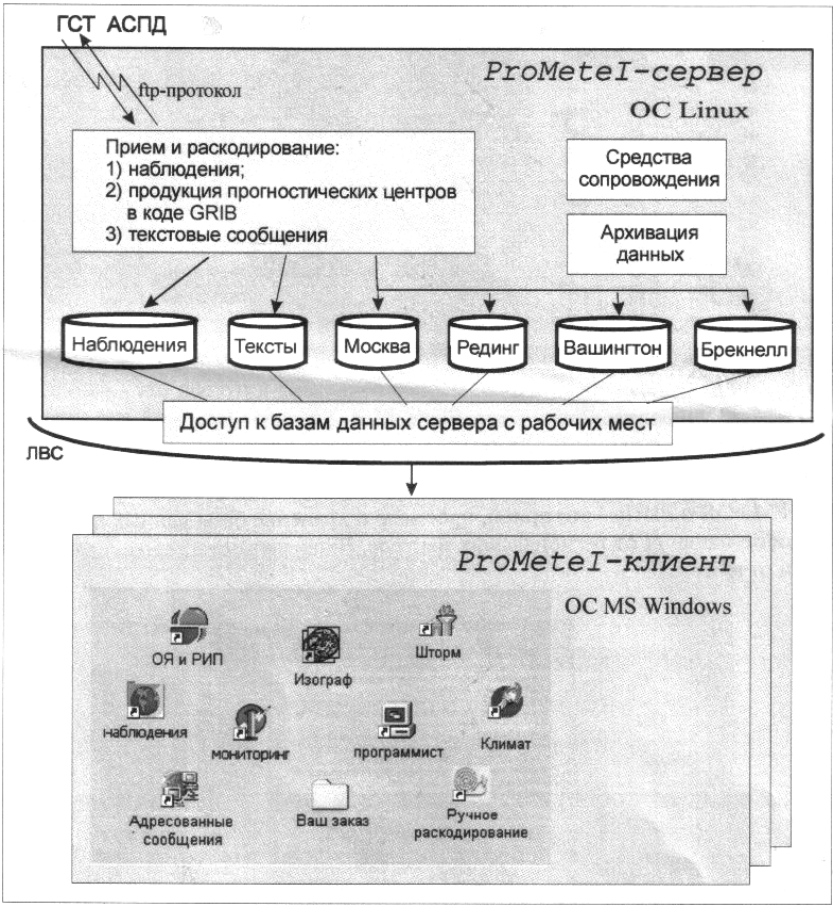


Рис. 12.10. Блок-схема программного комплекса PROMETEI

Информация для базы данных программного комплекса PROMETEI поступает в закодированном виде от разных источников: срочные наблюдения с метеорологических станций; продукция прогностических центров в коде GRIB; сводки погоды в текстовом виде.

Составленная база данных используется многими прогностическими центрами, расположенными в таких городах, как Рединг, Эксетер, Брекнелл (Великобритания), Вашингтон (США), Москва (Россия) и др.

На рис. 12.10 представлена схема программного комплекса PROMETEI для обработки гидрометеорологической информации.

При оперативной работе прогнозист делает запрос со своего рабочего места и получает продукцию, которая ему нужна (таблицы, графики, диаграммы, текстовые документы). На рис. 12.11 показано окно с результатом запроса с рабочего места синоптика.

В программном комплексе информация может быть доступна специалисту к определенному времени или поступать с некоторой периодичностью.

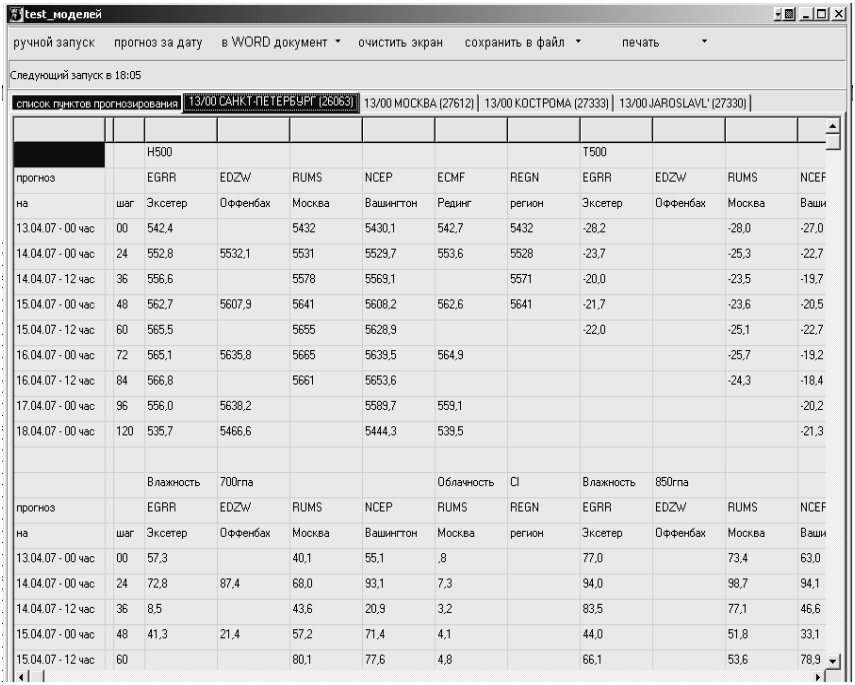
Запрос информации может осуществляться в следующем виде.

«Прогноз» – формирование сводной таблицы текущих срочных модельных прогнозов по списку городов для следующих метеорологических величин:

– температура на изобарической поверхности 850 гПа;
– приземная температура;
– атмосферное давление на уровне моря;
– атмосферное давление на уровне станции;
– скорость и направление ветра;
– геопотенциал изобарических поверхностей 500 и 850 гПа;
– облачность и осадки;
– влажность на изобарических поверхностях 850 и 700 гПа.

PROMETEI накапливает архив прогнозов, поддерживает функции его обработки: печать, формирование Word-документов, графики прогнозов метеоэлементов, оправдываемости прогнозов метеоэлементов, сводные прогностические таблицы по городам и таблицы тенденции прогноза, карты распределения метеорологи-

ческих величин. Кроме этого возможно построение графиков сравнения прогнозов метеовеличин, полученных с помощью разных прогностических моделей; составление таблиц оправдываемости модельных прогнозов за определённый месяц и за определённый срок.



		H500						T500			
прогноз		EGRR	EDZW	RUMS	NCEP	ECMF	REGN	EGRR	EDZW	RUMS	NCEF
на	шаг	Эксетер	Оффенбах	Москва	Вашингтон	Рединг	регион	Эксетер	Оффенбах	Москва	Ваши
13.04.07 - 00 час	00	542,4		5432	5430,1	542,7	5432	-28,2		-28,0	-27,0
14.04.07 - 00 час	24	552,8	5532,1	5531	5529,7	553,6	5528	-23,7		-25,3	-22,7
14.04.07 - 12 час	36	556,6		5578	5569,1		5571	-20,0		-23,5	-19,7
15.04.07 - 00 час	48	562,7	5607,9	5641	5608,2	562,6	5641	-21,7		-23,6	-20,5
15.04.07 - 12 час	60	565,5		5655	5628,9			-22,0		-25,1	-22,7
16.04.07 - 00 час	72	565,1	5635,8	5665	5639,5	564,9				-25,7	-19,2
16.04.07 - 12 час	84	566,8		5661	5653,6					-24,3	-18,4
17.04.07 - 00 час	96	556,0	5638,2		5589,7	559,1					-20,2
18.04.07 - 00 час	120	535,7	5466,6		5444,3	539,5					-21,3
		Влажность	700гпа			Облачность	CI	Влажность	850гпа		
прогноз		EGRR	EDZW	RUMS	NCEP	RUMS	REGN	EGRR	EDZW	RUMS	NCEF
на	шаг	Эксетер	Оффенбах	Москва	Вашингтон	Москва	регион	Эксетер	Оффенбах	Москва	Ваши
13.04.07 - 00 час	00	57,3		40,1	55,1	,8		77,0		73,4	63,0
14.04.07 - 00 час	24	72,8	87,4	68,0	93,1	7,3		94,0		98,7	94,1
14.04.07 - 12 час	36	8,5		43,6	20,9	3,2		83,5		77,1	46,6
15.04.07 - 00 час	48	41,3	21,4	57,2	71,4	4,1		44,0		51,8	33,1
15.04.07 - 12 час	60			80,1	77,6	4,8		66,1		53,6	78,9

Рис. 12.11. Окно с результатом запроса прогноза погоды

На рис. 12.12 показаны графики сравнения прогнозов температуры воздуха, полученных с помощью разных прогностических моделей.

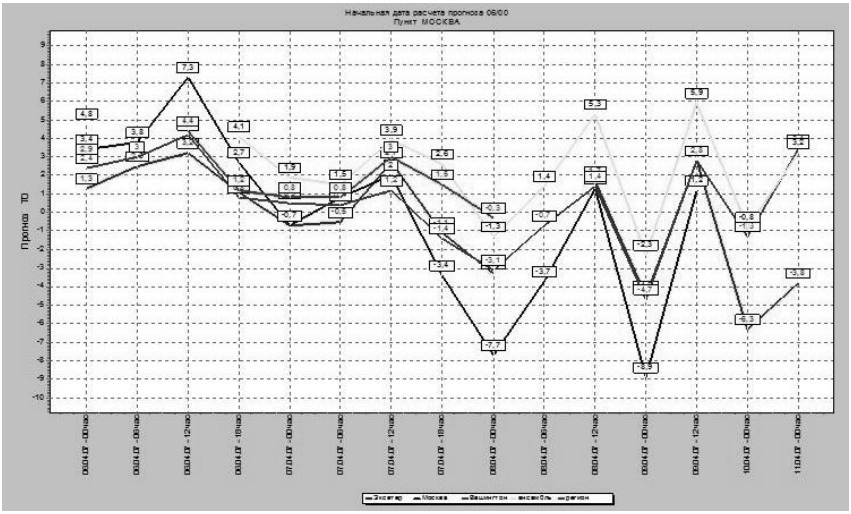


Рис. 12.12. Графики сравнения прогнозов температуры воздуха, полученных с помощью разных прогностических моделей

«Ежедневные наблюдения» – это доступ к данным ежедневных наблюдений из базы за любой период, в рамках цикла хранения (до 36 сут.).

«Оперативные наблюдения на станциях» – это данные наблюдений на отдельных станциях, пополняемые в режиме реального времени. Для каждой станции выдается таблица всех элементов наблюдений по срокам за период от 1 до 36 сут. и диаграммы хода выбранных метеорологических элементов.

«Фактические важнейшие явления погоды» – ряд сводных таблиц, отражающих состояние погоды за прошедшие синоптические сутки по областям.

На рабочем месте прогнозиста накапливается синоптический архив, по которому производится ситуационный анализ и строятся диаграммы хода метеорологических элементов (в том числе рассчитываются отклонения от климатических норм).

«Климат» – получение и накопление данных о климате (месяц и декада). Массив дополнен базой данных климатических норм по

2000 станций (1961–1990 гг.) по температуре, осадкам и давлению на уровне моря, что позволяет автоматически рассчитывать отклонения от нормы по этим параметрам. Строятся диаграммы хода средних месячных значений метеорологических элементов и их норм.

«Детализированный прогноз погоды по городам» – просмотр прогнозов региональных центров по городам на 24, 48 и 72 ч.

«Шторм» – просмотр текстовых сообщений о вулканической активности, цунами, морских штормовых предупреждениях, сообщений о тайфунах, циклонах и т.д.

Удалённым программным доступом к оперативным базам данных пользуются все подразделения Росгидромета и организации, ведущие научные исследования.

12.3.2. Программный комплекс визуализации данных

В Гидрометцентре России разработан программный комплекс для визуализации гидрометеорологических данных – ISOGRAPH. Этот комплекс является гибким инструментом для представления карт с гидрометеорологической информацией. Комплекс настраивается на любые источники данных.

Важной особенностью комплекса является открытость форматов входных данных и интерфейсов. Поэтому имеется возможность организации быстрого доступа к любым источникам данных. Настройка параметров комплекса производится путём редактирования текстовых файлов конфигурации (рис. 12.13, 12.14).

Используя комплекс ISOGRAPH в своей практике, специалист-гидрометеоролог может легко создавать на экране своего персонального компьютера карты, а также выполнять следующие виды работ:

– наносить на карту данные гидрометеорологических наблюдений;

– получать карту изолиний или градиентного закрашивания градаций гидрометеорологических данных;

– в процессе работы легко менять параметры изображений, включая шаг между изолиниями, толщину, вид и цвет линий, гарнитуру и размер шрифта;

– использовать имеющиеся бланки карт, создавать и сохранять собственные карты с выбором региона обзора и изображением на бланке таких географических объектов, как реки, границы государств и внутренние границы областей, города и населённые пункты;

– управлять картами и параметрами изображений. Управление осуществляется через диалоговые окна;

– в любой момент временно увеличить масштаб района интереса, а затем возвращаться к прежнему масштабу;

– получать на принтере бумажную копию карты, передавать карту в другую программу.

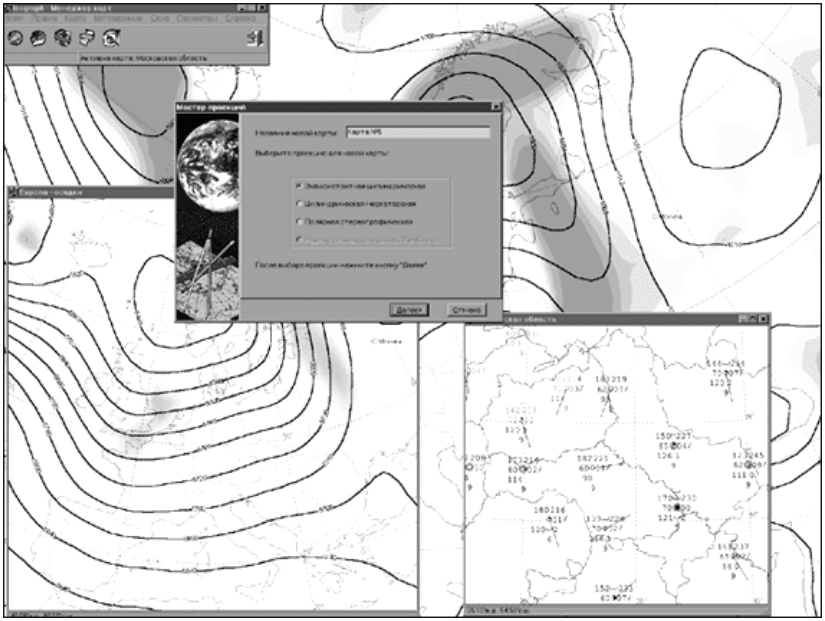


Рис. 12.13. Пример настройки параметров ISOGRAPH

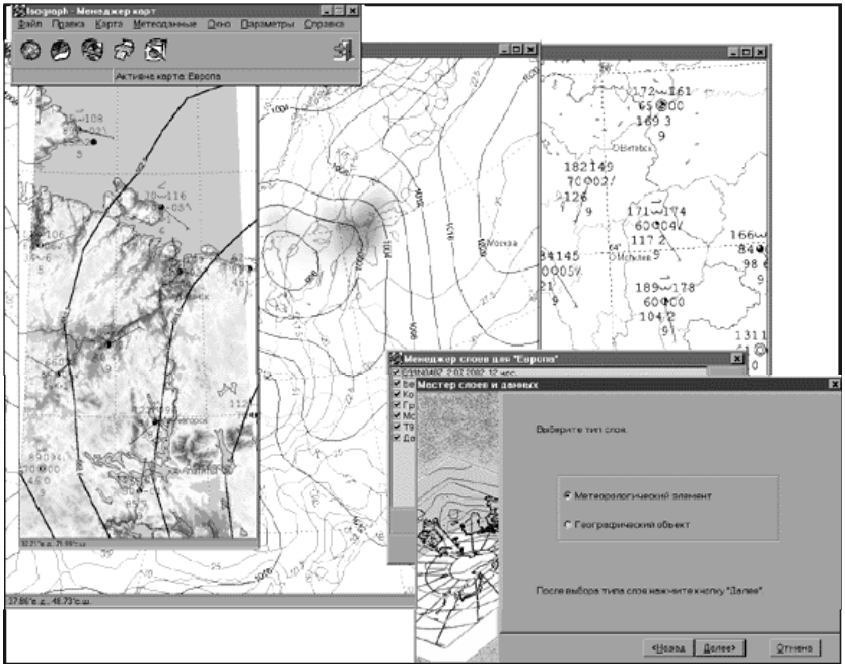


Рис. 12.14. Пример доступа к данным

Программный комплекс позволяет иметь на экране несколько различных карт одновременно. Имеется возможность автоматически выстраивать карты рядами. Это особенно удобно, если на нескольких картах представлен некоторый синоптический процесс в развитии (рис. 12.15).

На нём представлены объективный анализ и прогноз полей метеорологических элементов по глобальной спектральной модели атмосферы на 12, 24 и 36 ч от исходного срока 12 ч *UTC* 27.11.2009 г.

В верхнем ряду представлены карты распределения давления на уровне моря и осадков, в нижнем ряду – температуры воздуха у поверхности земли. Карты построены и расположены рядами ав-

томатически с помощью программы ISOGAPH в Гидрометцентре России.

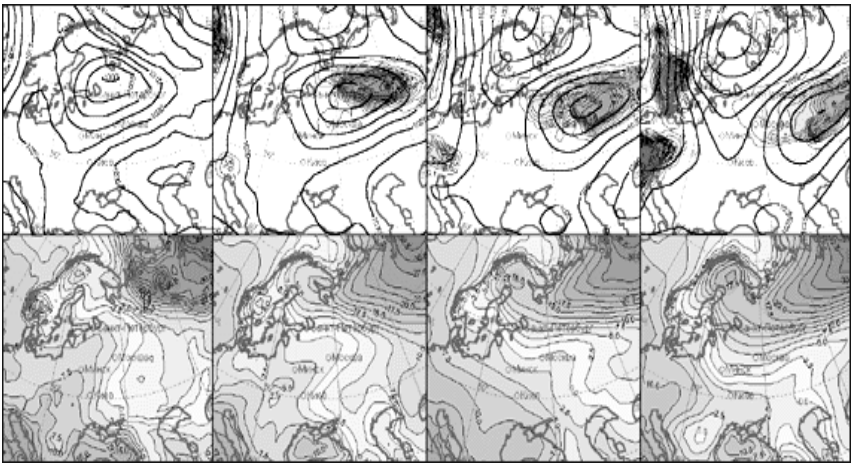


Рис. 12.15. Многооконный режим работы программы.
Слева направо – прогнозы заблаговременностью 0, 12, 24 и 36 ч
от исходного срока 12 ч *UTC* 27.11.2009

12.3.3. Выходная продукция гидродинамических моделей прогноза погоды

Прогностические карты метеорологических полей по результатам спектральной модели Гидрометцентра России для земного шара представлены на сайте http://meteoinfo.ru. Заблаговременность прогноза составляет от 12 до 72 ч с дискретностью 6 ч. Фронтальные зоны прогнозируют на срок 24 и 36 ч.

На этом же сайте можно получить прогностические карты метеорологических полей по модели ПЛАВ Гидрометцентра России и Института вычислительной математики РАН для разных регионов, в том числе для Сибирского федерального округа.

Для Сибири прогностические карты, рассчитанные по моделям SLAV (ПЛАВ) и WRF, можно найти на сайте СибНИГМИ (г. Новосибирск) (http://sibnigmi.ru). Поля метеорологических величин записываются с шагом в 6 ч на срок прогноза до 72 ч.

На этом же сайте можно получить информацию по модели COSMO-RU, расчёты по которой выполнены в Гидрометцентре России. Срок прогноза по этой модели до 78 ч, дискретность – 3 ч.

Кроме прогностических карт метеорологических полей информация приведена для отдельных городов в виде метеограмм, рассчитанных по моделям WRF и COSMO-RU.

Ансамблевые прогнозы приземной температуры, количества осадков и температуры точки росы для 143 городов России (в том числе для Томска) содержатся на сайте http://method.hydromet.ru/ansambl.

Исходный срок прогноза 00 ч *UTC*. Заблаговременность прогнозов от 12 до 120 ч для температуры воздуха и от 12 до 72 ч для осадков и температуры точки росы при временном разрешении 6 ч. В качестве членов ансамбля взяты глобальные прогнозы, рассчитанные на основе модели общей циркуляции атмосферы зарубежных метеорологических центров: Великобритании (UKMO), США (NCEP) и Японии (JMA) для температуры в сроки 00, 06, 12, 18 ч *UTC*. Для осадков взяты модели UKMO, NCEP и полулагранжева модель ПЛАВ (ГУ «Гидрометцентр России»).

ЛИТЕРАТУРА

Алфёров, Ю.В. Автоматизированная графическая система для визуализации результатов численных прогнозов / Ю.В. Алфёров // Тр. ГМЦ РФ. – 2003. – Вып. 338. – С. 119–124.

Астахова, Е.Д. Ансамблевый гидродинамический прогноз погоды и высокопроизводительные вычисления [Электронный ресурс] / Е.Д. Астахова, Ю.В. Алфёров. – Электрон. дан. – М. : Гидрометцентр России, [2010]. – URL: http://hpc–russia.ru/9.pdf (дата обращения: 17.04.2011).

Багров, А.Н. Оперативная схема объективного анализа Гидрометцентра России / А.Н. Багров, М.Д. Цырульников // 70 лет Гидрометцентру России. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1999. – С. 59–69.

Базовые требования к технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды. Руководящий документ РД 52.27.723–2009: введ. 01.02.2010. – Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2009. – 25 с.

Барашкова, Н.К. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование : учеб. пособие / Н.К. Барашкова, Л.И. Кижнер, И.В. Кужевская. – Томск : ТМЛ–Пресс, 2010. – 312 с.

Беркович, Л.В. Оперативный гидродинамический краткосрочный прогноз погоды в пунктах / Л.В. Беркович // Тр. ГМЦ РФ. – 2003. – Вып. 338 : Гидродинамические методы и технологии краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды. – С. 3–13.

Вильфанд, Р.М. Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития / Р.М. Вильфанд, Г.С. Ривин, И.А. Розинкина // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 8. – С. 5–20.

Вильфанд, Р.М. Методические указания по прогнозу опасного природного явления – аномально холодной (аномально жаркой) погоды на территории России / Р.М. Вильфанд [и др.]. – Москва ; Обнинск : Фабрика офсетной печати, 2010. – 13 с.

Волынцева, О.И. Анализ и прогноз погоды с помощью ГИС Метео : учеб. пособие / О.И. Волынцева, А.А. Смирнова. – Обнинск : Изд-во ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2006. – 190 с.

Воробьёв, В.И. Синоптическая метеорология / В.И. Воробьёв. – Л. : Гидрометеоиздат, 1991. – 616 с.

Геоинформационная система «Метео» и состояние её использования в метеослужбах России и стран ближнего зарубежья / А.А. Акулиничева [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 11. – С. 90–98.

Гилярова, М.К. Рекомендации к прогнозу экстремальной температуры у поверхности земли / М.К. Гилярова, И.П. Прокопьева // Тр. ЗСРНИГМИ. – 1977. – Вып. 30. – С. 80–87.

Говердовский, В.Ф. Космическая метеорология с основами астрономии / В.Ф. Говердовский. – СПб. : РГГМИ, 1995. – 217 с.

Горбатенко, В.П. Метеорологический радиолокатор МРЛ-5: производство наблюдений. Диагноз и прогноз опасных явлений погоды : учеб. пособие / В.П. Горбатенко, В.И. Слуцкий, Л.Н. Бычкова. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. – 120 с.

Дьячкова, А.Д. Описание синоптического процесса на юге Иркутской области / А.Д. Дьячкова // Вопросы авиаметеорологического обеспечения: информ. письмо. – Иркутск : Восточно-Сибирский филиал и Иркутский филиал Метеоагентства Росгидромета. – 2007. – № 2. – С. 24–35.

Зверев, А.С. Синоптическая метеорология / А.С. Зверев. – Л. : Гидрометеоиздат, 1968. – 774 с.

Калинин, Н.А. Исследование атмосферы с помощью импульсных метеорологических радиолокаторов: учеб пособие / Н.А. Калинин. – Пермь : Перм. гос. ун-т, 2000. – 104 с.

Кужевская, И.В. Практикум по космическим методам исследования в метеорологии [Электронный ресурс] : учебно-метод. комплекс / И.В. Кужевская. – Электрон. дан. – Томск : Ин-т дистанц. образования Том. гос. ун-та, 2007. – 1 CD-ROM.

Лосев, В.М. Гидродинамический прогноз полей приземной температуры воздуха и обложных осадков по усовершенствованной региональной 30-уровенной модели в сигма-системе координат с шагом 75 км (автор В.М. Лосев) и результаты оперативных испытаний в холодное полугодие / В.М. Лосев, Г.С. Булдовский, А.Н. Багров // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий моделей и методов гидрометеорологических прогнозов : информ. сб. – Н. Новгород : Вектор-Тис, 2007. – № 34. – С. 5–23.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – Вып. 3, ч. 1. – 300 с.

Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Руководящий документ РД 52.27.724–2009: утв. и введ. 25.12.09. – Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2009. – 50 с.

Оперативный выпуск гидродинамических прогнозов по спектральной глобальной модели Гидрометцентра / И.А. Розинкина [и др.] // Тр. ГМЦ РФ. – 2001. – Вып. 334. – С. 52–68.

Павлова, И.А. Синоптическая метеорология / И.А. Павлова. – Бишкек : Изд-во КРСУ, 2007. – Ч. 1. – 200 с.

Пономарёва, М.П. Способ краткосрочного прогноза осадков в холодную половину года в районе г. Новосибирска / М.П. Пономарёва // Прогноз зимних осадков, эволюции и перемещения южных циклонов : метод. письмо. – Новосибирск, 1974. – 32 с.

Практикум по синоптической метеорологии / под ред. В.И. Воробьёва. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983. – 288 с.

Практикум по синоптической метеорологии : учеб. пособие / под ред. В.И. Воробьёва. – СПб. : РГГМУ, 2006. – 304 с.

Приходько, М.Г. Справочник инженера-синоптика / М.Г. Приходько. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986. – 327 с.

Прогноз осадков, гроз и града с использованием аэросиноптических, радиолокационных и спутниковых данных на 12 часов по способу Н.И. Глушковой и Н.Ф. Лапчевой : метод. письмо. – Новосибирск : ЗСУГМС, 1977. – 48 с.

Прокопьева, И.П. Прогноз силы ветра в районе Новосибирска (способ В.М. Ярковой) / И.П. Прокопьева // Сб. метод. указаний по региональной синоптике. – Новосибирск : ЗСУГМС, 1969. – С. 15–22.

Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / под ред. А.И. Бедрицкого : в 3 т. – СПб. : Летний сад, 2008.

Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды / под ред. И.П. Ветлова, Н.Ф. Вельтищева. Л. : Гидрометеоиздат, 1982. – 299 с.

Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986. – Ч. 1. – 701 с.

Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – Ч. 2, вып. 2. – 198 с.

Русин, И.Н. Современные методы метеорологических прогнозов : учеб. пособие / И.Н. Русин. – Л. : Изд-во ЛГМИ, 1987.

Севастьянова, Л.М. Краткосрочные прогнозы погоды: учеб. пособие / Л.М. Севастьянова. – Томск : ИД «СКК-Пресс», 2006. – 167 с.

Специализированные прогнозы погоды : учеб. пособие / под ред. В.И. Воробьёва и А.Ф. Кивганова. – Л. : ЛГМИ, 1991.

Справочник потребителя спутниковой информации / под ред. В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2002. – 108 с.

Толмачева, Н.И. Аэрология : учебник / Н.И. Толмачева, Н.А. Калинин. – Пермь : Перм. гос. нац.-исслед. ун-т, 2011. – 336 с.

Толстых, М.А. Усовершенствованный вариант глобальной полулагранжевой модели прогноза полей метеоэлементов в версии с постоянным разрешением заблаговременностью до 10 суток и результаты его оперативных испытаний / М.А. Толстых, Г.С. Булдовский // Фундаментальные и прикладные гидрометеорологические исследования. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2003. – С. 24–47.

Хандожко, Л.А. Региональные прогнозы погоды / Л.А. Хандожко. – Л. : ЛГМИ, 1991. – 98 с.

Хандожко, Л.А. Экономическая метеорология / Л.А. Хандожко. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2005. – 490 с.

Хромов, С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 568 с.

Чередниченко, В.С. Радиометеорология и аэрология : учеб. пособие / В.С. Чередниченко. – Бишкек : Учеб.-изд. отд. КРСУ, 1998. – 631 с.

Численные гидродинамические модели мезомасштабного прогноза Гидрометцентра России / Е.М. Пекелис [и др.] // 70 лет Гидрометцентру России. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1999. – С. 80–89.

Ягудин, Р.А. Рекомендации к прогнозу гололёда : метод. письмо / Р.А. Ягудин. – Новосибирск : ЗСРГМИ, 1978. – 7 с.

Учебное издание

Севастьянова Людмила Михайловна
Ахметшина Анна Сергеевна

МЕТОДЫ КРАТКОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор А.Н. Воробьева
Верстка А.И. Лелоюр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцова

На 1-й странице обложки – фото А.В. Севастьянова;
на 4-й странице обложки – снимок с ИЗС (http://www.rcpod.siberia.net)

Подписано к печати 10.04.2014 г. Формат $60\times84^{1}/_{16}$.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 15,5.
Тираж 100 экз. Заказ № 227.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)–53-15-28

ISBN 978-5-9462-1441-4

9 785946 214414