

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. Васильев, Ю.П. Переведенцев

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Учебно-методическое пособие

Казань
2007

Печатается по решению

заседания кафедры метеорологии,
климатологии и экологии атмосферы
факультета географии и экологии КГУ

Рекомендовано методической комиссией
факультета географии и экологии
Казанского государственного университета

Васильев А.А., Переведенцев Ю.П.

Технология прогнозирования метеорологических условий: Учебно-методическое пособие / А.А. Васильев, Ю.П. Переведенцев. – Казань: Казанский государственный университет, 2007. – 36 с.

Учебно-методическое пособие составлено для студентов–метеорологов, изучающих курс «Численные методы прогноза погоды».

Содержание

1. Классификация метеорологических прогнозов.....	4
2. Общие принципы прогнозирования	6
3. Численный прогноз метеорологических полей.....	9
3.1. Гидродинамические модели	9
3.2. Основные функции автоматизированной технологии численного прогноза	13
4. Прогноз погоды для пункта, района (территории)	16
4.1. Информационная база данных.....	17
4.2. Мониторинг метеорологических условий	18
4.3. Анализ синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы	18
4.4. Определение характера синоптических процессов на период прогноза.....	25
4.5. Определение значений метеорологических величин и явлений погоды.....	26
4.6. Использование автоматизированных рабочих мест прогнозиста.....	29
4.7. Сверхкраткосрочные прогнозы и предупреждения об опасных явлениях	32
5. Перспективы	34

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Прогнозом погоды называют описание метеорологических условий, ожидаемых в определенный момент или период времени в определенном районе или части воздушного пространства.

В связи с изменчивостью метеорологических величин в пространстве и во времени, а также ввиду несовершенства методов прогнозирования и измерения некоторых величин, конкретное значение любой указанной в прогнозе величины следует рассматривать как наиболее вероятное значение, которое данная величина может иметь в период действия прогноза. Точно так же время возникновения какого-либо явления следует понимать как наиболее вероятное время.

Конкретные требования к точности прогнозов разрабатываются потребителями прогнозов совместно с метеорологами с учетом специфики деятельности и возможностей прогнозирования. В связи с этим прогнозы погоды принято делить: на прогнозы общего назначения, ориентированные на широкий круг пользователей, главным образом, население, и прогнозы, ориентированные на обслуживание определенного вида деятельности: прогнозы погоды для авиации (авиационные), морской деятельности (морские), сельского хозяйства (агрометеорологические). В последнее время такие прогнозы стали называть специализированными. Существует также классификация метеорологических прогнозов в зависимости от их заблаговременности. Действующая в настоящее время классификация прогнозов различной заблаговременности Всемирной метеорологической организации (ВМО) приведена в таблице 1.

Оперативные требования авиации к заблаговременности прогнозов не выходят за пределы краткосрочных прогнозов. Так для взлета и посадки ВС необходимы прогнозы погоды по аэродрому, как правило, на 2-3 часа. Для планирования полетов, инструктажа экипажей, обмена между аэродромами составляются прогнозы на срок до 24 часов. Прогнозы о ветре и температуре на высотах для полетов по маршруту составляются с заблаговременностью 12, 18, 24 и 30 часов. В связи с этим в данной главе мы ограничимся рассмотрением технологии краткосрочного прогнозирования метеорологических условий.

Таблица 1

Классификация ВМО метеорологических прогнозов в зависимости от их заблаговременности

1.	Прогноз текущей погоды	Описание текущей погоды и прогноз метеорологических параметров на срок от 0 до 2 часа.
2.	Сверхкраткосрочный прогноз погоды	Описание метеорологических параметров на срок до 12 час.
3.	Краткосрочный прогноз погоды	Описание метеорологических параметров на срок свыше 12 и до 72 час (3 сут).
4.	Среднесрочный прогноз погоды	Описание метеорологических параметров на срок свыше 72 и до 240 час (10 сут).
5.	Прогноз погоды увеличенной заблаговременности	Описание усредненных метеорологических параметров на срок свыше 10 и до 30 суток, обычно выраженных в виде отклонений от климатических величин для этого периода.
6	Долгосрочный прогноз погоды	На срок от 30 суток до 2-х лет
6.1	Месячный ориентировочный прогноз	Описание осредненных метеорологических параметров, выраженных в виде отклонения от климатических величин для конкретного месяца
6.2	3-месячный или 90-суточный ориентировочный прогноз	Описание осредненных метеорологических параметров, выраженных в виде отклонения от климатических величин для 90-суточного периода
6.3	Сезонный ориентировочный прогноз	Описание осредненных метеорологических параметров, выраженных в виде отклонения от климатических величин для сезона
7.	Прогноз климата	На срок свыше 2 лет

2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

К концу XX столетия мировое метеорологическое сообщество достигло выдающихся успехов в краткосрочном и среднесрочном прогнозировании погоды. К таким успехам можно отнести:

- разработку в ряде стран глобальных, региональных и мезомасштабных гидродинамических численных моделей общей циркуляции атмосферы, позволяющих прогнозировать поля метеорологических элементов на 5-7 суток с приемлемой для многих потребителей точностью; создание в крупных метеорологических центрах, оснащенных мощной вычислительной техникой, уникальных технологий, позволяющих внедрить эти модели в оперативную практику;
- создание и организацию непрерывного функционирования глобальных международных систем наблюдений, телесвязи и обработки данных, позволяющих осуществлять наблюдения за погодой, передачу данных наблюдений в метеорологические центры и распространение выходных данных моделей (прогностической продукции) в прогностические центры Национальных метеорологических служб.

В результате этих достижений технология составления прогноза погоды в конкретном пункте или районе коренным образом изменилась по сравнению с прежними годами. Если раньше она была децентрализованной, и одним из основных и наиболее сложных ее этапов было построение синоптиками прогностических карт полей давления у поверхности Земли и на различных уровнях атмосферы, то теперь необходимость в этом отпала. Благодаря функционированию крупных метеорологических центров синоптик перед составлением прогноза погоды имеет в своем распоряжении не только прогностические поля атмосферного давления, но и поля других метеорологических элементов (температуры, осадков и др.), рассчитанные по гидродинамическим моделям атмосферы. При этом качество прогнозов таких полей достигло уровня, когда даже их непосредственная интерполяция для локального пункта дает зачастую приемлемый для ряда пользователей результат.

Иначе говоря, успехи в развитии численного моделирования атмосферы привели к централизации и даже глобализации основного этапа прогноза - прогноза полей метеорологических величин, опираясь на который синоптик составляет прогноз элементов и явлений погоды для конкретного пункта, района или территории.

Функционирование глобальных систем наблюдений, телесвязи и обработки метеорологической информации координируется через Всемирную службу погоды (ВСП), являющуюся основной программой Всемирной метеорологической организации (ВМО). ВМО представляет собой комплексную

систему, состоящую из национальных средств и услуг, которые принадлежат отдельным странам, являющимся членами ВМО. Члены ВМО берут на себя соответственно своим возможностям обязательства по согласованной схеме с тем, чтобы все страны могли получать выгоды от объединенных усилий.

Следует отметить, что оперативное составление прогнозов по гидродинамическим моделям общей циркуляции требует постоянной поддержки дистанционных автоматизированных технологий сбора и обработки глобальной метеорологической информации, а также наличия мощного научного потенциала для развития и совершенствования самих моделей. Поэтому в рамках ВСП создана объединенная система мировых и региональных метеорологических центров (ММЦ и РМЦ), оборудованных в максимально возможной степени современными средствами и технологиями за счет стран, взявшими на себя добровольные обязательства по функционированию таких центров. Продукция мировых и региональных метеорологических центров в виде численных анализов и прогнозов метеорологических полей предоставляется для использования всем членам ВМО через их национальные метеорологические центры (НМЦ).

Естественно, что в странах, обеспечивающих работу мировых и региональных метеорологических центров, функции НМЦ, РМЦ и ММЦ, как правило, объединены и выполняются одним и тем же центром. Так, например, Гидрометцентр России (совместно с Главным вычислительным центром и Главным Радиометцентром) выполняет одновременно функции ММЦ и РМЦ «Москва» в системе ВСП и национального (федерального) метеорологического центра. Общая схема функционирования компонентов основных систем ВСП представлена на рис. 1. На рисунке видно, что метеорологические данные от различных источников Глобальной системы наблюдений (ГСН) поступают в Глобальную систему телесвязи (ГСТ), а затем через Региональные узлы телесвязи (РУТ) в Глобальные и региональные метеорологические центры Глобальной системы обработки данных (ГСОД) для составления численных анализов и прогнозов метеорологических полей и их архивации.

Успехи в численном прогнозировании глобальных метеорологических полей способствовали созданию в 1984 г. ИКАО совместно с ВМО Всемирной системы зональных прогнозов для авиации (ВСЗП). Основной задачей этой системы является обеспечение метеорологических служб, пилотов и авиационных эксплуатантов единообразной формой прогнозов ветра и температуры на высотах в узлах регулярной сетки, а также прогнозами особых явлений погоды в глобальном масштабе в формате, допускающем непосредственное их использование при автоматизированном планировании полетов. ВСЗП состоит из двух Всемирных центров зональных прогнозов (ВЦЗП), расположенных в Лондоне и Вашингтоне и ряда Региональных центров зональных прогнозов (РЦЗП).

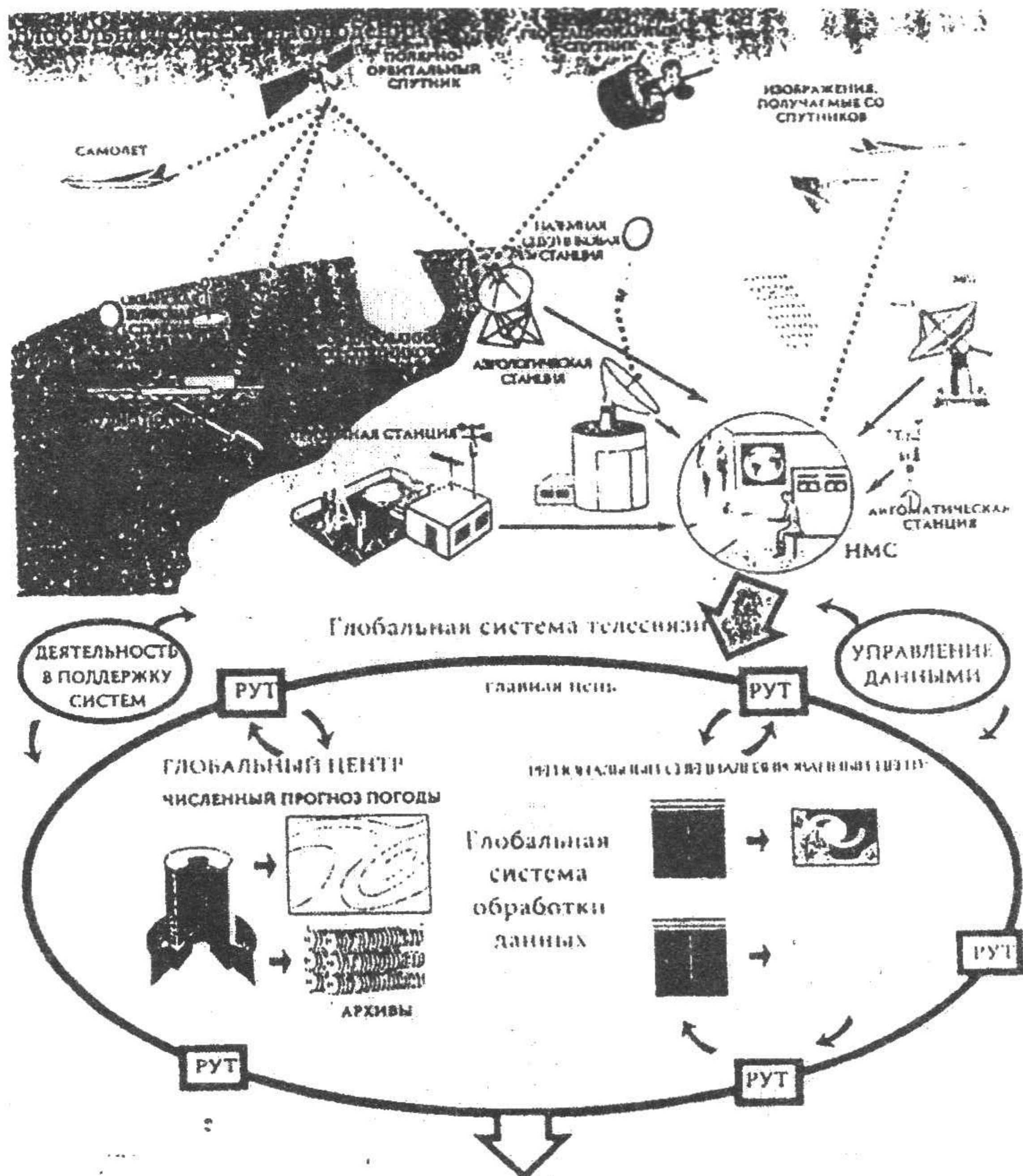


Рис. 1. Общая схема функционирования компонентов основных систем ВСП

ВЦЗП выпускают глобальные прогнозы ветра и температуры на высотах, а также высоты тропопаузы и максимального ветра в цифровой или графической форме и корректива к ним. РЦЗП подготавливают прогнозы особых явлений погоды на основе глобальных прогнозов, поступающих из ВЦЗП, а также специальные прогнозы для метеорологических полномочных органов и других аeronавигационных пользователей. Распространение продукции ВСЗП на первом этапе создания системы осуществлялось через Глобальную систему телесвязи ВМО, а позже стала использоваться система спутниковой связи. Важно при этом иметь в виду, что несмотря на то, что Всемирная система зональных прогнозов организационно является самостоятельной системой, технологически ее центры, особенно ВЦЗП, сопряжены с мировыми и региональными метеорологическими центрами Всемирной службы погоды, поэтому

продукция, выпускаемая центрами ВСЗП, подготавливается на основе прогностических моделей и данных, получаемых благодаря оперативному функционированию глобальных систем ВСП. Общая схема взаимодействия между Всемирной Службой погоды ВМО и Всемирной системой зональных прогнозов ИКАО приведена на рис. 2.

3. ЧИСЛЕННЫЙ ПРОГНОЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

3.1. Гидродинамические модели

Первый, практически приемлемый подход к решению проблемы гидродинамического прогноза был реализован в СССР в 1940 году И.А. Кибелем. Однако оперативно применять гидродинамические модели стало возможным только после появления электронно-вычислительных машин. Простейшей и наиболее широко распространенной гидродинамической моделью является баротропная или однослочная модель.

Основная слабость баротропной модели заключается в ее неспособности предсказать важные процессы циклогенеза, т.е. образования атмосферных вихрей с пониженным давлением воздуха, с которыми, как правило, связано изменение погоды. Реальная атмосфера является бароклинной средой, т.е. средой, в которой плотность изменяется в зависимости от давления воздуха и температуры. Поэтому в дальнейшем стали разрабатываться многоуровневые модели, с помощью которых бароклинность в атмосфере может быть учтена с достаточной степенью точности. При использовании многоуровневой модели также легче учесть различные физические воздействия, оказывающие существенное влияние на характер движения атмосферы. К ним относятся трение, неровность рельефа поверхности Земли и так называемые неадиабатические эффекты, обусловленные процессами испарения, конденсации водяного пара и обмена количеством тепла между океаном и атмосферой. В настоящее время крупные метеорологические центры обычно имеют в своем распоряжении несколько моделей, как оперативных, так и исследовательских, позволяющих составлять прогноз на период от 1 до 7 суток.

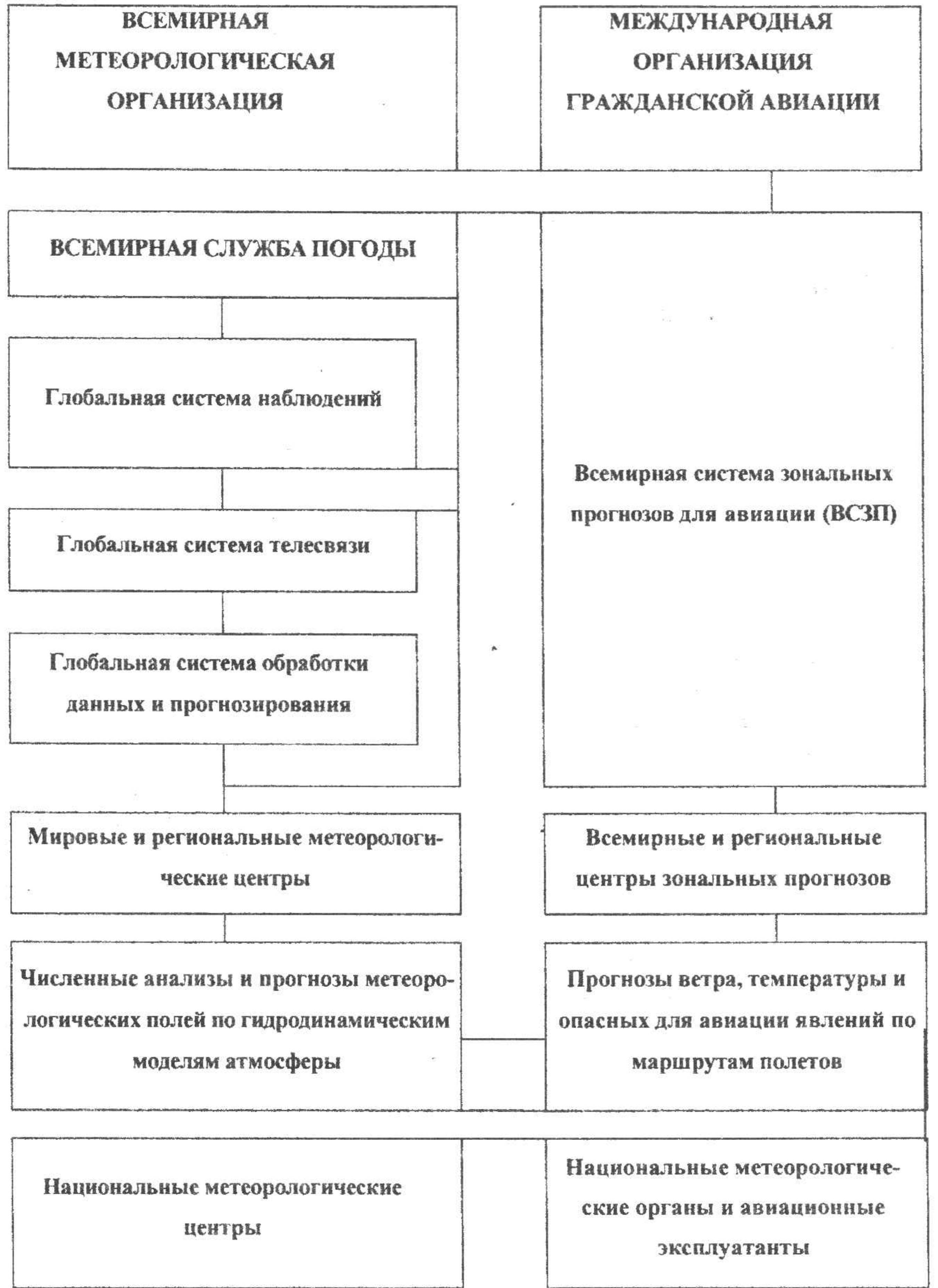


Рис. 2. Схема взаимодействия между Всемирной службой погоды ВМО и Всемирной системой зональных прогнозов ИКАО

Оперативные модели различаются по своим характеристикам, по применяемым численным процедурам и выходным параметрам. В зависимости от горизонтальных размеров области прогноза их делят на глобальные, полу-сферные, региональные и мезо-масштабные.

Прежде чем какая-либо модель будет внедрена в оперативную практику, она проходит испытания на качество, надежность и безаварийность. Все программное обеспечение также должно пройти период отладки и контроля. Использование современных моделей требует полной автоматизации процесса получения данных, их контроля, объективного анализа и расчета. Поэтому подготовка гидродинамических прогнозов сейчас не мыслима без функционирования крупных вычислительных центров. Каждая модель состоит из двух частей: динамической (решения уравнений движения) и физической (параметризации процессов, которые невозможно предвычислить точно). Модели также характеризуются пространственным разрешением и видом численного интегрирования. Для определения будущего состояния воздушных потоков требуется решение системы следующих шести уравнений:

- уравнения состояния сухого воздуха, определяющего соотношение между давлением, плотностью и температурой воздуха;
- уравнений движения, определяющих характер изменения скорости ветра от градиента давления, силы Кориолиса и силы трения;
- уравнения термодинамики;
- уравнения непрерывности для сухого воздуха;
- уравнения непрерывности для влажного воздуха;
- уравнения гидростатистики.

В численных моделях поля метеорологических величин для расчетов либо представляются в точках регулярной сетки, либо используется спектральное представление в сочетании с представлением некоторых полей в точках сетки. При спектральном представлении горизонтальные атмосферные волны вокруг земного шара подразделяются на серии в зависимости от длины волн и представляются в виде тригонометрических функций. Современные глобальные модели имеют расстояние между точками сетки до 60 км, что соответствует минимально воспроизводимой длине волны примерно 300 км. Существующие оперативные спектральные модели используют от 126 до 240 волн для описания движения атмосферы, что дает возможность воспроизводить особенности движения подобного же масштаба. В численных моделях атмосфера подразделяется на серию слоев, число которых достигает в некоторых моделях 30. При этом наиболее высокое разрешение используется в планетарном пограничном слое, где уровни повторяют рельеф земной поверхности и должны располагаться как можно чаще, чтобы реалистичнее воспроизводить суточный ход нагрева подстилающей поверхности.

В спектральных моделях, где шаг по времени может быть намного больше, чем в конечно-разностных моделях, вертикальное разрешение должно быть наименьшим в районе максимальных вертикальных движений - обычно между уровнями 250 и 500 гПа, где обычно расположено струйное течение.

Существует несколько вариантов выбора и вертикальной координаты. Важно, чтобы функции или переменные, выбранные для вертикальной координаты, были монотонными функциями высоты над средним уровнем моря. Некоторыми примерами вертикальных координат являются высота над средним уровнем моря, гидростатическое давление и сигма, представляющая собой отношение давления на данном уровне к давлению у поверхности земли. Сигма координата позволяет правильно отображать рельеф земной поверхности. В современных моделях используется также смешанная (гибридная) вертикальная координата, когда в тропосфере используется сигма-координата, а выше, где влияние рельефа незначительно, координата давления.

Для численного решения шести основных уравнений они должны быть представлены в конечно-разностной форме во времени и пространстве. Иначе говоря, по модели рассчитываются прогностические значения параметров через некий достаточно короткий промежуток времени, например через 10 минут, на основе текущего состояния этих параметров. Это дает новый результат, который используется для расчета условий на следующий 10-минутный интервал. Такая процедура повторяется до тех пор, пока не будут получены метеорологические поля на срок прогноза. При этом чем больше берется шаг по времени, тем меньше требуется расчетных процедур. Однако при слишком больших шагах появляется нестабильность в расчетах. Теоретически шаг по времени не должен превышать время, необходимое для перемещения частицы воздуха от одной точки расчета к другой, т.е. шаг сетки. Существуют и другие схемы решения, например, спектральная, которая широко используется в современных глобальных моделях. Численное решение уравнений гидродинамики на конечно-разностной сетке ограничивает масштаб процессов, которые могут быть учтены моделью. Многие процессы, особенно в пограничном слое, имеют слишком мелкий масштаб, меньше шага сетки модели. Поэтому их необходимо определять на основе усредненных по территории величин, рассчитываемых по модели. Эта процедура получила название параметризации физических процессов. Современные численные модели, как правило, включают в себя параметризацию следующих характеристик и процессов:

- состояние планетарного пограничного слоя;
- основные характеристики подстилающей поверхности (орография, распределение температуры поверхности моря, распределение морского льда, альbedo и др.);
- разрушение гравитационных волн;
- радиационные процессы;
- конвекция;
- облачность;
- гидрологический цикл;

3.2. Основные функции автоматизированной технологии численного прогноза

Оперативные технологические системы численного прогноза зависят от особенностей разработанных моделей, их сложности, информационного и программного обеспечения, а также конфигурации и мощности вычислительной техники. В связи с этим в каждом метеорологическом центре имеются отличия в технологии выпуска прогнозов.

Вместе с тем в любой автоматизированной оперативной системе численного прогноза можно выделить функции, свойственные всем существующим системам. К этим функциям относятся:

- сбор данных наблюдений с распознаванием метеорологических сводок и архивацией;
- подготовка базы данных, обеспечивающая декодирование сводок, контроль их качества, подготовку форматов данных для их анализа;
- объективный анализ и усвоение данных;
- прогноз с помощью гидродинамической модели (решение уравнений, учет неадиабатических процессов);
- заключительная обработка выходных данных модели.

3.2.1. Система сбора данных

Система сбора данных обеспечивает данными оперативную деятельность метеорологических центров по подготовке анализов и прогнозов полей метеорологических величин, по проведению оперативных испытаний моделей и их развитию, а также архивацию данных для различных целей.

Существуют автоматизированные системы, в которых ЭВМ связи собирает все метеорологические сводки из Глобальной системы телесвязи и локальных и национальных линий, и неавтоматизированные системы, в которых метеорологические сводки с линий связи выводятся с помощью электромеханического оборудования и отбираются вручную для дальнейшей обработки. Метеорологические центры, выполняющие функции мировых и региональных центров, должны иметь автоматизированные системы сбора данных.

Сбор данных представляет собой непрерывный процесс, в котором четко определен выбор области сбора данных, время поступления данных и время отсечения данных, после которого поступившие данные используются уже в последующих циклах их усвоения.

3.2.2. Подготовка базы данных

Процедуры подготовки базы данных включают в себя опознавание метеорологических сводок, их декодирование, контроль качества и исправление ошибок, а также сортировку и формирование декодированной информации. Конечной продукцией первичной обработки данных является набор скорректированных данных наблюдений за определенный синоптический срок или за определенный период, например несколько часов до и после синоптического срока. В ЭВМ эти данные формируются в группы в соответствии с целями и масштабом осуществляющего в центре объективного анализа данных.

3.2.3. Объективный анализ и усвоение данных

Основная цель объективного анализа состоит в преобразовании метеорологических данных, полученных от различных наблюдательных систем, в узлы (точки) регулярной сетки для дальнейшего использования в моделях численного прогноза и представления в виде аэрологических карт.

На рис. 3 приведено типичное распределение данных со станций радиозондирования атмосферы за один срок наблюдений. Эти данные являются основными данными для составления численного прогноза полей метеорологических величин. На рисунке видно, что плотность наблюдений весьма неравномерна, над многими областями (океанами, тропиками) данные вообще отсутствуют. Поэтому процесс проведения объективного анализа представляет большую сложность. Кроме того, наблюдения проводятся различными наблюдательными системами (радиозонды, спутники, самолеты и др.), точность которых различна.

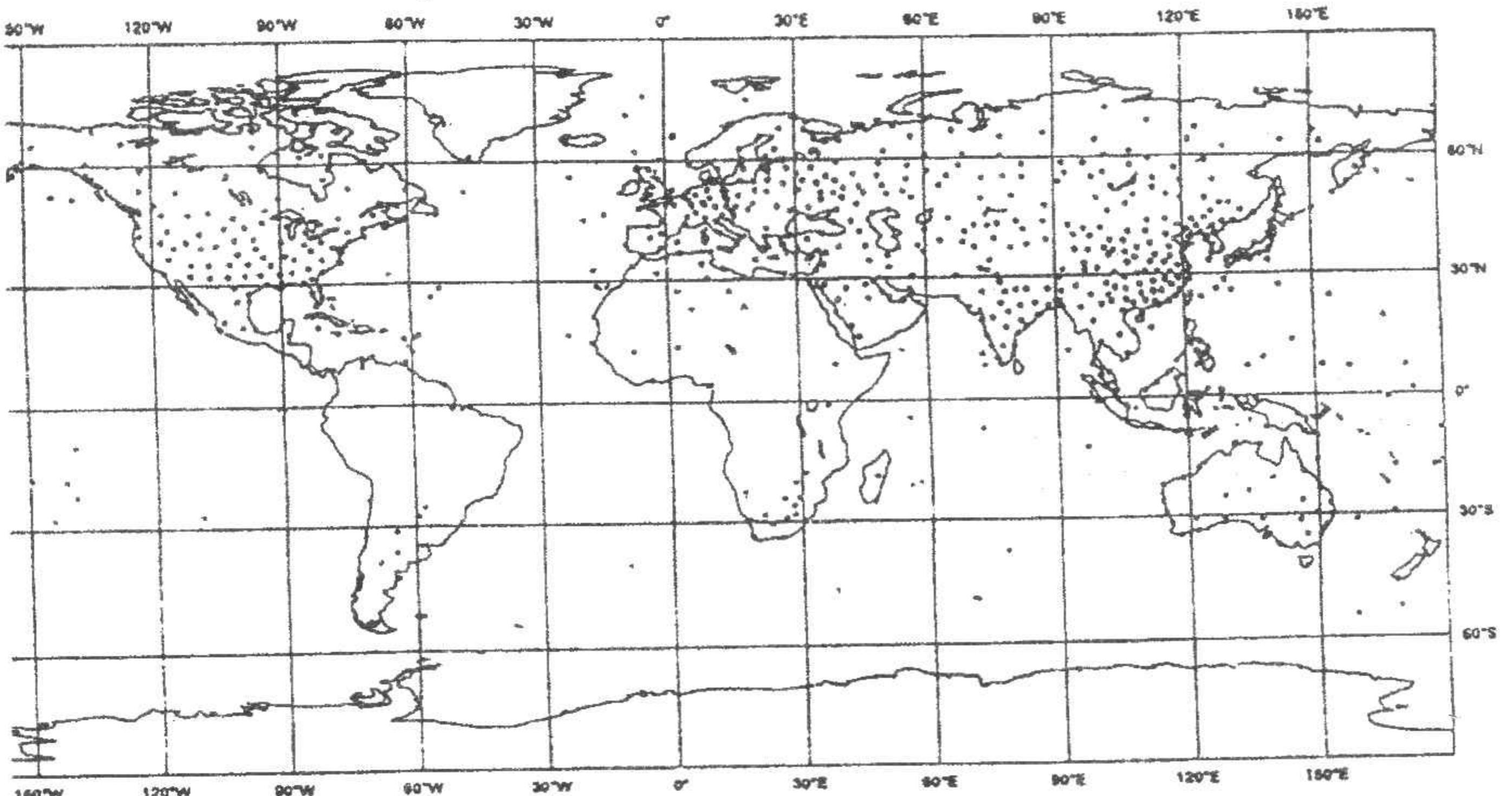


Рис. 3. Типичное распределение данных, получаемых со станций радиозондирования за один срок наблюдений (по данным ВМО)

В первых схемах объективного анализа использовались только данные непосредственных измерений, а там, где они отсутствовали, осуществлялась их интерполяция с помощью различных методик.

В современных моделях используется так называемый вариационный метод анализа. Основная концепция этого метода состоит в комплексном использовании данных, предвычисленных на срок анализа моделью, и данных фактических наблюдений.

На первом этапе анализа на основе прогностических полей (полей «первого приближения») вычисляются значения метеорологических величин для каждого пункта наблюдения (например, для аэрологических станций). После

этого вычисляется разность между спрогнозированным значением метеорологической величины для этого пункта и фактически наблюдаемым ее значением. Эти разности (отклонения) используются затем для получения оптимального результата с помощью анализа установленной ранее оценки величины ошибок модели и реальных данных наблюдений. Если известно, что данные какой-либо системы наблюдений менее надежны, им придается меньший вес, чем предвычисленным данным, и наоборот, если наблюдения на данной станции считаются надежными, принимают за основу эти данные. Такой анализ позволяет более точно заполнять данными «пустые» места, а также оценить качество данных от различных наблюдательных систем, так же как и ошибки в прогнозе полей первого приближения. Метод дает хорошие результаты, хотя и требует больших затрат машинного времени по сравнению с ранее применяемыми методами оптимальной экстраполяции.

Усвоение данных при вариационном анализе может быть трехмерным и четырехмерным. При трехмерном усвоении данные анализируются в трех измерениях пространства (широта, долгота, высота) за определенный, фиксированный момент времени, обычно перед началом счета модели. Четырехмерный анализ учитывает изменение величин не только в пространстве, но и во времени, т.е. данные в модель могут вводиться в любое время, по мере их поступления, однако машинного времени требуется еще больше, чем при трехмерном анализе.

В Гидрометцентре России используется система четырехмерного усвоения данных, которая включает в себя циклическое выполнение следующих модулей:

- преданализ (вычисление отклонений наблюдаемых метеорологических величин от спрогнозированных на этот срок метеорологических величин);
- объективный анализ (восстановление полей геопотенциала и горизонтальных составляющих скорости ветра на стандартных изобарических уровнях в узлы широтнодолготной сетки);
- предпроцессинг (переход от переменных объективного анализа геопотенциала и горизонтальных составляющих скорости ветра в узлах сетки к переменным численной модели, заданным в узлах гауссовой сетки на сигма уровнях);
- инициализация (согласование начальных полей ветра и геопотенциала);
- гидродинамическая экстраполяция с помощью численной модели метеорологических полей на 6 часов вперед от предыдущего срока, которая восполняет отсутствие информации в тех районах, где не имеется данных наблюдений;
- постпроцессинг (обратный переход от переменных гидродинамических моделей к переменным объективного анализа, заданным в узлах равномерной широтно-долготной сетки на стандартных изобарических уровнях).

3.2.4. Прогноз и заключительная обработка прогностической продукции

После предвычисления метеорологических полей осуществляется заключительная обработка выходных данных модели. Она включает форматирование результатов объективного анализа и прогноза в виде, удобном для пользователя, например, прогностических значений ветра и температуры для ВСЗП. В крупных центрах ежедневно составляется до нескольких тысяч бюллетеней в сутки. В некоторых случаях эти бюллетени и сообщения передаются из главной компьютерной системы, в которой хранятся анализы и прогнозы в точках регулярной сетки. Однако чаще сообщения кодируются в центральном процессоре и затем поступают на передачу и хранение в компьютер связи. При обмене данными между компьютерами используются различные коды, принятые ВМО GRID, GRIB и др. Процесс преобразования продукции численных моделей из цифровой формы в графическую должен осуществляться в национальных метеорологических центрах. В тех же случаях, когда такие центры не имеют соответствующего оборудования, это должен делать Региональный метеорологический центр и передавать преобразованную продукцию в соответствующий национальный метеорологический центр. В настоящее время в большинстве центров введена также техника визуального отображения, основанная на персональных ЭВМ.

4. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ДЛЯ ПУНКТА, РАЙОНА (ТЕРРИТОРИИ)

Большой прогресс в численном моделировании, в основном, касается прогноза крупномасштабных характеристик атмосферы. Мелкомасштабные образования, протяженностью несколько десятков и даже сотен километров, а также приземные переменные - температура, ветер, видимость, высота и количество облаков, осадки и опасные явления погоды часто не могут быть спрогнозированы крупномасштабными численными моделями. Поэтому прогноз локальной погоды составляется специалистами в оперативных прогностических организациях (ОПО) метеорологических служб с помощью различных методов интерпретации выходной продукции численных моделей и использования дополнительной информации, отражающей развитие мезомасштабных процессов. Точно так же подготовка прогнозов погоды по аэродрому остается обязанностью метеорологических органов на аэродроме.

Современный прогноз мезомасштабной и локальной погоды включает в себя следующие основные этапы:

- формирование информационной базы данных;
- мониторинг метеорологических условий;
- анализ синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы;
- определение характера синоптических процессов на период прогноза;
- определение значений метеорологических величин и явлений погоды;
- подготовку текста прогноза.

4.1. Информационная база данных

Информационная база для подготовки прогноза погоды должна включать в максимально возможной степени следующие данные в районе прогноза:

- численные анализы метеорологических полей;
- численные прогнозы метеорологических полей;
- данные синоптических и аэрологических наблюдений;
- спутниковые данные;
- радиолокационные данные;
- данные от любых автоматизированных систем наблюдений (морских судов, воздушных судов и др.);
- климатологические данные.

Как уже указывалось выше, численные анализы и прогнозы метеорологических полей каждое ОПО получает по линиям связи из соответствующих региональных или мировых метеорологических центров. В распоряжении прогнозиста должны иметься также данные со всех имеющихся средств наблюдений в интересующей его зоне.

Поскольку атмосфера находится в постоянном движении, для определения ее будущего состояния в каком-либо пункте необходимо знать характеристики воздушной массы, которая может переместиться в пункт прогноза. Иначе говоря, для составления прогноза необходимо иметь данные наблюдений за состоянием атмосферы как в пункте прогноза, так и на значительном расстоянии, которое зависит от заблаговременности прогноза и скорости переноса воздушной массы. По мере увеличения заблаговременности прогноза и скорости переноса размер зоны наблюдений за погодой увеличивается.

Основными источниками данных являются метеорологические (синоптические) и аэрологические станции, метеорологические спутники, метеорологические радиолокаторы и различные автоматизированные системы наблюдений. Данные наблюдений можно разделить на количественные и качественные. Количественные данные получают непосредственным образом из инструментальных измерений, а качественные с помощью визуального определения. Примерами количественных данных являются измерения атмосферного давления, температуры воздуха, температуры точки росы и скорости ветра. Примерами качественных данных являются результаты определения наблюдателем состояния неба и наличия явлений погоды. Перечень наблюдений и их сроки на метеорологических станциях зависят от требований потребителей информации и вида прогноза, а в случае автоматизированных систем наблюдений также и от возможностей той или иной системы. Так, например, на авиационных метеорологических станциях, которые зачастую осуществляют и синоптические наблюдения, проводятся еще и специальные наблюдения за дальностью видимости на взлетно-посадочной полосе, высотой облачности и другими величинами.

Требования к плотности сети метеорологических станций зависят от масштаба прогнозируемых явлений и степени детализации прогноза. Для сверхкраткосрочных прогнозов погоды в районе аэродрома требуется самая плотная сеть наблюдений и использование наблюдательных систем с высоким пространственно-временным разрешением. Данные наблюдений могут храниться в информационной базе в виде таблиц или карт погоды. Спутниковые наблюдения могут быть в виде нефонализа, фотографий или в цифровой форме. Объем климатических данных зависит от специфики гидрометеорологического обслуживания. Таким образом, можно считать, что метеорологические наблюдения являются отправной точкой локального прогнозирования и постоянным вкладом в него.

4.2. Мониторинг метеорологических условий

При подготовке прогноза погоды специалист должен чувствовать состояние атмосферы и принимать во внимание фактор непрерывности в пространстве и времени. В связи с этим очень важно, чтобы имелась постоянная возможность определить точную картину метеорологической ситуации над территорией прогноза, для чего должен постоянно осуществляться комплексный мониторинг данных со всех имеющихся источников наблюдений. Мониторинг может осуществляться вручную, с использованием различных диаграмм или с помощью персональных ЭВМ. Особое внимание при мониторинге следует обращать на контроль качества наблюдений и правильность их кодирования в сводках. Проведение мониторинга условий на аэродроме принципиально не отличается от его проведения для синоптических целей. Однако для авиации, и в частности, для оперативной организации воздушного движения по правилам визуального полета, требуется более подробная информация о видимости, высоте нижней границы облаков, ветре, грозе, граде и других явлениях, которые могут значительно различаться и быстро изменяться в пространстве и времени. Оперативный мониторинг таких мелкомасштабных явлений с целью оценки их развития часто называют «прогнозом текущей погоды». Такой прогноз подразумевает наличие в районе аэродрома более плотной сетки наблюдений или специальных наблюдательных систем, не используемых для общих метеорологических целей.

4.3. Анализ синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы

Анализ синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы проводится с целью оценки пространственной и временной изменчивости основных синоптических объектов, метеорологических параметров, метеорологических величин и явлений погоды для определения их значений на срок прогноза.

При проведении анализа синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы синоптик должен использовать результаты численного объ-

ективного анализа метеорологических полей.

Анализ должен включать следующие основные процедуры:

- анализ приземной карты погоды;
- аэрологический анализ;
- анализ спутниковых данных;
- анализ радиолокационных данных;
- анализ данных автоматизированных систем наблюдений;
- анализ климатических данных.

4.3.1. Анализ приземной карты погоды

Анализ приземной карты погоды включает в себя два основных этапа: построение поля давления и проведение атмосферных фронтов. Эти этапы могут осуществляться в любом порядке. После их завершения можно выполнять ряд вспомогательных операций в зависимости от требований к прогнозу.

Построение поля давления осуществляется с помощью проведения изобар через определенные интервалы (обычно через 5 гПа) с последующим выделением синоптических образований (циклонов, антициклонов, гребней, ложбин и др.). Проведение фронтов следует связывать со свойствами воздушных масс. Среди метеорологических величин, имеющих наиболее важное значение при анализе фронтов, можно отметить температуру воздуха, особенно потенциальную температуру, температуру точки росы, облачность и видимость. Полезным является анализ поля относительной топографии слоя 1000/500 гПа, поскольку он выявляет среднюю температуру атмосферы ниже 500 гПа. У поверхности земли фронты ассоциируются с максимальной конвергенцией скорости ветра, а также изменениями температуры воздуха, точки росы, облачности и видимости.

Важное значение при анализе фронтов имеет непрерывность. В связи с этим при проведении анализа необходимо иметь перед собой, по крайней мере, одну, а лучше две или несколько последовательных карт погоды, относящихся к предыдущим синоптическим срокам. При определении факта прохождения фронта через конкретную синоптическую станцию полезно сопоставлять наблюдения через 24 часа, устранив тем самым воздействие суточного хода. Анализ изаллобар, полей влажности, облачности и зон опасных явлений погоды должен соотноситься с общим анализом поля давления и анализом фронтов.

4.3.2. Аэрологический анализ

Аэрологический анализ должен основываться на изучении особенностей объективного анализа полей геопотенциала, ветра, температуры и влажности на картах изобарических поверхностей, для различных уровней атмосферы, и картах относительной топографии, получаемых в процессе работы автоматизированной системы усвоения данных и передаваемых из прогностического центра в ОПО.

Вместе с тем в небольших прогностических центрах данные объективного анализа карт барической топографии могут отсутствовать по тем или иным причинам, и поэтому может возникнуть потребность в проведении ручных анализов данных радиозондирования на картах барической топографии. Ручной анализ может проводиться также для выполнения контроля качества данных, детального анализа небольших барических образований, имеющих размеры меньше шага сетки, объективного анализа и других целей.

Важным видом аэрологического анализа является анализ струйных течений и карт тропопаузы. Еще один путь использования аэрологических данных заключается в нанесении этих данных на аэрологическую диаграмму и вертикальные разрезы. Существуют различные виды аэрологических диаграмм, которые отличаются друг от друга расположением основных и вспомогательных шкал и изолиний различных характеристик состояния атмосферы. Вертикальные разрезы атмосферы дают наглядное представление о пространственном распределении метеорологических характеристик за один срок или несколько последовательных сроков. Они могут быть пространственные и временные (когда на горизонтальной оси вместо расстояния отмечено время). Используется также анализ траекторий воздушных частиц, изэнтропический анализ и другие виды анализа в зависимости от местных потребностей. Индивидуальные метеорологические элементы можно анализировать отдельно (например, может быть проведен анализ годографов ветра или анализ изотах).

4.3.3. Анализ спутниковых данных

Со спутников поступает значительное количество информации и ее анализ является неотъемлемой частью любых методик анализа синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы. Спутниковые данные стали незаменимыми для слежения за перемещением и развитием фронтальных систем, скоплений облаков, зон тумана и других опасных явлений погоды.

Существуют два типа спутников, формирующих космическую подсистему (рис. 4):

1. Полярно-орбитальные спутники, которые совершают оборот вокруг земного шара примерно за два часа. Они проходят над одним и тем же пунктом над поверхностью земного шара лишь два раза в сутки, но обеспечивают охват экваториальных и полярных регионов с одинаковым разрешением. Высота этих спутников составляет, как правило, 800 км.

2. Геостационарные спутники, высота орбиты которых составляет примерно 36000 км, передают каждые 30 минут обновляемые изображения, однако их недостаток заключается в том, что они дают искаженное представление о районах, находящихся к северу и к югу от субтропиков. Эти спутники могут также использоваться как ретранслятор при сборе данных, например, с платформ сбора данных, и передач факсимиле в аналоговой и цифровой формах.

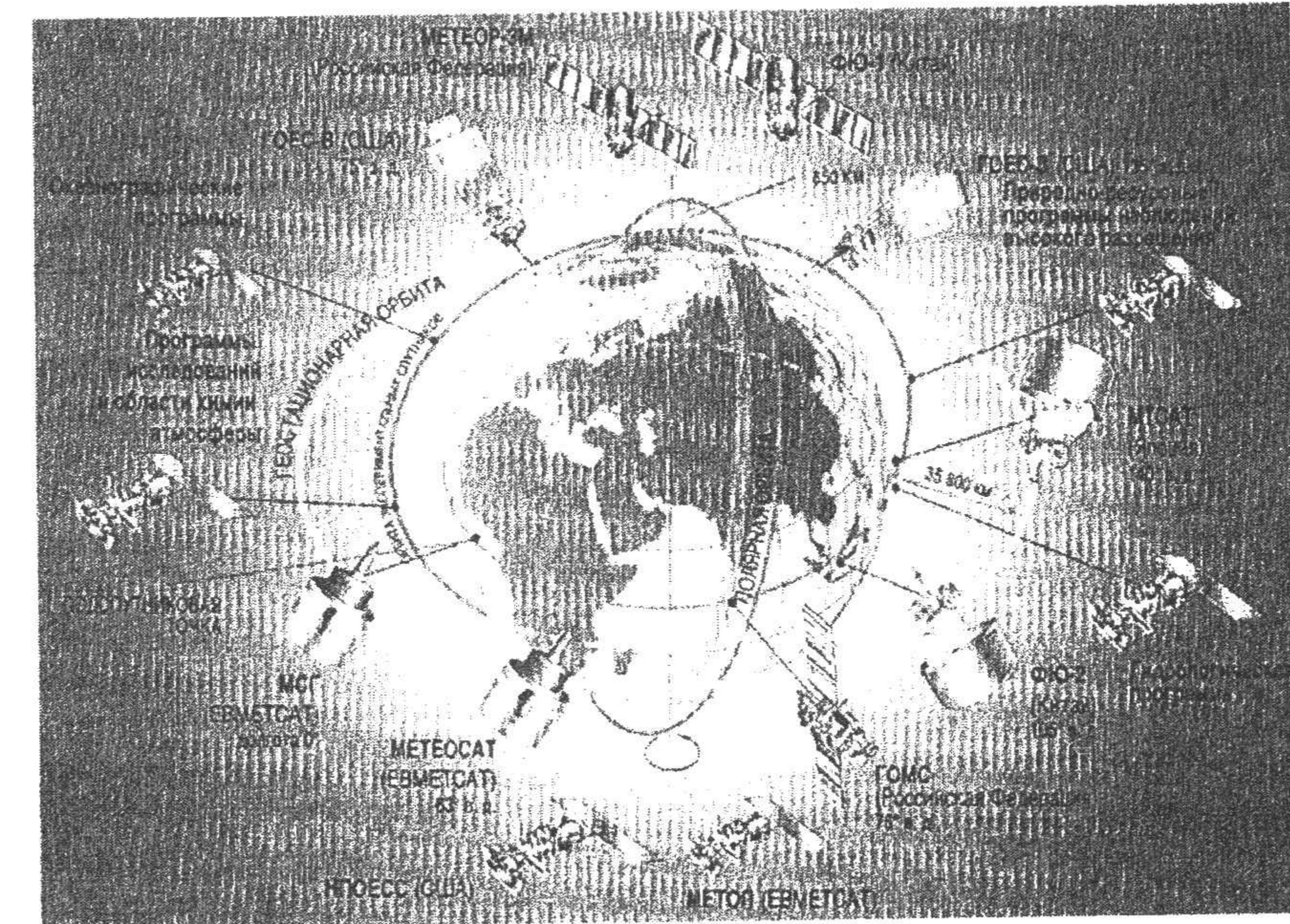


Рис.

Спутники, в основном, обеспечивают получение изображений распределения облачности в видимом (0,4-1,1 мкм) и инфракрасном (ИК) диапазоне (10,5-12,5 мкм). Изображения в видимом диапазоне полезны для получения информации о распределении и типе состоящих из водяных капель облаков, главным образом, на низких уровнях в дневное время. Данные в инфракрасном диапазоне могут интерпретироваться в значения температуры в течение всех 24 часов.

Наиболее яркие изображения дают самые холодные, состоящие из кристаллов льда, облака. Комплексное рассмотрение этих двух типов снимков помогает получить трехмерную концепцию размещения облачности. Данные, полученные в ИК диапазоне, касающиеся температуры верхней границы облаков (ВГО), могут быть сопоставлены с известными или стандартными значениями атмосферной температуры и таким образом могут быть вычислены высоты ВГО.

К числу метеорологических параметров, которые в настоящее время измеряются на оперативной основе, относятся следующие:

- профиль температуры атмосферы и температура на верхней границе облакости (ВГО) и на поверхности моря и суши;
 - профиль влажности;
 - ветер на уровне облаков и на поверхности океана;
 - интенсивность осадков и количество жидкой и общей воды;
 - радиационный баланс и альбедо;
 - тип облаков и высота ВГО;

- общее содержание озона;
- ледяной и снежный покров и их граница.

Наиболее подробно методы анализа мезомасштабных атмосферных процессов и анализ синоптического положения с использованием снимков облачного покрова с ИСЗ приведен в «Руководстве по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды» (Н.Ф. Вельтищев и И.П. Ветлов, Гидрометеоиздат, 1982).

Очень важно при анализе спутниковые и наземные наблюдения рассматривать как взаимодополняющие.

При одновременном анализе снимков облачности и обычных синоптических данных необходимо постоянно иметь в виду как преимущества, так и недостатки каждого вида информации, с тем чтобы максимально использовать преимущества того или иного источника данных.

Несомненным преимуществом наземных метеорологических наблюдений является то, что они дают возможность количественно оценить многие параметры состояния атмосферы. С другой стороны, наземные измерения достаточно часто бывают подвержены влиянию локальных эффектов, связанных с неоднородностью подстилающей поверхности, и в связи с этим становится трудным выделение основных крупномасштабных процессов. Безусловным преимуществом спутниковых наблюдений является непрерывность в пространстве. В отличие от точечных наземных наблюдений по снимку с ИСЗ в течение не короткого промежутка времени удается воссоздать общую картину пространственного распределения облачности и идентифицировать по характерным структурным особенностям облачности довольно большое количество атмосферных возмущений различного масштаба. Некоторым недостатком снимков облачности является качественный, а не количественный характер производимых измерений. Необходимо помнить также, что облачность не является консервативным трассером атмосферных движений и может давать определенную дополнительную информацию лишь в тех местах, где происходит конденсация водяного пара в атмосфере.

4.3.4. Анализ радиолокационных наблюдений

Информация, поступающая с метеорологических радиолокаторов, представляет собой важное и значительное дополнение к наблюдениям, осуществляемым на приземной и аэрологической сетях, а также со спутников, представляя метеорологу возможность взглянуть с помощью электронных средств далеко за видимый горизонт и оценить полученные данные с точки зрения синоптического и локального использования.

Существующие метеорологические радиолокаторы можно подразделить на два общих класса: некогерентные (традиционные) и когерентные (доплеровские) радиолокаторы. Традиционные радиолокаторы измеряют только отражательную способность гидрометеоров, в то время как доплеровские предоставляют дополнительную информацию о радиальной скорости гидрометеоров и о характеристиках турбулентности.

Радиолокационные измерения облачности и осадков основаны на рас-

сеянии электромагнитных волн частицами, находящимися в воздухе. Мощность обратного рассеивания зависит от размера частицы и от вещества, из которого она состоит. Отражательные свойства частиц, из которых состоят облака или осадки, характеризуются отражательной способностью (или коэффициентом отражения), обозначаемой как Z . В случае некогерентных радиолокаторов, это - единственный измеряемый параметр.

Большинство метеорологических радиолокаторов работает в диапазоне длины волны 3-10 см. Преимущество использования длины волны, равной 3 см, заключается, главным образом, в компактности оборудования, поскольку размеры антенны для заданной ширины луча уменьшаются с длиной волны. Большим недостатком этой длины волны является ослабление сигнала частичами воды и льда. Преимущество использования длины волны, равной 10 см, заключается в практическом отсутствии ослабления. Однако в этом случае оборудование является громоздким и очень дорогим и используется, если необходимо достижение высокого пространственного разрешения. Длина волны 5-6 см обеспечивает полезный компромисс между ослаблением и трудностями, связанными с шириной луча. Поскольку особых преимуществ для какой-то конкретной длины волны не имеется, то диапазон 5-10 см используется для большинства радиолокаторов.

Полученные с помощью радиолокатора величины отражательной способности также непосредственно используются для определения различных мезомасштабных систем, связанных с образованием гидрометеоров. Тот факт, что радиолокационный эхо-сигнал является пропорциональным диаметру гидрометеора, используется для определения типа облачности. Грозовые облака, которые содержат умеренное количество больших водных капель, дают более яркое эхо, чем слоистые облака, содержащие большое количество относительно небольших капель. Обычно дождь дает более яркий эхо-сигнал, чем снег, поскольку частицы воды рассеивают примерно в пять раз больше энергии импульса радиолокатора, чем кристаллы снега тех же размеров и очертаний. Яркость сигнала, отраженного от сухого града, также составляет около одной пятой яркости отражения от дождя. Градины и хлопья снега, покрытые водой, отражают сигнал так, как если бы они полностью состояли из воды. Эти характеристики радиолокационного эхо-сигнала вместе с информацией о его геометрии используются при интерпретации измерений с помощью радиолокатора отражательной способности и идентификации метеорологических систем по данным радиолокатора.

Радиолокационные наблюдения проводятся авиационными метеорологическими станциями (АМСГ) в основные синоптические сроки наблюдений и ежечасно, в дополнительные сроки.

В синоптические сроки данные наблюдений передают в узел связи региональных подразделений Росгидромета каждые три часа в виде телеграмм не позднее чем через один час после конкретного синоптического срока наблюдений, используя код для сообщения данных радиолокационных наблюдений (RADOB).

Ежечасные наблюдения проводят в оперативных подразделениях по указанию дежурного синоптика в периоды сложных погодных условий.

Данные ежечасных наблюдений можно передавать при необходимости в другие подразделения по факсимильной связи.

В режиме «шторм» радиолокатор работает постоянно и информацию можно обновлять каждые 10-15 минут по требованию дежурного синоптика.

С конца 70-х годов для расширения зоны охвата данными наблюдений используются системы (сети) радиолокаторов с обработкой данных на компьютерах. Эти системы позволяют пользователям взаимодействовать и создавать составные цветные изображения по данным, поступающим одновременно от нескольких расположенных на расстоянии радиолокаторов, а также объединять радиолокационные данные с информацией других типов, в том числе данных с ИСЗ.

В нашей стране, в частности, для обеспечения данными наблюдений системы сверхкраткосрочного прогноза Московского мегаполиса используются автоматизированные комплексы сбора, обработки и передачи информации (АКСОПРИ), расположенные в Москве, Калуге, Твери и Нижнем Новгороде. Комплексы обеспечивают проведение автоматизированных наблюдений за погодой, по заданной программе, метеорологическую интерпретацию и представление информации об осадках и неблагоприятных явлениях погоды по району 400*400 км с детальностью в пространстве 4x4 км и темпом обновления информации каждые 10 минут (рис. 5).

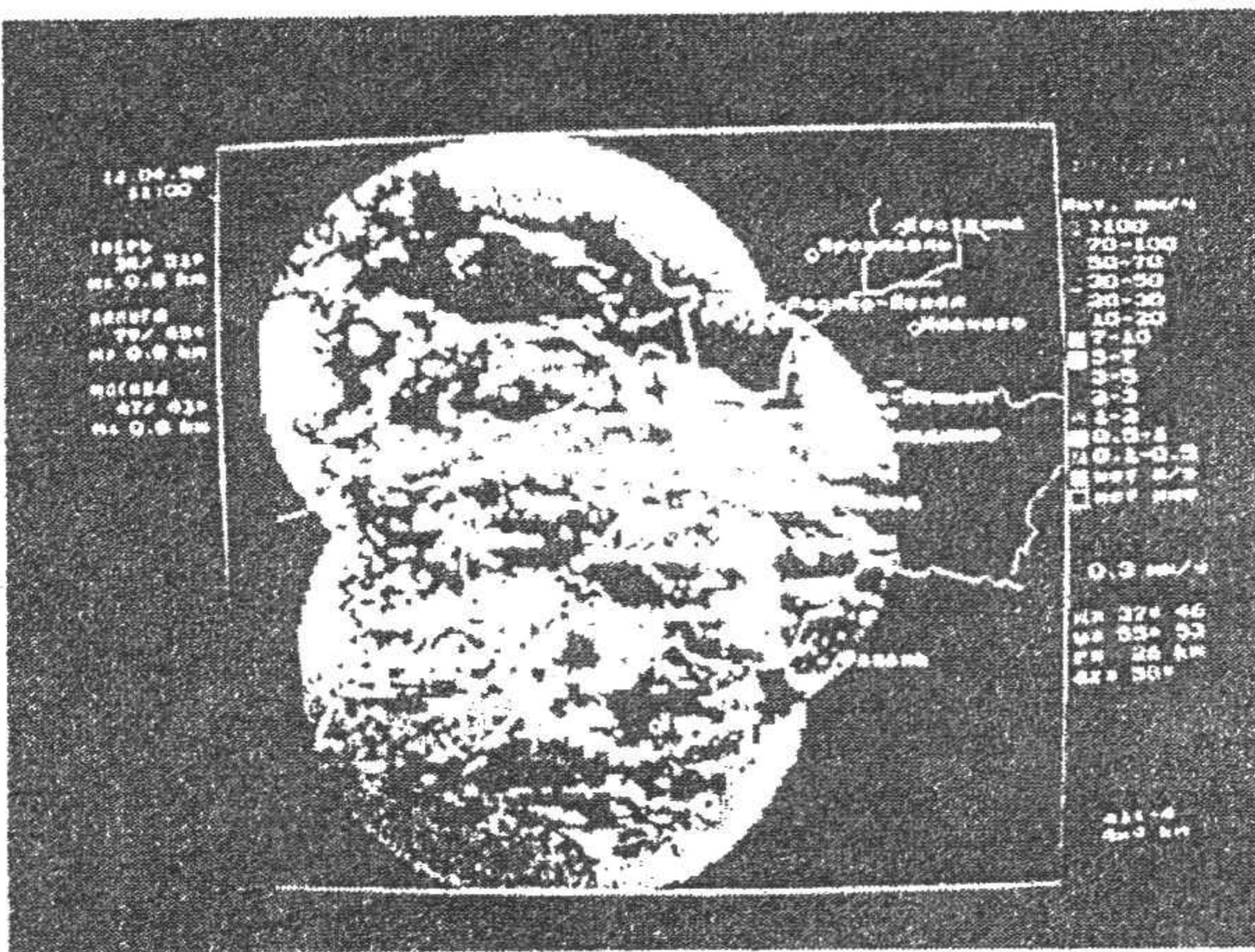


Рис. 5. Общий вид поля осадков, полученного с помощью системы АКСОПРИ в Московской воздушной зоне

Создание комплексов АКСОПРИ впервые в практике работы метеорологов позволило осуществлять непрерывный, уникальный по детальности мониторинг и анализ явлений погоды, связанных с облачностью и осадками в пределах зоны обзора радиолокатора, т.е. слежение в реальном времени за всеми изменениями в облачной атмосфере.

4.3.5. Анализ данных автоматизированных систем наблюдений

В настоящее время кроме традиционных наблюдений, описанных выше, существуют другие источники данных от автоматизированных или экспериментальных систем наблюдений (наблюдений с бортов рейсового самолетов, буев, грозоотметчиков, профилемеров и др.). Эти данные также следует привлекать для анализа состояния атмосферы, хотя они могут быть различными по качеству и должны тщательно проверяться перед их использованием. Данные о ветре, передаваемые с воздушных судов, почти всегда определяются с помощью доплеровских радаров или инерционных навигационных систем и являются очень ценными для анализа ветра, особенно струйных течений. Особый интерес представляют данные специальных наблюдений с борта воздушных судов, касающиеся сильной турбулентности, обледенения, гроз и других опасных явлений погоды.

4.3.6. Анализ климатических данных

Анализ климатических данных позволяет определить вероятность развития явления, степень отклонения метеорологической величины от нормы, экстремальные пределы, выход за которые маловероятен, а также степень влияния местных условий на формирование мезомасштабных явлений погоды.

Для целей прогнозирования представляют интерес данные, выраженные в процентах, о частоте случаев в различное время суток таких параметров, как осадки, грозы, туманы, видимость, скорость и направление ветра, нижняя граница облачности и др. Знание климатологических характеристик помогает поддерживать прогнозируемый параметр в наиболее вероятных пределах и обеспечивает определение наиболее вероятного времени возникновения того или иного явления. Климатическая информация может служить также для контроля данных наблюдений. Авиационная климатическая информация используется также для планирования полетов.

4.4. Определение характера синоптических процессов на период прогноза

На основании анализа численных прогнозов полей метеорологических величин, синоптической ситуации и вертикальной структуры атмосферы прогнозист должен определять будущие изменения состояния атмосферы. При этом правильность оценки эволюции погодных систем зависит также от его теоретических знаний, мастерства и опыта. Значительно повышает степень объективизации этого процесса построение прогностической карты погоды. Взяв за основу поле давления, предвычисленное с помощью численных моделей, и опираясь на известные теоретические и эмпирические зависимости, на карте можно провести атмосферные фронты и выделить зоны опасных и неблагоприятных явлений погоды и оценить вероятность возникновения этих явлений в пункте прогноза.

При отсутствии численного прогноза поля давления прогностическую

карту погоды можно построить вручную, используя методику, изложенную в Руководстве по краткосрочным прогнозам погоды, часть I. Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

4.5. Определение значений метеорологических величин и явлений погоды

Заключительный этап подготовки локального прогноза состоит в определении значений метеорологических величин (температура воздуха, давление, влажность, ветер) для заданного пункта, района или территории и возможности развития явлений погоды, особенно явлений, представляющих опасность для населения или различных отраслей экономики.

Этот этап является в настоящее время самым трудным и наиболее ответственным. Трудность его обуславливается сложностью и многообразием причин, влияющих на процесс образования того или иного явления и его интенсивность.

Конкретные значения метеорологических величин и явления погоды можно определить на основе использования следующих прогностических технологий:

- синоптической интерпретации характера развития атмосферных процессов;
- статистической интерпретации выходных данных численных моделей;
- физико-статистических (объективных) методов прогноза;
- гидродинамического прогноза погоды.

Как правило, производится комплексная оценка результатов каждой из технологий, позволяющая свести к минимуму ошибку в прогнозе, однако каждый подход имеет свои преимущества и недостатки, так же как и свои технологические особенности и требует специального рассмотрения.

4.5.1. Синоптическая интерпретация

Под синоптической интерпретацией обычно понимают определение прогнозистом погоды на основе комплексного анализа, имеющегося в его распоряжении прогностического материала, анализа данных наблюдений и учета процессов, обуславливающих местные изменения погоды. Естественно, что точность прогнозирования при синоптической интерпретации зависит как от объективных (полнота и качество имеющегося в распоряжении синоптика материала), так и от субъективных факторов. В связи с этим следует поощрять изучение прогнозистами региональных и локальных воздействий на погоду. В первую очередь к таким воздействиям можно отнести следующие:

- влияние орографии на изменение ветра, облаков и осадков;
- суточные изменения ветра и температуры воздуха;
- развитие бризовой циркуляции и горно-долинных ветров;
- изменение интенсивности турбулентности и вертикального градиента температуры в зависимости от времени суток;

- усиление ветра над морем по сравнению с ветром над сушей при одном и том же барическом градиенте;
- уменьшение температуры воздуха и высоты нижней границы облачности по мере увеличения высоты над уровнем моря;
- тенденция развития гроз над определенными районами;
- увеличение повторяемости тумана в долинах рек и гор;
- влияние состояния почвы на развитие туманов и др.

Для правильного учета местных изменений погоды желательно устанавливать воздействия на погоду.

4.5.2. Статистическая интерпретация

Статистическая интерпретация основывается на определении статистических зависимостей между метеорологической величиной и метеорологическими параметрами, которые можно уверенно спрогнозировать с помощью численных моделей. При этом различают метод совершенного прогноза (СП), в котором для определения прогностического уравнения используются фактические наблюдения, и предикторы берутся по фактическим полям на выбранный срок прогноза, и метод выходных данных моделей (МОС), когда предикторы берутся из прогностических полей определенной численной модели. При использовании метода МОС исправляются систематические ошибки модели, однако при внесении крупных изменений в модель возникает необходимость обновления архива данных.

Статистическая обработка начинается с формирования комплекта данных наблюдений. Количественные связи между предикторами и элементами погоды сначала определяются на климатических данных, которые часто называют «зависимой» выборкой. Затем полученные уравнения проверяют на другом комплекте данных, называемом «независимой» выборкой. Эта процедура необходима, поскольку статистические методы всегда имеют лучшую оценку, если проверяются на комплекте данных, по которому они разработаны. Проверка на независимых данных дает более объективную оценку, соответствующую оперативному использованию метода. При этом очень важную роль играет величина выборки, поскольку использование небольшой выборки дает неустойчивый результат. Для метеорологических целей желательно, чтобы в каждой выборке было более 250 случаев. Использование климатических данных является как преимуществом, так и недостатком статистических методов. Преимущество заключается в использовании длинных рядов и устранении неточности модельных данных. Недостаток состоит в том, что полученные уравнения относятся к конкретному месту, в котором проводились наблюдения, поэтому их сложно применять для явлений, охватывающих большие пространства.

В целом, при разработке статистического метода интерпретации необходимо выполнить следующие процедуры:

- выбрать элемент погоды, для которого разрабатывается метод;

- определить вид полей предикторов (фактические или прогностические), метод статистического анализа и подготовить выборку данных;
- определить статистические зависимости;
- протестировать полученные уравнения на зависимых и независимых данных и на анализе отдельных случаев;
- подготовить метод к оперативному использованию.

Выбор метода статистического анализа во многом определяется прогнозируемой метеорологической величиной. Наиболее распространен регрессионный анализ, который можно использовать для большинства метеорологических величин. Для прогноза явлений погоды более удобен дискриминантный анализ. Метод многовариантной линейной регрессии дает хорошие результаты при прогнозировании непрерывных метеорологических величин.

Методы статистической интерпретации выходных данных численных моделей широко используются для прогноза различных метеорологических величин, в том числе и в интересах авиации. В Гидрометцентре России на основе таких методов осуществляется прогноз температуры воздуха и вероятности осадков для различных пунктов, а также прогноз зон активной конвекции для построения карт опасных для авиации явлений погоды.

Дальнейшее развитие методов статистической интерпретации в интересах авиации связано с внедрением в оперативную работу мезомасштабных численных моделей прогноза полей метеорологических величин.

4.5.3. Физико-статистические (объективные) методы прогноза

В распоряжении прогнозиста имеется целый набор объективных расчетных методов прогноза элементов и явлений погоды, позволяющих провести расчеты либо самому, либо на ПЭВМ. Эти методы, наряду с закономерностями развития атмосферных процессов, учитывают региональные и даже локальные особенности. На основе расчетных методов осуществляется в настоящее время прогнозирование большей части явлений погоды с заблаговременностью 24 - 36 часов. Физические основы и порядок составления прогноза по каждому из них изложены в различных ведомственных публикациях, в частности, в Руководстве по краткосрочным прогнозам погоды, включая его региональные части в Руководстве по прогнозированию метеорологических условий для авиации (Л.: Гидрометеоиздат, 1985).

4.5.4. Гидродинамический прогноз

Гидродинамический прогноз локальной погоды требует применения мезомасштабных моделей атмосферы (моделей по ограниченной территории). Физическая основа таких моделей подобна глобальным и региональным моделям, однако они имеют более высокие пространственные и временные разрешения и более детальные схемы параметризации. Важная роль при этом принадлежит качеству и детализации первоначальных данных наблюдений, а также качеству граничных данных, которые обычно берутся на основании расчетов, полученных по моделям более крупного масштаба. В настоящее время в оперативной практике ряда стран используются модели с шагом сетки от 10 до 50 км.

Гидродинамический прогноз локальной погоды в более крупном масштабе также возможен либо на основе интерполяции глобальных (региональных) прогностических полей метеорологических величин, либо при использовании таких полей в сочетании с расчетами, на основе модели атмосферного пограничного слоя.

4.6. Использование автоматизированных рабочих мест прогнозиста

Автоматизация прогноза погоды часто воспринимается как средство замены человека в деятельности оперативной прогностической организации. Однако опыт показывает, что машина и человек вместе могут достигнуть гораздо лучших результатов, чем каждый в отдельности. Роль человека в современных технологиях прогнозирования зависит от типа прогностического центра и объема выпускаемой им прогностической продукции. В крупном метеорологическом центре, каким, например, является Гидрометцентр России, выполняется весь технологический цикл оперативной подготовки прогнозов, начиная от численного прогноза на суперЭВМ и заканчивая подготовкой специализированных прогнозов с использованием автоматизированного рабочего места синоптика (рис. 6). В небольших ОПО, в которых основная часть информации приходит из более крупных метеорологических центров, основная задача сводится к мониторингу погоды, обработке и анализу данных и интерпретации имеющейся прогностической продукции, т.е. составлению прогнозов. При этом очень важно иметь автоматизированный доступ прогнозиста к информационной базе данных для более широкого его использования при составлении прогноза погоды.

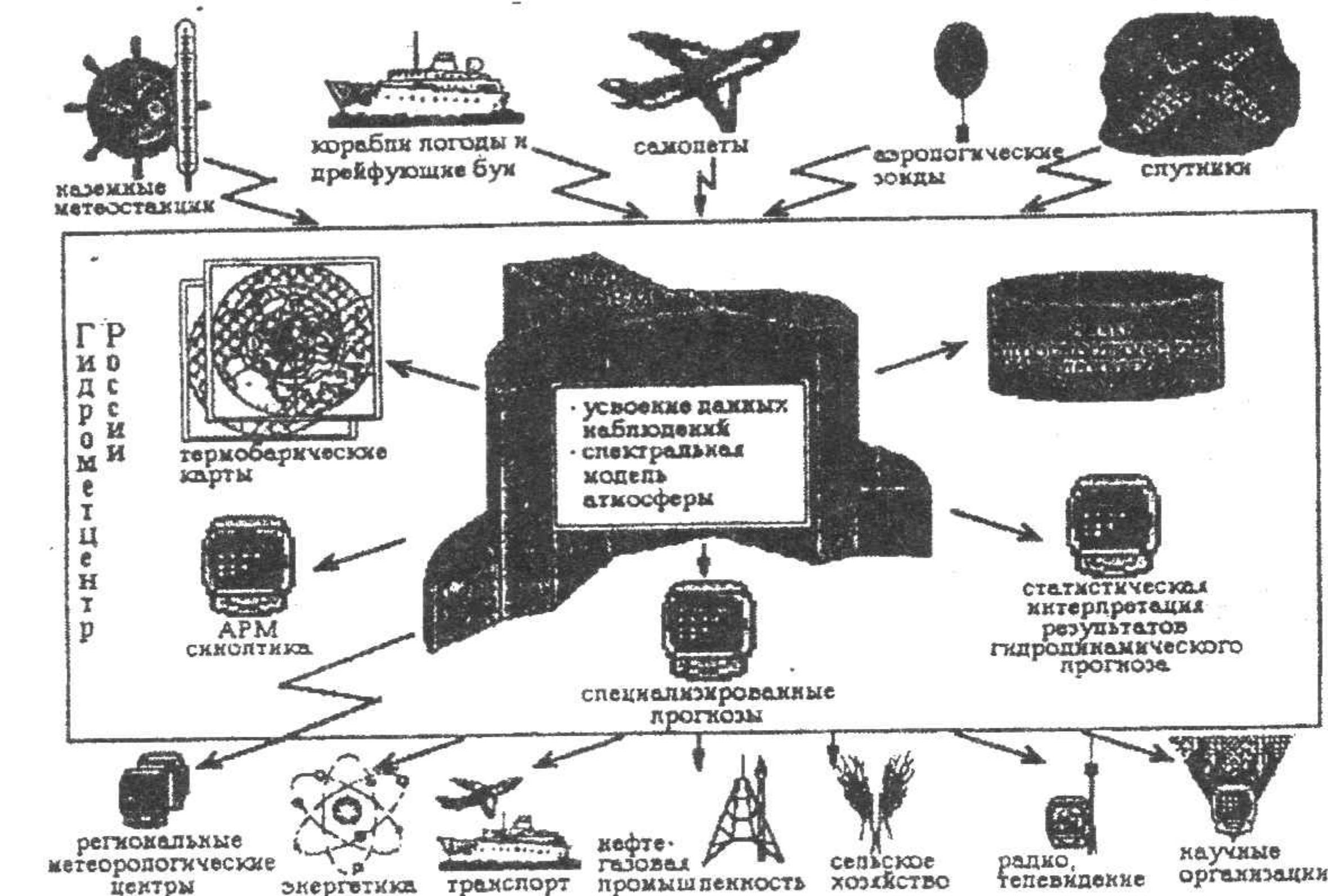


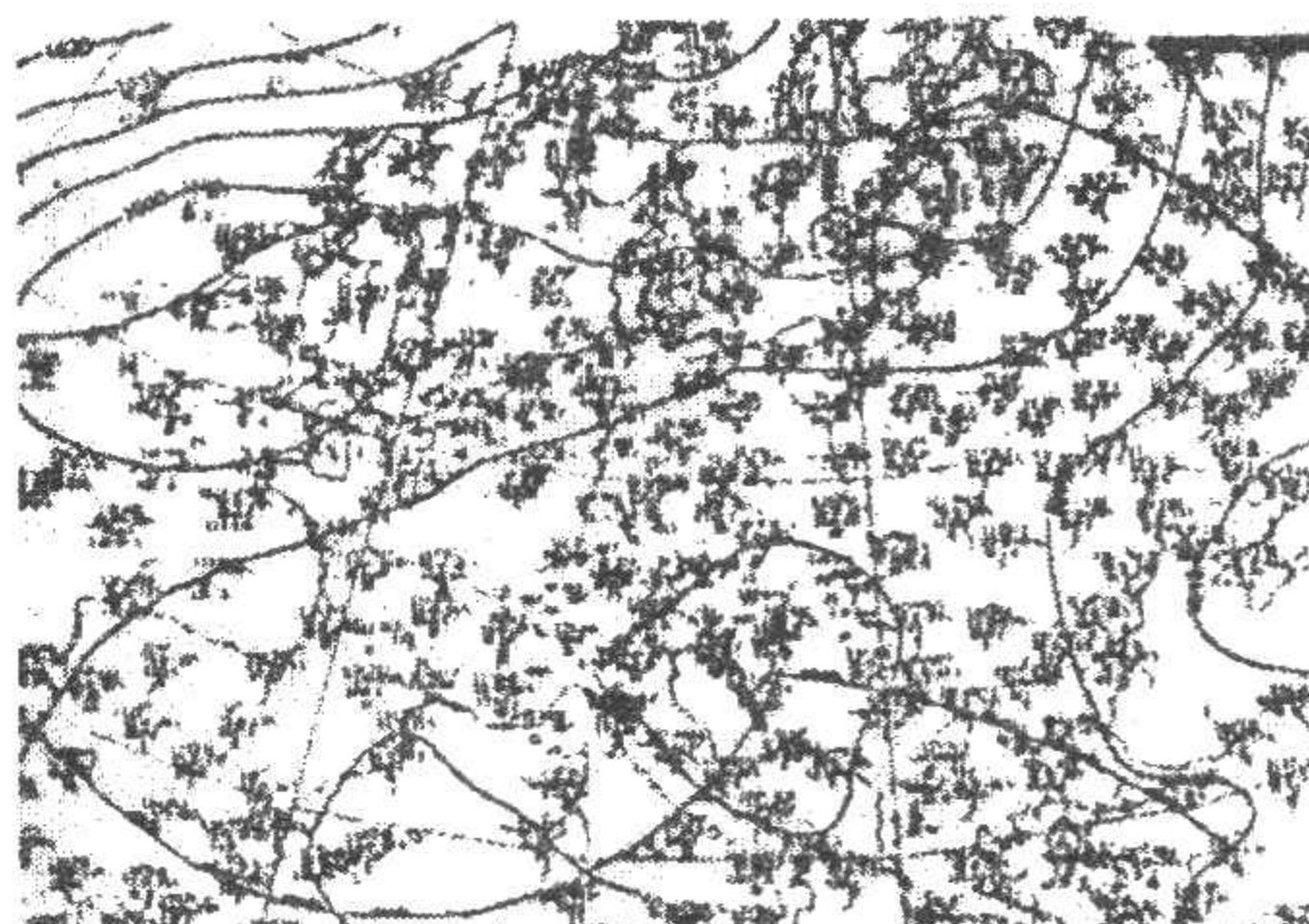
Рис. 6. Схема оперативной автоматизированной системы прогнозов погоды в Гидрометцентре России

Использование вычислительных возможностей персональных ЭВМ и доступ к информационной продукции, и в частности, выходным данным моделей, способствует:

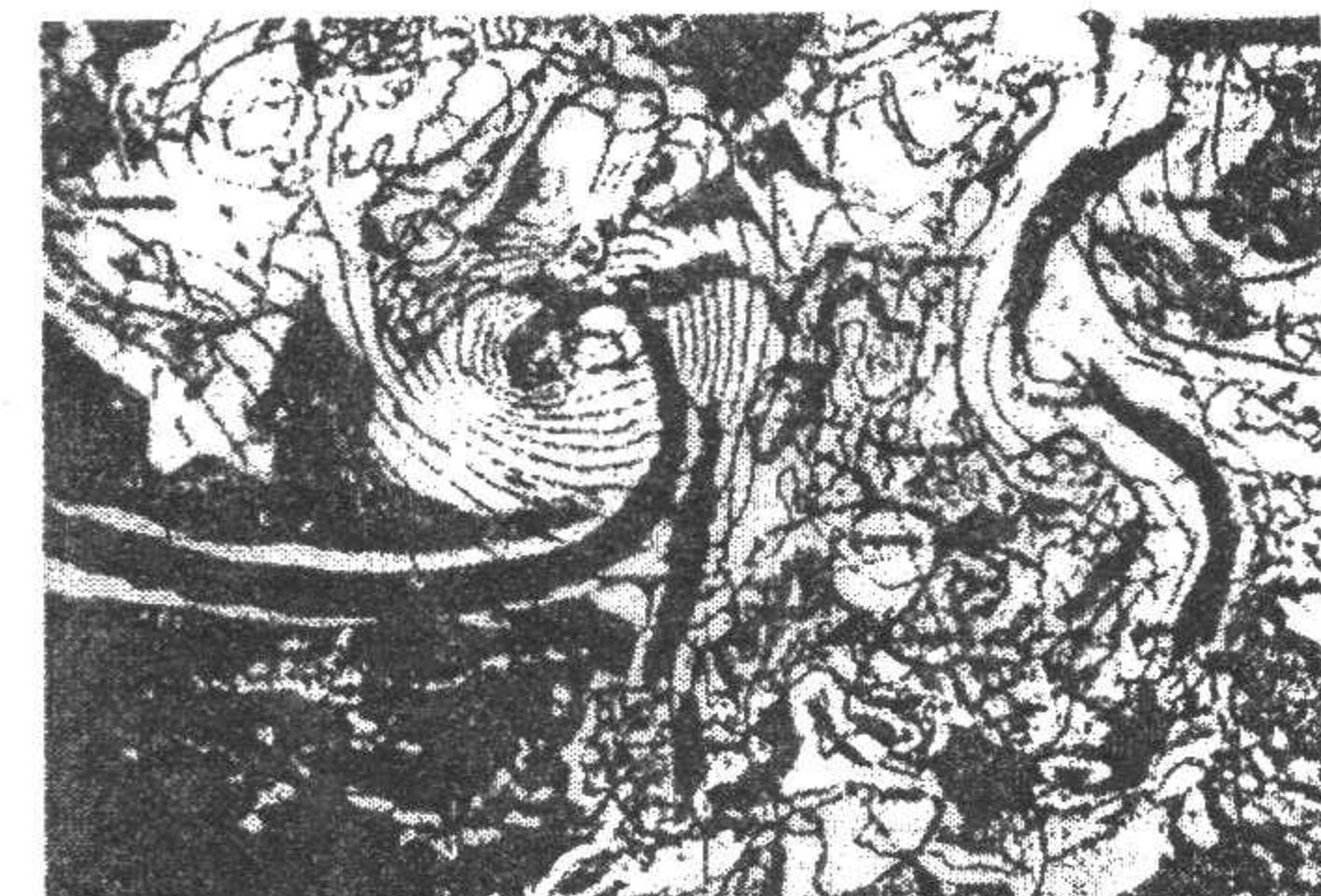
- более правильному диагнозу физических процессов, определяющих развитие метеорологических явлений;
- пониманию сильных и слабых сторон численных прогнозов;
- концентрации внимания на более важных процессах;
- комплексному использованию данных наблюдений и численной продукции.

Для эффективного использования информации прогнозист должен иметь возможность свободно оперировать ею, визуализировать ее на дисплее в виде, удобном для решения локальных прогностических задач. В связи с этим в метеорологических службах ряда стран разработаны соответствующие программные средства для персональных ЭВМ, которые позволяют кроме комплексного анализа данных рассчитывать различные параметры динамики и эволюции атмосферных процессов и явлений. Такие программные средства позволяют построить вертикальные и временные разрезы любого параметра, что может помочь при прогнозе сложных ситуаций. Системы интерактивной метеорологической визуализации позволяют прогнозисту выполнить также более сложные математические расчеты, такие как вычисление advection температуры, вихря, потока влаги, дивергенции скорости, а также различные индексы и диагностические параметры, необходимые для прогноза погоды.

В оперативных прогностических организациях Росгидромета для составления прогнозов погоды получила широкое распространение геоинформационная система «Метео» - программный комплекс, выполняющий прием, обработку и отображение метеорологической информации (рис. 7). В составе ГИС «Метео» имеется географическая основа - вид всего земного шара с высоким и средним разрешением. Это позволяет создавать банки карт любого масштаба. Базы могут формироваться непосредственно в прогностической организации на персональной ЭВМ, выполняющей функцию приема данных и прогнозов в кодах BMO (GRID или GRIB), либо копироваться из ближайшего центра, оснащенного теми же программными средствами. Наиболее полной по составу информации является база Главного вычислительного центра Росгидромета. В последние годы стало возможным привлечение данных из сети Интернет.



Карты особых явлений, изготавливаемые автоматически и в интерактивном режиме



Температурно-ветровые карты, отклонение температуры от стандартной атмосферы

Рис. 7. Образцы продукции, предоставляемой ГИС «Метео»

Метеорологические карты формируются как в интерактивном, так и в автоматическом режимах и представляют собой многослойные объекты. 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 слоев. Все слои по их функциональному назначению делятся на три группы:

1. Компоненты для отображения на выбранном бланке карты информационных слоев 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 или GRIB, и снимков с ИСЗ.

2. Компоненты для выполнения обработки карт в интерактивном режиме и записи результатов такой обработки в базе (рисование линий фронтов, текстовых надписей, нанесение специальной символики и т.д.). Фронтальный анализ, выполненный синоптиками на электронной карте за текущий срок с помощью инструмента, 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 компьютере, подключенном к базе.

3. Компоненты вычислительного уровня, позволяющие получать слои результатов прогноза метеорологических величин, фронтальных и облачных систем, траекторий частиц или объектов и т.д. Эти компоненты имеют встроенные алгоритмы расчета различных метеорологических величин и явлений погоды.

Результаты этих расчетов служат ориентировочной информацией для подготовки прогнозов синоптикам. При дальнейшем развитии технологии ГИС «Метео» предполагается усовершенствование и обновление алгоритмов на основе новых методик прогнозов характеристик явлений погоды.

Одним из основных направлений развития ГИС «Метео» является создание удобного графического интерфейса, позволяющего отображать на бланке карты поля как ежедневных, так и накопленных за определенный период ошибок прогнозических полей, поступающих в кодах GRID и GRIB, от любых доступных гидродинамических моделей.

4.7. Сверхкраткосрочные прогнозы и предупреждения об опасных явлениях

Успехи в численном прогнозировании крупномасштабных синоптических систем иногда создают впечатление, что прогнозы на 3-5 суток оправдываются лучше, чем прогнозы на 12-24 часа. Это впечатление связано с более высокой степенью детализации погоды, ожидаемой при прогнозе на короткий период. Однако большинство опасных явлений погоды таких, как сильные снегопады, шквалы, ливни, часто возникают почти мгновенно, существуют в течение часов или даже минут, и их прогноз более труден, поскольку требует учета более детальных проявлений атмосферных процессов и мезомасштабного моделирования. Вместе с тем важность сверхкраткосрочных прогнозов очень велика, поскольку предупреждение о возникновении опасного явления, переданное даже за 1-2 часа до его начала, позволяет принять необходимые меры по сохранению жизни людей и предотвращению материального ущерба.

Качественная оценка эффективности использования различных технологий прогнозирования, в зависимости от заблаговременности прогноза, приведена на рис. 8.

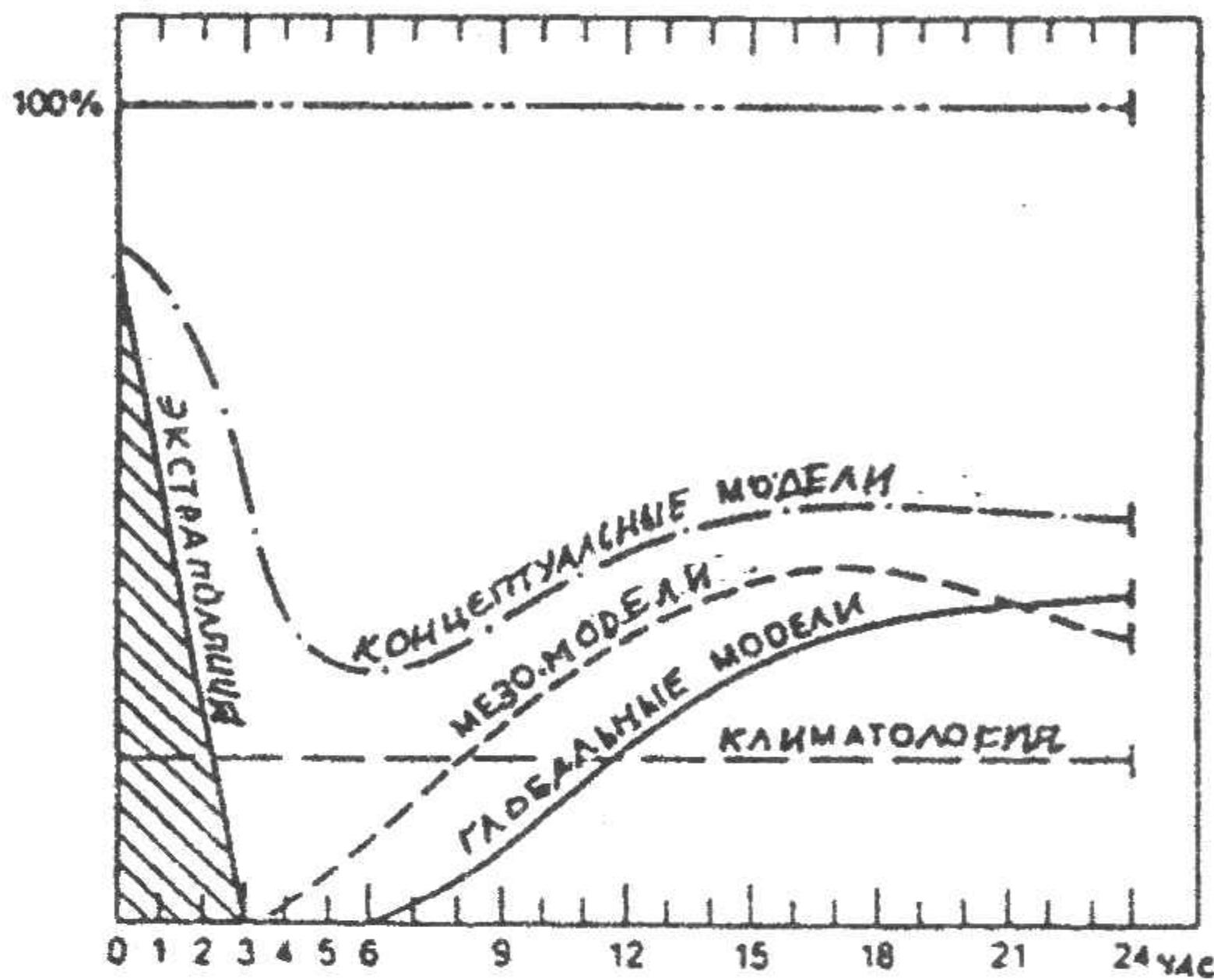


Рис. 8. Эффективность различных технологий при сверхкраткосрочном прогнозировании (Досуэлл, 1986)

На рисунке видно, что прогнозы, основанные на крупномасштабном моделировании, обычно не содержащие детального описания погоды, имеют наибольшую эффективность при их заблаговременности в сутки и более. Прогнозы, основанные на использовании мезомасштабных моделей, имеют мак-

симальную эффективность при прогнозе на период 15-18 часов. При прогнозе на период до 3 часов наиболее эффективна линейная экстраполяция и особенно применение так называемых концептуальных моделей, основанных на знании прогнозистом физических условий образования, структуры и жизненного цикла прогнозируемого явления.

Наиболее простым методом сверхкраткосрочного прогноза является метод объективной экстраполяции. Ярким примером этого подхода может служить сверхкраткосрочный прогноз поля осадков, определяемых с помощью радиолокационных комплексов или даже одного радара.

При частоте наблюдений от 10 до 30 минут имеется возможность определить перемещение зон осадков и изменение их интенсивности. При наличии доплеровского радара можно получить информацию о распределении ветра. Экстраполируя траекторию движения и интенсивность осадков, прогнозист может определить время начала и конца осадков в пункте прогноза. По данным радиолокатора можно таким образом спрогнозировать грозы, ливни и линии шквалов. Естественно, что для каждого явления можно определить и период возможной экстраполяции, который может составлять от нескольких минут до 1-2 часов и более.

Использование концептуальных моделей, т.е. знание механизма образования, структуры и жизненного цикла прогнозируемого явления, позволяет на основании анализа дополнительной информации, например, спутниковых данных, значительно расширить диапазон экстраполяции и уточнить расчеты. При сверхкраткосрочном прогнозе полезно также обобщать и использовать различные прогнозистические признаки, получившие также название в зарубежной литературе «правила пальца». К сожалению, эти правила не всегда должным образом объективизированы и систематизированы. В качестве примера приведем правила, рекомендуемые при прогнозе интенсивной грозовой деятельности.

1. Тщательно проанализируй результаты утреннего радиозондирования в районе прогнозирования, чтобы определить степень устойчивости атмосферы и период времени, необходимый для разрушения приподнятой инверсии.

2. Следи за эволюцией морских бризов и влиянием городских застроек на нагрев подстилающей поверхности, которые могут повлиять на усиление или ослабление приподнятой инверсии.

3. Следи за признаками увеличения влажности в приземном слое атмосферы.

Отмечай время формирования и распределения первых конвективных облаков, свидетельствующих о наличии мезомасштабных воздействий.

4. Помни о возможном развитии восходящих движений, связанных с фронтами и струйными течениями.

5. Постоянно наблюдай за признаками образования струйного течения в приземном слое.

Для прогноза комплекса явлений используется целая система последовательных действий (дерево решений).

Поскольку местные условия играют важную роль в формировании мезомасштабных явлений и их локализации, значительную помощь при прогнозе синоптику могут оказать мезоклиматические данные. Известно, что зоны конвективных осадков чаще всего бывают в определенных местах рельефа и даже траектория движения смерчей зависит от орографических и других особенностей. Определенные виды облачности часто предшествуют развитию ряда явлений погоды, и появление их может служить надежным признаком осуществления этих явлений.

Для прогноза некоторых явлений используются одномерные модели пограничного слоя. В этом случае в качестве исходных данных можно использовать данные радиозондирования.

Быстрое развитие мезомасштабных численных моделей дает возможность использовать их выходные параметры для прогноза на срок до 12 часов.

Таким образом, в распоряжении синоптика имеются различные виды наблюдений и методик сверхкраткосрочных прогнозов. Проблема состоит в их комплексном использовании для воссоздания реальной картины развития того или иного мезопроцесса, обуславливающего погоду в месте прогноза. Правильное решение этой проблемы в значительной степени зависит от профессионального мастерства и опыта прогнозиста. Традиционные профессиональные навыки метеорологов можно подразделить на две категории: навыки в области метеорологии и навыки в области представления продукции. К первым относятся научные знания и понимание всех аспектов физики атмосферы. Ко вторым – личные качества и способность к общению. В настоящее время к этим двум видам навыков добавился третий – способность понимать основы и интерпретировать численную прогностическую продукцию. Очень важно также, особенно для прогнозистов, обслуживающих авиацию, осуществлять мониторинг развития процессов не только у поверхности земли, но и на высотах. Хотя прогнозирование погоды основывается на научном понимании атмосферы, оно не должно сводиться к академизму.

Важно, чтобы синоптик умел выпускать оперативные прогнозы с учетом имеющихся в его распоряжении данных в условиях ограниченного времени. В том, что касается представления прогнозов, мастерство заключается в способности отделить важные положения от незначительных подробностей. При возникновении необходимости внесения корректировок в прогноз или предупреждение, необходимо действовать решительно и быть готовым отказаться от прежнего мнения, которое оказалось ошибочным.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ

Развитие вычислительных технологий создает возможность дальнейшего совершенствования численных моделей, в частности, более полной параметризации физических процессов и более высокой их разрешающей способности. Однако для этого, прежде всего, необходимы более полные и более де-

тальные данные наблюдений. Уже сейчас для реализации глобальных моделей требуются трехмерные поля температуры, влажности и ветра с разрешением от 50 до 100 км по горизонтали и 1 км по вертикали до высоты 30 км и с временным интервалом от 12 до 3 часов. Существует также большая потребность в данных о снежном покрове, его высоте и плотности, температуре почвы и водной поверхности, влажности почвы и других параметрах. Такое количество данных невозможно получить, основываясь на имеющейся сети наблюдений. В связи с этим в будущем найдут широкое применение автоматизированные системы наблюдений с использованием рейсовых самолетов, спутников и даже автомобилей, осуществляющих международные перевозки.

Большие перспективы имеет использование измерителей профиля ветра (профи-лемеров) как для локальных прогнозов, так и для численных моделей. Профилемеры позволяют автоматически измерять распределение ветра до высоты 3 км каждые 30 или 60 минут. Использование профилемеров в комбинации с акустическими радиолокаторами (садарами) позволяет рассчитывать профили температуры воздуха. В последнее время некоторые страны для измерения ветра и температуры на высотах применяют аэрозонд - автоматический управляемый минисамолет, который позволяет получать данные над неосвещенными районами. Совершенствуются средства автоматического измерения параметров атмосферы с воздушных шаров и коммерческих самолетов. Постоянно улучшается качество данных, получаемых с искусственных спутников Земли. Многие численные модели уже сейчас оперативно усваивают данные спутниковых наблюдений. Сохранится тенденция увеличения разрешающей способности глобальных моделей и улучшения системы усвоения данных. Новые системы позволят усваивать непосредственно измерения от различных источников, не переводя их в метеорологические величины. По-степенно глобальные модели по своим характеристикам будут приближаться к региональным и мезомасштабным моделям и необходимость иметь различные виды моделей отпадет.

Есть основания полагать, что в будущем получит развитие моделирование процессов для одного пункта, так называемые точечные модели. Такие модели будут сопряжены с мезомасштабными или региональными моделями и будут более детально воспроизводить взаимодействие подстилающей поверхности с атмосферой в конкретном пункте прогноза.

Большую помощь синоптику могут оказать вероятностные прогнозы. Наиболее обещающим в этом смысле является ансамблевое прогнозирование. При ансамблевом прогнозировании либо проводятся расчеты по разным моделям для одних и тех же начальных условий, либо ряд расчетов по одной и той же модели при различных начальных условиях, отражающих степень достоверности используемой системы наблюдений. Если результаты расчетов получаются близкими, вероятность осуществления прогнозирования метеорологической величины или явлений погоды возрастает. Если результаты расходятся, то вероятность уменьшается. В настоящее время ансамблевое прогно-

зирование дает хорошие результаты при использовании глобальных моделей на средние сроки. При краткосрочном прогнозировании пока значительного эффекта получить не удается.

Увеличение мощности и быстродействия ЭВМ, а также совершенствование системы приема и передачи данных позволит периферийным прогностическим организациям иметь максимально возможный доступ к выходной продукции крупных метеорологических центров для составления прогнозов погоды. Кроме прогностических полей метеорологических величин, эти центры будут передавать в ОПО специализированную продукцию, которая окажет значительную помощь синоптику при составлении прогноза погоды по аэророму.

Подписано в печать 07.08.07.

Форм. 60 x 84 1/16. Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая.
Печ.л. 2,25. Тираж 150. Заказ 260.

Лаборатория оперативной полиграфии КГУ
420045, Казань, Кр.Позиция, 2а
Тел. 231-52-12