

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. И. САВИЧЕВ

СИНОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Учебное пособие

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. И. КАЛИНИНА

ЛЕНИНГРАД
1982

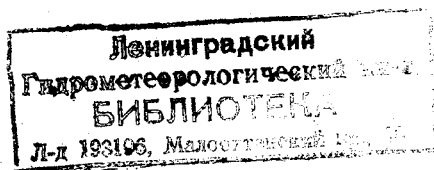
*Одобрено Ученым советом
Ленинградского гидрометеорологического института*

В учебном пособии рассматриваются основные принципы синоптического метода разработки и составления оперативных краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды.

Пособие предназначено для студентов-гидрологов гидрометеорологических институтов и географических факультетов университетов.

Рецензенты: Кафедра метеорологии и климатологии ЛГУ им. А. А. Жданова;
В. Н. Сердюк, кандидат географических наук.

Отв. редактор проф. *В. И. Воробьев*



РАЗДЕЛ I. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

Глава I. ПРОГНОЗ СИНОПТИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Классификация прогнозов

Прогнозом погоды называется ожидаемое состояние погоды, сформулированное словесно или представленное графически. Разработка прогноза производится на основе анализа условий погоды в настоящем и прошлом и представлении о закономерностях изменений погоды в соответствии с избранным методом. Используемые при этом материалы наблюдений называются исходными данными. Промежуток времени от момента окончания разработки прогноза до момента прогностического периода, т. е. периода для которого в прогнозе указана ожидаемая погода, называется заблаговременностью прогноза. При этом различают краткосрочные (с заблаговременностью до 36 ч) и долгосрочные (с заблаговременностью более 36 ч) прогнозы погоды (ДПП), причем прогнозы на несколько суток (от 3 до 10) в нашей стране называются долгосрочными прогнозами малой заблаговременности или прогнозами на средние сроки, а прогнозы на месяц и сезон — долгосрочными прогнозами большой заблаговременности.

Содержание прогноза и его терминология зависят от заблаговременности и длительности периода, на который дается прогноз. Чем на больший срок дается прогноз погоды, тем менее детальным становится его содержание.

При краткосрочном прогнозе обычно достаточно учесть особенности перемещения и эволюцию уже существующих барических систем и атмосферных процессов. Роль вновь возникающих невелика и становится значительной лишь в отдельных случаях. При прогнозе на срок более двух суток вклад в режим погоды вновь возникающих барических образований становится существенным. Однако влияние начальных условий несомненно и прослеживается в течение нескольких суток. При прогнозе на месяц и большие сроки использование схем, экстраполирующих особенности макросиноптического положения исходного состояния, оказывается малоэффективным. Крупномасштабные особенности атмосферной циркуляции и погоды от месяца к месяцу и от сезона к сезону чаще меняются, чем сохраняются.

Синоптические методы ДПП обладают определенными специфическими особенностями. Объектом исследования в них являются крупномасштабные процессы, представленные в виде последовательности макросиноптических ситуаций. Под ситуацией могут пониматься не только характеристики погоды и атмосферной циркуляции, фиксируемые в определенный момент времени, но и обобщенные данные за некоторый отрезок времени, календарный или диагностируемый по заданной системе признаков. В рамках применения синоптического метода прогноз крупномасштабных особенностей атмосферной циркуляции предшествует или дается одновременно с прогнозом элементов погоды.

В нашей стране сложились и получили развитие две научные школы ДПП: Б. П. Мультановского — С. Т. Пагавы и Г. Я. Вангенгейма — А. А. Гирса. На основе методов школы Мультановского — Пагавы прогнозы составляются по территории нашей страны и акватории морей, а также по северным районам Атлантического и Тихого океанов. Маркоциркуляционный метод Вангенгейма—Гирса используется при составлении прогнозов по арктическим морям.

Прогнозы могут составляться по пункту (городу, аэродрому и т. п.), по району (географическому или административному), по маршруту (авиатрассе, железной дороге и т. п.). Прогнозы для больших территорий с невысокой степенью пространственно-временной детализации называют фоновыми, они составляются в центральных прогностических учреждениях и служат основой для разработки более детализированных локальных прогнозов.

Различают прогнозы общего назначения, разрабатываемые для использования широким кругом потребителей, и специализированные прогнозы, разрабатываемые для конкретного потребителя с учетом специфики его деятельности. И те и другие являются комплексными, т. е. содержат сведения о нескольких характеристиках состояния атмосферы. При разработке комплексных прогнозов погоды наиболее эффективен синоптический метод, поскольку предсказанное синоптическое положение в этом методе служит общей базой для всех индивидуальных прогнозов. Для передачи прогнозов потребителям используются как категорические формулировки, так и вероятностные.

Оценка эффективности методических прогнозов, при разработке которых используются реальные закономерности развития атмосферных процессов и изменений погоды, обычно производится путем сопоставления их оправдываемости с оправдываемостью:

- случайных прогнозов, когда предсказывается осуществление различных градаций метеорологических величин с учетом их климатической повторяемости;

- климатических прогнозов, в которых предсказывается осуществление значения метеорологической величины, имеющей наибольшую климатическую повторяемость;

— инерционных прогнозов, в которых предсказывается осуществление значения, наблюдавшегося в исходный момент (например, завтра такая же погода, как сегодня).

Терминология прогнозов и оценка их оправдываемости регламентируются наставлениями по службе прогнозов.

1.2. Основные способы прогноза синоптического положения

Основой для прогноза погоды является учет периодических и непериодических изменений метеорологических величин и явлений погоды. Периодические изменения той или иной метеорологической величины обуславливаются суточным и годовым ходом этой величины, непериодические — эволюцией и перемещением синоптических объектов: циклонов и антициклонов, воздушных масс и атмосферных фронтов. Вот почему прогнозу погоды всегда предшествует прогноз синоптического положения. Наибольшую трудность и практический интерес представляет учет именно непериодических изменений.

Синоптический метод в настоящее время является основным при разработке краткосрочного прогноза погоды. Сущность метода в том, что на основании анализа карт погоды за несколько последовательных сроков составляют прогноз синоптического положения, который заключается в прогнозе возникновения, перемещения и эволюции воздушных масс, атмосферных фронтов, барических систем. Карта, на которую наносят предполагаемое положение синоптических объектов, называется прогностической.

Прогностическую карту составляют на определенный момент времени следующих суток, а иногда на двое или более суток вперед. На основании прогностической карты составляют прогноз погоды в том или ином районе. Причем прогноз погоды является логическим продолжением прогноза синоптического положения и исходит из основного принципа, заключающегося в предположении, что с перемещением и эволюцией синоптических объектов переносятся с определенными изменениями и свойственными им условия погоды. Поэтому за прогностическое значение метеорологической величины в первом приближении принимаются их значения в районе, откуда ожидается перемещение синоптического объекта, в район, для которого составляется прогноз погоды.

Вместе с этим при разработке прогноза погоды учитываются:

- 1) изменения погоды в связи с изменениями свойств воздушной массы или фронта в процессе их перемещения и эволюцией барической системы, с которой эта масса или фронт связаны;

- 2) суточный ход метеорологических величин и особенности времени года;

- 3) влияние орографических и местных условий на воздушную массу или фронт в интересующем районе или на пути их движения, включая изменения свойств подстилающей поверхности.

Такая схема прогноза является общей для большинства метеорологических элементов: перемещение (адвекция) + эволюция (трансформация) + суточный ход + влияние местных факторов.

За последние годы в нашей стране и за рубежом наряду с синоптическим методом значительное развитие получили расчетные методы прогноза метеорологических величин, которые в зависимости от подхода к изучению атмосферных процессов можно условно разделить на две большие группы.

К первой относятся статистические методы, в основу которых положены эмпирически выявленные взаимосвязи, полученные путем обработки массового материала наблюдений. По результатам обработки строятся прогностические уравнения или диаграммы, позволяющие предсказать будущее значение прогнозируемой метеорологической величины. При этом широко используются достижения математической статистики и теории вероятности.

Ко второй группе относятся гидродинамические (численные) методы, основывающиеся на решении систем уравнений гидротермодинамики. Эти уравнения функционально связывают прогнозируемые характеристики погоды с несколькими исходными параметрами атмосферы. В качестве основных исходных характеристик принимают: давление, температуру, плотность воздуха и проекции скорости ветра на три координатные оси. В качестве прогнозируемой величины может быть любая из названных характеристик. Наиболее успешно в настоящее время численными методами предсказывается поле абсолютного геопотенциала в средней тропосфере — карты АТ. Эти карты широко используются в прогностической практике, особенно при построении приземной прогностической карты погоды и составлении авиационных прогнозов погоды.

1.3. Прогноз перемещения барических систем и фронтов

В практике прогноза применяется ряд способов определения перемещения барических центров и фронтов и их эволюции. Для получения более надежных результатов обычно используют не один какой-либо способ, а несколько, что существенно уменьшает вероятность грубых просчетов. Не останавливаясь на численных методах прогноза, которые еще не могут охватить многие стороны атмосферных процессов ввиду их сложности, рассмотрим некоторые способы прогноза, которыми пользуется синоптик.

Приемы формальной экстраполяции. Под формальной экстраполяцией во времени понимается нахождение последующих характеристик синоптического объекта (или метеорологической величины) по закономерностям предыдущих изменений.

Наиболее простой способ определения перемещения характеристических точек и линий барического поля — способ прямолинейной и криволинейной экстраполяции. Прямолинейная экстра-

поляция заключается в определении направления и скорости перемещения барического центра (или фронта) за предыдущий промежуток времени с помощью двух синоптических карт и сохранении такого же направления и скорости на срок прогноза (рис. 1). Криволинейная экстраполяция позволяет уточнить расчет направления и скорости перемещения синоптического объекта, предполагая постоянной не скорость, а ускорение, которое определяется по изменению направления и скорости перемещения за два промежутка времени, т. е. по трем картам погоды (рис. 2).

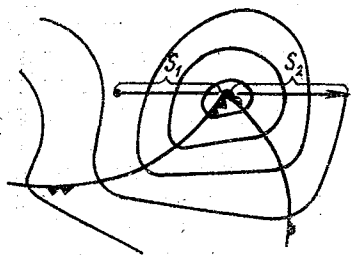


Рис. 1. Прямолинейная экстраполяция движения циклона

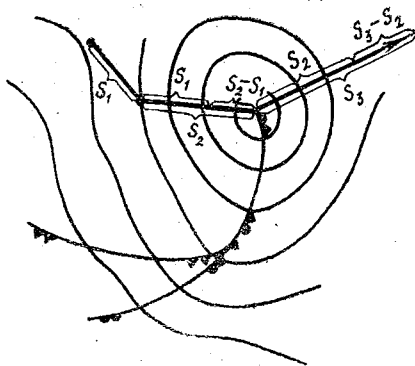


Рис. 2. Криволинейная экстраполяция движения циклона

Оси ложбин (или фронты) и гребней перемещаются в направлении нормали к ним, но с неодинаковой скоростью в различных частях. В связи с этим их направление и скорость должны быть определены не менее чем для двух — трех точек.

Линейная экстраполяция применима, как правило, на сроки прогноза не более 6—12 ч, тогда как криволинейная часто дает удовлетворительный результат и на срок прогноза 12—24 ч.

Прогноз перемещения барических систем может быть осуществлен и по изаллобарическому полю. Для этого пользуются следующими правилами:

- приземный центр циклона (антициклона) перемещается параллельно линии, соединяющей центры изаллобарических очагов этого циклона (антициклона), в сторону падения (роста) давления;

- скорость перемещения циклона (антициклона) прямо пропорциональна алгебраической разности барических тенденций в изаллобарических центрах;

- циклоны (антициклоны) с изобарами, близкими к круговым, перемещаются в направлении на центр падения (роста) давления;

— циклоны (антициклоны) с изобарами, близкими к эллиптическим, перемещаются между направлением на центр падения (роста) давления и большой осью эллипса, причем, чем сильнее вытянут эллипс, тем ближе направление перемещения циклона (антициклона) к последней;

— барическая система стационарна, когда распределение барических тенденций вблизи ее центра одинаково по всем направлениям от центра (так будет, например, если центр области падения или роста давления совпадает с барическим центром).

Приемы физической экстраполяции. Под приемами физической экстраполяции понимаются такие, в которых учитывается физическая модель процесса, например, когда прогноз характеристик погоды связан с их переносом частицами воздуха. К этим приемам относится метод траекторий и правило ведущего потока, а также правила, вытекающие из свойств ведущего потока. Согласно этим правилам циклон перемещается параллельно изобарам теплого сектора, оставляя последний справа; циклон (антициклон) перемещается перпендикулярно проекции своей высотной оси, причем высотный центр остается слева (справа). Напомним, что техника прогноза по правилу ведущего потока перемещения барических центров, осей ложбин (гребней), фронтов на приземной карте сводится к тому, что по карте AT_{700} (AT_{500}) определяется средняя скорость ветра (несколько впереди рассматриваемой точки) и осуществляется перенос по потоку вдоль изогипс AT_{700} (AT_{500}) с учетом их кривизны. Если ожидается перестройка поля изогипс, то при прогнозе на сутки первые 12 ч перенос осуществляется вдоль изогипс исходной карты AT_{700} (AT_{500}), а последующие 12 ч — вдоль изогипс прогностической карты AT_{700} (AT_{500}). При использовании карты AT_{700} (AT_{500}) коэффициент переноса принимается в среднем равным 0,8 (0,6). Однако его значение также зависит от скорости ветра на поверхности 700 (500) гПа, все это надо учитывать при составлении прогноза.

Несмотря на простоту реализации этого правила, прогнозы на его основе имеют довольно высокую оправдываемость.

После того как дан прогноз перемещения барических систем, легко определить перемещение связанных с ними атмосферных фронтов, а, следовательно, и воздушных масс с различными свойствами. Помимо рассмотренных приемов формальной и физической экстраполяции прогноз перемещения фронтов может быть осуществлен на основе расчета нормальной составляющей скорости геострофического ветра у земной поверхности. Вектор ветра в каждой точке перед и за линией фронта можно разложить на две составляющие: касательную и нормальную к линии фронта.

Для перемещения фронта имеет значение лишь нормальная составляющая скорости ветра, величина которой зависит от расстояния между изобарами вдоль линии фронта. В среднем для теплых фронтов скорость перемещения составляет 0,6, а для хо-

лодных — 0,8 от составляющей геострофического ветра у земной поверхности, нормальной к фронту.

Учитывается замедление фронта при его приближении к устойчивому малоподвижному антициклону, углублении ложбины, наличии орографических препятствий, а также в случаях, когда с течением времени угол между фронтом с пересекающими его изобарами уменьшается.

Скорость перемещения фронта (ложбины) прямо пропорциональна алгебраической разности барических тенденций по обе стороны от фронта (ложбины). При увеличении этой разности фронт перемещается быстрее, при уменьшении — медленнее.

1.4. Прогноз эволюции барических систем и фронтов

При анализе карт погоды приходится иметь дело преимущественно с уже сформировавшимися циклонами и антициклонами, так что наиболее трудную задачу, связанную с прогнозом новообразований циклонов и антициклонов, приходится решать не часто. Условия возникновения внетропических циклонов были рассмотрены ранее. Там же перечислены важнейшие признаки, которые полезно учитывать при прогнозе возникновения фронтальных циклонов и антициклонов.

По стадии развития барической системы можно качественно определить тенденцию ее последующей эволюции. Количественный прогноз основывается на расчетах ожидаемых изменений давления в центрах барических систем на уровне моря экстраполяционными методами.

Обострение или размывание атмосферных фронтов может быть определено по изменению контраста температур на фронте, так как в большинстве случаев увеличение этого контраста сопровождается обострением фронта (увеличение ширины облачного массива и его вертикальной мощности и т. д.), а уменьшение разности температур воздушных масс, разделяемых фронтом, как правило, приводит к улучшению условий погоды в зоне фронта.

Об углублении или заполнении циклонов, усилении или ослаблении антициклонов судят по барической тенденции в их центрах, которая характеризует не только направление эволюции, но и интенсивность последней. На этом основаны следующие правила:

- циклон углубляется (заполняется), если в его центре наблюдаются отрицательные (положительные) тенденции;
- антициклон усиливается (ослабевает), если в его центре наблюдаются положительные (отрицательные) тенденции;
- близкие к нулевым тенденции в центре барических систем говорят о том, что их глубина существенно изменяться не будет;
- барическая ложбина углубляется (заполняется), когда нулевая изотенденция проходит позади (впереди) оси ложбины;
- барический гребень усиливается (ослабевает), когда нулевая изотенденция проходит позади (впереди) оси гребня;

— при отрицательных (положительных) тенденциях в центре циклона (антициклона) продолжительность его углубления (усиления) будет тем больше, чем дальше от центра циклона (антициклона) в его тылу проходит нулевая изотенденция;

— удаление области падения (роста) от центральной части циклона (антициклона) на его периферию указывает на быстрое заполнение циклона и ослабление антициклона.

Глава 2. ПРОГНОЗ УСЛОВИЙ ПОГОДЫ

2.1. Прогноз ветра и явлений, связанных с ветром

Прогноз ветра в приземном слое. Движения воздуха определяются прежде всего полем давления. Поэтому в первом приближении ветер предсказывается в соответствии с прогнозом барического поля. Учитываются также сведения о ветре на исходной приземной карте погоды по тому сектору циклона (антициклона), влияние которого ожидается на период прогноза в данном районе или пункте.

В прогнозе указывается направление и скорость ветра. Направление ветра в приземном слое предсказывается как направление геострофического (градиентного) ветра с учетом отклонения ветра от направления изобары на угол около 30° над сушей и около 15° над морем. Скорость ветра в приземном слое предсказывается как скорость геострофического ветра V_g с учетом отклонения скорости от V_g , т. е.

$$V = kV_g,$$

где коэффициент k в среднем равен над морем 0,7—0,8, а над сушей 0,5—0,6 для ветров со скоростью менее 10—15 м/с.

К первому приближению вносятся уточнения с учетом:

- сезона и времени суток;
- стратификации воздушной массы и суточного хода температуры;
- перемещения барических образований и фронтов;
- местных особенностей подстилающей поверхности и атмосферной циркуляции.

Учет сезона и времени суток необходим в связи с тем, что среднее значение коэффициента k в формуле меняется от сезона к сезону и на протяжении суток. Весьма полезны прогностические графики, составляемые по многолетним наблюдениям (рис. 3). На одной оси такого графика откладывается наблюдавшаяся величина барического градиента, на другой — наблюдавшаяся скорость ветра (или отношение $k = \frac{V}{V_g}$); каждому наблюдению соответствует определенная точка на графике. Затем проводится средняя линия. Такие графики можно составить для раз-

личных секторов циклонов и антициклонов с учетом облачности и других характеристик погоды.

Учет стратификации воздушной массы и суточного хода температуры является дальнейшим уточнением прогноза ветра. При больших значениях γ и сильно развитой турбулентности угол пересечения вектором ветра изобары может стать менее 15° даже над сушей, а скорость ветра в приземном слое в таких случаях

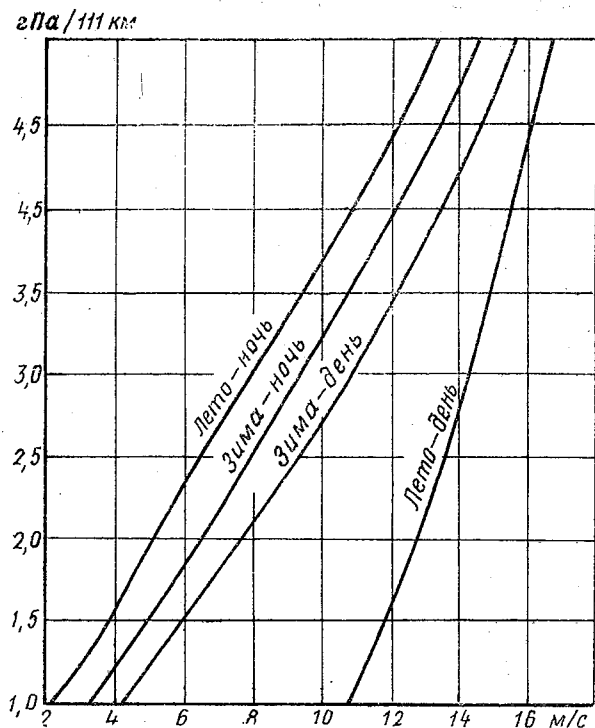


Рис. 3. График зависимости скорости ветра от величины горизонтального градиента давления

приближается к скорости геострофического ветра и даже может превзойти ее при малых значениях барического градиента (рис. 4).

Следует учитывать перемещение барических образований и фронтов. При прохождении циклона или антициклона через данный пункт ветер в этом пункте может принять обратное направление. При прохождении гребня (ложбины) ветер поворачивает влево (вправо). При прохождении атмосферного фронта наблюдается усиление ветра.

Учет местных особенностей подстилающей поверхности и атмосферной циркуляции косвенно уже производится при построении графиков, подобных приведенным на рис. 3 и 4, поскольку эти графики строятся для определенного района. Ветер отклоняется от изобары больше там, где больше трение о подстилающую поверхность, т. е. над сушей он отклоняется больше, чем над морем, над холмистой местностью и над лесными массивами он отклоняется больше, чем над степью. В долине, расположенной между двумя горами, преобладающее направление ветра совпадает с направлением долины. Орографические особенности могут вызвать и резкие отклонения в скорости ветра (например, четко выявляется усиление ветра у далеко вдающихся в море выступов материков). Поэтому наряду с методами общего прогноза ветра разрабатываются частные методики его прогноза для определенных районов.

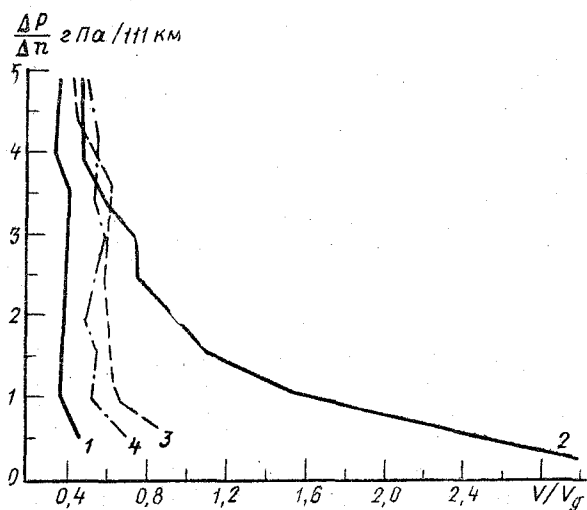


Рис. 4. График для определения величины $\frac{V}{V_g}$:
1—лето (ночь); 2—лето (день); 3—зима (день); 4—зима (ночь)

Прогноз ветра в свободной атмосфере. Направление и скорость ветра на высотах предсказываются как направление и скорость геострофического (градиентного) ветра. Для прогноза используются прогностические карты изобарических поверхностей 850, 700, 500, 400, 300 и 200 гПа, т. е. примерно уровни 1,5; 3; 5,5; 7; 9 и 12 км соответственно, предвычисляемые с помощью ЭВМ и передаваемые по фототелеграфу.

Предсказание ветра по предвычисленным картам барической топографии сводится к определению направления и скорости геострофического (градиентного) ветра по следующей схеме:

1) выбирается ближайшая к заданной высоте карта барической топографии, предвычисленная на момент времени, ближайший к сроку прогноза;

2) с помощью градиентной линейки по карте определяется ожидаемая скорость геострофического ветра в интересующем районе; за направление ветра в первом приближении принимается касательная к изогипсе;

3) если радиус кривизны изогипс меньше 3000 км, а скорость геострофического ветра больше 60 км/ч, то по их значениям с помощью соответствующих номограмм в зависимости от знака кривизны изогипс определяется коэффициент k для перехода от геострофической к градиентной скорости, которая и принимается за прогностическое значение

$$V_{gr} = kV_g;$$

4) к полученному направлению и скорости ветра вносятся поправки, если на исходной карте имелись значительные расхождения между фактическим ветром и градиентным;

5) если заданная высота расположена в промежутке между двумя главными изобарическими поверхностями, то прогностическое значение V_{gr} на этой высоте определяется путем линейной интерполяции между этими поверхностями;

6) аналогичным образом проводится интерполяция между сроками, для которых предвычислены карты АТ, или между предвычисленной и исходной картами АТ.

Для авиатрасс большой протяженности прогноз ветра, как и прогноз других метеорологических величин, составляется по участкам трассы на те интервалы времени, когда самолет будет пролетать на данном участке.

Прогноз шквала. Шквалом называется резкое местное усиление ветра в течение короткого времени, сопровождающееся изменениями его направления.

Скорость ветра при шквале больше градиентной и нередко достигает 20—40 м/с и более, продолжительность явления в одном пункте обычно несколько минут, хотя может составлять и десятки минут. Перемещаясь узкой полосой от нескольких сотен метров до нескольких километров (иногда до 50—70 км), шквал может существовать несколько часов. Возникновение шквалов связано с образованием относительно устойчивых вихрей в облаках и под облаками с горизонтальной осью вращения, захватывающих и приземный слой воздуха. Большинство шквалов связано с прохождением мощных кучево-дождевых облаков, сопровождается выпадением ливневого дождя или града, грозой. Над сушей шквалы наблюдаются преимущественно летом в послеполуденные часы.

Над теплыми морями шквалы наблюдаются и зимой. Часто при прохождении шквала наблюдается понижение температуры. Сильный шквал возможен лишь при сильном ветре на высотах. Роль конвекции сводится к переносу количества движения.

Различают внутримассовые и фронтальные шквалы. Внутримассовые шквалы характерны для теплой неустойчивой воздушной массы при развитии гроз (иногда даже ночью). В холодной неустойчивой воздушной массе шквалы наблюдаются редко.

Фронтальные шквалы чаще всего связаны с холодными фронтами и холодными фронтами окклюзии. Особенно часто шквалы возникают вблизи вершины теплого сектора фронтальной волны.

Прогноз шквала разрушительной силы может быть дан лишь предположительно, если в данном районе ожидаются следующие синоптические условия, благоприятные для их развития:

1) медленное перемещение летом холодного фронта с волнами;

2) расходимость изогипс в передней части высотной ложбины или в тыловой части высотного гребня (для внутримассовых шквалов);

3) расходимость изогипс и значительное ослабление ветра в зоне струйного течения (для фронтальных шквалов), причем практически все фронтальные шквалы наблюдаются на антициклонической стороне струйного течения;

4) большая удельная влажность (10 г/кг и более) внутри воздушной массы в приземном слое;

5) влажнонеустойчивость воздушной массы ($\gamma > \gamma_{ва}$);

6) высокая температура перед холодным фронтом (30° и более) при большом контрасте температур в зоне фронта ($7-10^\circ\text{C}$ и более) и значительный рост давления за холодным фронтом ($3-5\text{ гПа}/3\text{ ч}$ и более);

7) значительная конвергенция ветра у поверхности земли.

Для разработки прогноза шквалов прежде всего определяется возможность развития конвективной облачности и ее предполагаемая вертикальная мощность. В тех случаях, когда ожидается развитие мощной кучевой или кучево-дождевой облачности, вероятность шквала определяется с помощью демаркационного графика, представленного на рис. 5. Как видно на рис. 5, вероятность шквала увеличивается с возрастанием вертикальной мощности облака ΔH и суммарной скорости ветра

$$\Sigma C = C_0 + C_{850} + C_{700} + C_{500}.$$

Прогноз максимальной скорости ветра при шквале может быть составлен из ожидаемых значений тех же характеристик: ΔH и ΣC . На рис. 6 представлен график связи между максимальной скоростью ветра при шквале C_{\max} и суммарной скоростью ΣC . Пунктирными линиями на графике показаны вероятные отклонения C_{\max} от рассчитанных значений.

Прогноз метели. Метелью называется перенос снега над поверхностью земли ветром достаточной силы. Различают: 1) поземок — перенос снега ветром непосредственно над поверхностью земли (высота поднятия менее 1 м); 2) низовую метель — перенос снега, поднятого у поверхности снежного покрова до высоты нескольких метров, при отсутствии снегопада; 3) общую метель, когда снегопад сопровождается переносом снега, поднятого с поверхности снежного покрова. Поземок может перейти в низовую метель, а низовая метель с началом снегопада — в общую.

Возникновению метелей способствуют следующие метеорологические и синоптические условия.

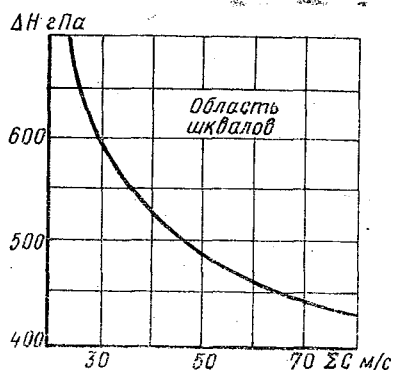


Рис. 5. Демаркационный график для прогноза шквалов (по А. И. Снитковскому и Т. А. Ковалевой)

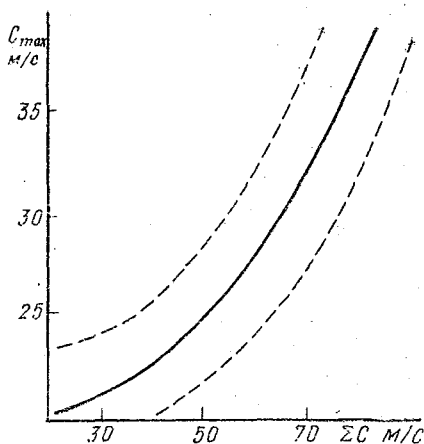


Рис. 6. Связь между максимальной скоростью ветра при шквале и суммарной скоростью ветра

Метеорологические условия:

- 1) умеренный или сильный ветер;
- 2) отрицательные температуры воздуха;
- 3) снегопад при сильном ветре (общая метель);
- 4) сухой рыхлый снег выпал или выпадает на ледяную корку (наст).

Синоптические условия:

- 1) зоны между циклонами и антициклонами, где наблюдаются большие барические градиенты и сильные ветры;
- 2) выходы южных циклонов, перемещающихся к северу и северо-востоку;

3) зоны фронтальных снегопадов в системе углубляющихся циклонов (общие метели);

4) тыловые части циклонов, где могут наблюдаться поземки и низовые метели, а при ливневых снегопадах и общие метели. Однако такие общие метели непродолжительны, хотя и могут многократно повторяться (снежные заряды).

Прогноз метелей включает в себя прогноз метеорологических и синоптических условий, благоприятных для их возникновения, и прогноз смещения зон возникших метелей. При этом необходимо обращать внимание на местные условия (рельеф, местные ветры и т. п.).

Прогноз пыльной (песчаной) бури. Пыльной (песчаной) бурей называется перенос сильным ветром большого количества пыли (песка, частиц сухой почвы), вызывающий значительное ухудшение видимости. Это явление преимущественно летнее. Однако в южных районах оно возникает и зимой.

В суточном ходе максимум пыльных бурь приходится на полуденные и послеполуденные часы, что соответствует суточному ходу скорости ветра и развитию наибольшей неустойчивой воздушной массы. Интенсивность бури оценивается по ее продолжительности и ухудшению видимости.

Пыльная (песчаная) буря является аналогом метели. Ее интенсивность зависит от силы ветра и интенсивности турбулентного перемешивания (степени неустойчивости воздушной массы). В большинстве районов пыльные бури начинаются при скорости ветра 10—12 м/с.

Различают внутримассовые пыльные бури, чаще всего возникающие между усиливающимся антициклоном и углубляющимся циклоном, и фронтальные пыльные бури, возникающие преимущественно в зоне усиления ветра перед холодными фронтами.

Прогноз пыльной бури дается аналогично прогнозу метелей:

1) сопоставляется ожидаемое синоптическое положение на карте погоды с типовыми процессами;

2) составляется прогноз скорости ветра с учетом его суточного хода;

3) учитывается состояние почвы и стратификация воздушной массы;

4) учитывается рельеф и другие местные условия.

Перемещение фронтальных пыльных бурь предсказывается одновременно с прогнозом перемещения соответствующего фронта, а перемещение внутримассовых пыльных бурь — в соответствии с прогнозом перемещения штормовой зоны.

Ослабление или усиление пыльной бури предсказывается на основе учета характера эволюции барических образований, суточного хода ветра и местных условий.

2.2. Прогноз температуры и влажности воздуха

В приземном слое. В прогнозах общего пользования ограничиваются указанием минимальной температуры воздуха на уровне психрометрической будки ночью и максимальной — днем. В специализированных прогнозах указывается температура и влажность воздуха в сроки, которые интересуют потребителя.

Главные причины локального изменения температуры и влажности воздуха у поверхности земли — адвекция температурно неоднородного воздуха, его трансформация и суточный ход. Для их учета следует оценивать также влияние облачности, ветра, стратификации атмосферы и других факторов.

При составлении суточного прогноза температуры и влажности прежде всего определяют их адвективные изменения. Для этого по исходной и прогностической приземным картам определяется воздушная масса, которая будет располагаться в данном районе в срок действия прогноза. Характеристики температуры и влажности воздушной массы, приход которой ожидается в данный район, являются основой для прогноза. Сопоставление начальных температур по исходной карте в районе, для которого составляется прогноз, и в районе, откуда ожидается поступление воздушной массы в срок действия прогноза, позволяет оценить величину ожидаемого адвективного изменения температуры ($\delta T_{\text{адв}}$). Такие изменения можно определить также путем построения прогностической траектории частицы. Одновременно с $\delta T_{\text{адв}}$ определяют и адвективные изменения точки росы ($\delta T_{d \text{ адв}}$).

Далее оценивают трансформацию воздушной массы за период перемещения ее из пункта, откуда ожидается ее поступление, в пункт прогноза. Трансформация обуславливается, главным образом, турбулентным теплообменом между подстилающей поверхностью и воздушной массой. Строгий расчет трансформационных изменений в приземном слое довольно сложен. Поэтому ограничиваются приближенными оценками. Приближенно можно считать, что трансформационное изменение температуры $\delta T_{\text{тр}}$ прямо пропорционально начальной разности температур $\delta T_0 = T_A - T_B$, где T_A — температура в пункте, для которого составляется прогноз, а T_B — температура в пункте, откуда ожидается перемещение воздушной массы, т. е. адвективному изменению температуры. Очевидно, что

$$\delta T_0 = - \delta T_{\text{адв}}.$$

В целом трансформация уменьшает те изменения температуры, которые наблюдались бы в пункте прогноза под влиянием одной термической адвекции. Это объясняется тем, что притекающий более теплый воздух на своем пути охлаждается, а более холодный — нагревается.

Особенно следует учитывать термическое влияние подстилающей поверхности при переходе воздушной массы с одной под-

стилающей поверхности на другую, как, например, с суши на море или с моря на сушу, с поверхности льда на открытое море или обратно, с обнаженной почвы на снежный покров или обратно, с песчаной почвы на почву, покрытую растительностью, или обратно.

Необходимо также учитывать фактические данные по трансформации, обнаруживающиеся за прошедшие сутки.

Следующим этапом является рассмотрение суточного хода температуры, определяющего амплитуду его колебаний. В большинстве случаев минимум температуры наступает на суше почти в момент восхода солнца, а максимум — около 14—15 ч. Амплитуда суточного хода зависит от ряда факторов.

1. Широта места. С увеличением широты места амплитуда суточного хода температуры убывает. Наибольшие амплитуды наблюдаются в субтропических широтах.

2. Время года. В умеренных широтах наименьшие амплитуды наблюдаются зимой.

3. Характер подстилающей поверхности. Большие амплитуды наблюдаются над почвой, не имеющей растительность. Над морем суточный ход температуры незначителен.

4. Облачность и ветер. Увеличение облачности и скорости ветра уменьшает амплитуду суточного хода температуры.

5. Рельеф местности. В вогнутых формах рельефа амплитуды суточных колебаний температуры больше по сравнению с равнинной местностью, в выпуклых — меньше.

6. Высота над уровнем моря. С увеличением высоты места амплитуда суточного хода температуры воздуха быстро уменьшается, а моменты максимумов и минимумов сдвигаются на более позднее время.

Особенности суточного хода температуры воздуха в конкретном районе выявляются при осреднении результатов длительных наблюдений при установившейся погоде. Имеются и теоретические решения задач о суточном ходе температур. Однако необходимость введения многочисленных поправок в значительной степени снижает эффективность использования теоретических моделей.

40 На высотах. Изменение температуры и влажности воздуха на высотах в фиксированной точке обусловлено, главным образом, адвекцией и вертикальными движениями. Эти два фактора и должны быть учтены при разработке прогноза.

Ожидаемое адвективное изменение температуры и влажности воздуха в районе прогноза определяется путем переноса изотерм и изолиний T_a вдоль изогипс карт АТ со скоростью геострофического ветра на каждом уровне. При наличии прогностических карт АТ такой перенос производят по частям: конечный участок траектории для периода $\left(t_0 + \frac{\Delta t}{2}\right) \div (t_0 + \Delta t)$ — по прогностической карте, а начальный для периода $t_0 \div \left(t_0 + \frac{\Delta t}{2}\right)$ — по исходной карте.

В окрестностях начальной точки траектории на исходной карте снимают значения температуры и точки росы и рассчитывают их средние величины, которые и характеризуют ожидаемые значения T и T_d в пункте прогноза, обусловленные адвекцией.

В холодное полугодие к адвективным изменениям температуры на уровнях 850 и 700 гПа вносят поправки на трансформацию. Для этой цели используется эмпирический график, на вертикальной шкале которого отложено значение δT_{adv} , а на горизонтальной шкале δT_{tr} в расчете на сутки.

Расчет изменений температуры воздуха за счет его упорядоченных движений в период Δt производится на бланке аэрологической диаграммы. Средние по траектории значения вертикальной скорости, необходимые для выполнения расчетов, снимаются с предвычисленных карт вертикальных движений, регулярно составляемых в центральных прогностических учреждениях. При отсутствии облачности и предсказанных нисходящих движений ($\delta_p > 0$) частицу воздуха смещают вдоль сухой адиабаты вниз на величину, пропорциональную вертикальной скорости, а в случае восходящего движения ($\delta_p < 0$) — смещают вверх. После достижения насыщения смещение вверх производится вдоль влажной адиабаты.

После того, как указанным способом предсказаны значения температуры воздуха на основных изобарических поверхностях, на бланке диаграммы можно провести прогностическую кривую стратификации.

Прогностическая кривая точки росы строится аналогичным образом. При этом необходимо помнить, что выше уровня конденсации кривая точки росы совпадает с кривой стратификации.

Прогностические кривые стратификации и точки росы используются преимущественно в целях прогноза облачности и осадков, особенно в связи с развитием конвективных движений. Развитие конвекции происходит в слое, где прогностическая кривая стратификации отклоняется влево от влажной адиабаты, т. е. где $\gamma > \gamma_{na}$.

Охлаждение воздуха в пограничном слое от подстилающей поверхности может привести к формированию приземной инверсии или изотермии, а нагревание — к их разрушению. Такого рода влияния также должны учитываться при прогнозе кривой стратификации.

2.3. Прогноз облачности и осадков

Общие принципы прогноза облачности. При прогнозе любых облаков рассматриваются их начальные характеристики в воздушной массе или у атмосферного фронта, влияние которых на погоду ожидается в данном районе или пункте. Эти характеристики определяются не только по исходной карте погоды, но и по предыдущим картам, когда необходимо выяснить, например, суточный ход облачности.

В настоящее время используются также дополнительные сведения об облачных системах, полученные с метеорологических ИСЗ и от сети радиолокационных станций.

К начальным характеристикам облачности вводятся поправки:

- 1) на эволюцию системы облаков в связи с изменениями свойств воздушной массы или фронта в процессе их перемещения;
- 2) на влияние особенностей района на характеристики облачности, включая изменение свойств подстилающей поверхности;
- 3) на суточный ход облачности в связи с суточным ходом других метеорологических величин.

Основная трудность прогноза облачности заключается в сложных связях процессов облакообразования с состоянием и изменением полей таких метеорологических величин, как температура, влажность, ветер, вертикальные движения воздуха.

Прогноз количества и формы облаков. Прогноз количества и формы облаков основывается на прогнозе синоптического положения. Для различных типов синоптических процессов характерно наличие следующего количества облаков по градациям.

1. Ясно (0 баллов) — в любой области высокого давления, часто в теплых секторах циклонов (летом) и ночью в тылу циклона при большой сухости воздуха.

2. Небольшая облачность (0—3 или 2—5 баллов) — синоптические условия те же, что и для ясной погоды, но при несколько большей влажности воздуха. Характерные формы облаков днем — *Cu*, в остальное время суток — *Sc* *Ac*, *St fr* (приподнятый туман).

3. Переменная облачность (3—7 или 6—9 баллов) — при значительной влажности неустойчивой ВМ в тыловых частях циклонов (в любое время года), а также в антициклонах, размытых барических полях и теплых секторах циклонов (в теплое полугодие). Характерные формы облаков — *Cu*, *Cb*, *Sc*, *Ac*, *St fr*.

4. Резко меняющаяся облачность (0—10 баллов) — в любое время года подобные условия могут наблюдаться в тылу циклона при небольшой неустойчивости холодной массы или при прохождении вторичных холодных фронтов и линий неустойчивости. Основная форма облаков — *Cb*, которые обычно сопровождаются *St fr*. Между последовательно проходящими через пункт облаками *Cb* наступают прояснения, иногда полные.

5. Облачная с прояснениями погода (7—10 баллов) — синоптические условия и формы облаков те же, что и при переменной облачности, но чаще всего отмечаются облака *Sc*.

6. Значительная облачность (8—10 баллов) — условия те же, что и в предыдущем случае, но при еще большем развитии облачности.

7. Сплошная облачность (10 баллов) — наблюдается преимущественно перед линией теплого фронта и вблизи центра циклона (в любое время года), а также в зонах фронтов окклюзии, теплых секторах циклонов на окраинах антициклонов и при большой влажности воздуха даже в центральной части антициклона (в хо-

лодную половину года). Основные формы облаков — St, Sc, Ns, As op.

Прогноз низких облаков слоистых форм. К низкой внутримассовой неконвективной облачности относятся слоистые (St) и низкие слоисто-кучевые (Sc) облака. Высота нижней границы этих облаков может находиться на уровне от 300 м до поверхности земли, где они часто переходят в туман.

Низкие облака слоистых форм характерны для теплых устойчивых воздушных масс. Они образуются при большой увлажненности приземного слоя воздуха и понижении температуры воздуха, происходящем, главным образом, за счет теплообмена с подстилающей поверхностью. По пути смещения теплой влажной массы в ее нижнем слое, особенно в ночные часы, часто образуются приземные задерживающие слои в виде инверсий, изотермий или ослабленных градиентов температуры. Образованию низкой облачности способствует и хорошо выраженный турбулентный обмен, благодаря которому осуществляется перенос влаги вверх под задерживающие слои.

Наиболее благоприятные условия для образования низкой облачности создаются в тыловых и центральных частях малоподвижных антициклонов, теплых секторах циклонов и в размытых барических полях, менее благоприятные в передних частях развивающихся антициклонов, а в теплый период года — за холодными фронтами в тылу циклона.

Над внутренними частями континентов наибольшая повторяемость низкой облачности приходится на холодное время года, а в суточном ходе — на ночные часы, особенно к утру. При наличии возвышенностей, наиболее благоприятные условия для образования низкой облачности имеются на наветренных склонах. Над прибрежными районами и морями низкая облачность преобладает в теплое время года, а над северными морями наблюдается и зимой.

В основу прогноза слоистообразной облачности положен принцип перенос аоблачных полей из соседних районов с учетом их эволюции.

Прогноз появления или сохранения сплошной низкой облачности с суточной заблаговременностью разрабатывается на основе статистической связи между температурой в пункте прогноза, ожидаемой температурой через сутки в том же пункте и вероятностью появления низкой облачности (рис. 7).

В прогнозе высота нижней границы облаков указывается на основании прогноза синоптической обстановки с учетом данных о влажности стратификации воздуха и характера облачности, наблюдавшейся к моменту составления прогноза, а также на основании ряда статистических связей, установленных путем обработки материалов наблюдений за прошлые годы.

Прогноз облачности среднего и верхнего ярусов. Прогноз облачности среднего и верхнего ярусов в настоящее время разра-

батывается, главным образом, на основе учета синхронных связей характеристик этой облачности с ожидаемым синоптическим положением в районе прогноза. Такой учет обычно сводится к определению характеристик облачности, наблюдавшейся в исходный момент в том синоптическом объекте, перемещение которого в данный район ожидается в период прогноза. Высокая эффективность таких прогнозов определяется двумя обстоятельствами: во-первых, хорошо развитые облачные системы обычно бывают связаны с определенными синоптическими объектами (воздушными массами, атмосферными фронтами, барическими образованиями), вместе с которыми они перемещаются длительное время, сравнительно плавное изменения свою горизонтальную протяженность и вертикальную мощность; во-вторых, прогноз перемещения и эволюции этих синоптических объектов, как правило, может быть дан с удовлетворительной точностью. Эволюция фронтальных систем облаков тесно связана с эволюцией атмосферных фронтов. В углубляющихся циклонах и барических ложбинах фронты обостряются и облачные системы, а также зоны осадков получают дальнейшее развитие. В заполняющихся циклонах и барических ложбинах фронты размываются и соответственно прекращается развитие облачных систем и начинается их распад.

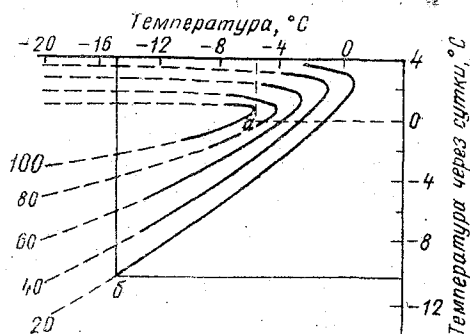


Рис. 7. График для определения вероятности появления облаков высотой 200 м и ниже на северо-западе ЕТС

Прогноз конвективной облачности. К конвективной облачности относятся облака кучевых форм: кучевые (Cu), мощные кучевые (Cu cong) и кучево-дождевые (Cb) с их разновидностями. Конкретная форма кучевообразных облаков зависит от интенсивности конвекции. Последняя же определяется рядом факторов: синоптической обстановкой, характером подстилающей поверхности, степенью неустойчивости стратификации атмосферы и др. Скорость восходящих движений воздуха в конвективных облаках изменяется от нескольких долей метров в секунду до 30—40 м/с.

Кучево-дождевые облака являются результатом дальнейшего развития кучевого облака с вершиной, достигшей верхнего яруса. Вертикальное развитие такого облака происходит до тех пор, пока температура поднимающегося воздуха не сравняется с температурой окружающей среды.

Кучевообразные облака могут быть внутримассовыми и фронтальными. Они характерны для неустойчивых воздушных масс, часто образуются на холодных фронтах и холодных фронтах окклюзии, реже — на теплых фронтах и теплых фронтах окклюзии. Фронтальные облака сосредоточиваются вдоль линии фронта и, как правило, являются более мощными. Роль фронта сводится к возбуждению или усилению конвективных вертикальных движений. Прогноз конвективной облачности на сутки начинается с оценки возможности появления конвективной облачности при данной синоптической обстановке.

Далее по данным утреннего зондирования атмосферы в соответствии с выбранной моделью процесса конвекции, для периода ее максимального развития, определяется количество конвективных облаков (N) и высоты их нижней (h_n) и верхней (h_v) границ.

Количество развивающейся в дневные часы конвективной облачности обуславливается, в первую очередь, распределением по вертикали в эти часы температуры и влажности воздуха. Поэтому его можно оценить на основе следующего эмпирического соотношения:

$$N_{\max} = 0,075 \Delta h \pm 1,5,$$

где N_{\max} — максимальное количество облаков в дневные часы в баллах; Δh — толщина конвективно неустойчивого слоя в гПа, т. е. слоя, участвующего в образовании конвективных облаков (определяется по модели процесса конвекции).

Нижняя и верхняя границы конвективной облачности располагаются соответственно вблизи уровней конденсации и конвекции.

Прогноз положения уровня конденсации разрабатывается по предварительно предсказанным значениям максимальной температуры воздуха T_{\max} и точки росы T_d у поверхности земли. Для этого можно использовать модель конвекции или следующее эмпирическое соотношение:

$$h_n = 122 (T_{\max} - T_d)_m.$$

Положение уровня конвекции определяется по пересечению кривой стратификации с адиабатической кривой состояния воздушных частиц, поднимающихся от поверхности земли.

Прогноз морозящих осадков. Морозящие осадки выпадают, главным образом, из низкой слоистой облачности (St), образующейся в воздухе, имеющем устойчивую стратификацию (теплые воздушные массы). Выпадение морозящих осадков обусловлено неоднородностью размеров капель в облаке, причем более крупные капли появляются вследствие коагуляции мелких капель.

Поскольку моросящие осадки образуются в водяных облаках, они отмечаются в случаях, когда верхняя граница облаков не достигает температуры кристаллизации, у поверхности же земли при выпадении мороси температура воздуха чаще всего близка к 0°C .

Моросящие осадки наблюдаются преимущественно в холодное время года при адвекции влажного теплого воздуха с моря на материк в теплых секторах углубляющихся циклонов. Но морось иногда отмечается и в области антициклонов (чаще на периферии), сформированных в воздушной массе морского происхождения, а также в зоне размытых старых теплых фронтов и фронтов окклюзии. Моросящие осадки часто усиливаются в ночные часы в результате добавочного радиационного охлаждения.

Прогноз моросящих осадков осуществляется путем прогноза перемещения имеющейся зоны осадков по изогипсам AT_{850} с учетом эволюции облачности. В тех случаях, когда ожидается интенсивная адвекция очень теплого и влажного воздуха, моросящие осадки могут быть предсказаны и тогда, когда на исходной карте они еще отсутствуют.

Прогноз обложных осадков. Обложные осадки выпадают из облаков $\text{As}-\text{Ns}$ и связаны с упорядоченными восходящими движениями воздуха, охватывающими большое пространство и большую толщину атмосферы. Выпадение этих осадков в наиболее яркой форме проявляется в циклонах и ложбинах, т. е. в области теплых и медленно движущихся холодных фронтов, а также фронтов окклюзии. Зона фронтальных осадков, как правило, имеет наибольшую ширину у тех участков фронта, которые находятся в области хорошо выраженной циклонической циркуляции, особенно вблизи центральной части циклона. Интенсивность осадков тем больше, чем больше влажность воздушной массы и величина вертикальной скорости.

Успешность прогноза обложных осадков зависит от того, насколько точно дан прогноз перемещения фронта. В большинстве случаев зоны обложных осадков связаны с адвекцией теплого воздуха, поэтому эти зоны обычно совпадают с областями наибольшего падения давления у поверхности земли. К зоне фронтальных осадков иногда присоединяется область внутримассовых осадков, выпадающих из подынверсионных облаков St и Sc . В этих случаях зона осадков значительно расширяется. Как известно, облака St и Sc являются преимущественно водяными и поэтому сами по себе чаще всего осадков не дают. В области фронта кристаллы, вызывающие осадки из St и Sc , выпадают из более высокой облачности $\text{Cs}-\text{As}$.

В холодное время года нередко наблюдаются осадки, не связанные с какими-либо фронтами. Наблюдаются они обычно в области антициклона. Такие осадки выпадают из подынверсионных облаков St и Sc , располагающихся в зоне температур -10°C и ниже и находящихся в смешанной фазе.

В переходные сезоны, а также нередко во время зимних оттепелей осадки могут выпадать как в виде дождя, так и в виде снега. Фазовое состояние осадков зависит в основном от высоты изотермической поверхности 0° и температуры у поверхности земли. Анализ аэрологических данных показал, что осадки выпадают в виде дождя, если температура у поверхности земли выше 3°C , а на уровне 500 м выше 0°C , и в виде снега, если температура у поверхности земли ниже 3°C , а на высоте 500 м ниже 0° .

Прогноз обложных осадков (фронтальных и внутримассовых) разрабатывают в следующем порядке.

1. Предсказывают образование, перемещение и эволюцию облаков, дающих обложные осадки, особенно фронтальных систем облаков.

2. Предсказывают перемещение существующей зоны обложных осадков одновременно с прогнозом перемещения атмосферного фронта и циклона, с которыми эта зона связана. При этом применяют правило ведущего потока, используя прогностическую и фактическую карты AT_{700} .

3. Предсказывают эволюцию зоны обложных осадков в соответствии с прогнозом эволюции циклона и фронта.

В качестве дополнительных факторов, способствующих или препятствующих выпадению обложных осадков, следует учитывать:

1) высоту верхней границы системы облаков $\text{As} - \text{Ns}$, толщину слоя облаков и положение изотермы $T = -10^{\circ}\text{C}$. Выпадение осадков весьма вероятно, если изотерма -10°C будет расположена внутри системы облаков. Осадки наиболее вероятны при толщине слоя облаков более 2 км;

2) знак и величину вертикальной составляющей скорости. Восходящие движения воздуха способствуют выпадению осадков, нисходящие — препятствуют;

3) знак и величину адвективных изменений температуры и влажности. Положение зоны обложных осадков в общем совпадает с положением зоны наиболее интенсивной адвекции тепла и влаги перед теплым фронтом;

4) неоднородность подстилающей поверхности. Обложные осадки усиливаются с наветренной стороны даже относительно небольших возвышенностей.

В настоящее время ведутся исследования по разработке численных методов прогноза осадков.

Прогноз ливневых осадков, гроз и града. Грозы и ливневые осадки чаще всего наблюдаются в слабо выраженных и заполняющихся циклонах, на перифериях малоподвижных антициклонов, в барических седловинах и в малоградиентном барическом поле, а также на фронтах, особенно на холодных. Ливневые осадки и грозы обязаны своим происхождением конвекции влажного воздуха в условиях неустойчивой стратификации и связаны с разви-

тием кучево-дождевой облачности. Благоприятными условиями для возникновения ливневых осадков и гроз являются:

1) высокое влагосодержание воздуха во всей толще тропосферы;

2) значительная неустойчивость воздушной массы;

3) высокая относительная влажность воздуха у поверхности земли и на высотах;

4) относительно низкое положение изотермы -10°C , около которой располагается уровень интенсивной кристаллизации;

5) большая вертикальная протяженность кучево-дождевых облаков, верхняя граница которых в умеренных широтах достигает уровня с температурой примерно -23° и ниже, высота конвекции простирается до высоты 6—7 км и мощность облака превышает 4,5 км;

6) неоднородность подстилающей поверхности.

В кучево-дождевом облаке скорость восходящих потоков увеличивается с высотой, достигает максимума примерно в средней его части и затем убывает к вершине. Над уровнем максимальной скорости восходящих потоков образуется зона аккумуляции, где происходит накопление крупных облачных элементов. Если максимальная скорость восходящих потоков составляет более 10 м/с и отмечается выше уровня нулевой изотермы, а вершина облака находится выше уровня кристаллизации и имеет температуру ниже -25°C , то в таком облаке возможно образование града. Град образуется в теплое время года, когда сильно развита тепловая конвекция. Особенно интенсивный град выпадает из фронтальных Сб.

Для решения вопроса о вероятности выпадения ливневых осадков нужно дать прогноз распределения по вертикали температуры и влажности воздуха в соответствии с методикой, изложенной в п. 2.2. По ожидаемой температуре и влажности рассчитывается комплекс факторов, который обуславливается синоптической обстановкой, и на основании которого устанавливается возможность развития конвекции, кучевой облачности, ливней, гроз и града.

При малой заблаговременности прогноза могут быть использованы радиолокационные наблюдения для определения процессов, происходящих в облаке, и направления перемещения облака. Такие наблюдения, в частности, применяются для выявления начальной стадии образования града в целях борьбы с градобитиями.

2.4. Прогноз туманов и видимости

Туманом называется помутнение воздуха в приземном слое, вызванное взвешенными в нем каплями воды, ледяными кристаллами или их смесью, при горизонтальной видимости менее 1 км. Аналогичное явление при видимости 1 км и более (но менее 10 км) называется дымкой.

Конденсация водяного пара в приземном слое начинается при увеличении относительной влажности воздуха до 97—100%. Среднее значение дефицита точки росы в туманах при положительных температурах равно 0,6°. При отрицательных температурах образование туманов начинается после достижения насыщения (или небольшого пересыщения) по отношению ко льду. Причинами, приводящими к увеличению влажности приземного слоя воздуха до указанных критических значений и к образованию тумана, могут быть: охлаждение рассматриваемого слоя воздуха (туман охлаждения) и (или) поступление в него водяного пара (туман испарения). Охлаждение воздуха в приземном слое, приводящее к туманообразованию, связано либо с его перемещением на относительно холодную подстилающую поверхность (адвективный туман), либо с радиационным выхолаживанием (радиационный туман), либо с процессами его адиабатического расширения. Туманы испарения образуются только в тех случаях, когда температура испаряющей поверхности выше температуры воздуха. Часто различные физические процессы действуют одновременно и разделение их не представляется возможным.

Обилие факторов, влияющих на образование тумана, затрудняет его прогноз. В частности, при прогнозе радиационных туманов необходимо учитывать местные условия (рельеф, состояние почвы). При прочих равных условиях радиационный туман обычно начинается в заболоченных местах.

Рассмотрим общие принципы прогнозов туманов основных типов.

Прогноз радиационных туманов. Благоприятными условиями для образования радиационного тумана являются:

- 1) ясная или малооблачная погода;
- 2) слабый ветер (не более 3—4 м/с);
- 3) малый начальный дефицит точки росы в слое до 50—300 м от поверхности земли;
- 4) сухая поверхность почвы;
- 5) наличие приземной инверсии;
- 6) вогнутая поверхность рельефа.

Перечисленные выше метеорологические условия наблюдаются преимущественно в области малоподвижных антициклонов, барических гребней и седловин во влажных воздушных массах. Особенно часто радиационные туманы возникают над почвой, увлажненной ранее выпавшим дождем.

Чтобы выяснить, будет ли туман, необходимо определить температуру начала образования тумана T_t в данной воздушной массе и предсказать минимальную температуру воздуха в приземном слое T_{min} . При $T_t > T_{min}$ туман возможен, при $T_t < T_{min}$ туман маловероятен.

Прогноз T_t осуществляется по начальному значению температуры точки росы T_d , уменьшенному на понижение точки росы δT_d от исходного срока до начала образования тумана и на добавоч-

ное охлаждение $\delta T'_T$, необходимое для уменьшения видимости в тумане до значений менее 1 км, т. е. необходимо найти

$$T_T = T_d - \delta T_d - \delta T'_T.$$

Величина δT_d зависит от интервала времени до образования тумана состояния почвы, адвекции влаги, величины вертикального градиента температуры и скорости ветра. Величина $\delta T'_T$ при положительной температуре составляет десятые доли градуса, при температуре -10°C $\delta T'_T \approx 1,5^\circ\text{C}$, при температуре -20°C $\delta T'_T \approx 2^\circ\text{C}$ и при температуре -30°C $\delta T'_T \approx 3^\circ\text{C}$.

В практической работе целесообразно находить эмпирические значения величины

$$\delta T_T = \delta T_d + \delta T'_T$$

путем сопоставления значений T_d в исходный срок наблюдений и T_T в момент образования тумана.

Вычислив

$$T_T = T_d - \delta T_T$$

по неравенству $T_T > T_{\min}$ определяют возможность возникновения тумана.

Время возникновения тумана предсказывается путем экстраполяции ночного понижения температуры. Момент времени, когда экстраполированное значение $T = T_T$, будет соответствовать началу образования тумана.

Время исчезновения радиационного тумана можно определить также путем экстраполяции повышения температуры в утренние часы. Рассеяние тумана можно ожидать, когда температура воздуха в приземном слое повысится до ее значения в момент образования тумана.

Прогноз адвективных туманов. Образование адвективного тумана связано с охлаждением относительно теплой и влажной воздушной массы в процессе ее перемещения на более холодную подстилающую поверхность. Одновременно образуются облака St или Sc, так что туман часто является результатом снижения нижней границы этих облаков. К адвективным туманам можно отнести и туманы, связанные с горизонтальным переносом туманной массы. В какой-то мере это относится и к фронтальным туманам. Адвективные туманы могут наблюдаться ночью в связи с добавочным радиационным охлаждением воздуха в приземном слое. Наиболее благоприятные условия для адвективных туманов создаются в теплых секторах циклонов и прилегающих к ним окраинах антициклонов.

Вблизи берега моря образование адвективного тумана тесно связано с разностью температур вода — суша. Над открытым морем адвективный туман образуется при перемещении воздушной массы с теплой поверхности моря на холодную в любое время

года. Для теплых фронтов и теплых фронтов окклюзии туман характерен при слабых ветрах (медленное перемещение фронта) и выпадении лишь слабых осадков (особенно мороси).

При прогнозе адвективного тумана учитываются:

1) перемещения имеющихся областей тумана и возможность сохранения тумана;

2) адвективные изменения температуры и точки росы в приземном слое;

3) возможность снижения облаков.

Время возникновения адвективного тумана предсказывается по скорости перемещения наблюдающихся туманов в направлении заданного пункта или по времени, когда ожидается охлаждение перемещающейся частицы воздуха до температуры точки росы в начале траектории.

Прогноз исчезновения адвективного тумана в заданном пункте дается с учетом прекращения действия факторов, вызвавших туман.

Прогноз туманов испарения. Туманы испарения над водной поверхностью возникают тогда, когда температура поверхности воды значительно выше температуры окружающего воздуха. Обычно при тумане $T_{\text{воды}} - T_{\text{возд.}} \geq 10^\circ \text{C}$, а относительная влажность окружающего воздуха $f \geq 70\%$. Наиболее часто туманы испарения наблюдаются осенью и зимой над незамерзающими заливами арктических морей и незамерзающими реками при отрицательной температуре воздуха.

Над небольшими реками и озерами осенью туман испарения образуется при ночном радиационном охлаждении воздуха, но при положительной температуре воздуха. Благоприятными условиями для образования тумана являются инверсия температуры в нижнем слое и слабые ветры.

Возможность образования тумана испарения различной водности предсказывают с помощью эмпирического графика по ожидаемой температуре и относительной влажности воздушной массы над открытой водной поверхностью.

Часто туманы испарения образуются при вторжении холодной воздушной массы за холодным фронтом на прогретую днем и увлажненную выпавшим дождем почву. Фронтальный туман испарения образуется также, когда над приземным слоем холодного воздуха располагается слой значительно более теплого воздуха. Тогда испарение выпадающих относительно теплых капель мелкого дождя приводит к образованию тумана.

РАЗДЕЛ II. ОСНОВЫ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Глава 3. СИНОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ МАЛОЙ И БОЛЬШОЙ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТИ ШКОЛЫ Б. П. МУЛЬТАНОВСКОГО — С. Т. ПАГАВЫ

3.1. Основные понятия и закономерности развития макросиноптических процессов, лежащие в основе метода

Рабочей гипотезой Б. П. Мультановского, из которой он исходил при построении метода долгосрочного прогноза погоды (ДПП), являлось допущение, что погода над Европой определяется рефлексам, т. е. активностью центров действия атмосферы (ЦДА) и прежде всего азорского и полярного.

Заметим, что Мультановский предложил иную трактовку ЦДА, не совпадающую с принятым до него климатологическим способом выделения ЦДА по средним барическим картам. В понятие полярного ЦДА им включен ряд центров действия, являющихся очагами трансформации воздушных масс: ньюфаундленский и исландский циклоны, гренландский и таймырский антициклоны. О состоянии ЦДА Мультановский судил по частоте и направлению вторжений антициклонов или ядер высокого давления из данного ЦДА. Поскольку же направление движения антициклонов отражало характер основных течений на высотах и было сопряжено с определенным макросиноптическим процессом (макропроцессом) в остальных частях рассматриваемого района, то такой подход позволял связывать состояние указанных ЦДА с характером макропроцессов и погодой над районом, по которому составлялся прогноз.

Идя таким путем, представители школы Мультановского установили некоторые новые закономерности в развитии макросиноптических процессов и ввели ряд понятий, которые легли в основу методов ДПП большой и малой заблаговременности. Основные из них: естественный синоптический период, естественный синоптический район, естественный синоптический сезон, принцип нарушений, фазы макропроцессов, ритмическая деятельность и аналоги.

Естественный синоптический период (ЕСП) — это промежуток времени, в течение которого на пространстве так называемого естественного синоптического района (ЕСР) развивается определенным образом ориентированный процесс при сохранении географической локализации основных барических полей. Это понятие Б. П. Мультиановский установил, изучая характер макропроцессов и распределение знака барических полей за время движения антициклонов по определенной траектории (оси).

В северном полушарии выделяют три ЕСР. Южной границей всех ЕСР является параллель 20° с. ш. За границу между I и II районами принят меридиан 80° в. д., между II и III районами — меридиан 165° з. д., между I и III районами — меридиан 50° з. д. Основанием для выделения ЕСР явился анализ характера теплообмена между океанами и материками, определяющего преобладающую структуру термобарического поля тропосферы в каждом сезоне.

Признаками смены ЕСП по приземным и сборно-кинематическим картам являются:

а) изменение знака одного из основных барических полей в пределах ЕСР. Основными барическими полями являются крупные циклонические или антициклонические области, которые можно разграничить демаркационной линией. На пространстве ЕСР в течение ЕСП существует несколько таких областей;

б) пересечение траекторий барических образований различного знака или изменение характера движения барических образований;

в) заполнение циклона или разрушение антициклона с появлением в районе его расположения нового барического центра того же знака, а также хорошо выраженная регенерация барического образования.

В течение ЕСП в сравнительно небольших по площади областях может иметь место смена знака барического поля. Эти участки, как правило, лежат вблизи демаркационной линии и получили название перебойных полей.

В последующем привлечение карт барической топографии и соответствующие исследования позволили дать более обобщающее определение ЕСП.

Естественный синоптический период — промежуток времени, в течение которого на пространстве ЕСР сохраняются основные термобарические поля в тропосфере, что и обуславливает определенную ориентировку перемещения барических образований у земли и сохранение географического расположения приземного барического поля. Начало нового ЕСП связано с преобразованием высотного деформационного поля. При этом имеется ввиду, что последнее состоит из достаточно мощных барических образований, каждому из которых соответствует самостоятельный очаг тепла

или холода на карте ОТ⁵⁰⁰₁₀₀₀. Со сменой ЕСП меняется также положение и характер эволюции ПВФЗ.

Продолжительность ЕСП, устанавливаемых с помощью приземных и высотных карт, составляет в большинстве случаев 5—7 суток.

Непосредственно из определения ЕСП вытекает важное прогностическое свойство ЕСП — свойство его тенденций. Оно состоит в том, что характер развития макропроцесса, распределение знака барического поля и направление перемещения барических образований, наметившиеся в первые дни (обычно 2 дня) ЕСП, сохраняются до конца периода, т. е. рассматриваются как тенденция процессов остальных дней текущего периода.

Вторым важным прогностическим свойством ЕСП является свойство квазипостоянства продолжительности. Это свойство состоит в том, что в данном естественном синоптическом сезоне продолжительность соседних периодов, как правило, одинакова.

Кроме расчленения макропроцессов на ЕСП выделяют также элементарные синоптические процессы (ЭСП). В течение ЭСП сохраняются основные тропосферные выносы тепла и холода при постоянстве географической локализации знака барического поля на пространстве ЕСП. Большинство ЭСП продолжается 2—4 дня; ЕСП в основном состоит из двух ЭСП. При смене ЕСП обязательно имеет место и смена ЭСП, так как начало нового периода связано с крупномасштабным преобразованием термобарического поля.

Естественный синоптический сезон (ЕСС) — промежуток времени, в течение которого действует определенный комплекс осей. Установлено, что каждый ЕСС характеризуется преобладанием ЕСП со сходными распределениями основных термобарических полей в тропосфере.

В первом ЕСП выделено шесть ЕСС: зима, весна, первая и вторая половина лета, осень, предзимье. Сезон весны в среднем начинается 10 марта и продолжается 58 дней. Первая половина лета начинается 7 мая и заканчивается 1 июля. Начало осени в среднем приходится на 24 августа, а начало предзимья — на начало октября. В отдельные годы соответствующие даты могут быть заметно сдвинуты: до полутора месяцев в экстремальных случаях.

Одной из главных причин существования ЕСС являются изменения притока и поглощения солнечной радиации в конкретных физико-географических условиях, включающих динамические различия океанической и материковой подстилающей поверхности и крупномасштабные особенности атмосферной и океанической циркуляции.

Изучение процессов, характеризующих ЕСС и переходы одного сезона к другому, позволило выявить связи, имеющие прогностическое значение. Установлено, что ЕСП, появляющиеся в текущем

ЕСС как нехарактерные, нетипичные для этого сезона, являются преобладающими в следующем сезоне, т. е. они дают указание на характерные процессы в будущем сезоне. Оказалось, что такой ЕСП — предвестник — наступает за один—два месяца до наступления будущего сезона. Обнаружив этот процесс в текущем сезоне, можно с заблаговременностью 1 или 2 месяца предсказать как момент окончания текущего сезона, так и общий характер синоптических процессов наступающего сезона. Этот вывод, названный принципом нарушений, был использован С. Т. Пагавой для построения метода месячных и сезонных прогнозов. Карта АТ₅₀₀ периода-предвестника дает представление о типе синоптических процессов, преобладание которых ожидается в будущем сезоне. Это в свою очередь позволяет дать общую погодную характеристику наступающего сезона. Установлено также, что в текущем сезоне может быть выявлен не только период-предвестник наступающего сезона, но и ЕСП, характерный для сезона, следующего за наступающим.

Установлено, что не все сезоны являются однородными по условиям погоды. Имеются случаи с обратным распределением аномалий полей метеоэлементов в первой и второй половинах сезона. Выполнен ряд исследований, в которых на основе анализа структуры ЕСС получены прогностические указания на структуру наступающего сезона.

В целях выявления закономерностей длительных преобразований атмосферных макропроцессов, пригодных для прогноза на месяц и сезон были проведены исследования, в ходе которых возникли понятия о фазах макропроцессов и ритмической деятельности атмосферы.

Анализ синоптических процессов, предшествующих и сопровождающих формирование таких крупномасштабных явлений погоды, как засухи, гололед, резкие похолодания, грозы на большой территории, штормы и т. д., показал, что удается выявить своего рода «цепочку» макропроцессов, приводящих к тому или иному опасному явлению. Развитие атмосферной циркуляции представляется как последовательность ЕСП, обладающих достаточно четкими особенностями барико-циркуляционного режима и названных фазами макропроцессов. Диагностически определенные особенности фаз макропроцессов прослеживаются на протяжении 30—40 дней до наступления ожидаемого явления.

Выделение более крупномасштабных преобразований макропроцессов производится с помощью их фазировки на основе результатов исследований синоптических сезонов с крупными аномалиями температуры воздуха и осадков. Значительным аномалиям погоды в будущем сезоне предшествует определенная преемственность типов синоптических процессов в предшествующем и текущем сезонах.

Ритмическая деятельность атмосферы проявляется в повторении через определенные, но не точно совпадающие промежутки времени аналогичных и обратных им циркуляционных механизмов. Наиболее ярко эта особенность макропроцессов проявляется в чередовании ультраполярных воздействий, при которых имеет место значительное нарушение западного переноса и происходит смещение холодного низкого антициклона с севера или северо-востока.

Ультраполярные воздействия являются своего рода репером, с помощью которого обнаруживается тенденция к повторению аналогичных и обратных им циркуляционных механизмов. Выявлена трех- и пятимесячная ритмичность ультраполярных воздействий. Дальнейшие исследования показали, что тенденция к проявлению трех- и пятимесячной ритмичности относится ко всем ЕСП.

Аналогичным считается ЕСП, у которого знак барического поля у поверхности земли и на уровне 500 гПа на пространстве ЕСР совпадает более чем на 58% территории. Обратным считается ЕСП, у которого знак барического поля совпадает менее чем на 40% территории. Случай совпадения знака поля на 41—57% диагностируется как неаналогичный процесс.

Прогностические свойства ритмичности обобщены в соответствующие правила. В качестве примера приведем лишь некоторые из них.

1. Если за 90 дней до исходного реперного ультраполярного воздействия имел место неаналогичный к нему процесс, а за 45 — аналогичный, то по истечении 45 дней будет наблюдаться обратный ему процесс, а через 90 дней от репера — аналогичный процесс, но без перемещения антициклона по ультраполярной траектории.

2. Если за 90 (150) дней до исходного ЕСП на пространстве первого ЕСР наблюдался обратный процесс, что через 90 (150) дней на территории первого ЕСР можно ожидать обратный исходному процесс.

Закономерностям ритмической деятельности атмосферы отводится важное место при составлении прогноза на месяц и сезон.

Наряду с исследованием ритмичности макропроцессов для выявления прогностических зависимостей изучалась также степень сходства синоптических процессов каждого календарного месяца последовательно с процессами шести предшествующих месяцев. Результаты количественной оценки сходства макропроцессов в определенные календарные периоды свидетельствует о наличии ряда асинхронных связей, имеющих некоторое прогностическое значение. Оказалось, что имеет место, например, тенденция к повторению характерных особенностей атмосферной циркуляции через три месяца.

Атмосферные макропроцессы, повторяющиеся в определенные периоды года через одни и те же промежутки времени, получили название климатологических реперов.

Для оценки роли различных факторов, влияющих на изменение интенсивности и географической локализации барических образований в течение нескольких дней, используется уравнение локального изменения вертикальной составляющей вихря скорости Ω_z .

Используя геострофическое приближение ветра, легко получить для него выражение

$$\Omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{9,8}{l} \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \right) = \frac{9,8}{l} \Delta H.$$

Здесь ΔH — оператор Лапласа, или лапласиан геопотенциала H ; его знак определяется кривизной изогипс, а величина — характером изменения градиента геопотенциала в области, окружающей точку, для которой лапласиан вычисляется.

Значения ΔH вычисляются обычно для сети точек, равномерно покрывающей пространство ЕСР. После нанесения значений ΔH на бланк карты проводятся изолинии значений лапласиана. Карта лапласианов геопотенциала AT_{500} дает представление об областях и центрах циклонического и антициклонического вихрей скорости — наиболее устойчивых характеристик тропосферной циркуляции.

Анализ уравнения вихря скорости показывает, что локальные изменения вертикальной составляющей вихря скорости зависят от трех факторов: термической адвекции, меридионального переноса и адвекции уже существующих очагов завихренности.

1. Адвекция тепла (холода) усиливает антициклонический (циклонический) вихрь и ослабляет циклонический (антициклонический). В течение ЭСП влияние термической адвекции должно носить однозначный характер в определенных районах и должно сказываться на эволюции очагов антициклонической и циклонической завихренности.

2. При движении воздуха к северу (югу) возникает или усиливается антициклонический (циклонический) вихрь.

3. Наиболее крупный вклад в локальное изменение вихря скорости вносят процессы адвекции уже существующих очагов завихренности. Этот вклад часто превышает вклады других факторов.

При определенных типах синоптических процессов существуют участки ПФЗ, на которых эти три фактора действуют однозначно. Развитие волн ПФЗ в этом случае происходит таким образом, что на некоторых участках направление их перемещения остается неизменным. Там в течение однородного макро-синоптического процесса устойчиво удерживается адвекция тепла и соответствующая ей адвекция антициклонического вихря к се-

веру или адвекция холода и соответствующая ей адвекция циклонического вихря к югу. Вследствие чего в одних районах создаются устойчивые условия для возникновения и усиления антициклонического вихря, а в других — циклонического.

Чтобы предсказать характер будущего макропроцесса, необходимо выявить основные действующие физические факторы, их роль и изменение этой роли во времени. В полной мере это сделать пока невозможно, поэтому нередко задачу решают косвенно, изучая макросиноптические процессы в прошлом и отыскивая среди них аналоги, т. е. процессы, сходные по определенным признакам с теми процессами, которые наблюдаются в текущем сезоне, месяце, периоде. Принято считать, что аналогичные процессы обусловлены сходными физическими факторами, действовавшими с аналогичным весом и последовательностью. Поэтому допускается, что и дальнейшее развитие исходных процессов-аналогов будет сходным. Однако встречаются случаи, когда незначительные отличия процессов в прошлом влекут за собой коренные их отличия в будущем. В связи с этим возникает вопрос, какие два процесса можно считать аналогичными, или что можно считать критерием аналогичности процессов, наблюдавшихся в разных годах.

Используемые при разработке оперативных прогнозов способы подбора аналогов являются еще несовершенными. Пока неясно, какие характеристики макропроцессов и погоды следует брать в качестве признаков подобия, какие расхождения в сходстве макропроцессов и погоды можно считать допустимыми и какими должны быть практические приемы оценки аналогичности. До недавнего времени аналоги подбирались визуально путем сравнения ежедневных карт погоды и сборно-кинематических карт. Такой способ трудоемок и субъективен. Внедрение в практическую работу ЭВМ позволило разработать методы подбора аналогов, основанных на количественной оценке степени подобия макропроцессов. Большинство таких методов дает оценку аналогичности не макропроцессов, а метеорологических полей, представленных с помощью тех или иных количественных характеристик. Однако в ряде случаев предложенные критерии аналогичности не улавливают тех сходных черт, которые в основном определяют дальнейшее развитие процесса. Видимо недостаточно одной только геометрической аналогии полей для характеристики процессов без учета развития этого процесса и влияния на него подстилающей поверхности, смежных полей, морских течений и т. п. В настоящее время при составлении прогноза погоды используется в качестве аналога такой процесс, который осуществляется в возможно близкие календарные сроки, тем самым учитывается подобие составляющих радиационного и теплового балансов. При подборе аналогов, кроме внешнего сходства барических полей, учитывается направленность развития макропроцессов, их интенсивность, термическое поле в средней тропосфере и некоторые указания на

характер циркуляции и погоды, полученные по прогностическим связям.

3.2. Прогнозы погоды на 3—10 дней

В бюро погоды региональных управлений Госкомгидромета регулярно составляются прогнозы погоды на трое суток и на синоптический период. В методику прогноза на эти сроки включены правила, обобщающие результаты исследований эволюции очагов завихренности под воздействием термической адвекции и адвекции вихря. Наряду с синоптическими методами большой вклад в повышение эффективности прогнозов на средние сроки внесли способы комплексного применения гидродинамических, статистических и синоптических методов, позволяющие составлять прогнозы на 5 и 10 суток.

Прогнозы на 3 дня. Прогнозы на 3 дня составляются с учетом расчленения макросиноптических процессов на ЕСП и ЭСП. Однако соответствующие методические приемы могут применяться самостоятельно. Для составления трехдневных прогнозов широко используются прогностические карты приземного давления и геопотенциала, полученные гидродинамическими и статистическими методами.

Методика прогноза на 3 дня включает в себя следующие основные этапы.

1. Прогноз особенностей циркуляции на среднем уровне тропосферы. Для этого используются выводы качественного анализа уравнения локальных изменений вертикальной составляющей вихря скорости.

2. Прогноз приземного барического поля и синоптических процессов. С этой целью используют прогностические соображения, вытекающие из анализа ежедневных карт аномалий OT_{1000}^{500}

3. Прогноз погоды.

На первом этапе для прогноза циркуляции в средней тропосфере на 3 дня особое значение имеет учет устойчивости циркуляционных характеристик в течение ЭСП и ЕСП.

Среди факторов, оказывающих влияние на изменение интенсивности и географическую локализацию высотных барических образований в течение нескольких дней, наибольшее значение имеют локальные изменения вихря скорости за счет переносов этого вихря и адвективного изменения температуры. Учет переносов вихря скорости осуществляется путем вычисления значений лапласианов по данным карт AT_{500} текущего дня. Для характеристики термической адвекции определяются изменения геопотенциала AT_{500} текущего дня относительно осредненных значений H_{500} в предшествующем ЭСП. Значения лапласианов ΔH и изменений геопотенциала $(H_{500} - \bar{H}_{500})$ наносятся на одном бланке

карты. Эта карта названа комплексной картой. Анализ комплексной карты производится на основе использования ряда прогностических правил. Например, если положительный очаг лапласианов (циклонический вихрь) имеет интенсивность не менее 10 единиц и ему соответствует понижение геопотенциала (адвекция холода), то в ближайшие 3 дня в этом районе сохранится циклоническая циркуляция. Такое же правило применимо к очагу антициклонического вихря интенсивностью не менее 10 единиц при адвекции тепла (роста геопотенциала). Комплексная карта дает прогностические указания только о сохранении знака барического поля. На этой основе нет возможности дать прогноз возникновения циклонических и антициклонических вихрей. Ненадежны прогностические указания для районов, в которых находятся ПВФЗ.

Для уточнения прогностических указаний, полученных из анализа комплексной карты, привлекаются более подробные данные о термической адвекции — карта температур на уровне AT_{500} и изменения этой температуры за сутки. Высотные циклоны (антициклоны) следует ожидать там, где прогностическим указаниям на циклоническую (антициклоническую) циркуляцию соответствует очаг холода (тепла) и понижение (повышение) температуры за последние сутки не менее чем на $4^{\circ}C$. Если понижение (повышение) температуры меньше $4^{\circ}C$, то в данном районе будет находиться высотная ложбина (высотный гребень).

При нахождении очагов завихренности во фронтальной зоне учитывается их смещение.

Полученные таким образом прогностические указания о характере циркуляции в средней тропосфере передаются каждый день Гидрометцентром СССР по фототелеграфу.

На втором этапе учитывается анализ поля изаномал OT_{1000}^{500} .

Как известно, локальные изменения давления определяются воздействием термического и динамического факторов. Локальные изменения давления за счет термических факторов $\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_T$ может быть представлено следующим соотношением:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_T = -k \frac{\partial T'}{\partial t},$$

где T' — аномалия OT_{1000}^{500} текущего дня; k — постоянная.

Из формулы вытекает, что увеличение положительных аномалий или уменьшение отрицательных сопровождается падением давления у земли. С другой стороны, усиление отрицательных аномалий или уменьшение положительных приводит к росту давления за счет термических факторов. Очевидно, что чем значительнее будут изменения аномалий (центры очагов), тем большую

роль будет играть термический фактор в локальном изменении давления у земли.

Сопоставление поля аномалий OT_{1000}^{500} с картами адвекции вихря скорости в средней тропосфере и полем давления у земли показало, что в районах с минимальными значениями аномалий OT_{1000}^{500} наблюдаются максимальные изменения давления за счет переноса вихря скорости, т. е. за счет динамических факторов. Оказалось, что около 90% вновь возникающих циклонов и антициклонов формируются вблизи нулевых изаномал.

При анализе карт изаномал, в первую очередь, выявляются так называемые «особые точки», т. е. точки, вблизи которых наблюдается циклогенез или антициклогенез. Особой точкой названа точка пересечения нулевой изаномалы и прямой, соединяющей центры соседних очагов аномалий противоположного знака.

В зависимости от ориентировки нулевых изаномал они могут приобретать циклогенетический или антициклогенетический характер. Благоприятной для возникновения циклона является ориентировка нулевой изаномалы с юга на север (отрицательные изаномалы на западе, положительные на востоке). Возникновению антициклона благоприятна ориентировка нулевой изаномалы с севера на юг (положительные изаномалы на западе, отрицательные на востоке).

Прогностическое значение имеет тот факт, что для циклогенеза или антициклогенеза поле аномалий с определенной направленностью нулевых изаномал формируется за сутки раньше соответствующих им барических центров. Поэтому при прогнозе на первые сутки используются карты изаномал текущего дня, а при прогнозе на вторые и третьи сутки — прогностические карты изаномал, построенные на 24 и 48 ч.

Анализ карт изаномал и других материалов позволяет составить трехдневный прогноз синоптических процессов, т. е. предсказать будущее положение центров барических образований, характер эволюции циклонов и антициклонов и положение областей с преобладающей циклонической и антициклонической циркуляцией. Далее строится карта-схема развития синоптических процессов на три дня. С ее помощью разрабатывается прогноз погоды (третий этап). При этом учитывается исходное состояние погоды и некоторые прогностические выводы. Между очагами изаномал и температурой воздуха у земли существует хорошо выраженная связь, что позволяет составить прогноз температуры воздуха по соответствующим уравнениям регрессии.

Сведения о прогностическом распределении циклонических и антициклонических систем дают представление о характере вертикальных движений и используются при прогнозе осадков.

Прогноз погоды на синоптический период. Прогнозы на синоптический период предусматривают составление прогнозов синоп-

тического положения и погоды на остаток текущего и тенденцию следующего ЕСП. Методика этих прогнозов разработана на основе учета прогностических свойств тенденции ЕСП и выводов качественного анализа уравнивания локальных изменений вертикальной составляющей вихря скорости.

Работа по рассматриваемой методике прогноза начинается в день, когда синоптическими и количественными способами определяется начало нового синоптического периода. После этого устанавливается характер метеорологических процессов в тенденции (первые два дня) текущего периода и его длительность.

Способ прогноза на оставшиеся дни текущего периода вытекает непосредственно из определения ЕСП. Имея характеристику тенденции периода в виде сборно-кинематической карты и средней карты AT_{500} , можно использовать схему инерционного прогноза на 3—5 дней в зависимости от ожидаемой длительности периода. Кроме этого используются прогностические выводы трехдневной комплексной методики прогноза и другие приемы.

Для составления прогноза синоптических процессов и погоды на тенденцию будущего ЕСП необходимо получить прогностические указания о характере перестройки макропроцессов. Определение основных особенностей атмосферной циркуляции будущего периода оказалось возможным на основе учета вклада основных вихреобразующих факторов — адвекции вихря и термической адвекции. При этом особое внимание уделяется анализу ПВФЗ, положение и эволюция которой отображает наиболее существенные особенности макропроцесса. Для изучения эволюции ПВФЗ строится сборная карта, на которой наносится за каждый день положение характерной для данного сезона изогипсы.

При прогнозе на тенденцию будущего ЕСП лапласианы подсчитываются по карте средних значений H_{500} тенденции текущего ЕСП. Эту карту анализируют совместно со сборной картой положения ПВФЗ первых двух дней текущего ЕСП и картой разностей значений H_{1000}^{500} первых двух дней текущего и всего предшествующего ЕСП.

Указания на сохранение очагов циклонической и антициклонической завихренности в тенденции будущего ЕСП получают, если соответствующие очаги лапласианов интенсивностью не менее 10 единиц совмещаются с благоприятными характеристиками термической адвекции: отрицательные изаллогипсы OT_{10}^{500} для очагов циклонического вихря и положительные — для очагов антициклонического вихря. Положительные и отрицательные очаги лапласианов интенсивностью более 20 единиц обычно сохраняются до тенденции будущего ЕСП независимо от характера термической адвекции.

Для уточнения положения очагов в начале будущего ЕСП, особенно при перемещающихся очагах, строят карту разностей лапласианов за первые два дня текущего ЕСП. На этой карте

выделяют области изменения вихря не менее 10 единиц. Уточнение положения прогностических указаний на характер циркуляции в начале следующего ЕСП производится путем их смещения на одноименные очаги изменения лапласиана в соответствии с направлением эволюции ПВФЗ.

На пространстве ЕСР обычно получают 6—8 прогностических указаний о положении очагов циклонической и антициклонической циркуляции в тенденции будущего ЕСП. Эти прогностические указания о характере циркуляции на уровне AT_{500} будущего ЕСП используются для подбора аналога.

При подборе аналога используется синоптический архив как за одноименный календарный месяц, к которому принадлежит текущий ЕСП, так и за смежные календарные месяцы. При этом анализируются признаки сходства атмосферных процессов текущего периода и тенденции будущего периода с соответствующими процессами из многолетнего архива. Выбирается лучший аналог, в котором характер циркуляции AT_{500} в тенденции будущего ЕСП лучше всего соответствует указаниям, полученным из анализа карты вихря скорости и карты разности вихря скорости в тенденции текущего ЕСП. Выбранный аналог используется прежде всего для уточнения деталей в развитии приземных и высотных синоптических процессов на прогностических схемах для остатка текущего и тенденции следующего ЕСП. На завершающем этапе оформляется текст прогноза погоды на весь прогнозируемый отрезок времени.

Понятие о расчетной методике прогноза температуры воздуха и осадков на 5 и 10 дней. В настоящее время в оперативной практике Гидрометцентра СССР применяется комплексный синоптико-гидродинамико-статистический метод прогноза температуры воздуха и осадков на 5 и 10 дней. Особенности составления прогнозов по этому методу не зависят от начала дат ЕСП.

В основу комплексного метода положена гипотеза о том, что режим температуры и осадков во многом определяется крупномасштабными особенностями циркуляции. Для оценки такой связи первоначально реализуется диагностическая задача. Главная особенность нового подхода состоит в численном синтезе современных достижений гидродинамического, статистического и синоптического методов.

Вклад гидродинамического метода заключается в том, что при оперативном прогнозировании в качестве важнейших предикторов используются характеристики не прошлых, а будущих барических полей, рассчитываемых по гидродинамическим схемам прогноза.

В настоящее время прогнозы циркуляции, рассчитанные по этим схемам, имеют удовлетворительную обеспеченность на срок лишь до 72 ч. Тем не менее некоторые свойства метеорологических полей позволяют использовать такие прогнозы для разработки комплексных методов прогноза на 5 и 10 суток. Известно, например, что карта AT_{500} для срединного дня пентады с коэффи-

коэффициент корреляции 0,92 отражает карту средних значений AT_{500} за всю пентаду. Коэффициент корреляции между аномалией температуры срединного дня пентады и всей пентады равен 0,80, а между аномалией температуры первой пентады и всей декады в целом превышает 0,90.

В расчетной формуле для прогноза осадков в качестве предикторов участвует только одно гидродинамическое прогностическое поле AT_{500} на 72 ч, тогда как в расчетной формуле для прогноза температуры используется также начальное поле температуры.

Вклад статистического метода сводится к тому, что крупномасштабные особенности гидродинамического прогноза поля циркуляции, используемые для расчета в качестве предикторов, представляются с помощью аппарата естественных ортогональных функций, т. е. с помощью небольшого числа независимых параметров. Эта операция значительно сокращает число предикторов без существенной потери информации.

Вклад синоптического метода в комплексный подход заключается в процедуре нахождения функций влияния, учитывающей сезонность и синоптическую классификацию процессов. Для этого в каждом сезоне формируют из синоптического архива пять однотипных исходных выборок — одна для зональных и четыре для меридиональных (З, Ц, В, С) процессов с разной локализацией высотных гребней и ложбин. Существенно при этом, что форма циркуляции устанавливается не на исходный день, а на период действия прогноза.

Опыт оперативной работы показал, что функции влияния, найденные по однотипным выборкам в одноименных сезонах, обладают устойчивостью и наибольшей эффективностью. Устойчивость статистических зависимостей достигается постоянным обновлением исходной выборки данных путем включения информации, непосредственно примыкающей к периоду прогноза.

3.3. Прогнозы погоды на месяц

Месячные прогнозы погоды в нашей стране составляются с 1933 г. В содержание месячных прогнозов входит указание не только ожидаемых средних погодных условий (аномалии средней месячной температуры воздуха и количества осадков), но и хода погоды внутри месяца. В других странах ход погоды внутри месяца до недавнего времени не прогнозировался.

Современная методика месячного прогноза погоды имеет комплексный характер. В ней основное значение сохраняют методические приемы и положения синоптического направления, а в качестве вспомогательных используется ряд гидродинамических, статистических и синоптических схем прогноза атмосферной циркуляции и погоды.

Схема составления месячного прогноза погоды включает следующие основные этапы.

1. Ознакомление с синоптико-климатическими особенностями прогнозируемого месяца и анализом оправдываемости оперативных прогнозов на этот месяц.

2. Подбор из синоптического архива аналогов к двум последним ЕСС текущего года. Подбору аналогов предшествует анализ всего комплекса исходного материала за два ЕСС. В результате анализа устанавливаются характерные особенности текущих макропроцессов, определяются структурные изменения от месяца к месяцу высотного и приземного барических полей на полушарии и выявляются фазы макропроцессов и реперные процессы в трех ЕСР.

Аналоги подбираются по следующим признакам:

- по индексам циркуляции;
- по распределению полей аномалий средней месячной температуры воздуха, давления и H_{500} на территории СССР и в трех ЕСР;
- по однородности развития макропроцессов в тропосфере и стратосфере;
- по состоянию ЦДА;
- по однотипности изменения положений высотных ложбин и гребней, циклонов и антициклонов;
- по сходству состояния подстилающей поверхности.

Перечисленные способы нахождения аналогов, будучи весьма разнообразными по используемым критериям аналогичности, приемам их визуальной и количественной оценки, опираются на сравнительный анализ предшествующей прогнозу истории текущего макропроцесса с одноименным макропроцессом из синоптического архива.

3. Определение прогностических указаний на месяц с использованием закономерностей ритмической деятельности атмосферы, предвестников синоптических сезонов и фаз макропроцессов. Именно эти процессы являются главными предикторами в методике месячного прогноза и называются «опорными процессами». Чем больше удастся получить опорных процессов на определенные даты в прогнозируемом месяце, тем выше обоснованность и обеспеченность прогностического решения синоптика.

4. Выявление годов-аналогов по прогностическим указаниям о характере процессов внутри месяца, т. е. таких годов-аналогов, у которых в соответствующем календарном месяце имели место синоптические процессы, близкие опорным процессам в прогнозируемом месяце.

5. Выбор аналога с учетом истории макропроцесса и прогностических указаний, а также вспомогательных методов прогноза погоды в прогнозируемом месяце. При этом из аналогов, отобранных по реперным прогностическим указаниям и предвестникам, с учетом аналогов, выбранных по истории макропроцесса в предшествующие 3—5 месяцев, выявляется лучший год-аналог. Циркуляционные и погодные характеристики прогнозируемого месяца

определяются в основном по соответствующим материалам месяца-аналога. Учитываются также прогностические схемы других аналогов и климатические разработки.

6. Составление прогноза. Схемы ожидаемого развития синоптических процессов составляются по реперным указаниям и сборно-кинематическим картам ЕСП месяца-аналога. Прогностические карты распределения аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков согласуются с ожидаемым развитием синоптических процессов.

Все этапы работы, предусмотренные схемой составления месячного прогноза погоды, выполняются как путем качественного анализа макросиноптических процессов, так и с помощью объективных показателей, полученных на ЭВМ.

3.4. Прогнозы погоды на сезон

Прогностические указания о характере макропроцессов и погоды в будущем ЕСС выявляются на основе анализа макропроцессов в текущем и предшествующем ему сезонах. В качестве вспомогательных используется ряд синоптических и статистических методов, позволяющих получить дополнительную прогностическую информацию о будущем синоптическом сезоне.

Оперативный прогноз составляется на основе реализации следующих основных этапов.

1. Выявляются предвестники и реперные процессы, дающие указания на будущий сезон. Эта задача решается по материалам текущего и предшествующего ЕСС. Каждый ЕСП, входящий в сезон, представлен серией специальных карт, дающих представление о распределении и интенсивности барических систем и очагов тепла и холода.

Анализ всего материала позволяет установить начало ЕСС и определить ЕСП, характерные для текущего, будущего и следующего за ним сезонов. Особенности атмосферой циркуляции нехарактерного для сезона ЕСП — предвестника — будут типичными для будущего сезона.

2. По предвестникам строятся карты средних значений и аномалий геопотенциала AT_{500} , OT_{1000}^{500} , температуры воздуха и атмосферных осадков. Средние значения AT_{500} и OT_{1000}^{500} в будущем сезоне рассчитываются по уравнениям регрессии, где предикторами являются карты средних значений AT_{500} и OT_{1000}^{500} за предвестник. Особенности полей AT_{500} и OT_{1000}^{500} будущего сезона используются для определения аномалий температуры воздуха ΔT . При этом учитываются адвекция и сезонность.

Прогнозируемое поле осадков в отклонениях от нормы ΔR определяется путем совместного анализа поля аномалий значения AT_{500} в прогностическом сезоне и сборно-кинематической карты-предвестника. Осадки больше нормы ($>120\%$ нормы) пред-

сказываются в тех областях, где на указанных картах отмечается активизация циклонической деятельности. Осадки меньше нормы ($< 80\%$ нормы) — в областях антициклогенеза. Нормальное количество осадков ($80—120\%$) — во всех других областях.

3. Используются реперные указания на будущий сезон с учетом сезонных особенностей атмосферной циркуляции и подстилающей поверхности. Во внимание принимаются прогностические указания, обеспеченность которых $> 60\%$.

Последовательность синоптических процессов в наступающем сезоне определяют с помощью правил ритмичности. При этом большинство установленных в наступающем сезоне ЕСП должно быть аналогичным характерному процессу этого сезона.

4. На основе учета количественных параметров подобия полей AT_{500} предвестников и процессов из синоптического архива является год-аналог на будущий сезон.

5. Сопоставляются характеристики текущего макропроцесса (за два сезона) с соответствующими материалами из многолетнего архива и выявляются годы-аналоги на будущий сезон:

- а) по характеру циркуляции в стратосфере;
- б) по особенностям тропосферной циркуляции, макропогоды и данных о снежном покрове и дат вскрытия или замерзания рек;
- в) по полю температур воды в Северной Атлантике (только в текущем сезоне).

По каждому из признаков (а, б, в) год-аналог на будущий сезон устанавливается самостоятельно.

6. Из аналогов, выявленных на этапах 4 и 5, отбирается лучший год-аналог, в котором наблюдаются все прогностические указания.

7. Составляется прогноз погоды на будущий сезон, причем основное значение имеют прогностические указания, полученные по данным за соответствующие предвестники.

Аналог используется для установления однородности наступающего сезона, в случае неоднородности последнего — для указания характера циркуляции и погоды по частям сезона, а также для прогноза по районам и датам основных волн холода и тепла.

Глава 4. МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ШКОЛЫ Г. Я. ВАНГЕНГЕЙМА — А. А. ГИРСА

Макроциркуляционный метод, основы которого были разработаны Г. Я. Вангенгеймом, развивается в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ) применительно к условиям Арктики и задачам гидрометеорологического обеспечения навигации на Северном морском пути. В настоящее время он используется в оперативной практике при разработке долгосрочных прогнозов погоды для арктических районов на сроки от 3—10 дней до 10 месяцев.

4.1. Принципы, лежащие в основе метода

1. Атмосферные процессы и режимы погоды в Арктике (как и в любом другом географическом районе) являются результатом проявления общей циркуляции атмосферы в конкретных физико-географических условиях. Поэтому анализ и прогноз строятся с широким использованием наземных и высотных карт всего северного полушария.

2. Учет циркуляционного фона на полушарии осуществляется как через использование средних многолетних полей метеозлементов, так и путем анализа конкретных форм атмосферной циркуляции, в виде которых она проявляется на наземных и высотных картах полушария. В качестве таких форм используются процессы трех форм W, C, E, установленные Вангенгеймом.

3. В развитии ОЦА, представленной непрерывным процессом преобразования ее основных форм, выявляется ряд стадий различного пространственного и временного масштаба. Закономерности преобразования стадии ОЦА используются как основа методов долгосрочных прогнозов на различные сроки. Наличие взаимосвязи стадий позволяет разрабатывать методы прогнозов на различные сроки с единых позиций.

4. Процессы прогнозируемого периода закономерно вытекают из развития процессов предшествующего (исходного) периода. Поэтому при составлении прогнозов наряду с закономерностями преемственности форм ОЦА необходимо учитывать гомологи циркуляции, т. е. аналогии из прошлых лет, подобранные к процессам исходного периода не по внешним признакам сходства, а по характеру развития процессов.

5. При использовании гомологов для составления долгосрочных прогнозов основываются на группе гомологов, обнаруживающих наилучшее сходство. Используя в качестве прогноза средние (или преобладающие) характеристики группы гомологов, фиксируется наиболее вероятный характер процессов в будущем после их определенного развития в прошлом.

4.2. Основы макроциркуляционного метода прогнозов большой заблаговременности

Этот вид прогнозов составляется в ААНИИ в виде средних месячных характеристик как для всего северного полушария (фон полушария), так и для арктических морей на период январь — октябрь, т. е. с заблаговременностью до 10 месяцев. Эти прогнозы в настоящее время детализируются на предстоящие 1—3 месяца по внутримесячным однородным циркуляционным периодам (ОЦП). Указанные прогнозы предназначены прежде всего для учета характера атмосферных процессов при составлении ледовых и гидрологических прогнозов для морей Советской Арктики.

Основные закономерности развития макропроцессов, на которых базируется метод

1. Климатические особенности режима циркуляции и погоды изучаемого района. Климатические особенности представляют собой определенный вид закономерностей, обусловленных постоянно действующими факторами и характером их проявления в физико-географических условиях данного района. Эти особенности могут рассматриваться как один из вариантов прогноза (климатический прогноз). Сопоставляя с ним методический прогноз можно судить о степени аномальности ожидаемых условий погоды.

2. Формы атмосферной циркуляции и специфика их проявления в изучаемом районе. Формы W, C, E отражают ряд важнейших особенностей атмосферной циркуляции. Они в частности учитывают характер длинных термобарических волн. Распределение аномалий наземного давления, температуры и осадков согласуется с локализацией и ориентацией высотных гребней и ложбин в длинных волнах. Так, под восточными частями высотных гребней и западными частями высотных ложбин у земли формируются области положительных аномалий давления, отрицательных аномалий температуры и дефицита осадков. Под западными частями высотных гребней и восточными частями высотных ложбин у земли формируются области отрицательных аномалий давления, положительных аномалий температуры и избыток осадков. Таким образом, формы W, C, E можно рассматривать как определенный вид закономерностей, отражающих особенности различных стадий развития ОЦА и специфику их проявления на полушарии и в Арктике.

От прогноза характера этих форм легко перейти (через типовые характеристики форм) к прогнозу аномалий метеорологического режима как на полушарии в целом, так и в районах, для которых составляется прогноз. Однако, чтобы правильно предсказать характер предстоящей формы циркуляции необходимо установить закономерности их смены (преемственности).

3. Закономерности преобразования форм атмосферной циркуляции в различных периодах времени.

Закономерности сезонных преобразований

В сезонных преобразованиях циркуляции выявлены следующие наиболее общие закономерности:

1) процессы W формы циркуляции, получившие аномальное развитие в каком-либо сезоне, в следующем сезоне имеют тенденцию смениться процессами E формы;

2) процессы E формы, получившие аномальное развитие в любом сезоне, преобразуются к следующему сезону в процессы C формы;

3) развитые в исходном сезоне процессы С формы чаще всего имеют тенденцию сохраняться в качестве компонента и в следующем сезоне.

Эти закономерности обнаруживаются также при менее длительных преобразованиях форм W, E, C (преобразования ОЦП, продолжительность которых, как правило, не превышает 8—12 дней) и более длительных (преобразования циркуляционных эпох и их стадий).

Зная форму циркуляции исходного сезона и пользуясь данными об ожидаемом ее преобразовании, можно дать прогноз формы циркуляции, которая получит аномальное развитие в следующем сезоне. Тем самым решается (в первом приближении) задача прогноза общециркуляционного фона (макропроцесса) наступающего сезона. Погодные характеристики форм W, C, E позволяют осуществить переход от сезонного прогноза циркуляционного фона к прогнозу режима погоды.

Вместе с тем нужно иметь в виду, что процессы одной и той же формы циркуляции, например W, имеют специфические особенности в зависимости от того, из какой формы (E или C) они возникли. Специфика проявляется также и в дальнейшем развитии исходных форм циркуляции. В связи с этим изучение закономерностей преобразования строилось так, что в качестве исходных брались не формы циркуляции, а характер их преобразований в истекшие 20—30 дней. Анализ показал, что в случаях с аналогичными исходными преобразованиями и в последующие 4—6 месяцев процессы имеют сходные характеристики. Это позволило получить 15 групп 6—7-месячных однородных преобразований и построить групповые графики преобразования форм W, E, C. Для каждого месяца были построены карты групповой вероятности знака аномалий температуры и давления воздуха по северному полушарию. Эти карты и графики за первые два месяца (предысходный и исходный) служат для входа в действующую в указанных месяцах группу, а аналогичные графики для последующих 5 месяцев принимаются как прогноз на эти месяцы;

Закономерности преобразования эпох атмосферной циркуляции

В развитии общей циркуляции атмосферы за последние 90 лет выделено пять циркуляционных эпох:

1891—1899 1900—1928 1929—1939 1940—1948 1949—1981

W+C —————→ W —————→ E —————→ C —————→ E+C.

Обращаясь к схеме преобразования эпох, можно видеть, что рассмотренные выше закономерности преобразований имеют общее значение и проявляются также в преобразованиях эпох. Циркуляционные эпохи представляют собой непрерывный процесс, состоя-

щий из ряда стадий (стадии эпох), продолжительность которых колеблется в пределах 2—6 лет.

Эпохи и их стадии обуславливают тенденции одного знака в изменении ряда характеристик атмосферы и гидросферы. Эти тенденции необходимо учитывать при составлении долгосрочных прогнозов погоды на различные сроки. Существенно при этом то, что характер аномалий метеозлементов, свойственный данной форме в короткие периоды времени (дни, месяцы), наблюдается и в эпохах соответствующей формы. Поэтому, если будет предсказана преобладающая форма циркуляции предстоящей эпохи в северном полушарии, то, пользуясь типовыми картами аномалий ожидаемой формы, можно в общих чертах предвидеть и характер ожидаемых аномалий режима погоды в годах предстоящей эпохи;

Закономерности преобразования стадий циркуляционных эпох

Для предсказания характера предстоящей стадии изучаются закономерности преобразования стадий каждой эпохи, т. е. процесса преобразования данной эпохи в следующую. Каждой эпохе и стадии свойственны не только определенный среднегодовой метеорологический фон, но и определенный характер внутригодовых изменений этого фона. Отсюда следует, что, предсказывая характер предстоящей эпохи или ее стадии, можно предвидеть и основные черты внутригодовых изменений, свойственных каждой эпохе и ее отдельным стадиям. Однако распространение фона предстоящей стадии на каждый год этой стадии можно делать лишь при учете особенностей трансформации от года к году метеорологического режима лет, вошедших в данную стадию;

Фоновые группы однородного развития макропроцессов

Такого рода группы однородного развития макропроцессов были построены для 15-месячного периода, а именно: с августа исходного года по октябрь следующего. При этом преследовалась цель использовать эти группы для составления фонового прогноза на январь — октябрь следующего года, исходя из учета макропроцессов, развивающихся в августе—декабре исходного года.

В результате удалось 15-месячные периоды всех лет (с 1900 г.) объединить в семи группах однородного развития макропроцессов, которые были названы фоновыми группами. Годы, вошедшие в каждую из этих групп, были также аналогичны по характеру внутригодового преобразования форм циркуляции и распределению аномалий среднего месячного давления, температуры и осадков в северном полушарии.

Для характеристики циркуляционного фона групп и внутригодовых преобразований форм циркуляции в каждой группе были построены групповые графики преобразования форм атмосферной циркуляции. Кроме того, для каждого месяца были построе-

ны групповые карты вероятности (повторяемости) знака аномалий средней месячной температуры и давления воздуха по северному полушарию. Эти карты не только дают фон аномалий метеоэлементов, но и являются статистическим доказательством степени однородности макропроцессов в каждом месяце, вошедших в данную группу.

Групповые характеристики фоновых групп используются в прогностических целях. При этом характеристики групп за период август—декабрь используются для выбора «действующей» в данном году фоновой группы, а те же характеристики за январь—октябрь принимаются в качестве вероятностного прогноза на предстоящие 10 месяцев. Для учета специфики преобразований циркуляции конкретного года используются гомологи, подобранные к процессам августа—декабря текущего года.

Фоновые прогнозы на январь—октябрь выпускаются в виде средних месячных карт метеоэлементов и их отклонений от нормы (аномалий).

Сезонные и месячные группы однородного развития макропроцессов

Фоновый прогноз систематически уточняется и детализируется по внутри месячному развитию процессов на предстоящие 1—3 месяца. Для этой цели созданы группы со скользящим началом, продолжительность которых составляет 6—10 месяцев (3—5 исходных и 3—5 прогностических). Такие группы названы сезонными. Для них также построены групповые графики повторяемости форм циркуляции, а для каждого месяца — карты вероятностей знака аномалий метеоэлементов по северному полушарию. Все эти материалы для исходного периода используются при выявлении действующей в данном году сезонной группы. Поскольку для каждого из последующих трех месяцев всех групп имеются не только средние месячные характеристики, но и особенности внутримесячного развития по однородным циркуляционным периодам (ОЦП), продолжительностью 8—12 дней, то, пользуясь ими, составляется детализированный прогноз по внутримесячному развитию на каждый из указанных трех месяцев.

Для уточнения фоновых прогнозов на каждый календарный месяц построено еще 12 классификаций: четырехмесячных цепей однородного развития макропроцессов, в которых три первых месяца принимались в качестве исходных, а четвертый месяц считался прогностическим. Для каждого месяца было получено от 7 до 10 групп однородного развития макропроцессов, отличающихся друг от друга по характеру циркуляции, распределению аномалий давления и температуры.

Учет роли солнечной активности

Исследования показали, что в изменении солнечной активности выявляются 11-летние и 80—90-летние циклы, роль которых хорошо проявляется и в изменении характера атмосферных процес-

сов. Установлено, что на ветви спада 80—90-летнего цикла в атмосфере Земли активизируются процессы W формы атмосферной циркуляции, а на ветви роста — процессы E и C форм. При наличии прогноза изменений солнечной активности можно судить о характере предстоящей эпохи атмосферной циркуляции, ее продолжительности и границах. При изучении роли 11-летнего цикла солнечной активности установлено следующее: 1) при значениях чисел Вольфа выше нормы в четных циклах на полушарии, развиваются процессы W формы, а в нечетных — E формы; 2) при значениях чисел Вольфа ниже нормы существуют благоприятные условия для развития процессов C и отчасти E форм. Таким образом, имея прогноз солнечной активности в ближайшем 11-летнем цикле, можно составить прогноз последовательности смены форм циркуляции на предстоящие 11 лет, т. е. прогноз стадий предстоящей или текущей эпох.

Составление оперативного прогноза на январь—октябрь сводится к следующим этапам:

1) изучение климатических особенностей режима циркуляции и погоды в прогнозируемом районе и составление прогноза первого приближения;

2) анализ фона циркуляции, метеорологического режима, характера их внутригодовых изменений в текущей эпохе и ее стадии, в которой находятся исходный и прогнозируемый годы;

3) определение фона циркуляции, метеорологического режима и характера их внутригодовых изменений в предстоящем году на основе учета данных исходного года и подобранных к нему гомологов;

4) анализ развития гидрометеорологических процессов в августе—декабре исходного года в северном полушарии и прогнозируемом районе;

5) подбор гомологов к процессам августа—декабря исходного года и выбор действующих фоновой и сезонной групп;

6) анализ отобранной группы гомологов и определение вариантов их сочетания в каждом из прогнозируемых месяцев;

7) построение графиков аномалий повторяемости форм циркуляции и прогностических карт распределения аномалий метеорологических элементов для каждого месяца прогнозируемого периода;

8) построение прогностических карт и графиков, характеризующих фон всего 10-месячного периода;

9) выделение внутригодовых периодов однородной циркуляции в прогнозируемом году и построение соответствующих прогностических карт фона каждого внутригодового периода;

10) составление текста и оформление фонового прогноза для полярной области северного полушария;

11) скользящие уточнения и детализация фонового прогноза на предстоящие 1—3 месяца.

4.3. Макроциркуляционный метод прогнозов малой заблаговременности

Этот вид прогнозов составляется в ААНИИ на 8—10 дней вперед один раз в неделю в период арктической навигации (июнь—декабрь). Прогнозы содержат прогностические карты распределения наземного давления, траекторий барических образований, преобладающих направлений ветров, их средней скорости и возможных усиления в отдельных районах Арктики, а также преобладающие значения температуры воздуха.

Этот метод развивался на основе тех же принципов, что и метод большой заблаговременности, и базируется на использовании следующих основных закономерностей развития макропроцессов:

- зависимостей между типами синоптических процессов, наблюдаемых в Арктике, и режимом погоды в этом районе;

- закономерностей преобразования ЭСП на протяжении 20—30-дневных периодов (7—9 ЭСП) и их связи с преобразованиями форм W, E, C атмосферной циркуляции северного полушария;

- связей структурных особенностей барических образований в исходном ЭСП с характером развития синоптического процесса в следующем ЭСП;

- указаний о характере будущего развития, получаемых из гомологов, подобранных к исходным процессам.

Для установления первых закономерностей была выполнена классификация синоптических процессов в Арктике. Классификация основана на учете аналогичности барического поля и кинематических характеристик каждого ЭСП как в Арктике, так и в более южных широтах (до 45° с. ш.). При этом все многообразие процессов обобщено в 16 типах. Для каждого типа процессов были построены карты среднего давления и траекторий барических образований, характеристики режима ветра и температуры воздуха. Типовая обеспеченность указанных характеристик на 20—30% превышает обеспеченность климатологических характеристик, что дало основание использовать полученную классификацию как для диагноза, так и для прогноза характера процессов и режима погоды в Арктике.

Вторые закономерности, используемые в методе, представлены в виде групповых цепей однородного развития макропроцессов на протяжении 20—30-дневных периодов времени (7—9 ЭСП). Для построения указанных цепей выявлялись случаи однородного развития типов процессов в Арктике с учетом более длительных преобразований форм W, E, C атмосферной циркуляции, названных макропреобразованиями. Затем аналогичные цепи таких преобразований объединялись в одну группу. Всего было получено 144 группы. Для каждого ЭСП всех групп были построены карты среднего давления, карты изменения давления от ЭСП к ЭСП и групповые карты вероятности изменения давления, максимальных

и минимальных значений давления для 116 станций северного полушария. Текущие процессы за 3—4 ЭСП служат для выбора действующей группы, а характер процессов выбранной группы в следующие 3—4 ЭСП принимается в качестве прогноза на предстоящие 8—10 дней.

Третьи закономерности учитывают связь структурных особенностей барических образований в исходном ЭСП с характером развития синоптических процессов в следующем ЭСП.

Содержание этих связей состоит в следующем.

1. Циклоны у поверхности земли имеют тенденцию смещаться под тропосферные очаги тепла, а антициклоны — под очаги холода, причем эта тенденция сохраняется в течение ЭСП. Поэтому, определив местоположение очагов тепла и холода в исходном ЭСП, можно составить представление о характере барического поля в следующем ЭСП.

2. Области адвекции тепла в исходном ЭСП хорошо совпадают с областями падения давления, а области адвекции холода — с областями роста давления в следующем ЭСП.

3. Характер эволюции барических образований, намечившийся в исходном ЭСП, сохраняется, как правило, и в следующем ЭСП.

4. Сочетание адвекции тепла (холода) и расхожимости (сходимости) изогипс в исходном ЭСП в 92% случаев совпадает с падением (ростом) давления в следующем ЭСП.

5. В тех районах, где в исходном ЭСП отмечается адвекция тепла (холода), а у поверхности земли имеется рост (падение) наземного давления, в следующем ЭСП происходит формирование высотного гребня (ложбины) или усиление (углубление) уже имеющегося.

Наряду с рассмотренными выше закономерностями используются и гомологи. Для чего из гомологов, отобранных при составлении фоновых прогнозов и их уточнений, выбираются те, у которых имеет место аналогия с тремя ЭСП, предшествующими прогнозируемому ЭСП. Для прогноза используются те гомологи, у которых характер развития процессов в последующих 3—4 ЭСП согласуется с прогнозом, полученным по рассмотренным выше зависимостям.

Составление оперативного прогноза сводится к следующим этапам:

- 1) анализ текущего синоптического процесса;
- 2) предварительный подбор гомологов циркуляции;
- 3) построение прогностической схемы процесса на 3—4 суток по общециркуляционным связям;
- 4) составление прогноза синоптического положения на 3—10 дней с учетом выбранных вариантов гомологов и прогностических схем, построенных для первых 3—4 дней;
- 5) составление прогноза погоды на 8—10 суток по отдельным районам Арктики;
- 6) оформление прогностических карт.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

РАЗДЕЛ I. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

Глава I. Прогноз синоптического положения

1.1. Классификация прогнозов	3
1.2. Основные способы прогноза синоптического положения	5
1.3. Прогноз перемещения барических систем и фронтов	6
1.4. Прогноз эволюции барических систем и фронтов	9

Глава 2. Прогноз условий погоды

2.1. Прогноз ветра и явлений, связанных с ветром	10
2.2. Прогноз температуры и влажности воздуха	17
2.3. Прогноз облачности и осадков	19
2.4. Прогноз туманов и видимости	26

РАЗДЕЛ II. ОСНОВЫ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Глава 3. Синоптические методы долгосрочных прогнозов малой и большой заблаговременности школы Б. П. Мультиановского — С. Т. Пагавы

3.1. Основные понятия и закономерности развития макросиноптических процессов, лежащие в основе метода	30
3.2. Прогнозы погоды на 3—10 дней	37
3.3. Прогнозы погоды на месяц	42
3.4. Прогнозы погоды на сезон	44

Глава 4. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов школы Г. Я. Вангенгейма — А. А. Гирса

4.1. Принципы, лежащие в основе метода	46
4.2. Основы макроциркуляционного метода прогнозов большой заблаговременности	46
4.3. Макроциркуляционный метод прогнозов малой заблаговременности	52