

А. Л. КАЦ



*Близува Катерина
Агизия*

ПРЕДСКАЗАНИЕ
ПОГОДЫ
НА ТРИ—СЕМЬ ДНЕЙ



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
Ленинград-1958

04
 прогнозы погоды
 среднесрочные прогнозы

АННОТАЦИЯ

В книге излагаются систематизированные научно-методические основы разработанных в последние годы в СССР методов прогноза погоды на три — семь дней. Книга рассчитана в первую очередь на метеорологов-синоптиков, но она представляет интерес и для более широкого круга читателей, интересующихся проблемой прогноза погоды.

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ

обозначенного здесь срока 13.06.72

14.05.72	1	2200		
14.05.72	Саврунине	010		
15.05.72	Комиссаренко	030		
15.05.72	Мамодов	010		

ОТ АВТОРА

132 642
Настоящая книга представляет собою переработанное и дополненное издание брошюры «Прогнозы погоды малой заблаговременности», опубликованной в 1950 г. За истекший со времени опубликования первого издания период проведена всесторонняя проверка применявшихся ранее способов предсказания погоды на несколько дней и выполнен целый ряд работ по изысканию и разработке новых приемов прогноза. В связи с этим возникла необходимость переработки и дополнения указанной брошюры.

В настоящем издании оставлены без существенных изменений только общие разделы, относящиеся главным образом к принципам схематизации и периодизации макросиноптических процессов. По-новому освещаются основные принципы составления прогнозов на несколько дней. Настоящее изложение соответствует тем приемам, которые уже применяются или будут применяться в практической работе Центрального института прогнозов и других групп долгосрочных прогнозов погоды.

В книгу включены также новые разделы о количественной оценке синоптических макропроцессов.

Начиная с 1946 г., прогнозы погоды на несколько дней назывались в СССР долгосрочными прогнозами малой заблаговременности. В США и Германии их принято называть среднесрочными. Оба эти названия не вполне четко и однозначно отражают как продолжительность действия таких прогнозов, так и заблаговременность, с которой они составляются. Поэтому настоящее издание названо «Предсказание погоды на 3—7 дней». Такое название, на наш взгляд, более точно опреде-

ляет как содержание, так и возможности излагаемых в брошюре прогностических приемов.

Следует отметить, что не все излагаемые прогностические приемы представляют собою самостоятельные и вполне завершённые методы. Работа освещает в доступной форме методические основы способов прогноза на 3—7 дней, разработанных в Гидрометслужбе в настоящее время. Обобщенные и сведенные в определенную систему эти приемы часто дополняют и корректируют друг друга, благодаря чему использование их позволяет составлять более надежные прогнозы, чем это было до последнего времени.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающие потребности народного хозяйства Советского Союза в гидрометеорологическом обслуживании выдвигают перед метеорологами задачи как улучшения качества гидрометеорологической информации и прогнозов погоды на 12—36 часов, так и удлинения промежутка времени, на который составляется прогноз. Многие отрасли нуждаются в прогнозах хотя бы на 3—5 дней, которые давали бы как общую характеристику погоды, так и резкие изменения ее в течение этого периода. Однако интересы планового социалистического хозяйства требуют, чтобы прогнозы составлялись непрерывно, т. е. каждый день.

Планирование с учетом надежного прогноза погоды позволяет своевременно произвести перестановку сил, эффективно использовать те или иные промышленные и сельскохозяйственные механизмы, своевременно начать или прекратить работы, особо зависящие от условий погоды, и т. д. Правильное использование прогнозов, несмотря на их еще неполное совершенство, как показывает опыт, способствует экономии значительных средств и материальных ценностей. Примерами такого эффективного использования прогнозов на несколько дней вперед могут быть многократно проведенные экспедиции по переброске водным путем через арктические моря речных судов с Европейской территории СССР на мощные водные артерии Сибири — рр. Обь и Енисей; своевременные меры в сельском хозяйстве по борьбе с заморозками; своевременное начало и окончание рыбной путины и т. д.

В чем же состоят особенности приемов прогноза погоды на 3—7 дней и их отличие от приемов прогноза на 12—36 часов?

Условия погоды в любом районе определяются развитием синоптических процессов, т. е. перемещением и эволюцией барических образований и связанных с ними воздушных масс. Погода в каком-либо пункте в фиксированный момент времени непосредственно зависит от физического состояния воздушных масс, находящихся в это время над данным пунктом. Поэтому любой прогноз, краткосрочный или долгосрочный, в конечном

итоге сводится к стремлению как можно лучше предвидеть характер циркуляции и физическое состояние тех воздушных масс, которые в прогнозируемом промежутке времени обусловят ту или иную погоду.

При составлении краткосрочного прогноза погоды на 12—36 часов приходится прогнозировать перемещение и развитие, как правило, уже наметившихся на синоптической карте барических образований и фронтов. В связи с развитием барических образований необходимо прогнозировать изменение на ближайшие 12—36 часов физических свойств воздушных масс, для которых нередко на карте уже видны характеристики исходного состояния.

При прогнозе же погоды на несколько дней на исходной синоптической карте часто еще нет тех барических образований и фронтов, которые в последующем обусловят погоду данного района в прогнозируемом промежутке времени. Указанное обстоятельство нельзя устранить простым расширением территорий, по которой составляются и анализируются синоптические карты. Оно обусловлено тем, что синоптические процессы испытывают не только эволюционное развитие, но и скачкообразные перестройки; циклоны и антициклоны не только перемещаются в пространстве, но и непрерывно развиваются, зарождаются и исчезают.

Само собой разумеется, что долгосрочные прогнозы погоды отличаются от краткосрочных и тем, что они составляются для больших промежутков времени и с различной заблаговременностью. Для составления прогнозов погоды хотя бы на 3—7 дней необходимо изучать закономерности развития синоптических процессов на большем пространстве и за значительно большие промежутки времени, чем при краткосрочных прогнозах погоды.

Последующие разделы посвящены изложению способов изучения и схематизации макропроцессов и методических приемов, обеспечивающих возможность составления прогнозов погоды на 3—7 дней.

Глава I

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗУЧЕНИЯ И СХЕМАТИЗАЦИИ МАКРОПРОЦЕССОВ

Материалы, необходимые для составления прогноза погоды на 3—7 дней

Основными рабочими материалами для составления прогнозов погоды на 3—7 дней являются:

- 1) приземные карты погоды;
- 2) карты абсолютной топографии (АТ) главных изобарических поверхностей;
- 3) карты относительной топографии (ОТ) между изобарическими поверхностями 500 и 1000 мб.

Все остальные материалы, необходимые для составления прогноза погоды на 3—7 дней, получаются по данным этих основных синоптических карт Евразии и всего северного полушария.

При составлении прогнозов погоды на 3—7 дней по приземным картам погоды строят так называемые сборнокинематические карты, которые, как будет показано далее, позволяют одновременно обзирать направление перемещения барических образований и их эволюцию, а также расположение основных циклонических и антициклонических полей в течение нескольких дней.

По данным карт абсолютной топографии строят целый ряд производных карт, имеющих большое значение при составлении прогнозов на 3—7 дней. Такими производными картами являются:

- 1) средние карты абсолютной топографии поверхности 500 мб за различные сроки, характеризующие среднюю структуру барического поля, среднее направление и интенсивность ведущих потоков в тропосфере;

- 2) различные карты разностей значений AT_{500} , называемые картами изаллопс; эти карты позволяют судить о том,

насколько изменилась высота изобарической поверхности за сопоставляемые промежутки времени;

3) средние карты абсолютной топографии различных уровней за один и тот же момент или промежуток времени;

4) карты вихрей на том или ином уровне.

По ежедневным картам OT_{1000}^{500} строят:

1) различного рода средние карты, которые дают возможность судить о средней характеристике теплых и холодных масс воздуха в тропосфере, а также о средних контрастах температуры во фронтальных зонах;

2) карты изменений, или изаллогипс, OT_{1000}^{500} ;

3) отклонение от многолетних средних («норма») ежедневных значений OT_{1000}^{500} или средних значений OT_{1000}^{500} за определенные промежутки времени.

Эти карты характеризуют, в какой мере средняя температура слоя за рассматриваемый промежуток времени выше или ниже среднего многолетнего значения.

Из перечня материалов видно, что основными рабочими средствами синоптического метода прогнозов погоды на 3—7 дней являются те же карты, которые используются для составления краткосрочных прогнозов погоды. В последующем будет показано, как строятся и используются для составления прогнозов погоды на 3—7 дней все перечисленные, а также и другие производные материалы.

Основные районы формирования барических образований, определяющих погоду Европы и Западной Сибири

Отечественная школа синоптических методов долгосрочных прогнозов погоды одна из первых в мире разработала практический способ составления прогнозов погоды на 3—7 дней, основанный на изучении синоптических процессов, развивающихся на большом пространстве и в течение длительных промежутков времени.

Изучая синоптические процессы на территории Европейской России, Б. Н. Мультановский [29] еще в 1915 г. пришел к выводу, что погода на этой территории определяется двумя очагами формирования воздушных масс (центрами действия атмосферы), из которых продвигаются к нам антициклоны. Одним таким очагом является азорский, а вторым — полярные центры действия атмосферы. При этом впервые было установлено, что полярные центры действия атмосферы не представляют собой сплошной области повышенного давления, как это представлялось раньше, а объединяют ряд областей высокого и низкого давления в Полярном бассейне. Это открытие русского ученого затем было подтверждено материалами советской дрейфующей станции «Северный полюс» в 1937 г. и последующими экспедициями в Арктике.

На основании обнаруженного факта преобладающего влияния полярных центров действия атмосферы на погоду Европейской территории СССР было установлено, что для выяснения закономерностей развития атмосферных процессов и смены погоды в Евразии необходимо изучить прежде всего изменения, происходящие в этих центрах действия атмосферы. По Полярному бассейну и Атлантике отсутствовали данные, достаточно освещающие режим погоды непосредственно в этих районах. Поэтому изучались такие явления, которые, находясь в непосредственной зависимости от состояния этих центров действия атмосферы, могли служить показателями происходящих в них изменений. Такими показателями оказались антициклоны (как наиболее устойчивые барические образования) и их траектории.

Изучение траекторий антициклонов, вторгающихся в Европу, позволило обнаружить [28], что они группируются определенными пучками, в которых можно выделить средние члены. Эти средние члены пучков, являющиеся типовыми путями антициклонов, были названы «осями». Типовые пути смещения ядер высокого давления с запада и юго-запада на восток получили название азорских осей, с северо-запада на юго-восток — нормальных полярных осей, с севера и северо-востока на юг и юго-запад — ультраполярных осей. Смещение антициклона по той или иной оси было названо воздействием по оси.

Сейчас уже хорошо известно, что циклоны и антициклоны развиваются и перемещаются не независимо друг от друга, а находятся в тесной взаимосвязи. Мультановский еще в 1915 г. обнаружил, что со смещением антициклона в определенном направлении (по какой-либо оси) связано устойчивое перемещение и других барических образований в течение продолжительного промежутка времени на обширном пространстве от 40° в. д. до 90° в. д., ограниченном с юга примерно параллельно 40° с. ш.

В связи с этим указанное пространство Атлантики и Евразии, включающее все оси и центры действия атмосферы, которые обуславливают развитие погоды в Европе, было названо европейским естественным синоптическим районом. Позднее в работах советских ученых С. Т. Пагавы [16] и Х. П. Погосяна [39] было показано, что на северном полушарии имеются еще два таких района, получивших название азиатского и американского естественных синоптических районов.

В каждом из этих районов имеются характерные для него центры действия атмосферы и синоптические процессы, чему в значительной мере способствует своеобразное сочетание подстилающей поверхности. В то же время атмосферные процессы в отдельных географических районах не обособлены, а находятся в постоянной взаимосвязи. Однако следует отметить, что эта взаимосвязь очень сложна. Окончательно установить характер этой взаимосвязи возможно лишь в результате глубокого

познания закономерностей общей циркуляции атмосферы. Эти закономерности за последние годы все больше и больше выясняются. В общих же чертах взаимосвязь и взаимообусловленность заключаются в следующем.

Циклоны и антициклоны прослеживаются не только у поверхности земли. Они создают в тропосфере деформационные поля в виде систем высотных циклонов и антициклонов, обладающих большей устойчивостью, чем приземные барические образования. Обладая большой устойчивостью, высотные деформационные поля в свою очередь определяют перемещение и развитие приземных барических образований. Так, например, интенсивное развитие циклонической деятельности на юге Северной Атлантики, как правило, способствует значительному выносу тепла в северные ее районы, благодаря чему в тропосфере образуется высотный гребень на крайнем западе европейского континента. По восточной периферии такого высотного гребня часто происходит перемещение холодных воздушных масс и развитие высотной ложбины к востоку от гребня. В зависимости от направления и интенсивности развития гребня наблюдается большее или меньшее поступление холода к востоку от него и соответствующее развитие высотной ложбины. Возникающее таким образом высотное поле, развиваясь, сохраняется в течение некоторого продолжительного промежутка времени, обуславливая развитие или заполнение приземных циклонов, формирование, регенерацию или разрушение антициклонов и т. д. То или иное направление развития барических образований и их перемещение зависят от структуры термобарического поля тропосферы на большом пространстве.

Возникшее в результате определенного процесса и сохраняющееся в течение некоторого промежутка времени высотное деформационное поле обуславливает развитие синоптических процессов не только в районе этого поля, но в свою очередь влияет на формирование и перестройку смежных полей, также сохраняющихся в течение некоторых промежутков времени. Следовательно, для познания общей циркуляции атмосферы необходимо изучать синоптические процессы, развивающиеся на огромных пространствах земного шара.

В то же время синоптический опыт показывает, что наличие материков и океанов с весьма различными физическими свойствами создает специфические особенности циркуляции в различных географических районах.

В работах [39, 46, 61] на основании огромного синоптического материала обнаружены районы, где преимущественно возникают циклоны и антициклоны, перемещающиеся в определенных пределах. В работе В. Г. Семенова [46], занимавшегося исследованием влияния подстилающей поверхности на синоптические процессы, показано, как влияет температурное состояние Северной Атлантики на интенсивность и направление переме-

щения циклонов. В этой же работе установлено, что наблюдаемые над Атлантическим океаном циклонические траектории не являются продолжением траекторий циклонов с американского континента; это траектории циклонов, формирующихся в различных районах Атлантического океана в зависимости от состояния подстилающей поверхности.

В исследовании А. Л. Каца, В. Г. Семенова и Г. И. Морского [23] показано, что состояние общей циркуляции атмосферы на северном полушарии оказывает существенное влияние на развитие синоптических процессов над Евразией в течение длительных промежутков времени. Однако в этом исследовании было обнаружено, что взаимосвязь синоптических процессов над евразийским и американским секторами северного полушария осуществляется не непосредственно через западно-восточный перенос, а вероятней всего через циркуляцию в арктическом бассейне. Значение циркуляции в этом районе для погоды средних широт также показано в работе Х. Х. Рафаиловой [41], специально посвященной вопросам взаимосвязи синоптических процессов арктических и умеренных широт.

Таким образом, для практических целей прогноза погоды на 3—7 дней на Европейской территории СССР можно ограничиваться детальным исследованием тропосферных и приземных синоптических процессов, развивающихся на атлантико-евразийском секторе северного полушария, с обязательным учетом тех влияний, которые оказывают процессы, развивающиеся в других частях этого полушария и прежде всего в бассейне Арктики.

Как фиксировать и схематизировать синоптические процессы за длительные промежутки времени

На ежедневных картах погоды наблюдается такое разнообразие синоптических процессов, что найти две идентичные карты невозможно. Однако если пренебречь мелкими деталями, то всегда можно найти такие группы синоптических карт, каждая из которых характеризуется общей для всей группы основной особенностью. Так, например, можно подобрать ряд карт, характеризующихся одинаковым или достаточно близким географическим расположением основных барических систем, одинаковым направлением перемещения циклонов и антициклонов через определенные географические районы и т. д.

Чтобы выявить общие или противоположные особенности синоптических процессов, необходимо выбрать удобный способ сопоставления между собою целых групп однотипных карт, а также способ фиксации и схематизации их. Наряду с наглядностью такой способ должен наиболее объективно и полно отражать сущность синоптического процесса. Для этой цели в отечественной синоптической школе долгосрочных прогнозов

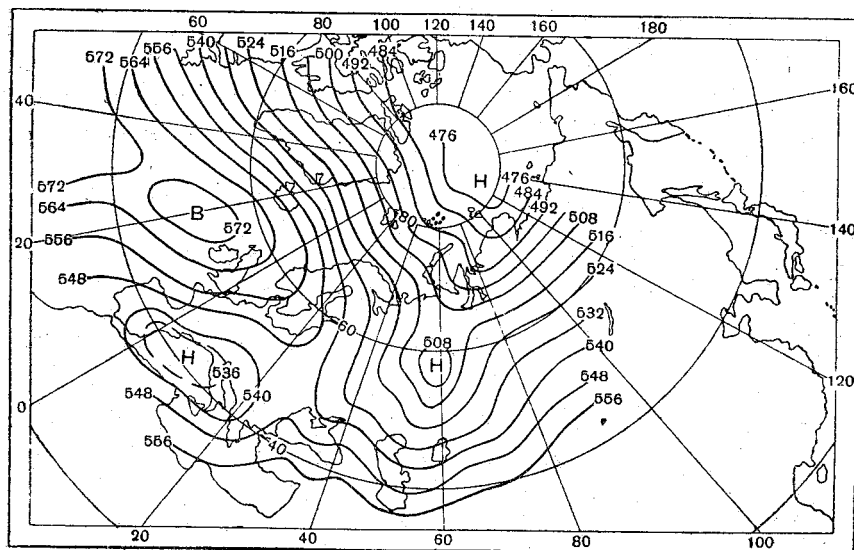


Рис. 1. Средняя карта AT_{500} за период 14—19 января 1957 г.

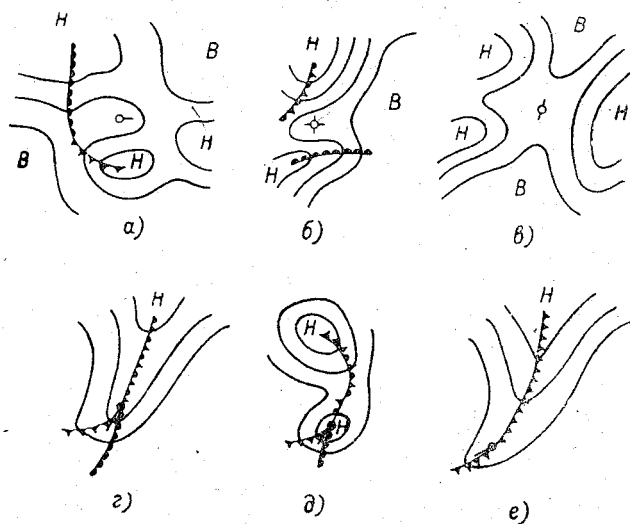


Рис. 2. Примеры использования условных обозначений для схематизации барического поля.

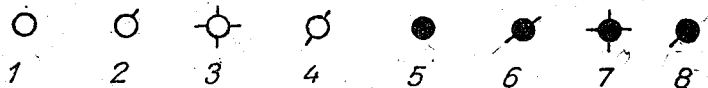
погоды применяются, во-первых, средняя карта и, во-вторых, схематическое изображение.

Средняя карта. Допустим, что необходимо построить среднюю карту абсолютной топографии поверхности 500 мб за 5 дней. Для этого выбирают на карте ряд равномерно расположенных пунктов, по каждому пункту находят средние значения AT_{500} за эти дни и полученные величины наносят на карту, которую анализируют как обычную карту абсолютной топографии.

Средние карты можно составлять для многих метеорологических элементов (давление, температура и т. д.) и за любой отрезок времени. Однако следует помнить, что средние карты не всегда отражают действительно имевшее место явление. Так, например, если построить карту среднедекадной температуры воздуха, то средние положительные величины на этой карте могут получиться вследствие осреднения положительных температур в течение всех 10 дней; но эти же средние положительные величины могут явиться результатом осреднения суммы больших положительных и малых отрицательных значений температуры.

Средняя карта, построенная за любой произвольный промежуток времени, чаще всего не отражает четко преобладающее явление или процесс. В то же время средняя карта может служить надежным и полезным материалом, если она построена для какого-либо однотипного процесса или однородного явления (например, стационарирование антициклона, усиление ветра на Финском заливе и т. д.). Средняя карта, построенная для однотипных процессов, погашая частности и незначительные детали, отчетливо выделяет основной процесс и связанные с ним явления (рис. 1). При составлении долгосрочных прогнозов на 3—7 дней чаще всего пользуются средними картами абсолютной и относительной топографии однотипных синоптических процессов.

Схематическое изображение. В отечественной школе долгосрочных прогнозов погоды для схематизации синоптических процессов, развивающихся у поверхности земли, применяются сборные карты двух разновидностей: а) сборно-статические и б) сборнокинематические. При составлении таких сборных карт используются следующие условные обозначения:



- 1 — антициклон;
2 — гребень, оформляющий свежую воздушную массу;
3 — гребень (или ядро), оформляющий воздушную массу;

строить уже другую сборную карту, чтобы отделить однотипные процессы.

Поля со знаками антициклонического режима можно отделить от полей со знаками циклонического режима линией раздела, которая носит название демаркационной линии. Карта с условными знаками барического рельефа и демаркационной линией называется сборностатической.

Демаркационная линия является не только линией раздела циклонических и антициклонических полей. При строгом выделении однотипных процессов демаркационная линия отражает среднее положение наиболее стойкого переноса воздушных масс в нижних слоях атмосферы за выделенный отрезок времени. Если, например, демаркационная линия в каком-либо районе проходит вдоль меридиана так, что условные знаки антициклонического поля — к востоку, то легко представить, какой основной поток преобладал в нижних слоях атмосферы на значительном пространстве. В районе условных знаков высокого давления (поблизости от центров антициклонов) ветры бывают слабые и неустойчивые, а вблизи центра циклонов потоки могут быть и сильнее, но, как правило, также неустойчивого направления. На периферии антициклонов точно так же, как и циклонов, на довольно обширном пространстве имеется однородный поток. При правильном проведении демаркационной линии в каждом конкретном случае на сборной карте нетрудно установить направление основного преобладающего потока.

Сборнокинематическая карта отличается от сборностатической тем, что условные знаки ото дня ко дню наносятся на сборную карту и соединяются линиями, благодаря чему наглядно вырисовываются траектории барических образований за некоторый промежуток времени (рис. 3).

При соединении условных знаков двух смежных дней пользуются не только основными и промежуточными приземными синоптическими картами, но и картами барической топографии, которые указывают на ведущий поток и поэтому помогают безошибочно установить истинный путь барического образования и его эволюцию.

Сборнокинематическая карта выгодно отличается от сборностатической и тем, что она отображает не только положение барических образований, но и кинематику процесса, взаимобусловленность барических систем, их жизненный цикл.

Когда соединяют линией два условных знака (например, волновой и хорошо развитый циклон), то тем самым одновременно отображают направление перемещения и эволюцию этого барического образования. Поэтому траектории барических образований выясняются и прорисовываются с особой тщательностью. Например, на синоптической карте какого-либо дня имеются два хорошо развитых циклона. В дальнейшем один

из них углубляется, а другой заполняется и превращается в ложбину нового. На синоптической карте следующего дня обнаруживается лишь циклон с ложбиной. Чтобы на сборнокинематической карте правильно представить развитие процесса, по всем промежуточным синоптическим (приземным и высотным) картам прослеживают, какой из циклонов заполнился, и его центр соединяют с новой ложбиной. Подобное же положение бывает при развитии нового циклонического образования в ложбине заполняющегося циклона. На приземной синоптической

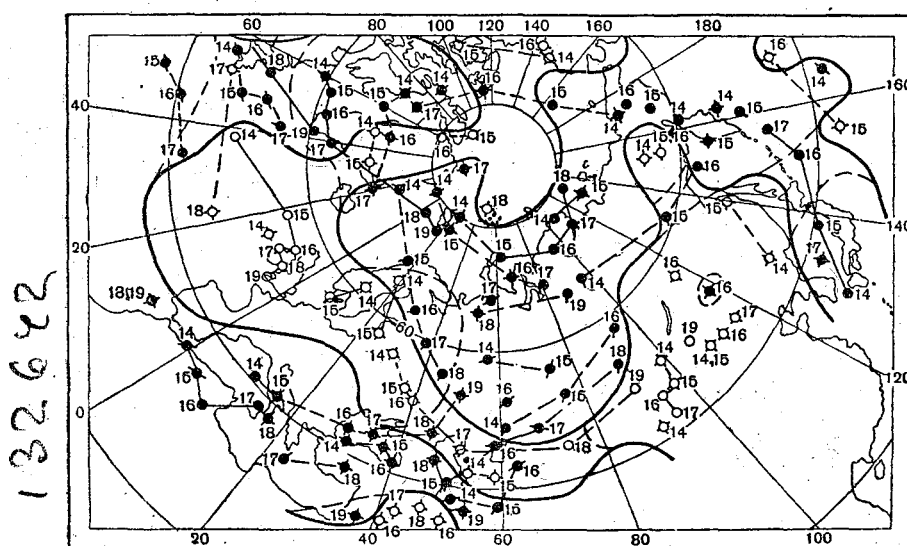


Рис. 3. Сборнокинематическая карта 14—19 января 1957 г.

карте следующего дня снова имеется один циклон с ложбинами. Однако новая ложбина представляет собою всего лишь остаток предыдущего циклона, в то время как циклон на последующей карте есть результат углубления и развития предыдущей ложбины. На сборнокинематической карте необходимо соединить условный знак предшествующей ложбины с последующим циклоном и наоборот.

Тщательный анализ развития отдельных барических образований при составлении сборнокинематической карты обеспечивает в последующем возможность правильно представить развитие и взаимообусловленность синоптических процессов в целом.

Одновременно с нанесением на карту условных знаков барических образований намечается также положение демаркационных линий каждого дня. Это помогает правильнее провести среднюю демаркационную линию за некоторый отрезок времени.

При окончательном проведении демаркационной линии иногда встречаются затруднения, обусловленные тем, что вслед

Для численной оценки интенсивности циклонической или антициклонической деятельности, изображенной на какой-либо синоптической карте, последнюю разбивают на площадки со сторонами 10° по меридиану и 5° по параллели, в которых отмечаются индексы, соответствующие давлению и циркуляции в районе этой площадки.

Для получения численного выражения интенсивности циклонической циркуляции на этой карте арифметически суммируют все положительные числа, а для получения интенсивности антициклонической циркуляции — все отрицательные числа. Полученные суммарные характеристики и представляют собою соответственно индексы циклонической и антициклонической циркуляции на данной синоптической карте. Алгебраическая сумма индексов циклонической и антициклонической циркуляции дает обобщающую характеристику цикло-антициклонической деятельности, которую можно назвать индексом атмосферной циркуляции по контуру всего района, для которого определена сумма.

Подобным образом можно численно оценить состояние цикло-антициклонической циркуляции по любому контуру и за любой промежуток времени.

б) Индекс зональности

В динамической и синоптической метеорологии широкое распространение получил так называемый планетарный индекс зональной циркуляции, или индекс зональности [7, 8]. Введение этого индекса вызвано следующими соображениями. Так как радиационный баланс атмосферы в течение всего года в северных районах отрицателен, а в южных — положителен, то на вращающейся Земле в тропосфере и нижней стратосфере господствует западно-восточный перенос, соответствующий термическому градиенту экватор — полюс.

Если обозначить через ω_a угловую скорость вращения атмосферы, а через ω угловую скорость вращения Земли, то разность $\omega_a - \omega$ будет характеризовать угловую скорость вращения атмосферы относительно неподвижной Земли. Отношение $\frac{\omega_a - \omega}{\omega} = I_p$ может быть принято как планетарный индекс зональной циркуляции, так как оно характеризует отношение угловой скорости вращения атмосферы относительно неподвижной Земли к угловой скорости вращения самой Земли относительно оси.

Чтобы выразить этот планетарный зональный индекс через величины, которые снимаются непосредственно с карт барической топографии, заменяют угловую скорость вращения атмосферы относительно Земли через линейную скорость движения атмосферы относительно Земли вдоль кругов широты. Так как

линейная скорость градиентного ветра в свою очередь может быть выражена через градиент барической топографии, то в конечном итоге планетарный индекс зональности I_p может быть найден из выражения

$$I_p = \frac{H_\varphi - H_0}{(\omega a)^2 \cos^2 \varphi}, \quad (2)$$

где H_φ — среднее значение геопотенциала на любой широте, H_0 — значение геопотенциала на полюсе, ω — угловая скорость вращения Земли, a — радиус Земли и φ — широта. В этом выражении переменными являются лишь H_φ , H_0 и $\cos \varphi$, т. е. величины, которые можно установить непосредственно по карте барической топографии.

Практически индекс зональности I_p находят путем подсчета среднеширотных значений H_φ для каждого круга широты. Затем эти значения наносятся на график, по оси абсцисс которого отложено значение $\cos^2 \varphi$, а по оси ординат откладывается значение H_φ . По полученным точкам наносят прямую линию, угол наклона которой и определяет значение индекса зональности I_p .

В таком или несколько ином виде индекс зональности используется в ряде советских и зарубежных работ гидродинамического направления.

В более простой форме подобный же планетарный индекс зональности предложен американским ученым Россби [63]. Этот индекс, также характеризующий интенсивность западно-восточного переноса, получается путем вычисления разности среднего давления или геопотенциала на двух фиксированных широтах $I_p' = H_{\varphi_2} - H_{\varphi_1}$. К примеру, индекс зональности в зоне от 35 до 55° с. ш. подсчитывается следующим образом. Выбирается сеть равномерно расположенных точек на каждой из этих широт. По этим точкам для каждого из указанных кругов широты подсчитывается среднее давление или среднее значение геопотенциала. Затем из этих средних значений давления или геопотенциала на параллели 55° вычитается среднее значение давления или геопотенциала на параллели 35°. Эта величина характеризует градиент давления и, следовательно, скорость западно-восточного переноса относительно неподвижной Земли.

К сожалению, H_φ как функция $\cos^2 \varphi$ не всегда представляет собою прямую линию. Нередко эта зависимость выражается в виде некоторой кривой, наклон которой к тому же изменяется на разных уровнях. Эти изменения свидетельствуют о том, что атмосфера в зональном движении вращается не как твердое тело, а с некоторыми деформациями. Эти деформации в первую очередь обусловлены меридиональными нарушениями зональной циркуляции как на отдельных участках, так и на всем полушарии. Поэтому в ряде работ предлагается способ оценки циркуляции по состоянию меридиональности.

в) Локальные индексы меридиональности

Для подсчета локальных индексов меридиональности также есть несколько способов. В частности, рассмотрим способ, предложенный Х. П. Погосьяном и Е. И. Савченковой [40].

Для оценки состояния циркуляции над определенным районом эти авторы предложили подсчитывать индекс меридиональности в виде разности средних геопотенциалов в двух постоянно выбранных районах (от 18° з. д. до 30° в. д. — первый район и от 30 до 78° в. д. — второй район, в зоне между параллелями 32 и 84° с. ш.). Практически этот локальный меридиональный индекс вычисляется как разность средних значений геопотенциалов в первом и втором районах.

Если в первом районе расположен высотный гребень или антициклон — индекс положителен; если же здесь расположен высотный циклон или ложбина, а во втором районе гребень — индекс будет иметь отрицательный знак.

Положительной стороной такого индекса является его объективность. В то же время он обладает рядом недостатков. Такой индекс является чисто локальной характеристикой и подсчитывается лишь для определенного стандартного района. Для оценки состояния меридиональности на большом пространстве, скажем на всем полушарии, такой индекс не может быть уже применен. Локальный индекс меридиональности в таком виде дает лишь относительную характеристику. Он имеет одинаковые значения при $H_1 = 10$ и $H_2 = 5$, $H_1 = 25$ и $H_2 = 20$.

Подобные индексы меридиональности используются также в американской литературе [65] с той лишь разницей, что в этих работах индексы меридиональности нередко подсчитываются просто в виде разности геопотенциалов на двух выбранных меридианах.

Ю. Б. Храбров [49], изучая условия формирования волн холода в Средней Азии, предложил для количественной оценки процессов над Европой подсчитывать иной индекс меридиональности

$$K = (H - \bar{H})_{\max} S. \quad (3)$$

Здесь $(H - \bar{H})_{\max}$ представляет собою максимальную разницу геопотенциала на оси высотного гребня текущей карты AT_{500} и на средней многолетней карте AT_{500} текущего месяца, выражаемый в декаметрах. S представляет собою площадь гребня на карте текущего дня между параллелями 40 и 60° с. ш., а также между осевыми линиями высотных фронтальных зон, ограничивающих данный гребень. Чем больше разность $(H - \bar{H})_{\max}$, т. е. чем более интенсивно выражен гребень по сравнению со среднемноголетними значениями геопотенциала на оси и чем большую площадь этот гребень занимает, тем больше оказывается индекс меридиональности. Единицей пло-

щади, как правило, принимается квадрат на географическом бланке со сторонами 4° меридиана.

Указанный индекс, как и индекс Погосяна и Савченковой, также может быть применен лишь для некоторых целей. Его подсчет связан с определенным сочетанием гребней и ложбин, поэтому несколько затрудняется сопоставление интенсивности меридиональной циркуляции в разных районах и за длительные промежутки времени.

г) Индексы зональной и меридиональной циркуляции

Из анализа вышеизложенных индексов видно, что при помощи любого из них можно подсчитать какую-нибудь отдельную характеристику циркуляции: зональную или меридиональную. При этом индексы зональности и подсчитанные описанным образом индексы меридиональности по существу не сопоставимы между собой. Невозможно сопоставить с индексами зональности также индексы меридиональности, которые предлагалось еще в 1937—1938 гг. [57, 62, 64] подсчитывать для всего северного полушария по числу особых точек (число максимумов и минимумов давления) на каждом из кругов широты.

Вследствие этого в метеорологической литературе до последнего времени не было единого мнения о том, как лучше характеризовать состояние циркуляции — зональным индексом или тем или иным меридиональным индексом. Больше того, до последнего времени не было даже общепринятого положения о том, что же считать усилением циркуляции — увеличение интенсивности зональной или меридиональной циркуляции. Поэтому автором [19, 20] был применен такой способ подсчета индексов циркуляции, который позволяет количественно оценить в сопоставимых единицах для любого района как зональную, так и меридиональную составляющую циркуляции, а также их совокупность. Этот способ заключается в следующем.

Хорошей физической мерой общей циркуляции атмосферы может служить количество воздуха, протекающего в единицу времени над рассматриваемым районом, так как в конечном итоге давление и, следовательно, циклоническая и антициклоническая циркуляция меняются вследствие перераспределения масс воздуха на земном шаре.

В работе [19] на основании анализа уравнения горизонтального переноса массы воздуха было показано, что для определенного района изменение зонального потока массы на выбранном участке зависит только от колебаний среднего градиента давления на участках меридианов, включенных в эту зону, а меридионального потока массы — от среднего градиента давления на участках параллелей.

Эти средние градиенты практически могут служить соответственно индексами зональной I_z и меридиональной I_m циркуляции.

Для получения индекса зональности необходимо найти средний меридиональный градиент давления в выбранной зоне. Практически это можно выполнить путем подсчета конечных разностей давления на отрезках меридианов, включенных в данную широтную зону, с последующим осреднением этих разностей. Умножив этот индекс зональности на среднее значение параметра Кориолиса для выбранной зоны, можно получить зональный перенос массы воздуха над единицей площади этой зоны.

Подобным же образом меридиональный градиент может быть подсчитан в виде конечных разностей давления на параллелях, включенных в зону. Среднее значение этого градиента представляет выбранный индекс меридиональности. Умноженный на среднее значение параметра Кориолиса, он дает меридиональную составляющую переноса массы воздуха.

Практически, без большого ущерба для точности, удобно подсчитывать не конечные разности, а число пересечений изобарами меридианов и параллелей. Так, если через $n_1, n_2, \dots, n_i$ обозначить число пересечений соответствующих меридианов изобарами (или изогипсами), проведенными через b мб, то нетрудно видеть, что средний меридиональный градиент на участке каждого меридиана равен числу пересечений изобарами этого меридиана, умноженному на разницу давления (или геопотенциала) между соседними изолиниями на карте и отнесенному к единице долготы:

$$\Gamma_m = \frac{bn_i}{(\varphi_j - \varphi_1)} \text{ мб/град. мерид.} \quad (4)$$

Чтобы получить среднее значение градиента во всей зоне, нужно просуммировать число всех пересечений с меридианами в выделенной зоне и поделить эту сумму на число меридианов i , после чего получим среднее в выбранной зоне значение градиента давления (геопотенциала) в миллибарах на 1° меридиана. Это выражение как раз и дает среднее значение меридионального градиента давления в выбранной зоне. Оно и принято за индекс зональной циркуляции

$$I_z = \frac{b \sum_1^i n_i}{(\varphi_j - \varphi_1) i} \text{ мб/град. мерид.} \quad (5)$$

Аналогично, если через $m_1, m_2, \dots, m_j$ обозначить число пересечений изобарами (изогипсами) участков соответствую-

щих параллелей, включенных в зону, то индекс меридиональности может быть выражен следующим образом:

$$I_m = \frac{b \sum_1^j m_j k_j}{(\lambda_i - \lambda_1) j} \text{ мб/град. мерид.}, \quad (6)$$

где j — число параллелей, включенных в зону, а $k_j = \frac{1}{\cos \varphi}$ — коэффициент, учитывающий различную линейную длину участков параллели в 1° на разных широтах.

Изобары (изогипсы) могут пересекать меридианы как с запада на восток, так и с востока на запад. Если обозначить через n_z число пересечений изобарами (изогипсами) меридианов в направлении с запада на восток, а через n_v число пересечений изобарами или изогипсами меридианов с востока на запад, то нетрудно себе представить, что при помощи тех же выражений можно получить индекс зональной западной циркуляции

$$I_{zz} = \frac{b \sum_1^i n_{iz}}{(\varphi_j - \varphi_1) i} \quad (7)$$

и индекс зональной восточной циркуляции

$$I_{zv} = \frac{b \sum_1^i n_{iv}}{(\varphi_i - \varphi_1) i}. \quad (7')$$

В соответствии с тем, что в атмосфере господствует западно-восточный перенос и под индексом зональности, о котором сказано раньше, понимается выражение, характеризующее это преобладание, то ясно, что для получения планетарного индекса зональности достаточно из значения индекса зональной западной циркуляции вычесть индекс зональной восточной циркуляции.

$$I_z = I_{zz} - I_{zv}. \quad (8)$$

Если индекс западной зональной циркуляции равен индексу восточной зональной циркуляции, то индекс зональности в целом превращается в нуль, т. е. количество массы, протекающей с запада на восток, равно количеству массы, протекающей с востока на запад. Если первый член планетарного индекса зональности больше второго, индекс I_z окажется положительным, что является показателем преобладания на данном участке западно-восточного переноса. Если же индекс I_z имеет отрицательное значение, что также встречается, то это будет показателем того, что на данном участке преобладает зональный восточный перенос, т. е. что результирующий поток направлен не с запада на восток, а с востока на запад.

Совершенно аналогично можно получить значение южного меридионального переноса, т. е. индекс южной меридиональ-

ности и индекс северной меридиональности. Если через $m_{ю}$ обозначить число пересечений изобарами (изогипсами) параллелей с юга на север, а через $m_{с}$ — число пересечений с севера на юг, то индексы северной меридиональности $I_{мс}$ и южной меридиональности $I_{мю}$ будут равны соответственно

$$I_{мс} = \frac{b \sum_1^j k_j m_{jc}}{(\lambda_i - \lambda_1) j} \text{ мб/град. мерид.} \quad (9)$$

$$I_{мю} = \frac{b \sum_1^j k_j m_{jю}}{(\lambda_i - \lambda_1) j} \text{ мб/град. мерид.} \quad (10)$$

Аналогично с рассуждениями по индексу зональности можно подсчитать некоторый результирующий индекс меридиональности

$$I_{мр} = I_{мю} - I_{мс} \quad (11)$$

Положительное значение этого результирующего индекса показывает, что на данном участке южный перенос господствует над северным; отрицательное значение — показатель того, что северный перенос господствует над южным.

Результирующий индекс меридиональности удобен лишь для применения в ограниченных случаях, для характеристики меридиональности на ограниченных районах. В общем случае для характеристики интенсивности межзонального обмена воздуха на очень больших пространствах (порядка полушария) этот индекс не пригоден. На всем северном полушарии число пересечений каждой параллели изобарами (изогипсами) с севера на юг и с юга на север будет одинаковым. В предельном случае результирующий индекс меридиональности будет стремиться к нулю независимо от того, что отдельные его составляющие — южный поток и северный поток — могут быть выражены очень интенсивно.

Поэтому для характеристики интенсивности межзонального обмена удобно применить индекс меридиональности не в виде алгебраической, а арифметической суммы индексов, характеризующих как южный, так и северный перенос. Этот индекс $I_m = I_{мю} + I_{мс}$ дает возможность правильно характеризовать интенсивность межзонального обмена. Чем более интенсивно выражены фронтальные зоны в волнах западно-восточного переноса, тем больше будет индекс южного и индекс северного переноса и тем более интенсивным будет межзональный обмен воздуха, что хорошо отразится суммой индексов северной и южной меридиональности.

По сопоставимым индексам зональной и меридиональной циркуляции весьма просто получить еще один показатель —

общий индекс, характеризующий отношение зональной циркуляции к меридиональной:

$$I = \frac{I_z}{I_m}. \quad (12)$$

Этот безразмерный индекс показывает, в какой мере интенсивность зональной циркуляции западно-восточного переноса превышает интенсивность межзонального обмена. Если этот индекс больше единицы, господствующим по сравнению с меридиональным индексом (или с межзональным обменом) является западно-восточный перенос; если он меньше единицы, межзональный обмен выражен более интенсивно, чем зональный.

Отсюда представляется возможным оценить любой синоптический процесс с точки зрения отнесения его к зональному или к меридиональному типу циркуляции.

Нетрудно видеть, что из этих индексов практически легко получить и те индексы, которые были изложены ранее. В частности, для получения индекса зональности, предложенного Россби [63], достаточно подсчитать в выбранной широтной зоне число пересечений меридианов изогипсами с запада на восток I_{zv} и с востока на запад I_{zv} . Разность этих величин дает характеристику среднего градиента в выбранной зоне северного полушария $I_z = I_{zv} - I_{zv}$, т. е. индекс зональности Россби.

Таким образом, путем подсчета числа пересечений изобарами или изогипсами меридианов и параллелей практически можно выразить состояние зональной и меридиональной циркуляции в любом районе, так как все остальные значения, входящие в формулу индекса зональности или меридиональности, практически являются постоянными.

В самом деле, на одной и той же карте изогипсы проводятся через постоянный интервал (изобары у поверхности земли всегда проводятся через 5 мб; изогипсы на поверхности 700—500 мб — через 4 дкм). Если выбрать какую-либо широтную зону, то расстояние между соседними меридианами на данной карте одно и то же. Параметр Кориолиса для этой широтной зоны тоже постоянен, поэтому переменными по существу являются только $\sum n_i$ и $\sum m_j$. Эти характеристики также могут являться показателями состояния зональной и меридиональной циркуляции.

Глава II

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ОДНОТИПНЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Выше уже отмечалось, что средние и сборнокинематические карты, так же как и карты-схемы, могут быть достаточно полезными только в том случае, если они сопоставлены для одно-

типных процессов. По каким же признакам выделяются однотипные процессы?

Под синоптическим процессом принято понимать непрерывное во времени и пространстве перемещение и взаимодействие воздушных масс, оформленных в определенные барические образования. Эти барические образования и фронтальные разделы постоянно возникают и разрушаются. Несмотря на это, в непрерывном общем процессе можно различить отдельные особенности, например стационарирование циклона или антициклона, перемещение антициклона по какой-либо траектории с севера, северо-востока или запада, перемещение циклонов с запада на восток или смещение их с юга и юго-запада.

В каждом из перечисленных процессов происходит непрерывное изменение или перемещение барических образований. В то же время каждый из них характеризуется и определенной устойчивостью, заключающейся в одном случае в малоподвижности циклона или антициклона, в другом — в смещении их по некоторому устойчивому направлению и т. д. Таким образом, в развитии синоптических процессов одновременно можно зафиксировать непрерывные изменения и определенную устойчивость. При этом под устойчивостью понимается сохранение направленности движения и изменения или квазистационарности, заключающаяся в очень небольших перемещениях.

В зависимости от принципа установления начала и конца однотипного процесса при составлении прогнозов погоды на 3—7 дней в настоящее время школа Б. П. Мультановского устанавливает следующие разновидности устойчивости синоптических процессов во времени: ① естественный синоптический период; ② однородный макросиноптический процесс; ③ элементарный синоптический процесс.

Σ Синоптический период

Изучая взаимосвязь барических образований, Мультановский еще в 1915 г. [28] обнаружил, что смещение антициклона на территорию Европейской России по типовой траектории связано с устойчивостью циркуляции на огромном пространстве, от Атлантики до Енисея, названном европейским синоптическим районом. Так, например, если данный тип циркуляции заключается во вторжении антициклона с Карского моря на Западную Сибирь, то для его осуществления необходима определенная меридиональность всего поля, при которой высотный гребень располагался бы над Уралом, а высотные ложбины по обе стороны от него.

Пока сохраняется такое меридиональное поле и вместе с ним адвективный вынос тепла на западе высотного гребня и вторжение холода на восточной его периферии, сохраняется как меридиональное направление перемещения циклонов и ан-

тициклонов, так и географическая локализация полей высокого и низкого давления. По мере смещения антициклона к югу Западной Сибири и ослабления циклонической деятельности над Европой ослабевает также и меридиональность. Вместо меридиональных составляющих в направлениях перемещения циклонов и антициклонов начинают преобладать западные переносы, и меридиональный процесс сменяется в основном зональным. Меняется тип циркуляции и вместе с тем меняется также знак барического поля на значительных пространствах.

Таким образом, можно выделить такой промежуток времени, в течение которого развивается определенным образом ориентированный процесс при сохранении географического расположения основных антициклонических полей на пространстве от Атлантики до Енисея. Этот промежуток времени Мультановский и назвал естественным синоптическим периодом¹, который в дальнейшем будем называть просто синоптическим периодом. Как писал Мультановский, смена знака барического поля является «внешним признаком перехода к другой оперативной оси, т. е. к другому периоду, который начинается с этого, не вошедшего в предшествующий период дня» ([30], стр. 73). Синоптический период, таким образом, представляет собою звено устойчивой циркуляции в непрерывном развитии синоптических процессов.

На рис. 5 приведена сборнокинематическая карта синоптического периода с 20 по 24 января 1957 г., а на рис. 6 — средняя карта АТ₅₀₀ за тот же промежуток времени. Обе эти карты характеризуют тропосферные циркуляционные особенности процесса, выделенного в синоптический период. Сопоставляя их с соответствующими картами предшествующего периода 13—19 января 1957 г. (рис. 3 и 1), нетрудно убедиться в существенном отличии этих двух процессов, отнесенных к разным синоптическим периодам.

Синоптический период 14—19 января характеризовался почти стационарным антициклоном в районе Британских островов и активной циклонической деятельностью над северо-востоком Европейской территории СССР и Западной Сибирью. 20 января у поверхности земли и на высотах антициклон над Англией разрушился и в то же время сформировался новый антициклон в Западной Европе. На средней карте АТ₅₀₀ синоптического периода 20—25 января 1957 г. обнаруживается высотная ложбина в том месте, где в предыдущем синоптическом периоде устойчиво сохранялся высотный антициклон. Совер-

¹ Этим названием подчеркивалось, что период «естественный», а не «искусственный», т. е. календарный. Однако по существу можно говорить просто «синоптический период», так как определение «синоптический» исключает всякую возможность предполагать, что этот период может быть календарным. Это же относится и к терминам «естественный синоптический район» и «естественный синоптический сезон».

шенно очевидно, что эти два процесса не могут быть отнесены к одному и тому же типу.

Многолетняя практика использования в оперативной прогностической работе свойств синоптических периодов подтверждает справедливость положения о сохранении географического размещения циклонических и антициклонических полей в течение периода. Статистическая проверка этого положения, выполненная Пагава [33] в 1946 г., показала, что между одноименными полями на сборнокинематической карте первых двух дней синоптического периода и всего синоптического периода действительно сохраняется тесная связь. Коэффициент корреляции этой связи оказался равным 0,703. В то же время связь между географическим положением одноименных барических полей первых двух дней смежных синоптических периодов характеризуется лишь коэффициентом корреляции 0,265. Это показывает, что в течение синоптического периода в основном сохраняется географическое распределение циклонических и антициклонических барических полей, установившихся в начале периода. С другой стороны, при переходе от одного синоптического периода к другому такого сохранения не наблюдается. Наоборот, чаще всего происходит замена значительной части поля антициклонического (циклонического) на циклоническое (антициклоническое).

Сохранение географического расположения основных барических полей в течение синоптического периода должно быть связано с определенной устойчивостью в направлении перемещения барических образований у поверхности земли и, следовательно, с устойчивостью ведущих потоков в тропосфере. Известно, что приземные циклоны и антициклоны в основном перемещаются по ведущим потокам над ними. Поэтому направленность перемещения барических образований будет сохраняться до тех пор, пока сохраняется высотное барическое поле.

Для доказательства этого положения в том же исследовании [33] была проверена связь между серией средних карт AT_{500} первых двух дней синоптического периода и средними картами всего синоптического периода, подобно тому как это было сделано для сборнокинематических карт.

Связь между средними картами AT_{500} первых двух дней синоптического периода и всего синоптического периода характеризуется коэффициентом корреляции 0,75. Это дает возможность утверждать, что в течение периода в основном остается неизменным географическое распределение высотных деформационных полей и, следовательно, в основном сохраняется то направление изогипс, которое установилось в начале синоптического периода. Тем самым было показано, что синоптический период представляет собою отрезок времени, в течение которого сохраняется высотное деформационное поле, обуславливающее

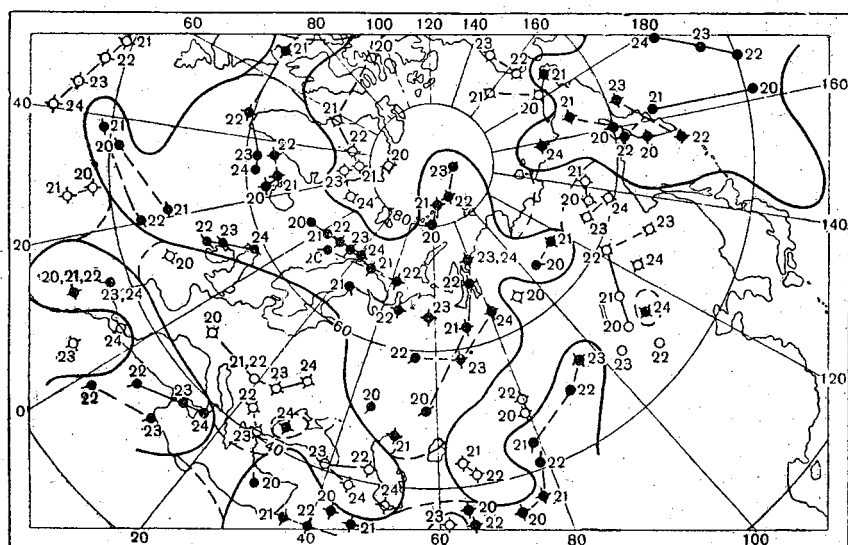


Рис. 5. Сборнокинематическая карта синоптического периода
20–24 января 1957 г.

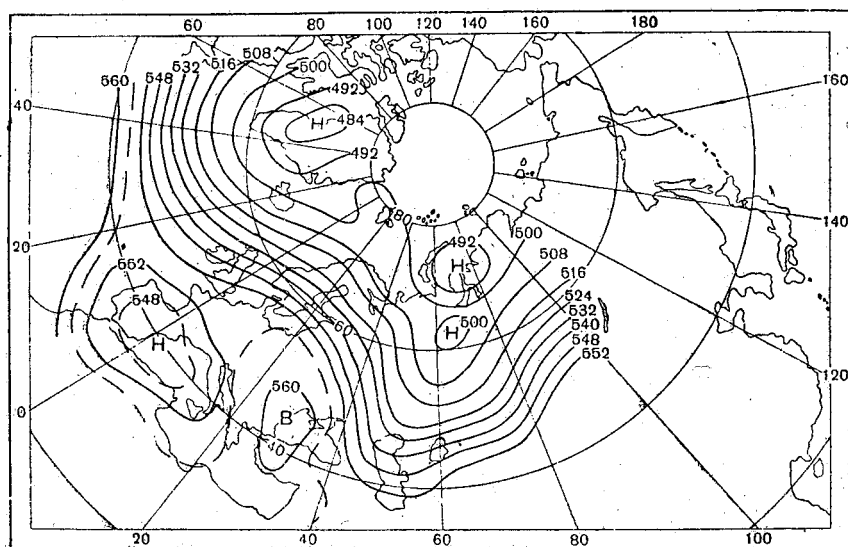


Рис. 6. Средняя карта AT_{500} синоптического периода
20–24 января 1957 г.

сохранение ориентировки развития синоптического процесса и географического распределения знаков барического поля.

При переходе к новому синоптическому периоду меняется не только знак барического поля у поверхности земли, но и ориентировка развития синоптических процессов. Об этом можно судить по незначительной связи (коэффициент корреляции равен всего 0,253), которая имеется между барическим полем смежных синоптических периодов.

Выводы об устойчивости высотного поля в течение синоптического периода и перестройке его в начале нового периода были проверены и другим путем. В частности, Д. А. Педь [36] использовал для этой цели описанные ранее индексы зональной и меридиональной циркуляции на атлантико-евразийском секторе северного полушария. Им найдено, что связь между индексом зональной циркуляции I_z первых двух дней синоптического периода и индексом зональной циркуляции всего периода характеризуется коэффициентом корреляции 0,9. Такая же связь по индексам меридиональной циркуляции I_m характеризуется коэффициентом корреляции 0,79. В то же время связь между индексами зональной циркуляции начальных двух дней смежных синоптических периодов понижается до 0,55.

Все эти выводы показывают, что действительно существует относительная устойчивость в непрерывном и сложном развитии атмосферных процессов, обнаруженная впервые Мультановским в 1915 г. Следует отметить, что позднее и за рубежом некоторые ученые пришли к выводу о существовании подобных макропроцессов. В частности, Ф. Баур [58] обнаружил устойчивые макросиноптические процессы, сохраняющиеся в течение нескольких дней над территорией Европы.

Какова же продолжительность синоптических периодов? По этому поводу Мультановский писал: «Длина периода из года в год колеблется. И хотя эти колебания специально не исследовались, складывается впечатление, что чем напряженнее протекает какой-нибудь процесс, тем короче становится период» [30].

Из опыта работы Мультановский установил, что в течение сезона обычно сохраняется определенная продолжительность синоптических периодов, а возможные отклонения от установившейся в сезоне продолжительности не превышают двух дней. Это свойство сохранения продолжительности синоптических периодов в пределах сезона с небольшими колебаниями получило название квазипостоянства продолжительности синоптических периодов. А. Л. Кац и В. Г. Семенов [24] провели специальное исследование синоптических периодов, используя для этой цели одиннадцатилетний ряд (1938—1948 гг.) синоптических и аэрологических карт. Было установлено, что средняя продолжительность синоптических периодов составляет 6 дней,

а продолжительность подавляющего большинства их (92,5%) заключается в пределах от 5 до 7 дней.

Однако средняя шестидневная продолжительность синоптических периодов не является преобладающей. Из общего числа 663 исследованных периодов пятидневных оказалось 34,5%, шестидневных — 31,0%, семидневных — 27,0% и восьмидневных — 7,1%. Периоды иной продолжительности (четырёхдневные или девятидневные) появлялись в виде редкого исключения. Подтвердилось также положение о том, что продолжительность двух смежных синоптических периодов внутри сезона, как правило, не отличается больше чем на 2 дня. При этом чаще всего внутри сезона смежные периоды отличались по продолжительности лишь на 1 день (45%) или вовсе не отличались (39%). В 16% случаев разница в продолжительности двух смежных периодов составляла 2 дня.

Эволюция деформационного поля синоптического периода

Из вышеизложенных свойств синоптических периодов следует, что высотные деформационные поля периода и связанные с ними фронтальные зоны сохраняются в основном в течение всего периода. В то же время высотные циклоны и антициклоны, как и все деформационное поле в целом, не остаются застывшими и неизменными. Высотные циклоны и ложбины могут углубляться или постепенно заполняться, а антициклоны с гребнями усиливаться или ослабевать. Одновременно барические образования могут испытывать также и определенные перемещения.

Изучение перемещений высотных барических образований в течение синоптических периодов было проведено в работе [13]. Исследованию подвергались 157 таких высотных циклонов и антициклонов, которые в течение первых двух дней периода имели самостоятельную замкнутую циркуляцию на картах AT_{500} и $OT_{1000}^{5.10}$. Только лишь в 6—8% случаев у поверхности земли таким циклонам или антициклонам ни в один из дней синоптического периода не соответствовали барические образования того же знака. В остальных случаях у поверхности земли в течение всего периода им соответствовали либо самостоятельные одноименные барические образования (46—62%), либо малоградиентное поле того же знака. Аналогично в 79—83% случаев на высоте поверхности 300 мб наблюдалась замкнутая самостоятельная циркуляция, соответствующая такой же циркуляции на уровне поверхности 500 мб.

Таким образом, в большинстве случаев исследованные циклонические и антициклонические области синоптических периодов являлись мощными высокими образованиями, прослеживающимися от поверхности земли до уровня поверхности 300 мб. Смещение высотных циклонов и антициклонов в течение синоп-

тического периода бывает разнообразным как по скорости, так и по направлению. Наиболее часто встречающееся в течение синоптического периода максимальное удаление от начального положения для циклонов находится в пределах 500—2000 км, а для антициклонов — в пределах 500—1500 км. При этом нередки случаи, когда высотные циклоны и антициклоны перемещаются по петлеобразным траекториям.

Практически совершенно неподвижных в течение синоптического периода высотных циклонов и антициклонов не бывает. Если условно разделить все высотные циклоны и антициклоны на малоподвижные (перемещающиеся в течение синоптического периода со средней скоростью менее 15 км/час и не более чем на 1000 км) и смещающиеся (удаляющиеся от первоначального положения на 1000 км и более), то малоподвижных окажется примерно 44%, а смещающихся — 56%.

Изучение высотного термобарического поля для случаев смещающихся высотных циклонов и антициклонов показало, что в 66% этих случаев деформационное поле синоптического периода и связанные с ним фронтальные зоны не деформируются, в 26% — деформируются лишь в некоторой части района и в 8% — существенно деформируются или смещаются.

В той же работе [13] было найдено, что исследованные высотные циклоны в среднем в 40% случаев в течение синоптического периода заполнялись, в 25% — оставались без изменений и в 10% — углублялись. Антициклоны в среднем в 32% случаев в течение синоптического периода усиливались, в 39% — не изменялись и в 16% — ослабевали.

В другой работе [38] исследовалась продолжительность существования в течение синоптического периода таких же высотных циклонов и антициклонов. В ней установлено, что не все циклоны и антициклоны с самостоятельной циркуляцией на картах АТ₅₀₀ первых двух дней синоптического периода сохраняются до конца периода. Некоторые барические образования теряют свою самостоятельную циркуляцию уже в третий день периода, а другие сохраняют ее и в следующем периоде. Проведенный анализ показал, что если разность значений геопотенциала между гиперболической точкой и последней изогипсой циклонического центра на карте АТ₅₀₀ равна или больше 11 джм (или в циклоне имеются три замкнутые изогипсы и более), то такой циклон, как правило, сохраняется до конца синоптического периода. Аналогично, если антициклон с очагом тепла имеет две замкнутые изогипсы и более, он сохранится до конца периода. Сохраняются и такие циклоны (антициклоны), которые в первые дни синоптического периода углубляются (усиливаются), хотя число замкнутых изогипс в начале периода и не соответствует указанному.

В работе автора [22] специально исследовался вопрос о том, в какой мере те изменения и перемещения, которые испытывают

высотные циклоны и антициклоны в течение синоптического периода, нарушают установившуюся в начале периода локализацию термобарического поля. Удобным средством для этого служат специальные карты изаллогипс AT_{500} и OT_{1000}^{500} , которые характеризуют изменение очагов тепла и холода в тропосфере.

Эти специальные карты изаллогипс строятся следующим образом. Из значений OT_{1000}^{500} первого, второго, третьего и т. д. дней начавшегося периода последовательно вычитают значения OT_{1000}^{500} одной и той же средней карты OT_{1000}^{500} всего предшествующего синоптического периода или его первых двух дней. Аналогичные подсчеты можно выполнить и для карт AT_{500} . Эти карты отличаются от суточных изаллогипс тем, что последние подсчитываются путем вычитания из значения геопотенциала на каждой последующей карте значения геопотенциала на непосредственно предшествовавшей ей за сутки карте, в то время как первые строятся путем вычитания из этого последовательного ряда одних и тех же постоянных значений геопотенциала. Поэтому, в отличие от суточных изаллогипс, такие карты называются изаллогипсами отдельных дней синоптического периода.

Карты изаллогипс отдельных дней синоптического периода относительной (как и абсолютной) топографии, в отличие от суточных изаллогипс, вполне сопоставимы между собою и позволяют объективно судить, насколько сохраняется или меняется географическая локализация тропосферных очагов тепла и холода в течение синоптического периода и при переходе к другому периоду.

В работе [22] было найдено, что связь между средними изаллогипсами первых двух дней и средними изаллогипсами оставшихся 3—5 дней синоптического периода имеет коэффициент корреляции 0,644. Однако этот коэффициент корреляции оказывается различным для третьего, четвертого и т. д. дней периода. Наибольшее сходство со средними изаллогипсами первых двух дней синоптического периода имеют изаллогипсы третьего дня (коэффициент корреляции 0,738). Затем в течение последующих дней происходит закономерное убывание коэффициента корреляции на 0,05—0,06, причем даже в последний день периода он равен 0,58. Такое изменение подтверждает наблюдаемый на картах изаллогипс отдельных дней периода факт некоторого территориального смещения очагов, сохраняющих в то же время определенную локализацию. Совсем иное положение оказывается, если из значений геопотенциала последовавшего затем первого дня нового синоптического периода вычесть ту же постоянную величину. Связь с такими изаллогипсами резко понижается на 0,20—0,25, и коэффициент корреляции оказывается равным всего 0,34.

Каждый из очагов положительных и отрицательных изалло-

гипс соответствует определенному высотному барическому образованию. Поэтому смысл приведенных выше результатов заключается в том, что наряду с устойчивостью высотное термобарическое поле внутри синоптического периода испытывает непрерывное изменение. Однако эти изменения не нарушают общего распределения основных очагов тепла и холода в тропосфере, установившегося в первые два дня периода. В ряде случаев по изменениям очагов изаллогипс можно судить о направлении изменения и перемещения соответствующих высотных барических образований. Наконец, при смене синоптического периода происходит более резкая перестройка термобарического поля тропосферы и соответствующих очагов изаллогипс отдельных дней периода.

Эволюция планетарной высотной фронтальной зоны и однородный макросиноптический процесс

В работе [51] Храбров предпринял попытку определить характерные черты эволюции синоптических процессов внутри и на границах синоптических периодов через изучение планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ), изменение которой тесным образом связано с изменением синоптических процессов в целом. Физической основой такого подхода может служить тот факт, что именно с планетарной высотной фронтальной зоной связаны наибольшие запасы энергии.

Для изучения эволюции ПВФЗ, представляющей собою узкую зону увеличенных горизонтальных градиентов давления и скорости ветра, необходимо прежде всего выбрать объективный способ выявления этой зоны. Для этой цели существует несколько способов. Один из них заключается в соединении точек с максимальными горизонтальными градиентами давления или максимальными скоростями ветра на данном уровне. Вследствие того, что одновременно в разных районах карты встречаются как точки, так и целые зоны с максимальными скоростями ветра, при таком способе выделения ПВФЗ встречаются трудности детального анализа ее смещения за длительные промежутки времени.

Проведенное Храбровым исследование показало, что достаточно удобным и в то же время объективным является способ изучения эволюции ПВФЗ по изменениям характерной для нее центральной изогипсы. Оказалось, что в каждом сезоне можно найти такую постоянную изогипсу, положение которой достаточно хорошо совпадает с осевой линией ПВФЗ. Для зимы такой изогипсой является 536, для весны — 544, для первой половины лета — 560, для второй половины лета — 572 и для осени — 556. Проверка показала, что, прочерчивая положение ПВФЗ по положению определенной для данного сезона постоянной изогипсы, в 75% случаев допускаем ошибку в пределах

всего ± 4 дкм. Учитывая, что использование такого способа весьма упрощает анализ изменений ПВФЗ, можно сказать, что указанные погрешности являются вполне допустимыми.

Иногда встречаются синоптические периоды, характеризующиеся не одной, а двумя ветвями ПВФЗ. В этом случае положение обеих ветвей ПВФЗ фиксируется прочерчиванием специально выбранных в каждом конкретном случае двух изогипс, характерных для этих ветвей. Так как ото дня ко дню значения выбранных изогипс остаются теми же (например, 560), то тем самым обеспечивается достаточно объективный анализ смещения ПВФЗ в интересующем нас отрезке времени.

Выполненное исследование показало, что изменение положения ПВФЗ в течение синоптического периода подчиняется определенным закономерностям. Эти закономерности в общих чертах заключаются в том, что в течение большей части синоптического периода ПВФЗ в разных районах испытывает определенную, однозначно направленную эволюцию. Этот отрезок времени, в течение которого ПВФЗ испытывает такого рода эволюцию, назван Храбровым однородным макросиноптическим процессом.

Основные особенности эволюции ПВФЗ в течение однородных макросиноптических процессов можно получить из рассмотрения гидродинамической теории длинных волн, применимой для условий средних широт, где господствует волновой характер синоптических макропроцессов [12, 63].

Из этой теории вытекает, что скорость перемещения атмосферных волн, возмущающих западно-восточный перенос, определяется следующим соотношением:

$$c = \bar{u} - \frac{2\omega a}{m^2} \cos^3 \varphi \frac{1}{1 + \frac{L^2}{a^2}}. \quad (13)$$

В этом выражении c — скорость движения волны, $\bar{u}$ — скорость западно-восточного переноса, L — длина волны, a — ширина волны, ω — угловая скорость вращения земли, a — радиус земли, φ — широта и m — число волн с фиксированной длиной L , укладывающихся вдоль каждого круга широты.

Анализ этой формулы показывает, что при обычных значениях скорости зонального течения $\bar{u}$ волны относительно небольшой длины (когда $m = 5 \div 7$, т. е. на северном полушарии вдоль круга широты укладывается 5—7 волн) смещаются с запада на восток, а волны большой длины (когда $m = 2 \div 3$) смещаются с востока на запад.

На основе изложенной выше теории можно провести определенную типизацию однородных макросиноптических процессов по характеру изменения ПВФЗ: а) с небольшой длиной и относительно малой амплитудой волн ПВФЗ, б) со значительной длиной и большей амплитудой волн ПВФЗ и в) с двумя ветвями ПВФЗ.

К первому типу однородных макросиноптических процессов можно отнести случаи интенсивного западно-восточного переноса, при которых ПВФЗ располагается в широтном направлении. Проследивая ото дня ко дню высотные карты широтных однородных процессов, легко убедиться, что волновые возмущения перемещаются с запада на восток со значительными скоростями. По существу волновые возмущения ПВФЗ при широтных процессах являются отражением перемещающихся приземных циклонических образований и уже не являются собственно длинными волнами. Это перемещение относительно коротких с незначительной амплитудой волн ПВФЗ с запада на восток и является существом синоптического периода с зональной циркуляцией.

Переход к новому однородному макросиноптическому процессу (или синоптическому периоду) осуществляется в этих случаях либо при возникновении меридиональных процессов, либо при формировании новой широтной ПВФЗ южнее или севернее существующей.

Ко второму типу однородных макросиноптических процессов можно отнести меридиональные процессы с волновыми возмущениями ПВФЗ, приблизительно соответствующими квазистационарным длинным волнам.

При стационарном процессе $c = 0$, тогда длина такой стационарной волны L может быть получена из уравнения

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{a}{\beta}} \sqrt{1 + \frac{f^2}{a^2}}, \quad (14)$$

которое показывает, что длина стационарной волны зависит от средней скорости зонального потока на широте.

Таблица 1

Длина волны неподвижных возмущений (в км)

φ° с. ш.	u м/сек				
	5	10	15	20	25
30	3150	4460	5460	6310	7050
45	3490	4940	6050	6980	7790
60	4140	5850	7180	8300	9260

В первом приближении приведенными в табл. 1 значениями длины волн можно пользоваться для отнесения процесса к первому типу, если значения длины волн намного меньше указанных в таблице, или ко второму типу, характерными особен-

ностями которого являются размеры возмущений ПВФЗ, близкие к размерам стационарной волны.

Как было замечено, в процессах со стационарными волнами эволюция ПВФЗ заключается в монотонном изменении амплитуды квазистационарной волны [51].

При переходе от одного однородного макросиноптического процесса к другому изменение эволюции ПВФЗ заключается во вторичном попятном движении ПВФЗ, напоминающем колебание стоячих волн.

К третьей большой группе однородных макросиноптических процессов относятся случаи формирования двух ветвей ПВФЗ. Это процессы блокирования, стационарирования на севере теплых высоких антициклонов и на юге — изолированных холодных циклонов. Начало нового однородного макросиноптического процесса, относящегося к третьей группе, характеризуется резким изменением положения ПВФЗ и формированием второй ветви ПВФЗ. При этом процессе изоляция барического образования может наблюдаться в середине однородного макросиноптического процесса, но уже после формирования второй ветви ПВФЗ.

Этим объясняется наличие таких синоптических периодов, внутри которых происходит как бы перестройка деформационного поля в связи с исчезновением или появлением нового «компонента» (высотного циклона или антициклона), но зато сохраняется направление эволюции ПВФЗ.

На рис. 7 и 8 приведены сборные карты ПВФЗ двух смежных синоптических периодов, для которых на рис. 1 и 6 изображены средние карты AT_{500} . На рис. 7 и 8 видно, что в обоих периодах устойчиво сохранялась определенная эволюция ПВФЗ. Синоптический период 14—19 января 1957 г. (рис. 7) характерен еще тем, что в нем наблюдалось раздвоение ПВФЗ, которое при переходе к новому синоптическому периоду (рис. 8) ликвидировалось.

Рассмотрение развития синоптических процессов с точки зрения указанных трех типов эволюции ПВФЗ позволяет лучше проследить за условиями формирования и преобразования макропроцессов синоптических периодов. Как будет показано дальше, наличие определенной эволюции ПВФЗ позволило по-новому подойти также и к прогнозу макросиноптических процессов [52].

Элементарный синоптический процесс

Синоптический период не является самым мелким устойчивым звеном в циркуляции. В течение синоптического периода часто наблюдается такое положение, когда в тылу между двумя сериями смещающихся циклонов происходят кратковременные вторжения холодного воздуха или вслед за смещением антициклона с запада на восток или с севера на юг на его западной

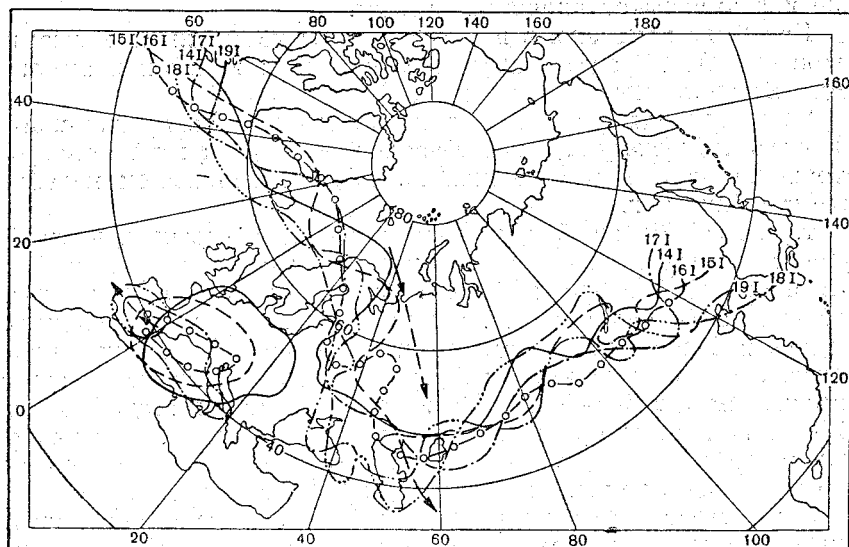


Рис. 7. Сборная карта ПВФЗ синоптического периода 14—19 января 1957 г.
(изогипса 536 джм).

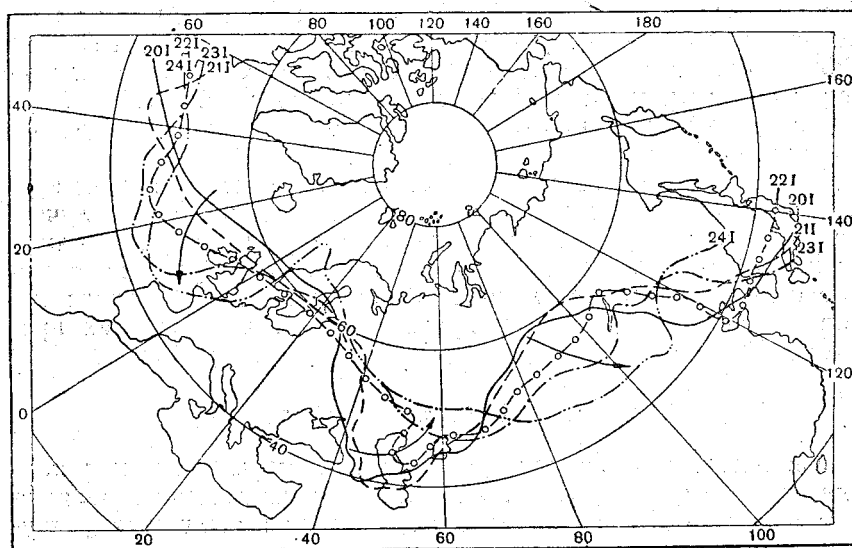


Рис. 8. Сборная карта ПВФЗ синоптического периода 20—24 января 1957 г.
(изогипса 536 джм).

или северной периферии образуются перемены низкого давления. В таких периферийных районах создаются перебойные барические поля противоположных знаков. В связи с этим Г. Я. Вангенгейм [10] еще в 1932 г. установил, что можно выделить такую устойчивость, которая отличается определенным географическим распределением воздушных потоков. Отрезок времени с устойчивым направлением переноса основных теплых и холодных воздушных потоков при сохранении знака барического поля получил название элементарного синоптического процесса [16].

В работе [35] отмечается, что в течение элементарного синоптического процесса интенсивность термобарического поля и фронтальных зон в тропосфере, как и направление выноса тепла и холода, сохраняется, в то время как в течение синоптического периода эти условия не выполняются, если только он не состоит из одного элементарного синоптического процесса.

В результате исследования, проведенного на аэросиноптическом материале за 1938—1950 гг., А. И. Штабова [56] также пришла к выводу, что в течение элементарного синоптического процесса во всем слое нижней половины тропосферы сохраняется знак барического поля над определенными географическими районами, неизменность направления выносов тепла и холода, ориентировка перемещения барических образований и положение высотных фронтальных зон. Нарушение одного из этих условий является показателем смены элементарного синоптического процесса.

В работах [32, 54] установлено, что в синоптическом периоде может осуществляться только целое число элементарных синоптических процессов. Это означает, что начало синоптического периода обязательно сопровождается и началом элементарного синоптического процесса. В синоптическом периоде элементарных синоптических процессов может быть несколько.

Изучение длительности элементарных синоптических процессов и их повторяемости в синоптических периодах показало [56], что в среднем около 65% всех синоптических периодов состоит из двух элементарных процессов, около 30% — из трех. Синоптические периоды, состоящие из одного элементарного процесса или из четырех и более, встречаются в виде редкого исключения. Наиболее часто (около 50%) наблюдаются двухдневные элементарные синоптические процессы, около 40% — трехдневные; на остальные 10% приходятся элементарные синоптические процессы продолжительностью более трех дней.

Границы синоптических периодов и их связь с эволюцией планетарной высотной фронтальной зоны

Чтобы использовать особенности развития макросиноптических процессов в течение синоптических периодов, необходимо правильно установить границу начала синоптического периода.

Последняя в значительной мере зависит от понимания сущности синоптического периода. На разных этапах развития синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды как формулировка синоптического периода, так и приемы установления его границ были разные. Многие из существовавших и предлагавшихся способов определения границ периода, будучи в частностях правильными, не охватывали всего многообразия свойств синоптических периодов. В то же время, как отмечено в статье автора [21], попытки предложить какой-либо универсальный способ определения границ синоптических периодов не привели к желаемым результатам. В связи с этим представляется целесообразным привести обзор и анализ тех предложений, которые в той или иной мере могут оказаться полезными в практической работе по выделению синоптических периодов.

Мультиановский, пользуясь введенным им понятием об осях, считал процесс однотипным и относящимся к одному и тому же синоптическому периоду, пока происходило движение антициклона по одной и той же оси или отрезку оси. Как только антициклон переходил на другой отрезок оси или осуществлялось воздействие по новой оси, начинался другой тип синоптических процессов [30].

2 Движение антициклона по оси определяет направление движения и других барических образований на обширном пространстве, на котором тем самым обуславливается соответствующее распределение знаков циклонических и антициклонических полей. Благодаря этому смена знака барического поля могла служить внешним признаком перехода к другому синоптическому периоду. Таким образом, границы синоптического периода определялись по изменению воздействия по той или иной оси и смене географического распределения знака барического поля на пространстве синоптического района.

Осуществление приведенных признаков вполне достаточно для начала нового синоптического периода. Однако эти признаки не исчерпывают всех возможных вариантов смены синоптического периода, так как изменение типа процесса может быть и не связано с изменением воздействия по какой-либо оси. То же замечание относится и к признаку смены географического распределения знака барического поля. Наложение полей противоположного знака в районах расположения основных циклонов или антициклонов — достаточный признак начала нового синоптического периода. В то же время смена знака поля есть лишь, как указывалось выше, внешний признак начала периода, так как встречаются разнородные типы процессов, мало отличающиеся по распределению знака барических полей. По этим же причинам, достаточным, но вовсе не необходимым признаком начала нового синоптического периода может служить пересечение траекторий основных циклонов и ан-

тициклонов [27], что приводит также к наложению барических полей противоположного знака.

В 1936 г. [32] было дано определение синоптического периода как промежутка времени, в течение которого сохраняется определенное географическое расположение наземных деформационных полей. Кроме того, в работах [32 и 54] было также установлено, что синоптический период содержит целое число последовательно проходящих серий циклонов и элементарных синоптических процессов. Согласно приведенному определению при смене синоптического периода происходит крупная перестройка наземного деформационного поля. Это определение не дало, однако, четких признаков для установления границ синоптического периода. Теми же недостатками страдает правильное определение синоптического периода как промежутка времени, в течение которого развивается определенным образом ориентированный процесс при сохранении знака поля на пространстве синоптического района [16].

Приведенные выше признаки начала нового синоптического периода могут быть объяснены особенностями эволюции планетарной высотной фронтальной зоны. Во всех случаях, когда в каком-либо районе меняется знак барического поля, характерный для всего синоптического периода, на сборной карте положений ПВФЗ, как отметил Храбров [51], также наблюдается резкое изменение положения ПВФЗ (рис. 7 и 8).

Соответствующая эволюция ПВФЗ наблюдается также при смене синоптических периодов в связи с пересечением траекторий противоположных по знаку барических образований. Такое пересечение является либо следствием формирования новой ветви ПВФЗ, либо резкого изменения направления и интенсивности уже существовавшей ранее ветви ПВФЗ.

С помощью анализа эволюции ПВФЗ от указанных легко отличить также пересечения траекторий циклонов и антициклонов или подвижных гребней и ложбин, которые относятся к смене элементарного синоптического процесса внутри синоптического периода или однородного макросиноптического процесса. Последние смещаются под одной и той же ПВФЗ и пересекаются, как правило, под небольшими углами. Ясно, что это случаи эволюции ПВФЗ внутри однородного процесса, характеризующегося подвижными гребнями и ложбинами, смещающимися под одной и той же широтной ПВФЗ.

Различие процессов с одинаковым или очень близким географическим расположением барических полей также может быть обнаружено по изменению положения ПВФЗ. Это такие случаи, особенно часто наблюдающиеся при длительно сохраняющейся зональной циркуляции, когда переход от одного синоптического периода к другому определяется ослаблением ПВФЗ в одном районе и формированием новой зоны в другом районе.

В 1943 г. Т. А. Дулетова предлагала рассматривать синоптический период по продолжительности жизненного цикла стационарирующего антициклона, обуславливающего устойчивость типа циркуляции в смысле сохранения направленности движения. Новый период по этому определению начинается с момента вторжения в средние широты холодного антициклона, который в течение синоптического периода прогревается, становится высоким и стационарирующим, после чего разрушается. При разрушении стационарирующего антициклона создаются условия для вхождения нового холодного антициклона. Следовательно, с момента разрушения старого теплого антициклона и вхождения нового холодного начинается очередной синоптический период.

В некоторых случаях это определение правильно, хотя оно не является всесторонним. Нередко новая ориентировка процессов, как писал Мультиановский, отмечается по вторжению в средние широты нового антициклона. Однако не каждое антициклоническое воздействие может быть признаком начала нового синоптического периода. Очевидно, что начало нового периода должно связываться с таким новым вторжением, которое меняет ориентировку развития процесса, т. е. обусловлено формированием новой ветви ПВФЗ или резким изменением существовавшей ПВФЗ. Предложенный признак справедлив лишь в частных случаях и потому, что часто встречаются такие типы процессов, в которых отсутствуют вторгающиеся в средние широты приполярные антициклоны, а также стационарирующие высокие антициклоны. Поэтому вторжение антициклона из приполярных районов в средние широты, как и разрушение образовавшегося высокого теплого антициклона, может рассматриваться лишь как часть большого многообразия признаков начала нового синоптического периода, если осуществление их одновременно связано с формированием, резким изменением или раздвоением ПВФЗ.

Позднее (в 1954 г.) Дулетова определила синоптический период как отрезок времени, в течение которого осуществляется жизненный цикл сложных циклонических и антициклонических вихрей от их возникновения в виде низких барических образований до достижения ими стадии высоких образований. По этому определению предлагается синоптический период считать законченным, когда циклоны и антициклоны одновременно превращаются в высокие, в связи с чем потоки в приземных и высоких слоях начинают совпадать, и когда появляются сплошные поля положительных барических тенденций в области циклона и отрицательных в области антициклона.

Впервые мысль о связи преобразований высотных деформационных полей со сменой синоптического периода была высказана Н. Л. Таборовским в 1943 г. [47]. Несколько позднее С. Т. Пагава [33] показал, что в течение синоптического пе-

риода практически сохраняются определенные особенности высотного термобарического поля и географическая локализация центров барического поля на пространстве синоптического района. Из этой работы вытекало, что каждая перестройка термобарического поля тропосферы, обуславливающая новую ориентировку перемещений барических образований у поверхности земли и географическую локализацию центров барического поля, является признаком начала нового синоптического периода.

На базе этих положений была выполнена работа [24] по расчленению непрерывного ряда синоптических процессов за 1938—1948 гг. на синоптические периоды. В ней было показано, что встречаются такие случаи (около 7%), когда перестройка на высотах с одинаковой вероятностью может опережать или отставать от соответствующей перестройки у поверхности земли. Поэтому анализ синоптических процессов с целью выявления синоптических периодов необходимо проводить одновременно во всей толще тропосферы, привлекая как наземные, так и высотные синоптические карты. В работе [22] было показано, что при совместном анализе синоптических процессов во всей толще тропосферы для выявления границ синоптических периодов целесообразно использовать также карты изаллогипс отдельных дней, которые, как уже отмечалось ранее, при переходе к новому периоду, как правило, дают резкую перестройку географической локализации полей. Вместе с тем выяснилось, что расчленение непрерывного ряда синоптических процессов на периоды на основании указанных признаков требует большого опыта работы по изучению макропроцессов.

Указание, что начало нового синоптического периода связано с такой перестройкой термобарического поля, при которой меняется ориентировка перемещений барических образований и знак барического поля у поверхности земли, справедливо и в то же время недостаточно конкретно.

В порядке конкретизации этих признаков в работе [34] было предложено начинать новый синоптический период с момента формирования или разрушения таких высотных циклонов (антициклонов), которым на картах σ_{1000}^{500} соответствуют самостоятельные термические очаги. Такие барические образования были названы «компонентами высотного деформационного поля периода». Специальные исследования «компонентов» [13, 38] показывают, что не все барические образования, выделенные как «компоненты», сохраняются до конца синоптического периода или исчезают на границах периодов.

С точки зрения эволюции ПВФЗ ясно, что исчезновение замкнутой циркуляции циклонов или антициклонов еще не означает изменения синоптического периода. Сохранение полей однотипной циркуляции в синоптическом периоде не всегда обусловлено сохранением индивидуального высотного бариче-

ского образования. Очевидно, что однотипность циркуляции сохраняется до тех пор, пока сохраняется та же эволюция ПВФЗ. Исчезновение или появление индивидуального высотного барического образования при сохранении той же эволюции ПВФЗ связано со сменой элементарного синоптического процесса. Если же исчезновение или появление индивидуального высотного барического образования связано с формированием, изменением или разветвлением ПВФЗ, то такое изменение деформационного поля означает начало нового синоптического периода.

Относительно формирования или исчезновения самостоятельных высотных циклонов и антициклонов можно провести аналогию с отмеченным выше положением о том, что новый синоптический период часто начинается со вторжения в средние широты нового антициклона; однако не каждое антициклоническое воздействие служит показателем начала нового синоптического периода, а лишь такое вхождение антициклона, которое меняет ориентировку процесса. Таким же образом можно сказать, что весьма часто новый синоптический период начинается с формирования или разрушения самостоятельной замкнутой циркуляции в тропосфере. Однако не каждое такое изменение связано с началом нового синоптического периода, а лишь то, которое сопровождается изменением эволюции ПВФЗ.

Из изложенного в этом разделе вытекает, что в практической работе нельзя пренебрегать теми признаками для определения границ синоптических периодов, которые в отдельных случаях справедливы, но не всеобъемлющи. Важным показателем среди них является также характер эволюции ПВФЗ. Изменение направленности эволюции ПВФЗ, резкая смена положения или расщепление ее служат необходимым и достаточным признаком для начала нового однородного процесса и, следовательно, нового синоптического периода. Несмотря на это, для установления границ периода нельзя ограничиться анализом эволюции одной лишь ПВФЗ, а необходимо проводить всесторонний совместный анализ всего аэросиноптического материала.

Такая необходимость диктуется не только тем, что анализ эволюции ПВФЗ проводится пока лишь только качественно, но и тем, что встречаются неодновременные перестройки полей у поверхности земли и на высотах. Кроме того, границы однородных макросиноптических процессов и синоптических периодов совпадают не всегда вполне точно. Как следует из работы [51], полное совпадение границ наблюдается в 65% случаев, а в 85% случаев однородные макросиноптические процессы совпадают или отличаются по продолжительности от синоптических периодов не более чем на ± 1 день. Следовательно, встречаются и такие дни в синоптических периодах, ко-

которые не относятся ни к одному из однородных макросиноптических процессов.

Однородный макросиноптический процесс определяется по сохранению направленности эволюции ПВФЗ. Синоптический период представляет собою отрезок времени, в течение которого сохраняются направленность перемещения барических образований и географическая локализация знака барического поля. Это означает, что синоптический период может еще некоторое время сохраняться, хотя эволюция ПВФЗ в том или ином направлении уже прекратилась, но новая эволюция ее еще не началась. С момента начала новой эволюции ПВФЗ наступает новый однородный макросиноптический процесс и новый синоптический период. Иными словами, при расчленении последовательного ряда синоптических процессов на периоды каждый день войдет в какой-либо период, в то время как между смежными однородными макросиноптическими процессами могут оказаться отдельные дни, не относящиеся ни к одному из них. Такие дни относятся к старому синоптическому периоду.

Тот факт, что между синоптическим периодом и направленностью эволюции ПВФЗ имеется тесная связь, наводит на мысль о возможности применения индексов циркуляции для объективизации признаков начала и конца различных макросиноптических процессов. В самом деле, в одних синоптических периодах устойчивость заключается в сохранении направления перемещения и развития волн малой длины и амплитуды. Такие периоды можно отнести к зональным. В других синоптических периодах устойчивость эволюции ПВФЗ заключается в однозначно направленном увеличении или уменьшении длины и амплитуды волн ПВФЗ. Такие периоды можно отнести к меридиональным.

С тем или иным развитием ПВФЗ должно быть связано определенное изменение интенсивности зональной и меридиональной циркуляции атмосферы и, следовательно, определенное изменение индексов зональной и меридиональной циркуляции. Отсюда вытекает возможность установления связи между значениями или ходом индексов зональной и меридиональной циркуляции и границами различных макросиноптических процессов.

Исследования в этом направлении находятся лишь в начальной, поисковой, стадии. В частности, Б. Л. Дзердзеевский и А. С. Монин [15] одними из первых сделали попытку найти связь между ходом индекса зональной циркуляции на уровне 700 мб (на пространстве северного полушария или его части) с границами элементарных циркуляционных механизмов и синоптических периодов.

В самое последнее время Педь [36] специально исследовал связь между границами синоптических периодов и ходом индекса зональности на уровне 500 мб, подсчитанного между 40—

70° с. ш. от Гренландии до Енисея, с целью найти объективные числовые показатели границ синоптических периодов. Однако полученные в этой работе результаты пока не имеют практического значения. Для решения вопроса о границах синоптического периода необходимо установление типа того или иного хода индекса зональности, а этих типов оказалось не мало. Эта операция сама по себе включает много возможностей для субъективного подхода и ошибок.

Очевидно, необходимо дальнейшее глубокое исследование этого вопроса, имея в виду, что невозможно достаточно правильно оценить состояние циркуляции одним лишь зональным индексом, который к тому же существенно меняется как на разных уровнях, так и в зависимости от выбранного района для его подсчета [20].

Глава III

ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА 3 ДНЯ

До последнего времени не было специальных методических разработок прогноза на 3 дня. Такие прогнозы целиком базировались на прогностических выводах, полученных на 5—7 дней. Лишь в последние годы были выполнены специальные исследования [2, 42, 48, 53, 56] с целью выявления методических возможностей для непрерывных трехдневных прогнозов, которые могут иметь самостоятельное значение, а также служить более детализированным уточнением прогноза на большие промежутки времени. Рассмотрим некоторые приемы тех работ, которые имеют непосредственное отношение к оперативной практике составления трехдневных прогнозов.

Прогноз циркуляционных особенностей следующего элементарного синоптического процесса

В исследовании условий формирования синоптических процессов на 3 дня О. Н. Хазова [48] опирается на те же принципиальные положения, которые приняты Ю. Б. Храбровым [52] для прогноза особенностей развития однородного макросиноптического процесса. Для уточнения выводов работы [48] Н. М. Чапыгина [53] использовала положения из работ К. И. Кашина и М. В. Гриценко [14, 18] о роли температуры на поверхности 500 мб в изменении давления.

Для получения прогностических указаний на несколько дней Храбров [52] предложил опираться на выводы, вытекающие из качественного анализа уравнения для локального изменения вихря скорости. Если пренебречь членами, зависящими от не-

хранение поля вихря в течение продолжительного промежутка времени. Очевидно, такие условия имеются там, где вклады всех трех членов уравнения вихря действуют однозначно.

Ранее было показано, что в соответствии с поведением ПВФЗ можно выделить три группы однородных макросиноптических процессов. В одной из них основным является сохранение западно-восточного переноса с быстро перемещающимися волнами малой амплитуды и малой длины волны. Во второй группе наблюдается однозначное направление перемещения ПВФЗ. Характер развития этих волн происходит таким образом, что на некоторых участках направление перемещения волны сохраняется. Следовательно, в тех районах, где сохраняется направление перемещения волны (а таких участков может быть несколько), можно выделить места, где в течение однородного макросиноптического процесса устойчиво сохраняется адвекция тепла, направленная к северу, и места, где устойчиво сохраняется адвекция холода, направленная к югу. В зависимости от вклада, описываемого первым членом уравнения вихря, в одних районах создаются устойчивые условия для возникновения и усиления антициклонического вихря (там, где сохраняется адвекция тепла), а в других районах — для возникновения и усиления циклонического вихря (там, где сохраняется адвекция холода). При таком перемещении ПВФЗ фактор, описываемый вторым членом уравнения вихря, также действует в том же направлении, так как при движении к северу усиливается антициклонический вихрь, а при движении к югу — циклонический вихрь.

Вихревые движения с вертикальной осью вращения (наиболее интересные с синоптической точки зрения) характеризуются величиной

$$\Omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (17)$$

где u и v — горизонтальные составляющие скорости воздушного потока. Численно величина Ω_z равна удвоенной угловой скорости частицы, а знак Ω_z указывает на направление вращения. Он положительный при горизонтальном движении против часовой стрелки и отрицательный — при движении по часовой стрелке.

По формулам геострофического ветра

$$u = -\frac{9.8}{l} \frac{\partial H}{\partial y} \quad \text{и} \quad v = \frac{9.8}{l} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (18)$$

где l — параметр Кориолиса, H — геопотенциальная высота изобарической поверхности. Тогда на основании (18) уравнение (17) может быть переписано в виде

$$\Omega_z = \frac{9.8}{l} \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \right) = \frac{9.8}{l} \Delta H. \quad (19)$$

Выражение $\Delta H = \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}$ носит название лапласиана от

геопотенциала. Величина и знак лапласиана в данной точке зависят от кривизны изогипс, расстояния между ними и характера сгущения (в сторону низкого или высокого значения геопотенциала).

Практически лапласиан геопотенциала может быть подсчитан при помощи следующего выражения. Если взять взаимно-перпендикулярные линии и на этих линиях равные отрезки, соответствующие расстоянию 500 или 550 км, то численное выражение лапласиана геопотенциала будет равно сумме значений геопотенциала в каждой из четырех конечных точек минус учетверенное значение геопотенциала в точке пересечения перпендикуляров. Иными словами, лапласиан равен сумме разностей геопотенциалов на четырех выбранных взаимно-перпендикулярных отрезках.

При помощи таких подсчетов по картам АТ₅₀₀ для выбранной сети точек находятся значения лапласианов, которые затем наносятся на бланк карты в тех местах, где при подсчете помещалась точка пересечения взаимно-перпендикулярных отрезков.

Чтобы выявить районы, где те или иные вихри (циклонические или антициклонические) будут сохраняться, учитывается также барический (или температурный) фон. За такой фон могут быть приняты разности значений геопотенциалов смежных макропроцессов.

В работе [52] эмпирически установлено, что имеют тенденцию сохраняться или снова восстанавливаться (в случаях подвижных волн) такие положительные (отрицательные) вихри, которые достигают 10 единиц и находятся в поле отрицательных (положительных) изаллогипс, а также вихри со значениями 20 единиц, независимо от барического фона.

Для разработки методических приемов прогноза на три дня Хазова [48] применила вышеизложенные принципиальные положения к свойствам элементарного синоптического процесса. Так как этот процесс характеризует собою наиболее устойчивый первичный макропроцесс, для прогноза следующего элементарного синоптического процесса в работе [48] предложено подсчитывать лапласианы по карте АТ₅₀₀ последнего дня текущего элементарного процесса, а фон учитывать по разности средних геопотенциалов АТ₅₀₀ (или ОТ₁₀₀₀⁵⁰⁰) текущего и предшествующего элементарных синоптических процессов.

При совместном анализе отмеченных выше двух карт за прогностические указания принимаются:

1. Положительные значения вихря, величина которых составляет не менее 10 единиц, если они располагаются на фоне отрицательных значений разностей геопотенциала, или не менее 20 единиц независимо от фона. Такие указания являются про-

гностическими на циклоническую циркуляцию в следующем элементарном синоптическом процессе.

2. Отрицательные значения вихря величиной не менее 10 единиц на фоне положительных разностей геопотенциалов или более 20 единиц независимо от фона. Такое сочетание принималось как указание на антициклоническую циркуляцию в следующем элементарном синоптическом процессе. При этом если указанным условиям удовлетворяют данные лишь одной, отдельно стоящей станции, то они не принимаются во внимание как малонадежные. Пример такой комплексной карты представлен на рис. 9.

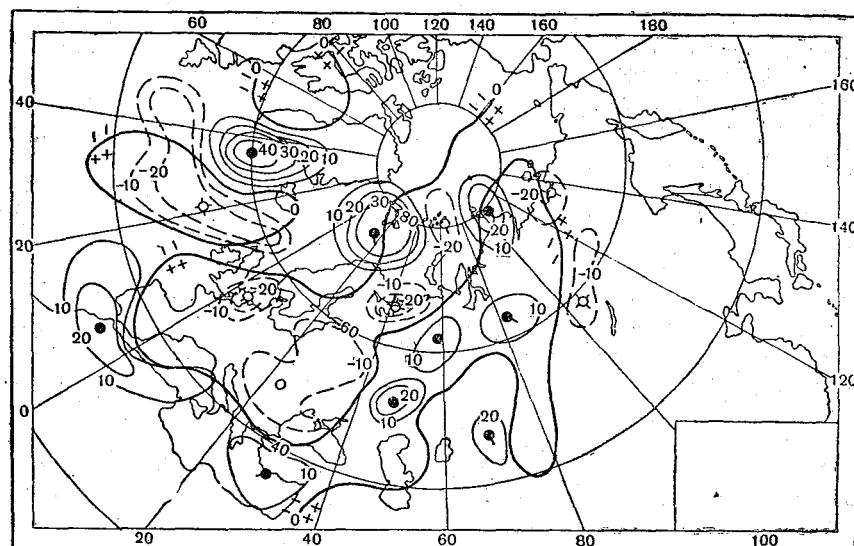


Рис. 9. Комплексная карта лапласианов по AT_{500} за 19 января 1957 г. и изалогипс OT_{1000}^{500} элементарного синоптического процесса (18—19/I) — (16—17/I) 1957 г.

Эти указания принимаются на следующий элементарный синоптический процесс независимо от того, является ли он началом нового синоптического периода или находится в пределах одного и того же периода.

Оправдываемость указаний на районы с циклоническим вихрем в следующем элементарном синоптическом процессе составила 91%, а на районы с антициклоническим вихрем — 84%. Проверка оправдываемости прогностических указаний на элементарные процессы, находившиеся в том же синоптическом периоде, и на процессы, являвшиеся началом нового периода, дала примерно одинаковые результаты. Сопоставление указаний на элементарный процесс, являющийся началом нового синоптического периода, с теми указаниями, которые были со-

ставлены на эти же дни с большей заблаговременностью [52], показало, что в 91% случаев последние можно было подтвердить или уточнить. Кроме того, по последнему элементарному синоптическому процессу можно получить ряд дополнительных прогностических указаний, не обнаруживавшихся при прогнозах с большей заблаговременностью.

Следовательно, прогностические указания, полученные по последнему элементарному процессу текущего синоптического периода на первый процесс следующего периода, могут быть использованы для уточнения прогноза циркуляционных условий в тенденции нового синоптического периода, полученного с большей заблаговременностью. Однако в прогнозе на следующий элементарный синоптический процесс в районе указания на циклонический вихрь возможно осуществление замкнутой циклонической циркуляции (52%) или ложбины (39%), а в районе указания на антициклонический вихрь возможно осуществление антициклона (31%) или гребня (53%).

Это означает, что изложенный выше способ дает возможность предсказать лишь знак барического поля в соответствии со знаком вихря. В то же время смежные элементарные синоптические процессы чаще всего отличаются лишь тем, что при сохранении знака барического поля в большинстве районов территории, охваченной синоптической картой, в отдельных районах у поверхности земли меняется направленность переноса тепла и холода. Последнее нередко связано с тем, что в ложбинах и гребнях ПВФЗ, сохраняющей направленность своей эволюции, формируется или разрушается самостоятельное высотное циклоническое или антициклоническое барическое образование. Поэтому при прогнозе на элементарный синоптический процесс важно знать не только знак высотного поля, но и то, будет ли здесь сохраняться, возникать или исчезать самостоятельная циклоническая или антициклоническая циркуляция.

Для уточнения указания, полученного по карте вихря скорости, на следующий элементарный синоптический процесс Чапыгина [53] исследовала влияние непосредственно температурного режима элементарного синоптического процесса и его изменений на условия вихреобразования в следующем элементарном процессе. Как уже отмечалось, влияние температуры на вихреобразование учитывается первым членом уравнения вихря скорости (15). В соответствии с этим выражением при адвекции тепла возникает или усиливается антициклонический вихрь, при адвекции холода возникает или усиливается циклонический (положительный) вихрь.

В работах Кашина и Гриценко [14, 18] показано, что температура на уровне поверхности 500 мб характеризует не только слой толщиной 5 км, но и более высокие слои тропосферы. Поэтому для учета температурного режима элементарных синоптических процессов, в соответствии с первым членом уравнения

локального изменения вихря (15), учитывались температурные особенности на поверхности 500 мб. Этот учет осуществлялся следующим образом.

Указания на очаги положительного или отрицательного вихря, полученные в [48], сопоставлялись как с картой распределения температуры на уровне 500 мб за последний день исходного элементарного синоптического процесса (рис. 10), так и с картой изменения температуры на этом же уровне за последние два дня этого процесса (рис. 11).

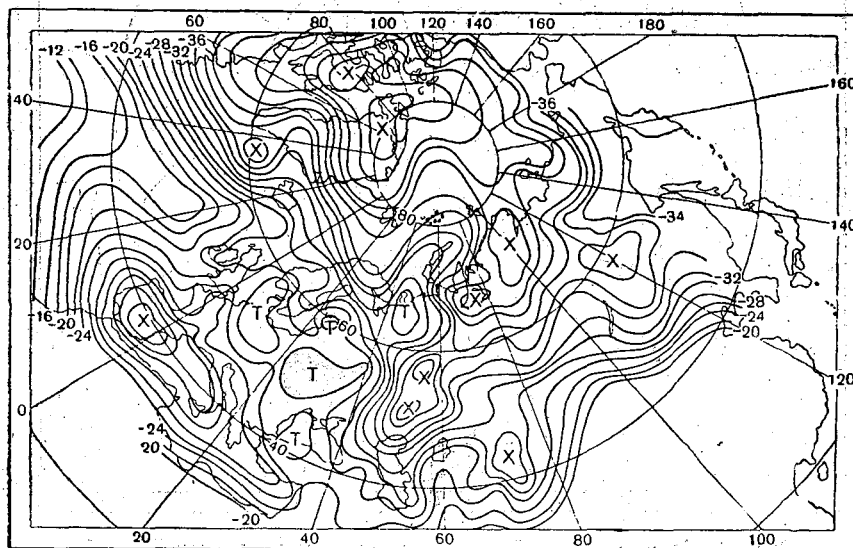


Рис. 10. Карта температуры на поверхности 500 мб за 19 января 1957 г.

Карта изменений температуры позволяет с достаточным приближением непосредственно оценить скорость адвективного изменения температуры, а карта температуры на поверхности 500 мб последнего дня исходного элементарного синоптического процесса — температурный фон. Возможные при этом комбинации весьма разнообразны. Однако чаще всего встречаются сочетания указаний на циклонический вихрь с ослабевающим (усиливающимся) очагом или ложбиной холода и указаний на антициклонический вихрь с ослабевающим (усиливающимся) очагом или гребнем тепла. В результате анализа всех возможных сочетаний Чапыгина [53] выявила те из них, которые с определенной обеспеченностью позволяют однозначно судить о характере циркуляции в районе прогностического указания (по [48]) на вихрь того или иного знака.

Если указанию на антициклонический вихрь (по [48]) соответствует очаг тепла и повышение температуры за последние два дня элементарного синоптического процесса на 4° и более,

то в следующем элементарном синоптическом процессе в 86% случаев в этом районе на уровне 500 мб будет антициклон или ядро и в 10% — гребень. При наличии такого же указания на антициклонический вихрь, которому соответствует гребень тепла и повышение температуры или очаг тепла, усиливающийся менее чем на 4°, то в следующем элементарном процессе в этом районе в 79% случаев оказывается высотный гребень.

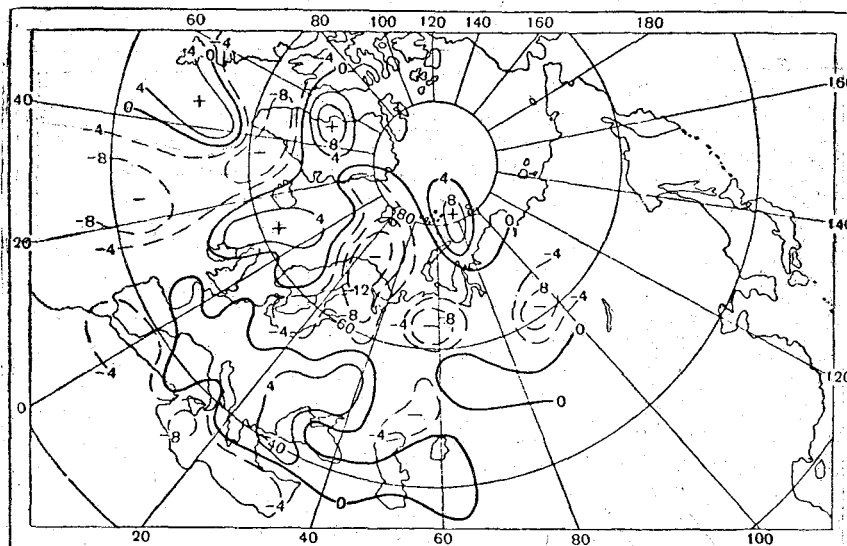


Рис. 11. Карта изменений температуры на поверхности 500 мб от 18 к 19 января 1957 г.

В тех случаях, когда (по [48]) имеется указание на положительный (циклонический) вихрь и ему соответствует очаг холода, усиливающийся на 4° и более, то в 86% случаев в этом районе в элементарном синоптическом процессе располагается циклон, в 11% случаев — ложбина и в 3% — фронтальная зона. Наконец, если указание на циклонический вихрь (по [48]) сочетается с очагом холода, который сохраняется или усиливается за последние два дня элементарного синоптического процесса менее чем на 4°, или это указание сочетается с сохраняющейся или усиливающейся ложбиной холода, то в этом районе в следующем элементарном синоптическом процессе в подавляющем большинстве случаев оказывается высотная ложбина.

Уравнение переноса вихря в самом общем виде дает возможность учесть множество факторов, действие которых способствует возникновению, усилению или исчезновению тех или иных барических образований. Когда же приходится ограничиваться использованием только некоторых факторов, входящих

в уравнение переноса вихря, естественно, выводы становятся менее точными. В частности, по теореме о сохранении абсолютного вихря ни практически, ни теоретически невозможно получить прогноза новообразований.

В работе Чапыгиной по прогнозу на следующий элементарный синоптический процесс [53], кроме теоремы о сохранении абсолютного вихря, учитывается также в явной форме первый член уравнения (15), т. е. изменение температуры во времени. Благодаря этому удается прогнозировать в ряде случаев также новообразования. Так, за определенный промежуток времени при прогнозе элементарных синоптических процессов появлялось 27 новых высотных циклонов и антициклонов, не наблюдавшихся в исходных элементарных синоптических процессах. Из них было предсказано правильно 24, т. е. 89%.

Таким образом, по работам [48] и [53] прогноз высотного поля нового элементарного синоптического процесса осуществляется следующим образом.

1. По карте AT_{500} последнего дня элементарного синоптического процесса для равномерно расположенной сети точек вычисляют лапласианы. Обычно для этой цели применяется планшетка с двумя взаимно-перпендикулярными линиями, каждая из которых в масштабе карты имеет длину 1100 км (по 550 км в каждую сторону от точки пересечения). Эту планшетку точкой пересечения совмещают с пунктом, для которого вычисляется лапласиан, а вертикальную линию направляют вдоль меридиана. Сумма геопотенциала на четырех концах взаимно-перпендикулярных линий минус учетверенное значение геопотенциала в точке пересечения дает величину лапласиана в данном пункте. Знак лапласиана берется тот, который получился в результате вычитания.

2. После подсчета для всей выбранной сети станций значения лапласианов наносят на бланк и проводят нулевую изолинию, отделяющую поля положительных и отрицательных вихрей. Эта линия может интерпретироваться как демаркационная линия, характеризующая положение основной фронтальной зоны.

3. По средним картам AT_{500} (или OT_{1000}^{500}) исходного и предшествующего элементарных синоптических процессов подсчитываются изаллогипсы, которые другим цветом наносятся на тот же бланк, на который нанесены лапласианы.

4. Проводится совместный анализ карты изаллогипс и карты лапласианов. В поле отрицательных изаллогипс выделяются значения лапласианов $+10$ и более, а также значения -20 и более; в поле положительных изаллогипс выделяют лапласианы -10 и более, а также $+20$ и более. Эти данные анализируют с целью объединения их в очаги. При этом очаги положительного вихря закрашивают красным цветом, а очаги отрицательного вихря — синим.

5. Затем строятся карты температуры на поверхности 500 мб последнего и предпоследнего дней элементарного синоптического процесса, на которых выделяются очаги и гребни тепла (красным цветом) и очаги и ложбины холода (синим цветом). По этим картам подсчитывается также разность значений температуры последнего и предпоследнего дней.

6. Все перечисленные материалы подвергаются совместному анализу. Там, где указанию на антициклонический вихрь соответствует очаг тепла и положительное изменение температуры на 4° и более, в следующем элементарном синоптическом процессе ожидается высотный антициклон; если изменение температуры составляет менее 4° , то ожидается высотный гребень. Аналогичный анализ в соответствии с ранее изложенными правилами проводится для каждого очага положительного и отрицательного вихря. С помощью линии нулевых значений лапласианов все эти указания объединяются в схему высотного поля следующего элементарного синоптического процесса.

Таким образом, работы [48, 53] выполнены для прогноза следующего элементарного синоптического процесса по последнему дню текущего процесса. А. И. Штабова [56] предложила некоторые разработки для прогноза высотного и наземного барического поля следующего элементарного синоптического процесса в первый день текущего процесса. Опыт составления прогнозов высотного и наземного барических полей следующего синоптического периода показал, что установленные эмпирическим путем правила нахождения прогностических указаний на тенденцию следующего синоптического периода по методу Пагавы [33] в большинстве случаев осуществляются уже в конце текущего синоптического периода или в следующем элементарном синоптическом процессе. В работе [56] дано статистическое подтверждение этому факту. Для применения указанных правил к прогнозу на 3 дня предложено вместо средней карты AT_{500} тенденции синоптического периода использовать конкретную карту AT_{500} первого дня элементарного синоптического процесса, а вместо изаллогипс AT_{500} тенденции синоптического периода — суточные разности значений AT_{500} первого дня текущего элементарного синоптического процесса и последнего дня предшествующего процесса.

В общих чертах прогностические правила, вытекающие из совместного анализа указанных двух карт, заключаются в следующем. Высотные циклонические образования (циклоны и ложбины), которым соответствуют отрицательные изаллогипсы, в 76—92% случаев сохраняются в следующем элементарном синоптическом процессе, а если им соответствуют положительные изаллогипсы, то, как правило, они заполняются так, что циклоны превращаются в ложбины, а ложбины замещаются высотными гребнями. Высотные антициклонические образования (антициклоны и гребни), которым соответствуют положитель-

ные изаллогипсы, в 80—90% случаев сохраняются и в следующем элементарном синоптическом процессе, а если им соответствуют отрицательные изаллогипсы, то в большинстве случаев антициклоны превращаются в высотные гребни, а высотные гребни замещаются ложбинами.

В соответствии с работой [33] Штабовой [56] сформулированы также правила для прогноза приземного барического поля. В тех случаях, когда входу высотной фронтальной зоны соответствуют нулевые изаллогипсы так, что отрицательный очаг находится в области циклона, а положительный — в области антициклона, то в следующем элементарном синоптическом процессе под этим входом высотной фронтальной зоны у поверхности земли формируется гребень (76% случаев) или антициклон (19% случаев). Аналогичные правила сформулированы и для дельты высотной фронтальной зоны, которой соответствует нулевая изаллогипса. В следующем элементарном синоптическом процессе у поверхности земли под этой дельтой формируется ложбина (48% случаев) или частный циклон (43% случаев).

Под дельтой с очагом отрицательных изаллогипс в следующем элементарном синоптическом процессе (по [56]) у поверхности земли формируется циклон, а под входом с очагом положительных изаллогипс — антициклон. Последние два положения, как видно из предыдущего изложения, находятся в некотором противоречии с выводами, вытекающими из анализа термических членов уравнения вихря скорости (15) или уравнения изменения давления, если, как это принято трактовать, отрицательные изаллогипсы связаны с адвекцией холода, а положительные — с адвекцией тепла.

Прогноз циркуляционных условий на любые три дня, независимо от границ однородных макропроцессов

Рафаилова [42] предложила способ прогноза барического поля на любые три дня, независимо от границ однородных макропроцессов. Прогностические признаки, полученные в работе [42], вытекают из следующих предпосылок. Известно [43], что локальное изменение геопотенциала в данной точке атмосферы зависит в основном от двух факторов — термического и динамического. При некоторых допущениях эта зависимость может быть выражена соотношением

$$\frac{\partial H_p}{\partial t} = \frac{1}{p_0} \frac{R}{9,8} \int_{p_0}^0 \frac{\partial T}{\partial t} dp - \frac{R}{9,8} \int_{p_0}^p \frac{\partial T}{\partial t} \frac{dp}{p} + \frac{1}{m} \frac{1}{p_0} \int_{p_0}^0 \frac{9,8}{l} (\Delta H, H) dp, \quad (20)$$

где $\frac{\partial H_p}{\partial t}$ — локальное изменение высоты любой изобарической поверхности, p — давление на этой поверхности, p_0 — дав-

ление у поверхности земли, T — температура, l — параметр Кориолиса, R — газовая постоянная, $(\Delta H, H)$ — адвекция вихря скорости, t — время и m — некоторая постоянная.

Первые два члена уравнения (20) определяют изменение высот под влиянием термических факторов

$$\left(\frac{\partial H_p}{\partial t}\right)_T = \frac{1}{p_0} \frac{R}{9.8} \int_{p_0}^0 \frac{\partial T}{\partial t} dp - \frac{R}{9.8} \int_{p_0}^p \frac{\partial T}{\partial t} \frac{dp}{p}, \quad (21)$$

а третий член, непосредственно не связанный с температурой, определяет изменение высот вследствие переноса вихря скорости.

У поверхности земли при $p = p_0$ второй член выражения (21) исчезает, тогда для поверхности земли локальное изменение высот под влиянием одних лишь термических факторов выразится соотношением

$$\left(\frac{\partial H_0}{\partial t}\right)_T = \frac{1}{p_0} \frac{R}{9.8} \int_{p_0}^0 \frac{\partial T}{\partial t} dp. \quad (22)$$

Как видно из (20), для любого другого уровня термический фактор локального изменения геопотенциала определяется двумя составляющими, входящими с противоположным знаком. Поэтому с высотой общий термический фактор убывает, на некотором уровне обращается в нуль, а выше снова возрастает, но уже с обратным знаком. Следовательно, для среднего уровня с давлением $\bar{p}$, находящегося примерно вблизи поверхности 700 или 500 мб, где термический фактор локального изменения давления у поверхности земли равен нулю, на основании (21) обе составляющие правой части уравнения (21) по абсолютной величине равны, и тогда из формулы (22) получаем

$$\left(\frac{\partial H_0}{\partial t}\right)_T = \frac{R}{9.8} \int_{p_0}^{\bar{p}} \frac{\partial T}{\partial t} \frac{dp}{p}. \quad (23)$$

Правая часть уравнения (23) представляет собою локальное изменение во времени относительного геопотенциала между изобарическими поверхностями $\bar{p}$ и p_0 , взятыми с обратным знаком. В этом уравнении температуру T в любой точке можно выразить как сумму двух членов: $\bar{T}$ — нормального (или климатического) значения в данной точке и T' — отклонения от этой нормы.

Поскольку изменения климатических значений температуры слоя в данной точке в течение нескольких дней практически пренебрежимо малы, т. е. $\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial T'}{\partial t}\right) \approx \frac{\partial T'}{\partial t}$, то из (23) можно получить

$$\left(\frac{\partial H_0}{\partial t}\right)_T = \frac{R}{9,8} \int_{p_0}^{\bar{p}} \frac{\partial T'}{\partial t} \frac{dp}{p} \quad (24)$$

Используя теорему о среднем и существующую зависимость между изменением геопотенциала и изменением давления $\frac{\partial H_0}{\partial t} = \frac{1}{9,8p} \frac{\partial p_0}{\partial t}$, из (24) можно записать

$$\left(\frac{\partial p_0}{\partial t}\right)_T = -pR \ln \frac{p_0}{\bar{p}} \frac{\partial T'}{\partial t} = -k \frac{\partial T'}{\partial t}, \quad (25)$$

где T' — отклонение от нормы температуры слоя между изобарическими поверхностями $\bar{p}$ и p_0 .

В реальных условиях чаще всего средний уровень тропосферы достаточно близок к поверхности 500 мб. Поэтому локальное изменение аномалии температуры слоя между поверхностями p_0 и $\bar{p}$ практически есть не что иное, как изменение аномалии OT_{1000}^{500} в данной точке¹.

Следовательно, по формуле (25) можно качественно судить о термическом изменении давления у поверхности земли по изменениям во времени аномалии OT_{1000}^{500} . В частности, из (25) вытекает, что при увеличении положительных или уменьшении отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} давление у поверхности земли за счет термического фактора понижается, а при увеличении отрицательных или уменьшении положительных аномалий — давление растёт.

Карты аномалий OT_{1000}^{500} оказываются ценными и для некоторых выводов относительно вихревого фактора локального изменения геопотенциала (третий интеграл в уравнении 20). В отличие от термической слагающей локального изменения высот, фактор переноса вихря скорости не зависит от выбора изобарической поверхности p , для которой определяется $\frac{\partial H}{\partial t}$.

Для определения вихревой составляющей локального изменения геопотенциалов можно ограничиться картой AT_{700} или AT_{500} .

Сравнение карт переноса вихря скорости на уровне 700 мб с ежедневными картами аномалии OT_{1000}^{500} за те же сроки показало, что почти во всех случаях нулевые изаномалы проходят через район как положительных, так и отрицательных макси-

¹ По выбранной сети станций для каждой точки по графику годового хода многолетних значений OT_{1000}^{500} [23] устанавливают ежедневные „нормы“. Для построения карты аномалий OT_{1000}^{500} за каждый день из конкретных значений OT_{1000}^{500} этого дня вычитают соответствующую норму.

мальных значений ($\Delta H, H$)¹. При этом в подавляющем большинстве случаев нулевая изаномала, по отношению к которой положительные отклонения OT_{1000}^{500} остаются к востоку и северо-востоку, а отрицательные — к западу и северо-западу, проходит через область максимальных значений переноса циклонического вихря. Наоборот, нулевая изаномала, по отношению к которой положительные отклонения OT_{1000}^{500} находятся к западу и северо-западу, а отрицательные — к востоку и юго-востоку, проходит через область максимальных значений переноса антициклонического вихря. Иными словами, нулевые изаномалы OT_{1000}^{500} характеризуют зоны максимальных переносов вихря скорости.

Эти результаты показывают, что в центральных районах очагов положительных и отрицательных отклонений OT_{1000}^{500} главная роль в локальном изменении давления принадлежит термической составляющей, а в зоне нулевой изаномалы — вихревой составляющей изменения давления. Так, Рафаилова нашла, что примерно в 90% случаев циклонические и антициклонические новообразования с замкнутой циркуляцией возникают в районах нулевых изаномал, т. е. в зонах максимальной адвекции вихря и аномального контраста температуры воздушных масс.

Кроме того, установлено, что чаще всего (91% случаев) падение давления, а затем формирование циклонических образований наблюдается в районе нулевой изаномалы, которая находится в секторе между западно-северо-западным и восточно-северо-восточным направлениями, если при этом отрицательные аномалии OT_{1000}^{500} находятся слева, а положительные — справа от этой нулевой изаномалы. Наоборот, рост давления, а затем и формирование антициклонических образований наблюдается в районе нулевой изаномалы, находящейся в секторе между западно-юго-западным и восточно-юго-восточным направлениями, если при этом отрицательные аномалии находятся справа, а положительные — слева от этой нулевой изаномалы.

Если циклогенетическая (антициклогенетическая) нулевая изаномала находится в соответствующем ей секторе, то в большинстве случаев она устойчиво сохраняется в нем трое-четыре суток и более. Если же нулевая циклогенетическая (антициклогенетическая) изаномала находится в западной или восточной четверти, то в ее районе почти с одинаковой вероятностью на-

¹ В работе [59] выявлено хорошее соответствие между очагами положительной (отрицательной, аномалии высот поверхности 700 мб и очагами отрицательного (положительного) относительного вихря. Коэффициент корреляции между ΔAT_{700} и полем относительного вихря на той же поверхности составляет — 0,70. Это вполне подтверждает вывод о том, что нулевые изаномалы проходят через районы максимальных значений ($\Delta H, H$).

блюдается как рост, так и падение давления. В этом положении нулевая изаномала сохраняется не более одних-двух суток, после чего она разворачивается в сектор, характерный для циклогенеза или антициклогенеза.

Чтобы установить, в каком месте нулевой антициклогенетической (циклогенетической) изаномалы можно ожидать наибольший рост (падение) давления или формирования антициклонического (циклонического) барического образования, следует соединить прямой линией центры или максимальные

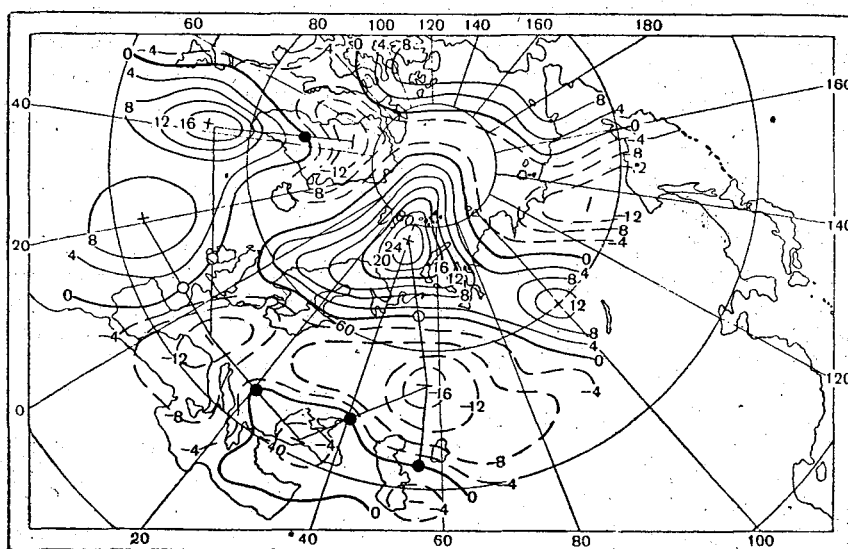


Рис 12. Карта аномалии OT_{1000}^{500} за 14 января 1957 г.

значения соседних очагов положительных и отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} . Точка пересечения нулевой изаномалы этой прямой линией указывает на район наибольшего температурного контраста воздушных масс в тропосфере и поэтому ее можно назвать «особой» точкой нулевой изаномалы (рис. 12)¹. Одновременно сумма положительных и отрицательных значений аномалии OT_{1000}^{500} на обоих концах этой прямой линии характеризует меру температурного контраста в зоне нулевой изаномалы.

Как было показано в работе [42], падение давления в течение нескольких дней вдоль циклогенетической нулевой изаномалы и рост давления вдоль антициклогенетической нулевой изаномалы приводит к формированию (в районе радиусом до 400 км

¹ При наличии двухцентровых очагов появляются две «особые» точки.

вокруг особой точки) соответственно циклонов и антициклонов, если контраст поля аномалий в районе этой особой точки достигает или превышает 20 дкм.

Таким образом, в процессах цикло- и антициклогенеза существенную роль играет не только положение очагов аномалий относительно нулевой изаномалы OT_{1000}^{500} , но и интенсивность очагов аномалий, расположенных непосредственно по обе стороны от этой изаномалы.

В тех случаях, когда наступает резкое ослабление температурного контраста вследствие разрушения очагов аномалий, расположенных по обе стороны от нулевой изаномалы, несмотря на антициклогенетическую направленность последней, наблюдается не рост, а падение давления и разрушение антициклонов. Аналогично при резком ослаблении очагов, расположенных по обе стороны от циклогенетической нулевой изаномалы, вдоль последней наблюдается не падение, а рост давления и заполнение циклонов.

Характерно, что необходимое для цикло- и антициклогенеза поле аномалий OT_{1000}^{500} возникает или усиливается обычно за сутки (75% случаев) или двое суток (16% случаев). Это положение подтверждается также результатами работы Г. В. Леновой [26]. Изучая в соответствии с принципами, изложенными в работах [14, 18], влияние поля температуры на поверхности 500 мб на формирование и перемещение северо-западных антициклонов, она нашла, что характерное для процесса антициклогенеза поле температуры возникает в большинстве случаев за 1—2 суток.

Выше уже отмечалось, что в районе нулевой изаномалы имеет место максимальный перенос вихря скорости. Следовательно, все вышеуказанные изменения давления и формирования циклонов и антициклонов в районе нулевой изаномалы обусловлены в основном переносом вихря скорости. Одновременно, как было показано Кашиным и Гриценко [14, 18], изменение давления у поверхности земли тесно связано с районами расположения очагов или языков тепла и холода на отдельных уровнях. В полном соответствии с этими выводами на другом материале в работе [42] установлено, что в преобладающем большинстве случаев (примерно 90%) под восточной периферией области отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} наблюдается циклонический знак поля и рост давления (соответствует тыловой части циклонов), а под западной периферией и центральной частью области отрицательных аномалий — антициклонический знак поля и рост давления (соответствует формирующемуся или перемещающемуся антициклону). Наоборот, под восточной периферией области положительных аномалий OT_{1000}^{500} давление растёт или остается без изменений (соответствует западной части антициклона), а под центральной частью и западной пе-

риферией очага положительных аномалий наблюдается циклоническое поле и чаще всего падение давления (соответствует передней части циклонов). Исключение из указанных положений, т. е. противоположное изменение давления под соответствующей частью очага аномалий OT_{1000}^{500} , как правило, обусловлено резким ослаблением очагов аномалий.

В связи с тем, что общее изменение давления по формуле (20) обусловлено как вихревым фактором (имеющим наибольшее значение в области нулевой изаномалы), так и термическим фактором (имеющим наибольшее значение под соответствующей частью очага изаномал), район формирования циклонических образований у поверхности земли смещается от особой точки нулевой изаномалы примерно на 400 км в сторону положительных аномалий, а центры антициклонических образований — в сторону отрицательных аномалий. В соответствии с этим демаркационная линия, отделяющая циклоническое поле от антициклонического, проходит через область положительных аномалий, оставляя центральную ее часть в циклоническом поле, и через область отрицательных аномалий исходного дня, оставляя центральную ее часть в антициклоническом поле.

Влияние зон вергенции (т. е. сходимости и расходимости) на цикло- и антициклогенез также находится в тесной зависимости от сочетания этих зон с нулевой изаномалой и особой точкой на ней. Если судить, например, только по одной сходимости изогипс высотной фронтальной зоны, то антициклогенез у поверхности земли под ней наблюдается лишь в 57% случаев, в остальных же 43% через эти районы в последующие 1—2 суток проходят ложбины и циклоны. 11

Под зоной сходимости на уровне поверхности 500 мб в течение 24—48 часов формируются антициклонические образования у поверхности земли, если в исходном дне через эту зону проходит антициклогенетическая нулевая изаномала с неоднородностью поля аномалий OT_{1000}^{500} в районе особой точки более 20 дкм или в районе сходимости имеется очаг отрицательной аномалии более 20 дкм. Аналогично под зоной сходимости на уровне поверхности 500 мб в течение 24—48 часов у поверхности земли формируются циклонические образования в том случае, если через эту зону проходит циклогенетическая нулевая изаномала с неоднородностью в районе особой точки более 20 дкм или в районе расходимости имеется очаг положительной аномалии более 20 дкм. В тех случаях, когда через район сходимости (расходимости) проходит антициклогенетическая (циклогенетическая) нулевая изаномала при контрасте аномалии OT_{1000}^{500} в районе особой точки менее 20 дкм, антициклогенез (циклогенез) не наблюдается.

Эволюция барических образований, возникающих в начальной стадии под очагами аномалий OT_{1000}^{500} или ну-

левой изаномалы, может быть различной. Эти барические образования могут в дальнейшем усиливаться или ослабевать, затухать совершенно или существовать несколько дней. Характер эволюции приземных барических образований также зависит от того, как они сочетаются с полем изаномал OT_{1000}^{500} и как меняется это поле.

Антициклонические образования, находящиеся в районе антициклогенетической нулевой изаномалы (при сохранении или усилении неоднородности), в большинстве случаев существуют до трех суток и более. Находясь в районе однородных положительных аномалий OT_{1000}^{500} или на циклогенетической нулевой изаномале, большинство (93%) антициклонических образований разрушается на вторые-третьи сутки.

Циклонические образования, зародившиеся в районе нулевых изаномал, углубляются и существуют более трех-четырех суток (80% случаев), если контраст поля аномалий OT_{1000}^{500} , равный более 20 джм, сохраняется или усиливается. Циклонические образования, возникшие под очагом положительной аномалии OT_{1000}^{500} , в большинстве случаев (87%) своей циркуляцией создают неоднородность температурного поля относительно своего центра, углубляются и на вторые сутки оказываются в районе циклогенетической нулевой изаномалы.

Циклонические образования у поверхности земли заполняются и исчезают вовсе, если над районом их расположения устанавливается очаг отрицательных аномалий или антициклогенетическая нулевая изаномала.

Направление перемещения приземных барических образований находится в тесной зависимости от взаимного расположения фронтальной зоны и нулевой изаномалы, а также от положения очагов аномалий по обе стороны от этой нулевой изаномалы.

На рис. 13 приведены наиболее часто встречающиеся типовые схемы этого сочетания, в том числе характерные для стационарных высоких антициклонов (рис. 13 б) и малоподвижных высоких циклонов (рис. 13 а). При совпадении направления фронтальной зоны с направлением нулевой изаномалы исходная направленность последней устойчиво сохраняется в течение нескольких дней, а особая точка смещается вдоль нулевой изаномалы в направлении высотных потоков (92% случаев). В тех случаях, когда направление нулевой изаномалы не совпадает с направлением потока высотной фронтальной зоны, нулевая изаномала деформируется и получает новое положение, а особая точка ее также перемещается в соответствии с новым положением очагов аномалий. При этом в 81% случаев центры барических образований в каждый из следующих дней совпадают с новыми положениями особой точки нулевой изаномалы.

В тех случаях, когда нулевая изаномала не проходит через

фронтальную зону и значения аномалии в высотной фронтальной зоне менее 20 дкм, а скорость потока во фронтальной зоне на уровне поверхности 700 мб больше 50—60 км/час, барические образования у поверхности земли в последующие три дня смещаются в направлении потока высотной фронтальной зоны исходного дня, а нулевая изаномала деформируется и приходит в соответствие с фронтальной зоной.

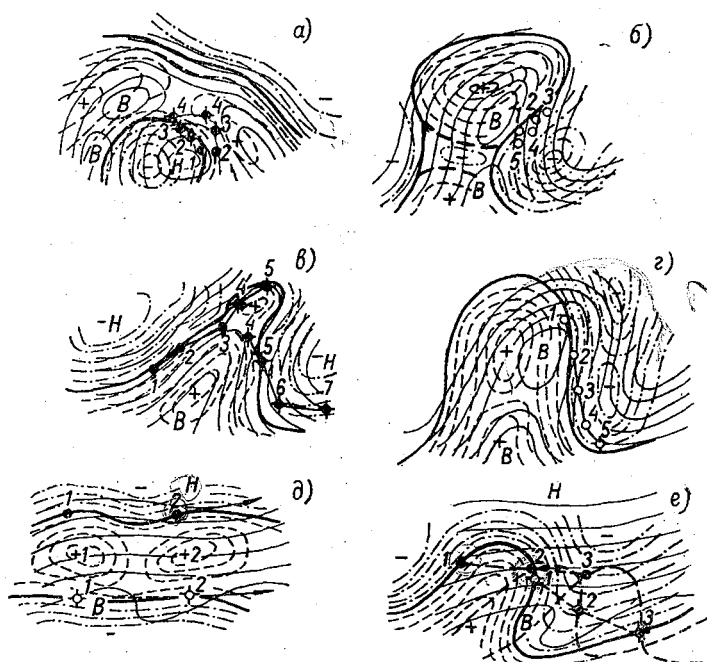


Рис. 13. Типовые схемы полей AT_{500} и аномалии $OT_{500/1000}^{500}$, соответствующие: а — изолированным циклонам, б — стационарным антициклонам, в — смещению циклона в северо-восточном направлении и окклюдированию циклона, г — антициклонам, смещающимся в юго-восточном направлении, д и е — западно-восточному перемещению барических образований.

Если нулевая изаномала не проходит через фронтальную зону и при этом значения аномалии в области высотной фронтальной зоны больше 20 дкм, а скорость потока во фронтальной зоне на уровне поверхности 700 мб меньше 50 км/час, барические образования у поверхности земли в последующие три дня смещаются вдоль нулевой изаномалы, проходящей в исходный день через центры барических образований. В этом случае высотная фронтальная зона, деформируясь, приходит в соответствие с нулевой изаномалой исходного дня.

Условия формирования барических образований на поверхности 500 мб могут быть получены из приведенной ранее формулы (20) для локального изменения геопотенциала. Локальное изменение геопотенциала на любом произвольном уровне зависит от двух факторов — термического и вихревого.

Что касается термического фактора, определяемого первыми двумя членами (20), то его вклад у поверхности земли и на высотах, как известно, имеет обратный знак, т. е. при положительном изменении температуры слоя у поверхности земли давление понижается, а в вышележащих слоях растет и наоборот. Следовательно, по изменению аномалии температуры слоя 500—

1000 мб (т. е. по $\frac{\partial T'}{\partial t}$), при допуске постоянства в течение нескольких дней нормы (T), можно судить также об изменении высоты AT_{500} под воздействием термических факторов.

Вихревой же фактор изменений AT_{500} определяется третьим слагаемым в уравнении (20). Выше уже отмечалось, что район максимальных значений (ΔH , H) на приземных картах совпадает с районом нулевых изаномал на картах отклонений от нормы OT_{1000}^{500} . Нулевая изаномала температуры слоя 500—1000 мб характеризует также зону максимального переноса вихря скорости и на уровне поверхности 500 мб. В связи с тем, что роль термических факторов в формировании высотных барических образований возрастает, последние возникают несколько дальше от особой точки нулевой изаномалы в сторону соответствующего очага аномалий, чем приземные барические образования. К тому же одни и те же очаги, как уже отмечалось на основании (20), влияют с противоположным знаком на изменение давления у поверхности земли и выше некоторого среднего уровня.

На основании совместного анализа карт аномалий OT_{1000}^{500} и AT_{500} найдено, что замкнутая циклоническая (антициклоническая) циркуляция на карте AT_{500} отображается в том случае, если предварительно (в 80% случаев за сутки) на карте аномалий OT_{1000}^{500} имеется самостоятельный отрицательный (положительный) очаг, очерченный хотя бы одной изолинией, а в районе особой точки циклогенетической (антициклогенетической) нулевой изаномалы контраст превышает 20 дкм. При этом возникновение изолированных очагов аномалий приводит к формированию изолированных высотных циклонов и антициклонов. Если же очаги аномалий выражены в виде «языков» или имеющиеся очаги создают контрасты менее 20 дкм, то на высотах образуются лишь гребни (ложбины), оси которых параллельны антициклогенетическим (циклогенетическим) нулевым изаномалам и сдвинуты в сторону языка тепла (холода) на расстояние 500—600 км.

Если положительный (отрицательный) изолированный очаг аномалий устанавливается в циклоническом (антициклоническом) поле, что бывает примерно в 6% случаев, то через сутки в районе бывшего циклона (антициклона) возникает высотный гребень (ложбина), а через двое суток — замкнутая антициклоническая (циклоническая) циркуляция. В ряде случаев (14%) изолированный положительный (отрицательный) очаг аномалии возникает в поле аномалий того же знака, тогда антициклон (циклон) на высотах возникает одновременно с этим очагом.

Адвекция тепла (холода) на уровне поверхности 500 мб, как правило, приводит к падению (росту) давления у поверхности земли и росту (падению) давления на поверхности 500 мб и выше. Поэтому у поверхности земли циклонические образования отклоняются от особой точки циклогенетической нулевой изаномалы в сторону очага положительной аномалии на расстояние до 400 км, а на уровне поверхности 500 мб — к северо-восточной части очага отрицательной аномалии на расстояние до 600 км.

Антициклонические образования отклоняются у поверхности земли от особой точки антициклогенетической нулевой изаномалы в сторону очага отрицательной аномалии на расстояние до 400 км, а на уровне поверхности 500 мб — к юго-восточной части очага положительной аномалии на расстояние до 600 км.

Эволюция и направление перемещения высотных барических образований зависит от взаиморасположения их с очагами аномалий $OT_{10,0}^{50,0}$. Когда соответствующий высотному циклону очаг отрицательных изаномал располагается к югу от центра циклона, последний перемещается на северо-восточную часть очага отрицательных аномалий, а в районе первоначального положения центра циклона возникает антициклогенетическая нулевая изаномала. Высотный циклон превращается в ложбину, если ликвидируется самостоятельное существование очага отрицательных аномалий или резко ослабевает неоднородность поля аномалии.

Высотный антициклон разрушается и превращается в гребень, если перестает существовать соответствующий ему самостоятельный очаг положительной аномалии или резко ослабевает неоднородность поля аномалии. Высотный антициклон разрушается, если соответствующий ему очаг положительной аномалии смещается к востоку от центра антициклона, а очаг отрицательной аномалии остается на месте к югу от центра антициклона или смещается к северо-западу от него.

Скорость перемещения высотных барических центров находится в прямой зависимости от скорости перемещения соответствующих им особых точек нулевой изаномалы и связанных с нею очагов аномалии OT_{1000}^{500} исходного дня. Если соответствующие высотным образованиям очаги

аномалии и особые точки оставались малоподвижными, то оставались малоподвижными и сами барические образования и наоборот. Следовательно, для прогноза скорости и направления перемещения высотных барических образований на несколько дней вперед необходимо знать особенности эволюции и перемещения в течение этих нескольких дней поля аномалии OT_{1000}^{500} . Знание последнего необходимо также и для прогноза изменений приземных барических образований.

Эволюция поля аномалий OT_{1000}^{500} , т. е. изменения теплосодержания нижнего столба воздуха высотой 5 км, определяется главным образом условиями адвекции и трансформации воздушных масс. Проведенный анализ показал, что в большинстве случаев (72%) очаги аномалий OT_{10}^{50} находятся в потоках на уровне 700 мб и смещаются по ним в среднем со скоростью, составляющей 80% скорости, наблюдаемой в потоках. В 14% случаев очаги аномалий совпадают с центрами высотных барических образований и в 14% — с вершинами высотных гребней и основаниями ложбин, сохраняясь (в 93% случаев) в течение суток без существенных перемещений. Однако уже через сутки высотные антициклоны смещаются на юго-восточную периферию очага положительной аномалии, в район особой точки антициклогенетической нулевой изаномалы, а высотные циклоны — на северо-восточную периферию очага отрицательной аномалии, в район особой точки циклогенетической нулевой изаномалы.

Иными словами, очаги, которые совпадают с высотными циклонами и антициклонами, на вторые сутки оказываются в потоках на уровне 700 мб и в последующем перемещаются со скоростью, составляющей в среднем 80% скорости этих потоков (табл. 2).

Таблица 2
Средние скорости перемещения очагов аномалии OT_{1000}^{500} в зависимости от скорости потока на уровне 700 мб в районе центра очагов

Средняя скорость потока на уровне 700 мб в районе центра очага аномалии OT_{1000}^{500}		Средняя скорость перемещения очагов аномалии OT_{1000}^{500}	
км/час	км/сутки	% скорости потока на уровне 700 мб	км/сутки
30—40	850	72	600
50—60	1300	76	1000
70—80	1450	83	1450
90—100	2000	89	2050

Указанная скорость перемещения очагов по потокам является лишь средней и меняется от интенсивности потоков. При

слабых ветрах на уровне 700 мб (30—40 км/час) очаги смещаются со скоростью 71—74% скорости потоков, а при сильных ветрах (90—100 км/час) — со скоростью 86—92% скорости потоков, наблюдающихся в районе центра очагов.

Совершенно естественно, что вместе со смещением очагов аномалий OT_{1000}^{500} перемещаются также нулевые изаномалы. Те участки нулевой изаномалы, которые параллельны потоку на уровне поверхности 700 мб, практически не меняют своего положения в течение ближайших 1—2 суток (в 90% случаев они смещаются максимум на 200—300 км от своего исходного положения). Те участки нулевой изаномалы, которые находятся к потоку под углом 90°, перемещаются в направлении и со скоростью потока. Когда же нулевая изаномала пересекает поток в отличном от 90° направлении, она также перемещается в направлении потока, но со скоростью 80% скорости потока на уровне поверхности 700 мб. В последних случаях нулевая изаномала обычно резко переходит из циклогенетической в антициклонетическую и наоборот.

Следовательно, по исходной карте аномалий OT_{1000}^{500} , дающей основание для прогноза барического поля на одни сутки путем определения смещения показанных на этой исходной карте очагов аномалий и нулевых изаномал, с учетом вышеизложенных зависимостей получают представление об этом поле и на вторые сутки. При этом, когда согласно исходному полю аномалии OT_{1000}^{500} на следующий день не ожидается формирования новых высотных образований, то поток остается устойчивым; тогда можно рассчитать перемещения очагов аномалий и нулевых изаномал на двое суток с соответствующей скоростью в направлении потока на уровне поверхности 700 мб исходного дня.

Если же по данным исходной карты аномалий OT_{1000}^{500} уже на следующий день должны возникнуть новые высотные образования или ожидается существенная деформация высотной фронтальной зоны, то расчет перемещения очагов аномалий и нулевых изаномал на вторые сутки следует вести уже по новым потокам.

Одновременно учитывается влияние трансформации на изменение интенсивности очагов аномалий, имея в виду, что при переходе с океанической на континентальную подстилающую поверхность очаг положительных аномалий, при всех прочих равных условиях, зимой ослабевает на 3—5 джм, а летом — усиливается. Очаг отрицательных аномалий при переходе с океанической на континентальную подстилающую поверхность зимой усиливается на 3—5 джм, а летом — ослабевает. Обратное соотношение справедливо при перемещении очагов аномалий с континентальной на океаническую подстилающую поверхность.

Порядок применения приемов при составлении прогноза на три дня [42] заключается в следующем.

1. Прежде всего устанавливается диагноз существующего положения в исходный день с целью выявления тех факторов, которыми обусловлены барические тенденции на исходной синоптической карте, а также какому состоянию поля аномалий OT_{1000}^{500} соответствуют барические образования на карте AT_{500} .

а) Изаллобарические очаги, совпадающие с очагами аномалий OT_{1000}^{500} , вызваны чисто термическими причинами и поэтому, как правило, не приводят к формированию самостоятельной цикло- и антициклонической циркуляции. Если же изаллобарические очаги у поверхности земли совпадают с районом нулевых изаномал предшествующего дня, то изменение давления происходит в основном вследствие адвекции вихря, и в зависимости от направленности нулевой изаномалы (рис. 13) в ближайшие 1—2 дня в районе особой точки возможно формирование замкнутых барических образований. Скорость формирования замкнутых циклонов и антициклонов зависит от того, наблюдается ли рост (падение) давления на фоне повышенного (пониженного) давления или наоборот [14, 18].

б) Таким же путем устанавливается диагноз уже существующих на синоптической карте барических образований.

Барические образования, расположенные под очагами аномалий OT_{1000}^{500} , термически однородны и в дальнейшем затухают, сохраняются или развиваются за счет термических факторов изменения давления в соответствии с изложенными ранее зависимостями.

Циклонические (антициклонические) образования, находящиеся под районом особой точки циклогенетических (антициклогенетических) нулевых изаномал, сохраняются в ближайшие сутки под влиянием вихревых факторов изменения давления.

Циклонические (антициклонические) образования, находящиеся под антициклогенетической (циклогенетической) нулевой изаномалой в ближайшие сутки заполняются (разрушаются), если не ожидается резкого изменения аномалии в этом районе.

2. После установления диагноза, приступают к прогнозу синоптических процессов на последующие три дня. Для этого прежде всего устанавливают степень устойчивости поля аномалий OT_{1000}^{500} и его эволюцию на следующие два дня. Это делается путем сопоставления (а еще лучше путем построения карты) изменений OT_{1000}^{500} от предшествующего дня к исходному. Соответственно этим изменениям судят об эволюции барического поля на ближайшие сутки. Затем рассчитывают перемещение исходных очагов аномалий OT_{1000}^{500} и нулевых изаномал на двое суток в соответствии с изложенными выше правилами.

Используя все приведенные выше прогностические связи

высотного и наземного барических полей с эволюцией поля аномалии, составляют сначала схему высотных, а затем и наземных процессов на любые три дня независимо от границ однородных макропроцессов. В последующих разделах показано, что в некоторые дни представляется возможным составлять прогнозы и на более продолжительные промежутки времени.

Глава IV

ПРОГНОЗ ВЫСОТНОГО И НАЗЕМНОГО БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА 4—5 ДНЕЙ¹

Прогноз общего характера барического поля на оставшиеся дни текущего синоптического периода

В главе II были описаны основные особенности и свойства синоптического периода. Среди них есть два свойства, которые дали возможность еще в 1922 г. начать регулярное составление прогнозов развития синоптических процессов и связанных с ними типов погоды на значительные промежутки времени.

1) Первое свойство заключается в том, что в течение синоптического периода сохраняется направленность переноса барических образований, благодаря чему сохраняется также географическое расположение циклонических и антициклонических полей на огромном пространстве. В связи с этим уже по синоптической карте первого дня синоптического периода достаточно четко вырисовываются те районы, где в течение всего периода будут преобладать циклоны, и те районы, где будут преобладать антициклоны. Так как в течение синоптического периода сохраняется также направленность перемещения барических образований, то достаточно установить направление перемещения их от первого ко второму дню периода, чтобы знать направленность траекторий циклонов и антициклонов в течение всего периода.

Таким образом, первые два дня синоптического периода указывают на тенденцию перемещения барических образований в течение всего периода, благодаря чему они получили название тенденций синоптического периода.

¹ Излагаемые приемы применимы для любого района территории СССР. В самое последнее время Н. И. Зверев [17] выполнил исследование с целью изыскания объективного способа прогноза карты AT_{500} на 3—5 дней применительно к условиям Дальнего Востока. При решении этой задачи была рассмотрена упрощенная модель циркуляции, в которой высотные барические образования в течение 3—5 дней перемещаются западно-восточным потоком без изменения интенсивности с характерной для данного месяца скоростью, а эволюция их происходит под влиянием меридиональной муссонной циркуляции и трансформации воздуха от подстилающей поверхности. Так как применение результатов этой работы возможно лишь в специфических муссонных условиях Дальнего Востока, мы не останавливаемся на подробном ее изложении.

Появление карт барической топографии, дающих направление потоков нижней половины тропосферы, и установление определенной устойчивости последних в течение синоптического периода позволяет в большинстве случаев получить указание о направлении перемещения барических образований и по одному первому дню периода.

Как было ранее показано, переход от одного синоптического периода к другому осуществляется более или менее скачкообразно. Следовательно, чтобы по тенденции периода экстраполировать начавшееся развитие циклонов и антициклонов и их

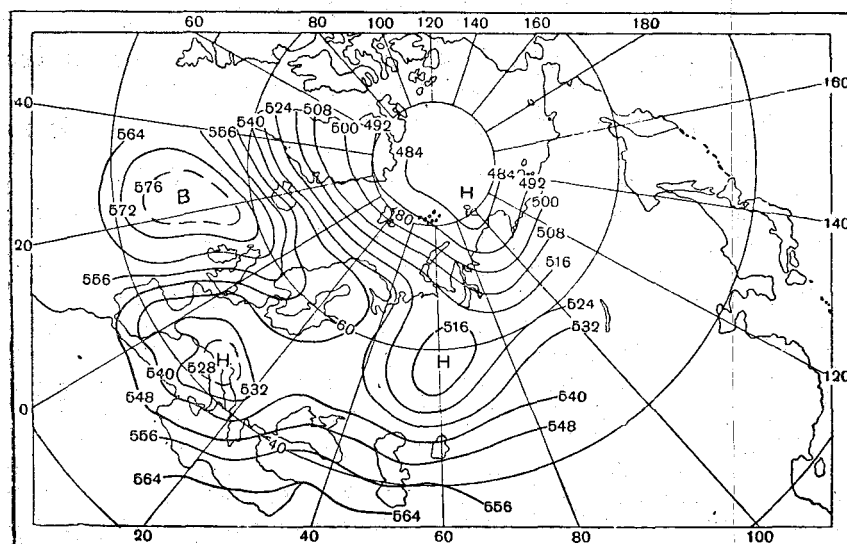


Рис. 14 Средняя карта AT_{500} тенденции синоптического периода 14—15 января 1957 г.

перемещение, необходимо еще знать продолжительность синоптического периода, в пределах которого такая экстраполяция допустима.

Так как в течение сезона сохраняется определенная продолжительность синоптических периодов [24] и смежные периоды не отличаются по продолжительности более чем на 2 дня, то всегда можно принимать, что начавшийся синоптический период будет равен по продолжительности закончившемуся периоду. При этом в 84% случаев ошибка не будет превышать одного дня [24]. Средняя продолжительность синоптического периода составляет 6 дней. Следовательно, во второй день периода можно составить прогноз в среднем на оставшиеся 4 дня периода.

На рис. 14 приведена средняя карта AT_{500} , а на рис. 15 — сборнокинематическая карта тенденции синоптического пе-

иода, начавшегося 14 января 1957 г. Положив длительность начавшегося синоптического периода равной 6 дням, во второй день периода (15 января) можно составить прогноз развития процессов на оставшиеся 4 дня периода, т. е. на 16—19 января. В первом приближении этот прогноз заключается в том, что в оставшиеся дни должно сохраниться термобарическое поле, установившееся в начале периода, а приземные барические образования должны перемещаться по установившимся в тенденции потокам. При этом перемещение антициклонов должно

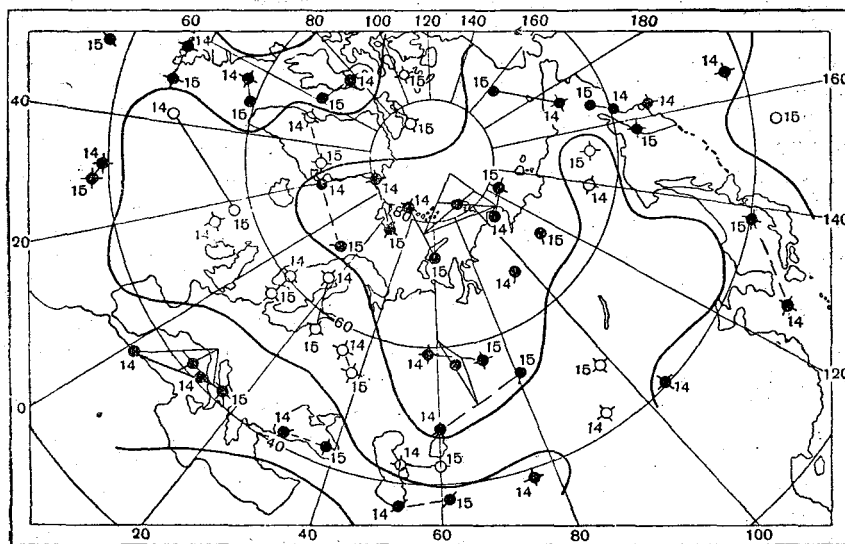


Рис. 15. Сборнокинематическая карта тенденции синоптического периода 14—15 января 1957 г.

быть таким, чтобы не нарушалась географическая локализация барического поля, установившегося в тенденции периода.

Сопоставление карт тенденции синоптического периода (рис. 14 и 15) с соответствующими картами за весь синоптический период (рис. 1 и 3) показывает, что такой прогноз оказался бы вполне удовлетворительным, так как в течение всего периода сохранялись высотное деформационное поле и распределение циклонических и антициклонических полей, установившиеся в тенденции периода. В то же время, как показывает рис. 5 и 6, при переходе к новому синоптическому периоду произошло существенное изменение в развитии макросиноптических процессов. Новый синоптический период начался с разрушения характерного для всего закончившегося периода высотного антициклона над районом западнее Англии и с формирования над Балканами и юго-западной частью Европейской территории СССР нового высотного антициклона и новой ПВФЗ.

2) Применение средней карты трех уровней

Выше отмечалось, что при наличии карт барической топографии часто уже в первый день синоптического периода можно судить о направленности перемещения приземных барических образований в оставшиеся дни периода. Это дает возможность составлять прогноз не на 4 оставшихся дня, а на 5 дней и к тому же сразу после перестройки синоптических процессов. Однако иногда перестройка высотного поля осуществляется одновременно на всем пространстве, а в течение 12—24 часов. Кроме того, встречаются случаи [24], когда перестройка у поверхности земли опережает на один день перестройку процессов на высотах и наоборот. Поэтому С. К. Авербух [1] исследовал возможность построения уже в первый день периода такой карты барической топографии, которая с достаточной точностью могла бы заменить среднюю карту AT_{500} тенденции синоптического периода, на которой обычно находит отражение перестройка процессов во всей толще тропосферы. Авербух [1] исходил из того, что одновременный учет особенностей барического поля на нескольких изобарических поверхностях может дать такую среднюю карту тропосферы, на которой отразятся особенности наметившейся в начале синоптического периода перестройки во всей толще тропосферы.

Известно, что на изменение давления или геопотенциала на любом уровне влияют условия, наблюдаемые как в нижележащих, так и в вышележащих слоях. Исходя из некоторых теоретических соображений о распределении потенциальной энергии столба воздуха, Авербух [1] нашел, что можно построить такую функцию, которая характеризует среднее состояние этого столба воздуха. В частности, для характеристики среднего состояния барической топографии тропосферы от уровня моря до поверхности 300 мб необходимо просуммировать значения геопотенциалов абсолютной топографии на поверхностях 700, 500 и 300 мб, умноженные соответственно на коэффициенты 0,5, 0,4 и 0,2. Практически поступают следующим образом.

Выбирают равномерно расположенную сеть пунктов, для каждого пункта по картам первого дня синоптического периода снимают значения AT_{700} и умножают на коэффициент 0,5 AT_{500} — на 0,4 и AT_{300} — на 0,2. Полученные величины суммируют для каждого пункта и таким путем получают поле, которое характеризует среднюю топографию в слое между поверхностями 1000 и 300 мб. Анализируя это поле, так же как и поле геопотенциала, получают средневзвешенную карту тропосферы, построенную по трем уровням, поэтому ее и называют «средней картой трех уровней».

Средняя карта трех уровней по данным первого дня синоптического периода достаточно хорошо отражает как распределение барических центров, так и положение и интенсивность

фронтальных зон на средней карте AT_{500} тенденции синоптического периода. В 83% случаев отклонение значений на карте трех уровней от средних значений AT_{500} тенденции периода находится в пределах 0—6 гп. м, а средняя абсолютная ошибка равна примерно 3 гп. м [1].

На рис. 16 приведена средняя карта трех уровней, построенная по материалам первого дня синоптического периода, начавшегося 14 января 1957 г. Сопоставление этой карты со средней картой AT_{500} тенденции этого периода (рис. 14) показывает достаточно большое их сходство.

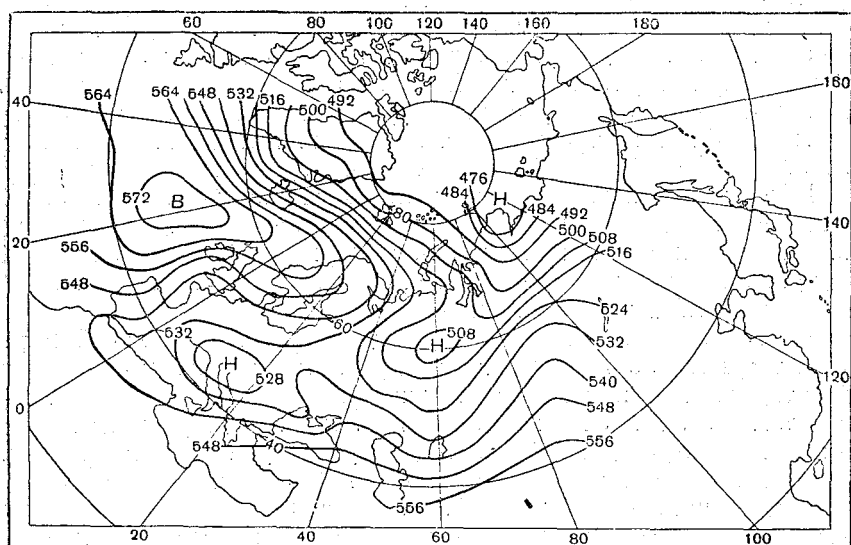


Рис. 16. Средняя карта барической топографии трех уровней за 14 января 1957 г.

Использование средней карты трех уровней позволяет уже в первый день составлять общий прогноз на оставшиеся дни синоптического периода, не опасаясь того, что будет допущена грубая ошибка из-за неучета последующей перестройки процессов в течение первых двух дней периода. Это позволяет тем самым увеличить продолжительность прогноза на оставшиеся дни синоптического периода.

Ранее лишь во второй или третий день синоптического периода удавалось составить более или менее надежную экстраполяцию на оставшиеся 2—3 дня периода. Благодаря применению средней карты трех уровней, представляется возможным уже в первый день периода составить такой прогноз. По сборной карте первого дня получают расположение наземных барических центров и, следовательно, географическую локализацию

приземных полей давления, а по ведущим потокам, установленным по средней карте трех уровней, определяют направление перемещения этих приземных барических образований в течение оставшихся 4—5 дней периода (в зависимости от его продолжительности).

Прогноз развития барических образований в синоптическом периоде

Изложенные прогностические приемы позволяют получить лишь общее представление о характере синоптического процесса и определяемой им погоды до конца начавшегося синоптического периода. В ряде случаев требуется знание не только общего характера ожидаемой погоды в течение предстоящих 4—5 дней, но и некоторые детали ее развития. Это может быть достигнуто путем прогноза развития синоптических процессов до конца начавшегося синоптического периода.

Приемы прогноза развития и перемещения барических образований до конца текущего синоптического периода основаны на некоторых эмпирических закономерностях и возможностях экстраполяции в течение периода той тенденции развития, которая наметилась в его начале.

С. Т. Пагавой был рассмотрен вопрос о том, в какой мере можно судить об изменении интенсивности высотных циклонов и антициклонов в оставшиеся дни синоптического периода по изаллогипсам тенденции того же периода¹. В результате исследования было найдено, что в 70% случаев районы циклонов на карте AT_{500} были заняты целиком отрицательными изаллогипсами тенденции синоптического периода, в 7% случаев — положительными, в 23% случаев — различными изаллогипсами. Антициклоны на карте AT_{500} в 72% случаев целиком заняты положительными изаллогипсами тенденции синоптического периода, в 6% случаев — отрицательными и в 22% случаев — различными изаллогипсами.

Таким образом, в большинстве случаев циклоны на карте AT_{500} заняты отрицательными изаллогипсами тенденции синоптического периода, а антициклоны — положительными изаллогипсами. В то же время в большинстве случаев (71%) те циклоны, которые заняты целиком отрицательными изаллогипсами

¹ Под изаллогипсами тенденции синоптического периода, введенными в практику Пагава, понимается разность средних значений $AT_{500} (OT_{1000}^{500})$ первых двух дней начавшегося периода и первых двух дней прошедшего периода. С таким же успехом можно использовать такие изаллогипсы, которые получаются путем вычитания из средних значений $AT_{500} (OT_{1000}^{500})$ первых двух дней начавшегося периода средних значений $AT_{500} (OT_{1000}^{500})$ за весь закончившийся период.

тенденции синоптического периода, в оставшиеся дни периода заполняются, а антициклоны, целиком занятые положительными изаллогипсами, разрушаются (в 70% случаев).

Приведенные выводы могут быть использованы лишь для некоторой предварительной ориентировки в прогнозе изменения интенсивности высотных циклонов и антициклонов в оставшиеся дни синоптического периода, так как необходимо еще знать дальнейшее их изменение. Кроме того, эти выводы пригодны лишь для ограниченной части случаев полного совпадения циклонов и антициклонов с очагами изаллогипс.

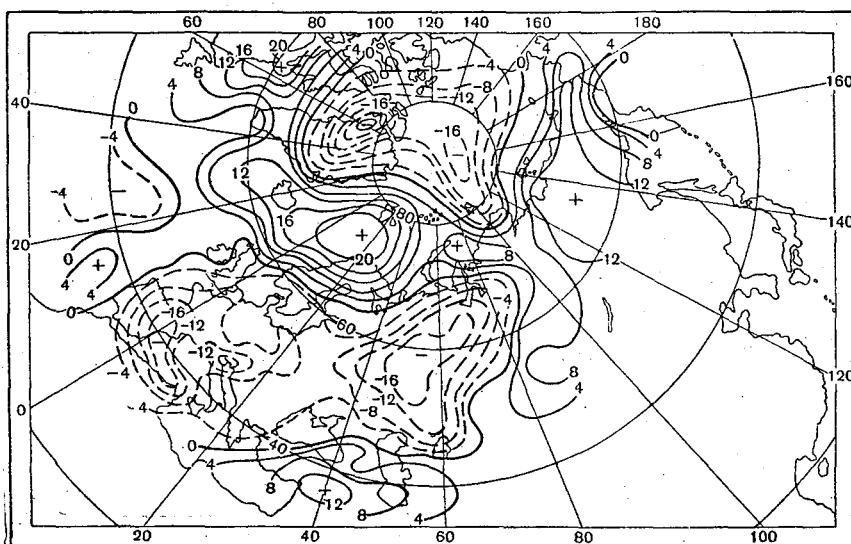


Рис. 17. Изаллогипсы σ_{1000}^{500} первого дня синоптического периода (14 января 1957 г.).

Из выявленной в работе [22] закономерности монотонного изменения изаллогипс отдельных дней синоптического периода внутри последнего и резкого изменения их при смене периодов можно получить обобщенные выводы об изменении интенсивности и направленности перемещения высотных барических образований в течение синоптического периода, которые хорошо согласуются также с выводами [51] об определенной эволюции ПВФЗ в течение синоптического периода.

Так же как и высотные барические образования, соответствующие им очаги изаллогипс отдельных дней синоптического периода, наряду с сохранением определенной географической локализации, испытывают некоторые перемещения и изменения (рис. 17 и 18) по интенсивности [22]. Рассмотрим несколько примеров такого изменения.

4) 1. Новый синоптический период начался с образования высотного антициклона над Британскими островами, где в прошлом периоде располагалась высотная ложбина. Естественно, температура слоя (OT_{1000}^{500}) и высота изобарической поверхности 500 мб в начале нового периода в этом районе значительно больше, чем в прошлом периоде, когда здесь располагалась высотная ложбина. В связи с этим при подсчете изаллогипс первого дня синоптического периода путем вычитания из значений OT_{1000}^{500} (AT_{500}) за этот день средних значений OT_{1000}^{500}

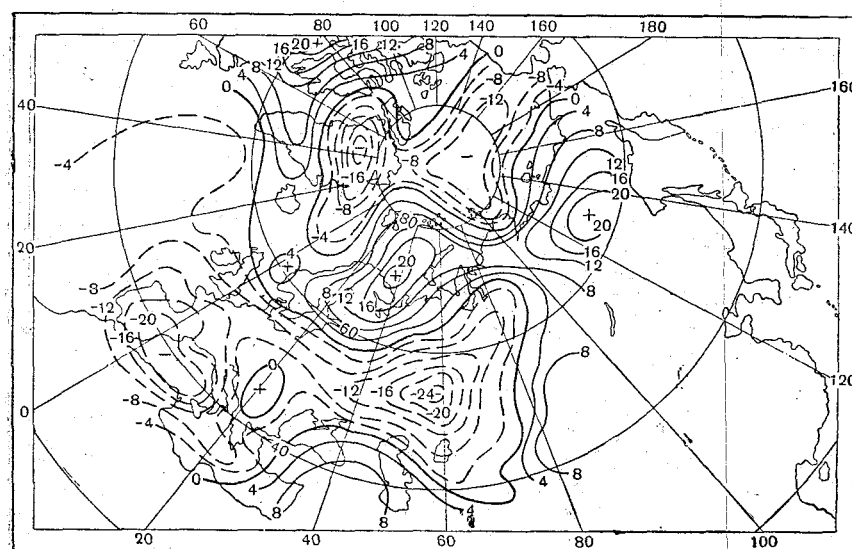


Рис. 18. Изаллогипсы OT_{1000}^{500} второго дня синоптического периода (15 января 1957 г.).

(AT_{500}) за весь предшествующий период в этом районе окажется очаг положительных изаллогипс, указывающий на осуществившееся повышение изобарических поверхностей. Согласно [22], этот очаг положительных изаллогипс OT_{1000}^{500} (AT_{500}) должен сохраняться также на картах изаллогипс отдельно второго, третьего и т. д. дней синоптического периода.

Если центр этого очага положительных изаллогипс на картах отдельных дней периода, совпадая с антициклоном, остается на месте и усиливается по интенсивности ото дня ко дню, то это есть следствие того, что новообразовавшийся антициклон остается малоподвижным и усиливается. Чтобы получить представление о характере изменений изобарической поверхности в тенденции периода, вместо сопоставления интенсивности очагов изаллогипс каждого дня периода можно нанести на карту

разности изогипс OT_{1000}^{500} (AT_{500}) второго и первого дней (пример такой карты приведен на рис. 19). В данном случае на карте разностей изогипс также окажется положительный очаг, который совмещается с антициклоном и очагами положительных изаллогипс первых двух дней периода.

2. Образовавшийся в начале синоптического периода антициклон может оставаться малоподвижным и при этом постепенно ослабевать. Тогда на картах изаллогипс отдельных дней периода будет положительный очаг, центр которого на всех картах по-прежнему совмещается с антициклоном. Однако это дня

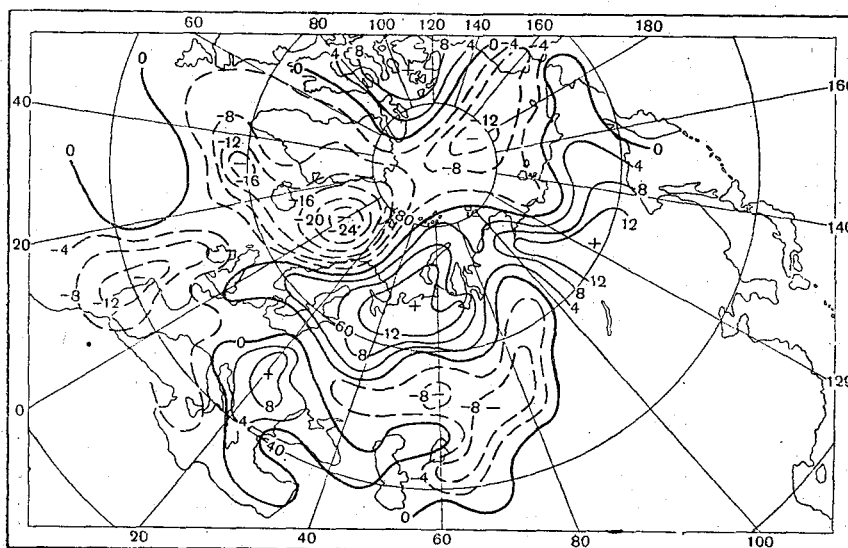


Рис. 19. Карта изменений изогипс OT_{1000}^{500} от первого ко второму дню синоптического периода (15–14 января 1957 г.).

ко дню интенсивность этого очага положительных изаллогипс ослабевает. На карте разностей изогипс OT_{1000}^{500} (AT_{500}) первого и второго дней периода с антициклоном будет уже совмещаться не положительный, а отрицательный очаг.

Следовательно, в первом случае очаги положительных изаллогипс первых двух дней синоптического периода, совмещающиеся между собой, а также с антициклоном, указывают на то, что новый период начался с резкого повышения температуры слоя и высоты поверхности 500 мб в районе Британских островов и образования антициклона, остающегося малоподвижным. Легко представить себе, что это — случай формирования синоптического периода со стационарной волной ПВФЗ.

Совпадение этих же очагов с очагом положительных разностей OT_{1000}^{500} (AT_{500}) от первого ко второму дню указывает на еще продолжающееся усиление антициклона. Наметившийся характер эволюции ПВФЗ сохраняется в течение всего однородного макросиноптического процесса, т. е. в течение всего или почти всего синоптического периода [52].

Во втором случае сохранение и совмещение положительных изаллогипс отдельных дней и их совпадение с антициклоном также указывает на то, что волна ПВФЗ остается стационарной. Согласно [22], сохранение положительных изаллогипс отдельных дней до конца периода, несмотря на постепенное ослабление их, означает, что температура слоя и высота поверхности 500 мб даже в конце текущего периода остается выше, чем в предшествующем периоде. Наметившееся ослабление такого антициклона и связанных с ним очагов положительных изаллогипс, на что указывает отрицательный очаг разностей изогипс OT_{1000}^{500} , в силу сохранения направленности процесса должно наблюдаться до конца синоптического периода. С этим ослаблением высотного стационарного антициклона связано уменьшение амплитуды или длины стационарной волны ПВФЗ. Из работы [52] также следует, что эта тенденция эволюции ПВФЗ должна сохраняться до конца синоптического периода.

3. Очаг положительных изаллогипс первого дня синоптического периода, соответствующий высотному антициклону, смещен относительно его центра, но совмещается с очагом положительных изаллогипс второго дня периода. При таком положении, если с ними же совмещается очаг положительных разностей изогипс, наблюдается локализованное увеличение температуры слоя, и антициклон сместится на очаг наибольшего роста температуры слоя и высот AT_{500} , т. е. на совмещающиеся очаги изаллогипс и разности изогипс.

Если же указанные очаги изаллогипс отдельных дней смещены относительно друг друга, то рост изобарической поверхности 500 мб и температуры слоя 5 км не сохраняется в одном и том же месте. На карте разностей изогипс положительный очаг, соответствующий этим изменениям, также будет смещен относительно очагов изаллогипс отдельных дней в направлении перемещения. В соответствии со свойствами синоптического периода такая направленность развития процесса сохраняется до конца периода. Очевидно, это один из случаев, когда синоптический период характеризуется подвижными и перемещающимися на значительные расстояния высотными барическими образованиями, на которые указывается в работе [13]. Согласно [52], такой период характеризуется подвижными волнами ПВФЗ, и этот характер эволюции ее сохраняется до конца синоптического периода.

Аналогичные примеры можно привести для развития и перемещения высотных циклонов, ложбин и гребней.

Из приведенных примеров видно, что карты разностей изогипс OT_{1000}^{500} (AT_{500}) второго и первого дней синоптического периода совместно с картами изобарической поверхности 500 мб и изаллогипс отдельно первого и второго дней, а также сборной карты ПВФЗ за эти дни могут быть использованы для уточнения развития и перемещения высотных барических образований.

Карта изменений OT_{1000}^{500} (AT_{500}) от первого ко второму дню синоптического периода представляет собою, по существу, карту суточных изаллогипс относительной (абсолютной) топографии тенденции синоптического периода и фиксирует те изменения, которые осуществились в начале развития нового макропроцесса. Из определения синоптического периода вытекает, что он характеризуется сохранением определенной направленности развития макропроцесса, в том числе сохранением эволюции ПВФЗ, перемещения барических образований и соответствующих им изаллобарических очагов. Поэтому карта разностей изогипс тенденции синоптического периода совместно со сборной картой ПВФЗ и картами изогипс и изаллогипс отдельных дней указывают на направление перемещения и изменения очагов изаллогипс отдельных дней и связанных с ними особенностей барического поля. В тех отдельных случаях, когда очаги изаллогипс отдельных дней тенденции периода совпадают между собой и одновременно с очагом на карте разностей изогипс, устойчивость направленности развития процесса заключается в сохранении стационарности этих очагов и связанных с ними особенностей барического поля, т. е. высотных циклонов и антициклонов, а также ложбин и гребней. В других случаях сохранение направленности в развитии процессов заключается в определенном изменении и перемещении элементов барического поля в соответствии с наметившейся тенденцией.

Приведенные примеры не исчерпывают всего многообразия сложных синоптических процессов. Они позволяют лишь уяснить общие принципы, которыми следует руководствоваться при анализе всех материалов тенденции синоптического периода с целью прогноза развития и перемещения отдельных особенностей термобарического поля.

В самом общем виде эти принципы можно сформулировать следующим образом. Если очаги изаллогипс OT_{1000}^{500} (AT_{500}) отдельных дней тенденции синоптического периода совмещаются между собой и с одноименным (противоположным) очагом разностей изогипс, то наметившаяся тенденция стационарирования очагов сохранится до конца периода. Если же очаги изаллогипс не совмещаются между собой, а смещены относительно друг друга, что свидетельствует о подвижности волн ПВФЗ, то наметившаяся тенденция перемещения сохранится. При этом в зависимости от того, усиливаются или ослабевают очаги изаллогипс отдельных дней тенденции (т. е. соответствуют им

положительные или отрицательные разности изогипс), будут усиливаться или ослабевать также связанные с ними особенности высотного барического поля. Само собою разумеется, что при составлении прогноза анализируют не одно барическое образование, а все термобарическое поле в целом и поэтому все выводы относительно отдельных барических образований должны взаимно увязываться.

Относительно усиливающихся в течение синоптического периода высотных антициклонов и углубляющихся циклонов можно с уверенностью делать вывод об их сохранении до конца периода независимо от того, останутся они малоподвижными или будут перемещаться. В то же время, как уже отмечалось ранее, встречаются такие высотные циклоны и антициклоны, которые не сохраняются до конца синоптического периода. Это главным образом слабовыраженные и не усиливающиеся антициклоны и циклоны или разрушающиеся антициклоны и заполняющиеся циклоны. При решении вопроса о сохранении или исчезновении в течение синоптического периода высотного антициклона или циклона можно руководствоваться выводами, полученными в работе [38]. Если наименьшая разность геопотенциалов между гиперболической точкой и последней центральной изогипсой высотного циклона не меньше 11 джм, то такой циклон, если он в последующем и не углубляется, в подавляющем числе случаев сохраняется до конца периода. Значения геопотенциалов AT_{500} в центрах антициклонов, по сравнению с центрами циклонов, меньше отличаются от значений в гиперболической точке. Поэтому неусиливающиеся антициклоны в подавляющем большинстве сохраняются до конца синоптического периода; если разность, аналогичная указанной выше, будет не меньше 6 джм.

При использовании карт аномалий OT_{1000}^{500} можно также руководствоваться положением из работы [50], в соответствии с которым высотные циклоны и антициклоны тенденции синоптического периода с аномалией OT_{1000}^{500} в центре не менее 20 джм в 80% случаев сохраняются более 5—6 дней.

Глава V

ПРОГНОЗ ВЫСОТНОГО И НАЗЕМНОГО БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА 5—7 ДНЕЙ

Прогноз некоторых циркуляционных особенностей будущего однородного макросиноптического процесса

Изложенные в предыдущем разделе приемы не позволяют составлять прогнозов на промежуток времени, превышающий длительность синоптического периода. Экстраполяция на сле-

дующий синоптический период, процессы которого часто резко отличны от процессов текущего периода, не дает положительных результатов [55]. Это обстоятельство долгое время служило препятствием не только для составления прогнозов погоды на сроки, несколько большие продолжительности синоптических периодов, но и для составления непрерывных трехдневных прогнозов погоды. Поэтому систематически изыскивались возможности получения указаний о характере процессов следующего синоптического периода еще до его наступления.

Храбров [52], исходя из наличия определенной эволюции ПВФЗ в однородном макросиноптическом процессе, предложил способ получения некоторых прогностических указаний и на следующий однородный макросиноптический процесс. Этот способ базируется на рассмотренном ранее волновом характере изменений ПВФЗ. Волновой характер этих изменений позволяет уже в начале текущего однородного макросиноптического процесса выделить те участки ПВФЗ, которые к началу следующего синоптического периода будут находиться в той же фазе. Такие участки оказываются там, где различные факторы вихреобразования (адвекция тепла, перенос вихря в направлении эволюции ПВФЗ) дают однозначные вклады в локальное изменение вертикальной составляющей вихря скорости.

Из этого нельзя делать вывод, что соседние однородные макросиноптические процессы повторяют друг друга. Задача сводится к тому, чтобы выявить лишь отдельные участки ПВФЗ, где имеет место сохранение или возобновление того же вихревого поля в течение смежных однородных макросиноптических процессов, в то время как в остальных районах рассматриваемой территории барическая обстановка может существенно меняться.

Для выявления указанных участков ПВФЗ прежде всего строят карту лапласианов теми же приемами, которые изложены в главе III. Однако для прогноза процессов на тенденцию следующего синоптического периода эти лапласианы строятся не по конкретной карте AT_{500} , а по средней карте AT_{500} тенденции текущего синоптического периода.

Чтобы выявить район, где создаются однозначные вклады всех факторов, карту лапласианов тенденции анализируют совместно со сборной картой положения ПВФЗ первых двух дней синоптического периода из картой, характеризующей тенденцию изменения температуры в течение периода. Об этой тенденции судят по разности значений OT_{1000}^{500} первых двух дней текущего синоптического периода и всего предшествующего периода. Выше, на основании работы [22], отмечалось, что от периода к периоду такие разности (изаллогипсы) претерпевают резкие изменения, свидетельствующие о существенной перестройке термического поля нижней половины тропосферы при смене синоптического периода. С другой стороны, внутри синоптического

периода эти очаги изаллогипс сохраняются достаточно устойчиво, что свидетельствует о сохранении термического поля нижней половины тропосферы в течение однородно развивающегося процесса.

Из эмпирического анализа синоптического периода Храбров [50] нашел, как уже отмечалось выше, что тенденцию к сохранению на следующий однородный макросиноптический процесс имеют такие очаги положительного (отрицательного) вихря, которые достигают 10 единиц и совмещаются с полем отрицательных (положительных) изаллогипс OT_{1000}^{500} . Кроме того, сохраняются вихри, у которых лапласиан достигает 20 единиц, независимо от знака изаллогипс. Объяснением этих особенностей, полученных чисто эмпирически, может служить следующее.

В тех районах, где имеются отрицательные вихри со значением лапласиана 10 единиц и более, можно ожидать сохранение этого вихря и на начало следующего однородного макросиноптического процесса благодаря тому, что адвекция и интенсивность отрицательного вихря достаточно велики. В тех же районах, где отрицательный вихрь менее 20 единиц сочетается с противоположным знаком адвекции, т. е. с отрицательными изаллогипсами, такой вихрь не сохраняется из-за противоположного влияния различных факторов на локальное изменение вихря скорости. Если же значение отрицательного вихря достигает 20 единиц и больше, то влияние даже противоположной адвекции на его изменение оказывается незначительным.

Для макропроцессов третий член уравнения вихря примерно в 20 раз больше первого члена [12], поэтому те районы, которые характеризуются интенсивным отрицательным (положительным) вихрем со значениями больше 20 единиц, могут находиться в следующем однородном макросиноптическом процессе под влиянием этого же знака вихря.

9 Для получения прогностических признаков поступают следующим образом. Подсчитывается карта разностей между OT_{1000}^{500} текущей тенденции и OT_{1000}^{500} всего предшествующего синоптического периода. Получаемые поля положительных и отрицательных изаллогипс разделяют нулевой изолинией. Затем по карте AT_{500} тенденции синоптического периода подсчитывается поле лапласианов, которое наносится на эту карту. При совместном анализе такой комплексной карты выделяются определенные области, в которых ожидается сохранение очерченных вихрей с тем же знаком и в начале нового однородного макросиноптического процесса. Для уточнения положения этих областей в начале следующего однородного процесса, особенно в случаях перемещающихся очагов, в соответствии с перемещением и развитием ПВФЗ строят карту разностей лапласианов за первые два дня синоптического периода. Для построения

этой карты подсчитывают для тех же точек карту лапласианов за утренний срок первого дня синоптического периода, затем — карту лапласианов за утренний срок второго дня периода и по ним — разность лапласианов второго и первого дней. На карте разностей лапласианов выделяют соответственно значения положительных и отрицательных вихрей со значением не менее 10 единиц. По существу такие изменения характеризуют направленность перемещения отдельных участков ПВФЗ.

В соответствии с направлением эволюции ПВФЗ должны перемещаться также очаги положительных и отрицательных вихрей, выделенные при анализе комплексной карты. Уточнение положений очагов положительных и отрицательных вихрей на начало следующего синоптического периода производится путем определения смещения первых на соответствующие одноименные очаги изменения лапласианов.

Таким образом, анализируя указанные карты совместно с картой абсолютной топографии, а также с положением ПВФЗ, намечают и выделяют участки ПВФЗ, которые меняют определенным образом свое направление со свойствами однородного синоптического процесса. Прослеживая изменение этих участков ПВФЗ и связанные с ними изменения очагов лапласианов ото дня ко дню, устанавливают, какому из очагов, имеющемуся на карте лапласианов тенденции периода, соответствует тот или иной очаг изменений лапласианов.

После такого анализа определяют смещения имеющихся очагов на карте лапласианов тенденции в направлении очагов изменения. При этом руководствуются следующими соображениями. Во-первых, смещение прогностической области на карте лапласианов тенденции периода рассчитывается так, чтобы при этом не пересекалась выделенная область вихрей противоположного знака. Во-вторых, основные прогностические указания не принимаются во внимание, если в этом районе наблюдается область изменения вихря обратного знака.

При наличии нескольких очагов лапласианов, которых обычно бывает 7—8, окончательное их местоположение в начале следующего однородного макросиноптического процесса или тенденции следующего синоптического периода устанавливается после взаимоувязки всех выводов. Установленное таким образом положение очагов лапласианов принимается за прогностическое указание для построения высотной карты-схемы тенденции следующего синоптического периода. Для уточнения этой карты-схемы в деталях и большей надежности взаимной увязки всех указаний используются так называемые аналоги. Принципы и способы использования этих аналогов разберем несколько позднее.

Совместное использование карт лапласианов и их изменений, как показала проверка, проведенная за несколько месяцев в оперативном порядке, повышает оправдываемость прог-

ностических указаний, особенно для выявления местоположения антициклонического вихря. В среднем оправдываемость указаний о местоположении некоторых очагов положительных и отрицательных вихрей в начале следующего синоптического периода составляет 78—85%.

Положительным в новом подходе к прогнозу на тенденцию следующего синоптического периода является то, что прогностические выводы здесь определяются по закономерностям развития ПВФЗ в течение однородных процессов. Здесь нет стремления получить указания абсолютно на все возможные барические образования следующего синоптического периода, используются лишь те указания, которые вытекают из теоремы о сохранении вихря и из однозначно направленного развития отдельных участков ПВФЗ. Одновременно в этом заключается и некоторый недостаток. При наличии указаний не на все возможные в следующем синоптическом периоде барические образования в определенной мере затрудняется совершенно объективное представление о всей карте-схеме тенденции следующего периода. К тому же получаемые указания на район расположения циклонического или антициклонического вихря сами по себе не определяют, будет ли этот вихрь связан с самостоятельной замкнутой циркуляцией или только с соответствующей кривизной. Поэтому при составлении высотной карты-схемы тенденции нового синоптического периода должны учитываться и другие выводы, вытекающие из анализа процессов текущего периода. Такими выводами могут быть следующие.

Если очаги положительных изаллогипс OT_{100}^{500} (или AT_{500}) отдельных дней тенденции синоптического периода совмещаются между собой, с центром антициклона и очагом положительных разностей изогипс, то антициклон в текущем периоде, как отмечалось ранее, остается малоподвижным и усиливается. Такой антициклон сохранится в этом же районе и в начале следующего синоптического периода, в течение которого он, как правило, должен ослабевать.

При наличии таких же положительных очагов изаллогипс отдельных дней тенденции синоптического периода, совмещающихся между собой и с очагом положительных разностей изогипс, но соответствующих высотному гребню, последний усиливается в том же районе в текущем периоде, а к началу нового периода здесь, как правило, формируется антициклон. Дальнейшее усиление или ослабление этого новообразовавшегося антициклона зависит от термобарических условий всего поля, т. е. от того, сохранится или нет тропосферная адвекция тепла с юга в область этого антициклона.

Подвижный и в то же время усиливающийся в текущем синоптическом периоде антициклон характерен и для начала нового периода в том районе, куда он к этому времени сместится.

Если очаги отрицательных изаллогипс OT_{100}^{500} (или AT_{500})

отдельных дней тенденции синоптического периода совмещаются между собою, с отрицательным очагом разностей изогипс и с высотным циклоном, последний в текущем периоде остается малоподвижным и углубляется. Такой циклон сохранится в этом же районе и в начале следующего синоптического периода, в течение которого он, как правило, должен заполняться.

Если такое же сочетание изаллогипс и разностей изогипс соответствует высотной ложбине, то последняя в текущем синоптическом периоде углубляется в том же районе, а к началу нового периода здесь, как правило, формируется высотный циклон. Перемещающийся и в то же время углубляющийся в текущем синоптическом периоде циклон характерен и для начала нового периода в том районе, куда он к этому времени сместится.

Когда процессы синоптического периода характеризуются меридиональностью, для прогноза на тенденцию следующего синоптического периода можно дополнительно воспользоваться прогностическими признаками, выявленными Дулетовой. Эти признаки заключаются в том, что в конце синоптического периода циклоны и антициклоны, которые были в начале периода низкими образованиями, собираются в пучки и почти одновременно становятся высокими. Такой циклон или антициклон, который к концу периода стал высоким, конечно будет определять циркуляцию на большом пространстве и в начале нового синоптического периода.

Дулетова предложила способ нахождения местоположения циклона, который к концу синоптического периода становится высоким. Это место определяется (предсказывается) по расположению и траекториям заполняющегося циклона старого периода и оформившихся низких циклонов начавшегося периода. Высокий циклон оформляется в геометрическом центре многоугольника (чаще всего, треугольника), за вершины которого принимаются центр заполняющегося циклона старого периода и середины траекторий перемещающихся в его фронтальной зоне низких циклонов текущего периода.

Практически для установления местоположения центра такого циклона поступают следующим образом. Со средней карты AT_{500} тенденции начавшегося синоптического периода переносятся на сборнокинематическую карту этой же тенденции точки, где расположены высокие холодные циклоны. Каждая из этих точек является одной из вершин нескольких многоугольников, соответствующих числу точек. Затем в системе каждого из высоких циклонов выбирают несколько (чаще всего две) траекторий низких циклонов, перемещающихся во фронтальной зоне этого холодного циклона. Середины траекторий этих циклонов за первые два дня соединяют между собой и с центром высокого холодного циклона. Геометрический центр такого

многоугольника (треугольника) и будет местоположением нового высокого холодного циклона к концу текущего периода, который будет определять циркуляцию и в тенденции нового периода.

Прогноз приземного барического поля в тенденции следующего синоптического периода

По полученным отдельным указаниям на высотное поле тенденции нового синоптического периода составляется схема высотной карты. При переходе от схемы высотной карты к схеме развития и перемещения приземных барических образований устанавливают районы, благоприятные для циклогенеза и антициклогенеза. Если новый синоптический период ожидается с зональным типом циркуляции, то эти районы устанавливаются легко из развития процессов текущего периода. Если же новый синоптический период ожидается с меридиональной циркуляцией, то устанавливают положение высотной фронтальной зоны.

Ранее под входом меридионально ориентированной высотной фронтальной зоны, как правило, ожидался антициклогенез, а под дельтой — циклогенез. Между тем систематическая проверка показывает, что нередко эти положения не осуществляются. В работе [41] было показано, что при одной и той же структуре высотного деформационного поля в средних широтах под входом высотной фронтальной зоны на восточной периферии высотного гребня может наблюдаться: а) формирование антициклона или перемычки высокого давления, устойчиво сохраняющихся в течение синоптического периода; б) формирование в начале синоптического периода гребня, ядра или антициклона, быстро смещающихся по потокам высотной фронтальной зоны и замещающихся во второй половине периода циклоническими образованиями; в) прохождение циклонов почти в течение всего синоптического периода по северной периферии теплого гребня или антициклона умеренных широт.

В работе [45] указывалось на важность учета фактора сходимости не только изогипс абсолютной топографии, но и изогипс OT_{1000}^{500} . Анализ причин разнообразия в развитии процессов у поверхности земли под входом высотной фронтальной зоны при одних и тех же условиях в средних широтах показал, что существенную роль при этом играют как характер циркуляции над Арктикой, так и термическое состояние воздушных масс, которое подготавливается процессами предыдущего синоптического периода к моменту формирования данного меридионального высотного поля.

Установлено [42], что аналогичные меридиональные процессы в умеренных широтах Европы и Западной Сибири могут сочетаться с четырьмя видами высотного термобарического поля

над Полярным бассейном, которые по-разному влияют на развитие приземных процессов в умеренных широтах.

На рис. 20 представлена типовая карта такого синоптического процесса, при котором, несмотря на хорошо выраженную меридиональность в средних широтах, высотная фронтальная зона на востоке высотного гребня не является антициклогенетической.

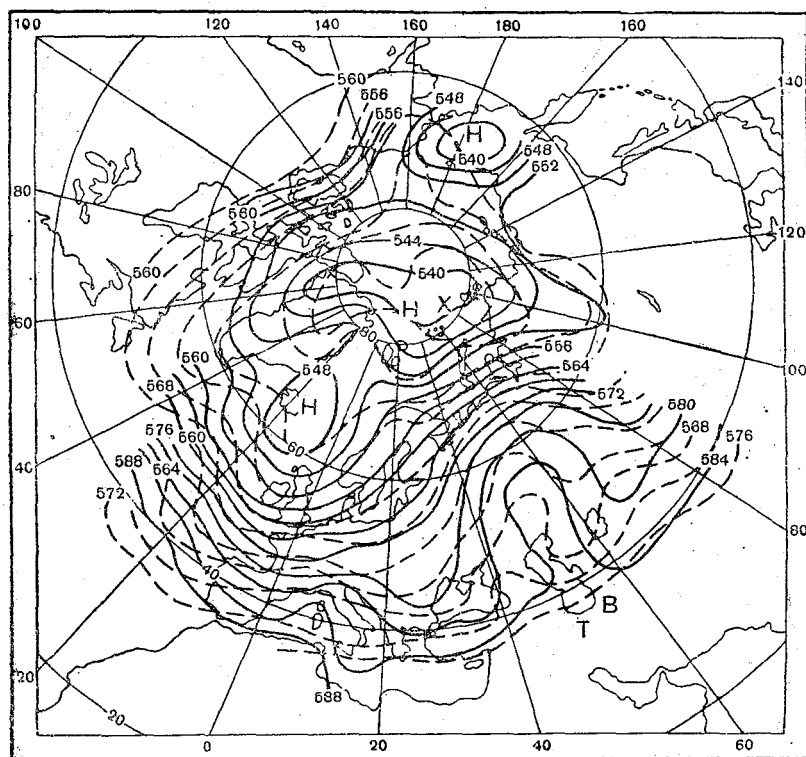


Рис. 20. Типовая схема с меридиональностью в умеренных широтах без антициклонического воздействия в течение синоптического периода.

ческой в течение синоптического периода. Такой тип охватывает примерно 5% общего числа меридиональных процессов. Основная отличительная особенность его состоит в том, что меридиональность в умеренных широтах Европы и Западной Сибири сочетается с хорошо выраженной высотной депрессией, занимающей весь бассейн Арктики. При таком положении в течение синоптического периода циклоны перемещаются с запада и юго-запада на восток по северной периферии среднеширотного высотного гребня или антициклона. Рисунок 20 характеризует лишь типовое деформационное поле; в отдельных случаях высотные гребни и ложбины умеренных широт могут быть смещены как

к западу, так и к востоку. Важно, однако, чтобы при этом весь бассейн Арктики был занят высотным циклоном.

На рис. 21 представлен другой тип, охватывающий примерно 16% меридиональных процессов. В умеренных широтах он почти одинаков с предыдущим. Отличительная особенность этого процесса состоит в том, что гребень субтропического ан-

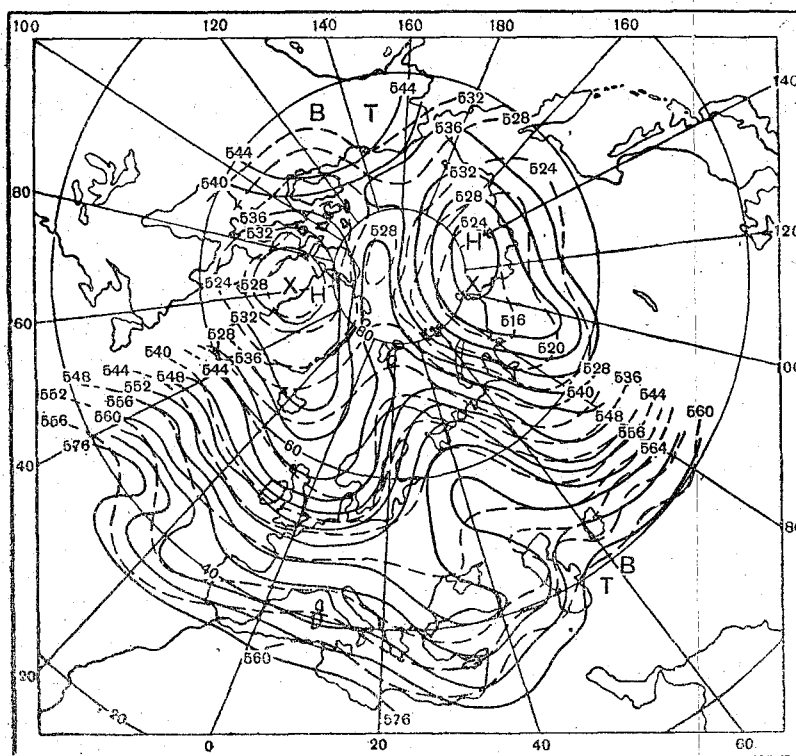


Рис. 21. Типовая схема с меридиональностью в умеренных широтах с обязательным антициклоническим воздействием в течение синоптического периода.

тициклона распространяется не только на умеренные широты Европы или Западной Сибири, но и центральные районы Полярного бассейна, где у поверхности земли также находится антициклон. В результате такой резко выраженной меридиональности в тропосфере высотные и наземные ложбины и циклоны по обе стороны от этого гребня совершенно изолированы друг от друга. При данном типе процессов у поверхности земли под входом высотной фронтальной зоны на восточной периферии высотного гребня во всех случаях возникает антициклон, смещающийся в течение синоптического периода в зависимо-

ти от ориентировки высотной фронтальной зоны на юг, юго-восток или юго-запад.

По географической локализации гребни и ложбины могут быть, как и в первом типе (рис. 20), смещены на атлантико-евразийском пространстве и к западу и к востоку. Важно, что в случае, когда весь Полярный бассейн занят высотной депрес-

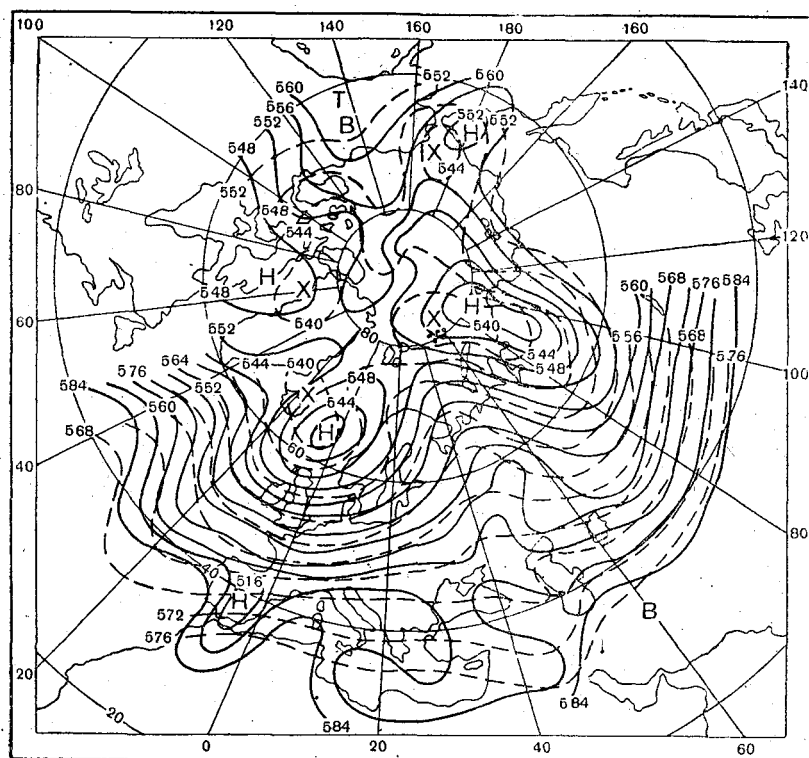


Рис. 22. Типовая схема с меридиональностью в умеренных широтах, при которой осуществление антициклонического воздействия в синоптическом периоде зависит от состояния термического поля, подготовленного предыдущим процессом

сией (рис. 20), фронтальная зона на востоке высотных гребней не является антициклогенетической, а если высотный гребень распространен и на центральные районы Полярного бассейна (рис. 21), эта зона является всегда антициклогенетической.

Кроме указанных двух типов, есть такие меридиональные процессы, при которых одни лишь циркуляционные условия умеренных и полярных широт не определяют однозначно характер цикло-антициклогенеза во фронтальной зоне на восточной периферии высотного гребня.

На рис. 22 и 23 представлены типовые карты таких меридиональных процессов, в которых при одном и том же высотном барическом поле на атлантико-евразийском и арктическом пространстве у поверхности земли в районе высотной фронтальной зоны могут наблюдаться разные синоптические процессы.

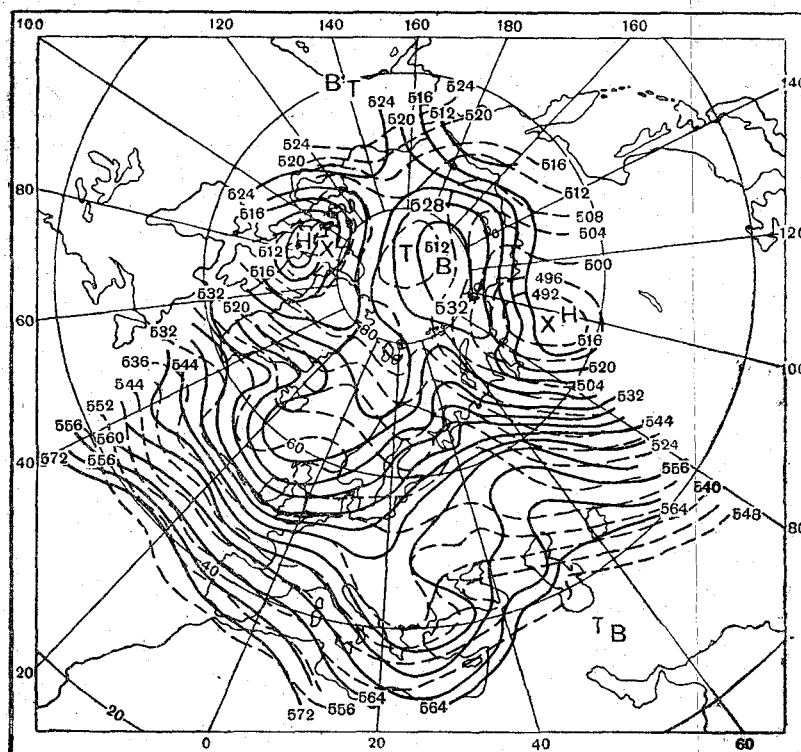


Рис. 23. Типовая схема с меридиональностью в умеренных широтах, при которой устойчивость меридиональной премагнитной высокой давления зависит от состояния термического поля, подготовленного предыдущим процессом.

В средних широтах высотное барическое поле последних двух типов (рис. 22, 23), составляющих около 80% всех меридиональных процессов, мало чем отличается от барического поля ранее рассмотренных двух типов меридиональных процессов (рис. 20, 21). Основное отличие последних двух типов состоит в том, что в них на европейско-азиатском секторе Арктики обязательно имеется четырехкомпонентное деформационное поле. В то же время процессы, изображенные на рис. 22 и 23, отличаются друг от друга тем, что в первом случае азиатский сектор Арктики занят высотным циклоном, а во втором — вы-

отным антициклоном. В связи с этим и гиперболическая точка этих процессах расположена западнее или восточнее.

В синоптических процессах такого типа, как на рис. 22, во фронтальной зоне на востоке высотного гребня примерно в 5% случаев наблюдается антициклогенез в течение всего синоптического периода, в 20% случаев — в течение только первой половины периода и, наконец, в 35% случаев антициклогенез вовсе отсутствует, а через гиперболическую точку перемещаются циклонические образования.

Примерно такое же положение наблюдается и для типа процессов, изображенного на рис. 23. В одних случаях в течение синоптического периода под восточной фронтальной зоной у поверхности земли формируется ядро или антициклон, смещающийся затем по ультраполярной траектории к югу или юго-западу, а в других случаях в этом направлении происходит лишь аток холодного воздуха в тылу проходящих с запада частных циклонов.

Для выявления характера предстоящего процесса синоптического периода Рафаилова [42] применила тот же принцип анализа, который изложен в главе III (Прогноз циркуляционных условий на любые 3 дня, независимо от границ однородных макропроцессов). С помощью этого анализа ей удалось найти признаки, по которым можно судить о том, будет или не будет осуществляться антициклогенез под входом высотной фронтальной зоны тенденции нового синоптического периода. Эти признаки заключаются в следующем.

Если на средней карте AT_{500} тенденции синоптического периода область входа меридиональной высотной фронтальной зоны совпадает с областью нулевой изаномалы OT_{1000}^{500} предыдущего подготовительного процесса и распределение аномалий по знаку таково, что положительные изаномалы совпадают с гребнем (антициклоном), а отрицательные — с ложбиной (циклоном), расположенной к востоку от гребня, то примерно в 85% случаев вход такой высотной фронтальной зоны в течение синоптического периода или большей его части является антициклогенетическим. Последнее объясняется тем, что структура высотного поля рассматриваемых типов процессов (рис. 22 и 23) способствует усилению термической неоднородности, созданной предыдущим процессом, и тем самым активизирует высотную фронтальную зону и антициклоническое вихреобразование.

Если при той же структуре меридионального высотного поля распределение изаномал обратное, т. е. с гребнем (антициклоном) совпадают отрицательные их значения, а с восточной ложбиной (циклоном) — положительные, то в тенденции синоптического периода у поверхности земли под входом высотной фронтальной зоны возникает антициклон или ядро, а в остальные дни периода вследствие ослабевающего контраста в об-

ласти высотной фронтальной зоны по периферии высотного гребня средних широт смещаются циклоны с запада на восток.

Если при той же структуре высотного барического поля район входа высотной фронтальной зоны на восточной периферии гребня занят однородными (положительными или отрицательными) значениями аномалии OT_{1000}^{500} предыдущего подготительного процесса, то такая высотная фронтальная зона в течение синоптического периода не будет активной. Через этот район будут смещаться с запада на восток частные циклоны, в тылу которых наблюдаются лишь слабые барические не оформленные затоки холода. Последнее обусловлено тем, что возникшие в новом синоптическом периоде условия для адвекции холода и тепла в районе входа фронтальной зоны не успевают нарушить однородность термического состояния атмосферы предыдущего периода и создать необходимый для антициклогенеза контраст температуры во фронтальной зоне.

Вышеизложенное показывает, что в процессах антициклогенеза в синоптических периодах с меридиональными высотными фронтальными зонами большое значение имеют как циркуляционные условия над атлантико-евразийским и арктическим пространством, так и термическое состояние воздушных масс, на фоне которого формируется термобарическое поле синоптического периода.

Обычно термический фон (аномалии OT_{1000}^{500}), который определяет дальнейшее развитие высотного и наземного барического поля, создается за день-два до перестройки этого поля. Однако прогноз высотного поля тенденции следующего синоптического периода составляется, как отмечено выше, уже во второй день текущего периода. Как же устанавливается термический фон тенденции будущего синоптического периода, который, по Рафаиловой [42], необходимо знать для совместного анализа с прогнозированным высотным полем этой тенденции для решения вопроса о характере цикло- и антициклогенеза под высотными фронтальными зонами?

Исследование эволюции поля аномалии OT_{1000}^{500} позволило установить, что в 97% случаев в первый день нового синоптического периода сохраняется то поле аномалии OT_{1000}^{500} , которое уже перестроилось к последнему дню предшествующего периода, а в 81% случаев оно сохраняется и во второй день нового периода. Иными словами, поле аномалии OT_{1000}^{500} последнего дня текущего синоптического периода, обуславливающее перестройку барического поля следующего периода, аналогично полю аномалии OT_{1000}^{500} тенденции этого периода.

Следовательно, для определения поля аномалии OT_{1000}^{500} тенденции следующего синоптического периода достаточно выяснить характер этого поля к концу текущего периода, т. е.

оставить прогноз изменения имеющегося в тенденции текущего синоптического периода поля аномалий OT_{1000}^{500} на 3—4 дня.

Как уже отмечалось в главе III, 72% очагов аномалий OT_{1000}^{500} находятся в системе хорошо выраженных потоков на уровне поверхности 700 мб и перемещаются в направлении этих потоков со скоростью, составляющей в среднем около 80% скорости потока в районе их центра на поверхности 700 мб (см. табл. 2). Кроме того, в 14% случаев очаги совмещаются с высотными циклонами или антициклонами и через сутки оказываются в потоках на уровне поверхности 700 мб, перемещаясь последующем по ним, как и в остальных случаях. Рафаилова предложила использовать эти закономерности для прогноза конца текущего синоптического периода перемещения уже существующих очагов аномалий OT_{1000}^{500} второго дня этого периода.

Для предсказания новообразующихся или исчезающих к концу текущего синоптического периода очагов аномалий OT_{1000}^{500} руководствуются следующими выводами.

Если в районе северных потоков на карте AT_{700} во второй день текущего синоптического периода расположены отрицательные аномалии OT_{1000}^{500} , то в 80% случаев они сохраняются и усиливаются к последнему дню этого периода. Положительные аномалии в таком сочетании в 95% случаев ослабевают и к концу текущего синоптического периода сменяются отрицательными аномалиями.

Если во второй день текущего синоптического периода в районе южных потоков на карте AT_{700} располагаются положительные изаномалы, то к концу этого периода в 83% случаев они сохраняются и усиливаются, а отрицательные аномалии в таком сочетании в 90% случаев ослабевают и сменяются положительными.

При западных потоках с одинаковой вероятностью к концу текущего синоптического периода поле аномалий OT_{1000}^{500} может сохраниться или смениться в зависимости от скорости перемещения имеющихся очагов аномалий и знака аномалий, расположенных западнее данного района. При восточных потоках знак аномалий второго дня текущего синоптического периода сохраняется до конца периода.

Отрицательные аномалии, совмещающиеся с центром высотного циклона к концу периода, в 96% сохраняются до конца синоптического периода, а положительные аномалии в таком сочетании ослабевают и в 86% случаев сменяются на обратные. Положительные значения аномалий OT_{1000}^{500} в высотном антициклоне в 97% случаев сохраняются, а отрицательные — ослабевают и сменяются обратными.

Установленное при помощи вышеизложенных правил по аномалии OT_{1000}^{500} последнего дня текущего синоптического периода можно анализировать совместно с прогностической картой AT_{500} тенденции следующего периода для прогноза соответствующего приземного поля. При этом рекомендуется руководствоваться изложенными здесь и в главе III выводами влияния поля аномалии OT_{1000}^{500} на развитие и перемещение приземных барических образований.

Таким образом, прогноз высотного и наземного барического поля на 5—7 дней составляется в следующей последовательности:

1. Устанавливаются границы начавшегося синоптического периода и его продолжительность (см. гл. IV).

2. По первому дню или первым двум дням синоптического периода прогнозируется высотное и наземное поле до конца текущего периода.

3. Составляется прогноз высотного барического поля тенденции нового синоптического периода и поля аномалии OT_{1000}^{500} конца текущего периода и по ним составляется прогноз приземного поля этой же тенденции.

4. Все прогностические указания на тенденцию следующего синоптического периода увязываются между собой и с прогностическими выводами на остаток текущего периода с целью составления высотной и наземной карты-схемы ожидаемых процессов в тенденции нового синоптического периода. Основными показателями при этом являются: а) исходное термобарическое поле тенденции синоптического периода, б) выводы о развитии этого термобарического поля в текущем и начале следующего периодах, в) выводы об эволюции ПВФЗ в оставшиеся дни текущего периода и г) указания на некоторые особенности приземного барического поля текущего и начала следующего синоптических периодов. Однако этих материалов не всегда оказывается достаточно для того, чтобы представить отдельные детали нового синоптического периода. В таких случаях используются так называемые аналоги.

8 Аналоги, их назначение и способы нахождения

Когда, например, зима бывает очень холодной или очень теплой, обычно вспоминают, что такая же зима наблюдалась в таком-то году, что эта зима аналогична такой-то зиме. Конечно, полного сходства между сезонами в этом случае не бывает. Невозможно найти не только два совершенно сходных сезона, но даже два совершенно сходных дня или две синоптические карты, на которых отражалась бы на обширных пространствах совершенно одинаковая погода. Тем более невозможно найти два идентичных сезона или синоптических периода. Когда го-

оят, что они аналогичны, то лишь потому, что такие сезоны или синоптические периоды наиболее близки между собой.

Если известна погода и процессы очень большого числа лет, то можно всегда найти не только два, а даже несколько более или менее аналогичных между собою сезонов. Наряду с аналогичностью они могут иметь свои индивидуальные особенности, отличающие их друг от друга.

Таким образом, в синоптической метеорологии под аналогией подразумевается наибольшее сходство двух или нескольких синоптических процессов, периодов, месяцев, сезонов и т. д. Имея архивы различных синоптических карт (температуры, давления, осадков и т. д.), можно к любой карте подобрать одну или несколько примерно таких же. Естественно, что чем больше ряд лет, за который имеются карты, тем легче подобрать наиболее близкую карту-аналог.

Нельзя ли воспользоваться такими аналогами для экстраполяции дальнейшего развития синоптических процессов и погоды?

Вполне естественно предположить, что сходные причины в большинстве случаев должны давать сходные следствия. Однако Н. А. Багров [4] с помощью специально разработанного им количественного показателя аналогичности метеорологических полей, а также В. Г. Шишков [55] путем качественного анализа синоптических периодов убедительно показали, что с помощью подбора чисто геометрически подобных метеорологических полей невозможно получить надежные прогностические выводы.

Допустим, что нужно подобрать аналог к синоптическому периоду, который начался с формирования антициклона на севере Скандинавии и в течение первых двух дней периода смещался к югу. Для этой цели из имеющегося архива карт выбираются такие, когда в тенденциях синоптического периода произошло формирование антициклона в том же районе и в течение первых дней он смещался так же, как в исходном синоптическом периоде. Однако в последующие дни этот антициклон не всегда будет смещаться одинаково. В одних случаях он и в последующие дни будет смещаться к югу, а в других случаях он может повернуть к востоку или юго-востоку, к западу или юго-западу и т. д.

Нетрудно себе представить, что такое разнообразие, очевидно, связано прежде всего с различной структурой термобарического поля в этих аналогах в других районах. Следовательно, чтобы по прошлым материалам выбрать наиболее вероятную траекторию этого антициклона в последующие дни, необходимо, чтобы аналог был сходен и по ряду других признаков и прежде всего по структуре термобарического поля на большом пространстве.

Однако и в этом случае можно получить различные варианты развития процесса. Известно, что в течение синоптиче-

ского периода сохраняется направленность эволюции ПВФ и сохраняется направленность перемещения барических образований у поверхности земли. Если случаи с формированием антициклона, выбранные за прошлый ряд лет, также представляют собою начало синоптического периода, как и в исходном примере, можно ожидать, что по наметившейся тенденции в первые два дня направленность перемещения этого антициклона будет в течение оставшихся дней периода такая же, как и в выбранных аналогах. Если же формирование антициклона в исходном синоптическом периоде связано с началом периода, а в выбранных случаях за прошлые годы это формирование антициклона не связано с началом синоптического периода, то естественно, такие аналогии не помогут правильно решить вопрос о направлении перемещения сформировавшегося антициклона в последующие дни периода.

Отсюда следует несколько выводов: а) аналогии надо подбирать не к статическим полям метеорологических элементов, а к последовательному ряду их, что уже характеризует процесс; б) аналогичные процессы должны устанавливаться не только по сходным изменениям какого-либо одного поля (например, приземное давление), а по сходному изменению нескольких полей (приземное и высотное барическое поле, термическое поле тропосферы и т. д.); в) аналогами к синоптическим периодам должны подбираться не случайные подобные процессы, а периоды со сходной перестройкой термобарического поля и сходной эволюцией этого поля и ПВФЗ в начале периода.

Подобранные таким образом аналогии с большей вероятностью будут развиваться подобно и в оставшиеся дни синоптического периода. Однако и здесь, даже при таком подборе возможны расхождения в направлении развития процессов в следующем синоптическом периоде [55]. Это происходит потому, что признаками аналогичности служат лишь внешние показатели, главным образом циркуляционные характеристики термобарического поля, более детальная структура которого может оказаться не аналогичной.

Багров [4] справедливо указывает, что для получения прогностических выводов из сходства двух синоптических процессов нужны не только геометрически подобные поля, но и термогидродинамическое подобие этих процессов, для которого геометрическое подобие является лишь одним из необходимых условий. Такое всестороннее термогидродинамическое подобие ввиду чрезвычайной сложности причинно-следственных связей атмосферных процессов получить очень трудно. Для некоторого приближения к такому подбору аналогов следует пользоваться не одним полем, а множеством полей метеорологических элементов, к тому же подобных не только по состоянию, а подобных в процессе развития и смены. Объективный учет степени аналогичности совокупности большого числа полей

метеорологических элементов, особенно в их развитии, чрезвычайно сложен и пока не разработан. Выходом в этом случае является наличие хотя бы отдельных указаний на будущее поле (при условии достаточной обеспеченности их).

При наличии таких указаний подбор аналогов к прогнозу развития синоптических процессов в текущем периоде осуществляют следующим образом. Исходя из свойств синоптического периода, вначале составляют прогноз развития барических образований и их перемещения на оставшиеся дни периода. Затем из архива выбирают карты синоптических периодов, у которых было такое же развитие в оставшиеся дни, какое ожидается по прогностическим показателям. Подобранные таким образом аналоги позволяют уточнять некоторые детали развития процессов, а также характер изменения погоды в тех или иных районах в течение оставшихся дней периода.

Допустим, что из имеющегося ряда синоптических периодов подобрано 4 таких аналога. Может оказаться, что в следующем периоде перестройка процессов у них осуществилась по-разному. Это означает, что по перечисленным выше признакам подбора аналогов не представляется возможным получить однозначные указания о характере перестройки высотного термобарического поля при переходе к новому синоптическому периоду.

Когда имеются хотя бы некоторые надежные указания на характер барического поля следующего синоптического периода и необходимо уточнить его детали и взаимосвязь этого барического поля, выбор окончательного аналога становится уже более определенным. Подбираются такие синоптические периоды, которые начинаются с того же процесса, что и исходный период, затем развиваются в течение оставшихся дней так же, как ожидается из анализа всех материалов начала периода, и характеризуются в тенденции следующего периода такими же барическими образованиями, указания на которые получены из анализа карт вихря и других материалов.

Кашин [14, 18], исходя из установленного им термодинамического влияния температуры на уровне поверхности 500 мб на изменение давления, предложил подбирать такие аналоги, в которых осуществляются основные прогностические выводы и одновременно имеется подобие как циркуляционных, так и термических характеристик исходных синоптических процессов на уровне поверхности 500 мб. Введение элемента подобия в распределение полей исходных температур на поверхности 500 мб позволяет учесть не только геометрические свойства сопоставляемых полей, но и в некоторой мере их энергетическое состояние.

Для большей объективности оценки степени аналогичности сопоставляемых исходных синоптических периодов или их частей и для учета состояния общей циркуляции в работе [37]

предлагается сопоставлять для ограниченной территории значения и ход индексов зональной I_z , меридиональной I_m и общей циркуляции, которые описаны в главе I, а также значения и ход индекса зональной циркуляции для северного полушария.

Подобранный таким образом аналог может быть использован для уточнения деталей развития процессов и для составления как высотной, так и наземной карты-схемы на начало следующего синоптического периода. Более надежным окажется такой аналог, который подобран с учетом еще одного показателя, а именно характера сезона.

Как известно, сезоны бывают холодные, теплые и нормальные. Очевидно, холодные сезоны определяются другими процессами, чем теплые сезоны, хотя это не значит, что холодные сезоны определяются всегда одними и теми же процессами. Может существовать несколько видов процессов или разновидностей их, приводящих к одному и тому же метеорологическому явлению, в данном случае к одной и той же холодной зиме.

Если выбирать аналоги из тех сезонов, в которых процессы сезонного порядка аналогичны процессам текущего сезона, и дальше применять все остальные выводы для подбора аналога на синоптический период, то можно с большой вероятностью подобрать достаточно правильные переходы от одного синоптического периода к другому. Чтобы использовать аналоги, подобранные таким образом для уточнения характера изменений погоды, они должны быть выбраны примерно в те же отрезки времени года (с небольшими отклонениями) и характеристики воздушных масс по ряду метеорологических элементов у них должны быть также достаточно близкими. В этом случае есть уверенность, что состояние очагов формирования воздушных масс и условия их трансформации сходны; по таким аналогам можно судить о характере дальнейших изменений исходного состояния метеорологических элементов.

Глава VI

ПРОГНОЗ НЕКОТОРЫХ ОСОБЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ

За последние годы выполнено немало работ, в которых были проведены исследования либо условий формирования частных, но важных для погоды особенностей циркуляции в синоптических периодах [3, 31], либо макроциркуляционных условий формирования особо важных метеорологических явлений [6, 9, 25, 49].

В работе Н. А. Аристова [3] исследовались особенности формирования синоптических периодов с квазистационарными антициклонами, а в работе В. П. Некрасова [31] — с центральными циклонами. Л. Г. Борисова изучала условия формирования си-

синоптических периодов с ультраполярными процессами, приносящими обычно сильные похолодания на Европейской территории СССР и в Западной Европе. В. М. Курганская [25] исследовала синоптические процессы, приводящие к значительным похолоданиям в восточных районах Северного Кавказа, Т. Ф. Батяева исследовала условия возникновения метелей, З. Г. Блиникова и О. Н. Гергель [6] изучали синоптические условия дождливых синоптических периодов в Московской области. Все перечисленные работы позволяют судить о возможности наступления важных явлений погоды в синоптических периодах, если известен тип процессов. По содержанию своей режимной части эти работы могут быть использованы при любом синоптическом методе прогноза макропроцессов.

Однако лишь в работе Ю. Б. Храброва [49] по прогнозу волн холода в Средней Азии получены самостоятельные прогностические выводы. По такому же образцу выполнена работа В. Г. Бялыницкой и Д. А. Педя [9] для прогноза заморозков на Украине. В связи с этим мы и остановимся на последних двух работах.

Прогноз волн холода в Средней Азии

Пользуясь специально разработанным индексом меридиональности, о котором упоминалось в главе I, Храбров [49] предложил способ для прогноза волн холода на территории Средней Азии, понимая под волной холода понижение среднесуточной температуры воздуха не менее чем на 3° ниже нормы в течение двух и более дней.

Анализируя синоптические процессы, он установил, что холодные вторжения в Среднюю Азию определяются тремя группами процессов — западными вторжениями, северными и северо-западными вторжениями и, наконец, северо-восточными вторжениями.

Выявляя зависимость между величиной похолодания в Средней Азии и выбранным индексом меридиональности $K = (H - \bar{H})_{\max} S$, Храбров установил, что между этими величинами имеется прямая связь (табл. 3).

Таблица 3

Величина индекса меридиональности при различной степени похолодания в Средней Азии (по ст. Ташкент) для всех типов вторжения

Полугодие	Похолодание		
	слабое, $3-5^\circ$	умеренное, $5-7^\circ$	сильное, 7° и более
Теплое	460	530	662
Холодное	610	660	802

Из данных табл. 3 видно, во-первых, что чем больше индекс меридиональности, тем интенсивнее похолодание в Средней Азии как в теплое, так и в холодное полугодие и, во-вторых, что для похолодания в теплое полугодие в соответствующей градации индекс меридиональности может быть слабее, чем в холодное полугодие.

Казалось бы, зимой индекс меридиональности должен быть меньше, для того чтобы осуществилось похолодание такой же градации; в действительности — наоборот. Объясняется это тем, что индекс циркуляции K подсчитывается как разность между максимальным значением геопотенциала на оси гребня, расположенного над Европейской территорией СССР, в конкретный день и многолетним среднемесячным значением его в этом же районе. Известно [39], что зимой основной характеристикой циркуляции является высотный гребень над западом континента и ложбина над Европейской территорией СССР. Летом, напротив, над Европейской территорией СССР имеется гребень, а над Атлантическим океаном и Западной Европой — ложбина. Тип циркуляции, определяющей волны холода в Средней Азии, как зимой, так и летом в основном характеризуется наличием высотного гребня над Европейской территорией СССР. Поэтому разность значений геопотенциалов в таких гребнях на средней многолетней карте в зимнее время значительно больше, чем летом. Иными словами, чтобы осуществилась волна холода зимой в Средней Азии, необходима более существенная перестройка среднего барического поля, нежели летом, когда меридиональность менее интенсивна, но характеризуется такой же географической локализацией гребней и ложбин, как и у основных типов циркуляции, определяющих волны холода.

Прогноз волн холода в Средней Азии по этому способу строится по ходу индекса и на основании связи между значениями индекса меридиональности в тенденции и за весь синоптический период. В частности, было установлено, что связь между индексом меридиональности K за первые два дня тенденции и индексом меридиональности за весь синоптический период характеризуется коэффициентом корреляции $+0,76$. Это позволяет по ходу индекса ото дня ко дню в случае его резкого увеличения в начале синоптического периода до соответствующих критических величин (табл. 3) прогнозировать волну холода в Средней Азии в оставшиеся дни периода.

Условия формирования заморозков на Украине

В таком же плане, как и работа [49], выполнено исследование условий формирования майских заморозков на Украине [9]. При этом под заморозками понимались такие случаи, когда минимальная температура воздуха в метеорологической будке понижалась до 0° и ниже. Анализ повторяемости таких замороз-

ов показал, что в большинстве случаев (82%) они наблюдаются в первой половине мая, причем длительность их небольшая — 1—2 дня. Несмотря на это, их отрицательное влияние на многие сельскохозяйственные культуры очень велико. Малая продолжительность заморозков в мае связана, очевидно, с быстрой трансформацией воздушных масс в этом месяце, тем более что по интенсивности в большинстве случаев эти заморозки не превышают -2° .

Из анализа распределения дней с заморозками в синоптических периодах выяснилось, что наибольшая их повторяемость приходится на 4—6-й день синоптического периода. Такая связь заморозков на территории Украины с границами синоптических периодов облегчает задачу изыскания признаков для их прогноза с определенной заблаговременностью.

Анализ циркуляционных особенностей процессов, приводящих к заморозкам на Украине, показал, что последние определяются в основном двумя типами. К первому типу, называемому северным, относятся такие случаи, когда заморозки формируются в антициклонических барических образованиях, приходящих со Скандинавского полуострова. Высотные карты этого типа отражают достаточно хорошо выраженный меридиональный процесс с такой локализацией высотных гребней и ложбин, когда гребень располагается над крайним западом Европейской территории СССР и Скандинавским полуостровом. Ко второму типу, называемому северо-западным, относятся такие процессы, при которых высотный гребень располагается над крайним западом Европы, Британскими островами и прилегающей частью Атлантического океана. В соответствии с этим заморозки формируются в антициклонических барических образованиях, приходящих на территорию Украины с Северного моря и юга Скандинавского полуострова.

При том и другом типе процессов над западной половиной Европейской территории СССР находится хорошо выраженная высотная фронтальная зона, ориентированная в меридиональном направлении так, что южная ее часть находится над Украиной. В зависимости от интенсивности этой фронтальной зоны заморозки могут быть более или менее значительными, а также более или менее распространенными по территории. В частности, при большой интенсивности меридиональной фронтальной зоны, т. е. при больших скоростях перемещения холодного воздуха, последний не успевает трансформироваться и поэтому приводит к появлению распространенных по площади сильных заморозков. При медленном перемещении холодного воздуха (при менее интенсивной фронтальной зоне), наоборот, этот воздух, распространяющийся по фронтальной зоне из районов севернее 60° с. ш. (главным образом из районов Скандинавии), успевает трансформироваться, вследствие чего заморозки появляются лишь местами. Районы, в которых появляются эти

заморозки, обусловлены местными физико-географическими особенностями.

Из изложенных в главе I особенностей индексов зональной и меридиональной циркуляции [19] ясно, что с помощью этих индексов можно наиболее эффективно получать количественные характеристики интенсивности тех фронтальных зон, которые способствуют возникновению заморозков на Украине. В связи с тем, что заморозки на этой территории в мае возникают главным образом под воздействием высокого давления и адвекции холода с более северных районов, для их изучения достаточно иметь дело с северной слагающей меридионального переноса, который, как было показано, характеризует интенсивность переноса массы воздуха с севера и подсчитывается по формуле (9).

Территория, по которой ведется подсчет этого индекса, ограничена с запада 6° в. д., с востока 42° в. д., а с юга и севера 44 и 68° с. ш. Для более подробного анализа условий циркуляции оказалось удобным разделить эту территорию на два равных района меридианом 18° в. д. Индекс меридиональной северной циркуляции подсчитывается отдельно по первому (западному) району, по второму (восточному) району и как сумма по всей территории.

В среднем многолетнем для всех синоптических периодов мая независимо от наличия или отсутствия в них заморозков индекс циркуляции от первой ко второй и к третьей декаде убывает. Это есть показатель того, что в среднем многолетнем над изучаемым районом в мае постепенно осуществляется ослабление меридиональности. Такое ослабление меридиональности понятно в связи с тем, что при переходе от зимы к лету ослабевает температурный градиент океан — материк, определяющий меридиональность. Аналогичное положение можно проследить и для отдельных районов.

Поведение индексов меридиональности в синоптических периодах с заморозками дает обратную картину. В первой декаде мая заморозки бывают, когда индекс северной меридиональности имеет 28 условных единиц. Для осуществления заморозков во второй декаде мая необходимо, чтобы индекс меридиональности увеличился не менее чем до 40 единиц. В третьей декаде мая за рассмотренный период заморозки не были отмечены. Следовательно, чтобы получить в двух первых декадах одни и те же характеристики заморозков, во второй декаде мая скорость поступления холодных воздушных масс должна быть значительно большей, чем в первой декаде. Тогда воздух не успеет трансформироваться.

По конкретным значениям индексов меридиональности за каждый синоптический период были установлены минимальные значения суммарного индекса меридиональности, при котором еще возможно появление заморозков на Украине соответственно в первой и во второй декадах мая. Минимальный индекс мери-

диональности, при котором наблюдаются заморозки в первой декаде, составляет 23 условных единицы, во второй декаде — 36 единиц. При значении индекса меридиональности меньше критического в мае на Украине не было ни одного случая с заморозками.

Периоды с большой меридиональностью, приводящие к заморозкам, не могут возникать внезапно, а должны подготавливаться предшествующим развитием и эволюцией ПВФЗ. Из анализа выяснилось [9], что примерно за 4—5 дней до наступления заморозков наблюдается определенный характерный ход индекса, имеющего минимальную критическую величину. Построенные по этим минимальным критическим значениям индекса меридиональности графики позволяют давать прогнозы наступления заморозков на Украине в мае. Если в рассматриваемом синоптическом процессе ход индексов во времени в соответствующей декаде таков, что по величине они достигают или превышают указанные выше критические значения, то в ближайшие 2—3 дня следует ожидать заморозки. Если же ход индексов таков, что на фоне высоких значений наступают также значения меньше критических хотя бы на один день, то заморозков не будет. Отсчет индексов во времени начинается с последнего дня синоптического периода, предшествовавшего заморозку.

Заморозки могут быть как на всей изучаемой территории, так и местами. Для решения вопроса о территориальном распространении заморозков на Украине сопоставляются значения индексов меридиональности в двух выделенных районах. Если индекс меридиональности во втором (восточном) районе значительно превышает индекс меридиональности в первом (западном) районе, что наблюдается чаще всего при процессах северного типа, заморозки охватывают почти всю территорию Украины, за исключением крайних западных районов. Если, наоборот, индекс меридиональности первого (западного) района значительно больше индекса меридиональности второго (восточного) района, что наблюдается при процессах северо-западного типа, заморозки на Украине бывают лишь в отдельных местах.

Прогноз заморозков по ходу индексов меридиональности составляется следующим образом. Во-первых, для выбранного района ежедневно по утренним картам АТ₅₀₀ подсчитываются индексы $I_{мс-1}$, $I_{мс-2}$ и общий индекс меридиональности для всей территории в виде суммы $I_{мс-1} + I_{мс-2}$. Во-вторых, устанавливаются границы синоптических периодов, после чего подсчет индексов во времени начинается со дня, предшествовавшего началу нового синоптического периода. После этого сравнивают фактические значения индекса $I_{мс}$ последнего дня закончившегося периода и первого дня начавшегося периода с критическими значениями по декадам.

Если индексы в первые два дня после отсчета больше критических, то дается прогноз появления заморозков с заблаговременностью 3 дня. Если индексы в первые два дня или хотя бы в один из них после начала отсчета будут меньше критических, то составляется прогноз отсутствия угрозы заморозков на ближайшие 2—3 дня. После этого сопоставляются индексы первого и второго районов с целью решения вопроса о территориальном распределении заморозка.

В последующие дни после составления прогноза последний уточняется. Если в первые два дня от начала отсчета индекс меридиональности был равен или больше критического значения, но затем стал меньше критического, то заморозка не будет, так как для наступления заморозка необходимо, чтобы во все дни индекс меридиональности был не меньше критического значения, а для отсутствия заморозка достаточно нарушения такого хода хотя бы в отдельные дни.

Глава VII

ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА МАКРОПРОЦЕССОВ НА 3—7 ДНЕЙ

В практической работе каждый трехдневный прогноз является уточнением ранее составленного прогноза на 5—7 дней. Последний в свою очередь служит уточнением еще более продолжительного прогноза на месяц. В связи с этим пример анализа и прогноза целесообразно начать с использования тех материалов, которые служат основой для составления прогноза на 5—7 дней.

Систематически анализируя последовательное развитие макросиноптических процессов и руководствуясь принципами, изложенными в главе II, синоптик устанавливает начало нового синоптического периода. В выбранном нами примере новый период начался 14 января 1957 г. одновременно по наземным и высотным синоптическим картам. Начало этого периода связано с раздвоением над Западной Европой ПВФЗ, сопровождавшимся формированием новой высотной депрессии над севером Италии, новой депрессии над Уралом и высотного антициклона над Атлантикой.

I. В первый день синоптического периода у прогнозиста имеется в распоряжении приземная синоптическая карта и высотные карты AT_{700} , AT_{500} , AT_{300} , а также OT_{1000}^{500} за 14 января 1957 г. Уже эти материалы первого дня синоптического периода могут быть использованы для предварительного прогноза на оставшиеся дни периода. Если этот период ожидается шестидневным, то это будет прогноз на 5 дней. Для составления такого прогноза строят следующие дополнительные карты: а) сборнокинематическую карту, на которую наносят положе-

ие приземных циклонов и антициклонов, ложбин и гребней, разделенных демаркационной линией (гл. I); б) среднюю карту абсолютной топографии трех уровней (гл. IV); в) карту изалло-типс OT_{1000}^{500} (или AT_{500}), вычитая из значений OT_{1000}^{500} за 14 января 1957 г. средние значения OT_{1000}^{500} предшествующего синоптического периода (или его тенденции); г) карту изаномал OT_{1000}^{500} , вычитая из значений OT_{1000}^{500} за 14 января 1957 г. норму OT_{1000}^{500} для 14 января (гл. III).

Перечисленные дополнительные материалы совместно с основными картами первого дня синоптического периода служат для составления предварительного прогноза на оставшиеся дни начавшегося периода и для прогноза на очередные три дня.

На рис. 15 изображена сборнокинематическая карта тенденции синоптического периода, на которую нанесено положение барических образований за 14 и 15 января. Примем эту карту за сборную карту первого дня периода, обращая при этом внимание лишь на точки с символом 14. Исходя из свойств синоптического периода (гл. II), можно ожидать, что наметившаяся географическая локализация приземного барического поля должна в основном сохраниться до конца периода, т. е. до 19 января.

На рис. 16 приведена средняя карта трех уровней тропосферы за 14 января 1957 г. Эта карта используется для суждения уже в первый день синоптического периода о направлениях фронтальных зон и ведущих потоков, которые должны быть характерны в течение всего периода (гл. IV).

Сопоставляя эти две карты (рис. 15 и 16) между собою, делаем следующие выводы о перемещении приземных барических образований в оставшиеся дни синоптического периода.

1. Приземный атлантический антициклон находится в потоках высотной фронтальной зоны к северо-западу от высотного антициклона. Вдоль этих потоков и должен он смещаться в начале синоптического периода. В дальнейшем его движение будет быстро замедляться. К концу периода такой антициклон обычно превращается в высокий и малоподвижный, в связи с чем обычно начинается его быстрое разрушение.

2. Ядро, находящееся несколько западнее Британских островов, представляет собою остаток антициклона предшествующего синоптического периода. Оно должно быстро ликвидироваться, превратившись в гребень новообразовавшегося атлантического антициклона.

3. Ядра высокого давления на Скандинавии, находящиеся в ультраполярно направленной высотной фронтальной зоне с ослабевающим контрастом в направлении движения, должны смещаться по этому потоку, ослабевая и быстро превращаясь в гребни новообразовавшегося атлантического антициклона.

4_г. Ядро высокого давления несколько западнее Москвы находится в районе увеличивающихся градиентов южной ветви ПВФЗ. Это ядро должно быстро смещаться в юго-восточном затем восточном и северо-восточном направлении вдоль потоков.

5_г. В связи с тем, что скандинавские ядра должны смещаться к югу и юго-западу, между ними и ядром, смещающимся к юго-востоку и востоку, в районе Черного и Каспийского морей возможно нарушение полосы повышенного давления, наметившейся в первый день над югом Европейской территории СССР. Этот вывод должен быть проверен при анализе изменений циклонических полей.

6_г. Приземные частные циклоны западнее и восточнее Шпицбергена находятся в потоках северной ветви ПВФЗ и в соответствии с большими градиентами в ней должны с большими скоростями смещаться вдоль этой зоны, поддерживая существование высотной депрессии над Таймырским полуостровом. Вслед за ними должна также смещаться к востоку и юго-востоку ложбина, расположенная 14 января у восточного побережья Гренландии.

7_г. Циклон юго-западнее Гренландии также находится в потоках северной ветви ПВФЗ. Он должен смещаться вдоль них к востоку и северо-востоку, нарушая перемышку высокого давления, наметившуюся в начале синоптического периода в районе Гренландия — Исландия. Очевидно, со сменой потоков в этих районах будет связано начало нового элементарного синоптического процесса. Так как севернее этого циклона находится холодное ядро высокого давления, затоки холода в тылу циклона будут способствовать его развитию при перемещении к востоку.

8_г. Циклон на Таймырском полуострове является высоким и поэтому можно ожидать его быстрого заполнения в этом же районе. Его место должны занять циклоны, смещающиеся с запада и северо-запада.

9_г. В системе таймырской депрессии находится высотный циклон над Средним Уралом. Центр его совмещается с точкой окклюзии (рис. 15). Очевидно, в течение синоптического периода можно ожидать лишь перемещение ложбин и частных циклонов по его периферии. В частности, вдоль южной ветви ПВФЗ можно ожидать смещение в его систему циклонических образований из системы средиземноморской депрессии. Именно с этими траекториями циклонов может быть связано нарушение над югом Европейской территории СССР перемышки высокого давления, о чем говорилось также в пункте 5_г.

10_г. Средиземноморская высотная депрессия должна поддерживаться в течение синоптического периода смещающимися вдоль южной ветви ПВФЗ на ее периферии частными циклонами. В связи с холодным северным потоком в ее тылу можно

ожидать, что волновое возмущение, возникшее 14 января на севере Африки, в последующие дни будет смещаться к востоку и северо-востоку, развиваясь и углубляясь.

Таковы прогностические выводы о развитии и перемещении приземных барических образований в течение 15—19 января, которые можно получить из анализа некоторых материалов (рис. 15 и 16) первого дня синоптического периода.

В первый день синоптического периода можно сделать также весьма ориентировочные выводы об изменениях высотного барического поля до конца текущего периода. Для этого необходимо провести совместный анализ карты AT_{500} (или средней карты трех уровней тропосферы, рис. 16) с картой изаллогипс первого дня (рис. 17), руководствуясь при этом изложенным в главе IV (Прогноз развития барических образований в синоптическом периоде).

11. Все три высотных циклона совмещаются с очагами отрицательных изаллогипс. Примерно в 70% случаев такие высотные циклоны в оставшиеся дни синоптического периода должны заполняться, хотя встречаются случаи, как уже указывалось, когда при таком сочетании они продолжают углубляться.

Антициклону соответствуют как положительные, так и отрицательные изаллогипсы. При таком сочетании невозможно сделать выводов о его изменении.

12. В первый день синоптического периода составляется также очередной трехдневный прогноз. Для его составления привлекаются дополнительные материалы, которые в соответствии с изложенным в главе III могут дать указания о развитии высотного и наземного барического поля в первые три дня синоптического периода. Эти выводы одновременно могут быть использованы также для уточнения особенностей развития процессов до конца текущего периода.

Прежде всего устанавливают происхождение барических образований, отображенных на высотной карте (рис. 16) и приземной синоптической карте (условно рис. 15) исходного дня, привлекая для этой цели также карту аномалий OT_{1000}^{500} этого дня (рис. 12).

Удобно начать с анализа (в соответствии с гл. III) изменений поля OT_{1000}^{500} и соответствующего ему высотного барического поля с тем, чтобы полученные выводы использовать также для прогноза приземного поля на три дня (15—17 января).

13. Юго-восточный очаг положительных аномалий над Атлантикой почти совпадает с высотным антициклоном. Поэтому в ближайшие сутки он останется малоподвижным, а высотный антициклон будет смещаться в направлении особой точки на антициклогенетической нулевой изаномале, находясь от нее на

расстоянии примерно 500—600 км в районе положительных аномалий (т. е. к западу от Британских островов, где расположены близко друг от друга две особые точки). При этом сам очаг окажется в потоках антициклона и уже в последующие двое суток будет смещаться по ним к юго-западу и западу. Вследствие этого южный участок антициклогенетической нулевой изаномалы будет разворачиваться по часовой стрелке к юго-западу и западу.

2II. Северо-западный атлантический очаг положительных аномалий находится в потоках северной ветви ПВФЗ и должен в течение предстоящих трех дней смещаться по этим потокам к северо-востоку и востоку со скоростью примерно 90% скорости потока на уровне поверхности 700 мб (табл. 2), т. е. на Норвежское море — Скандинавию. С его смещением будет связано: а) усиление и разворот высотного гребня атлантического антициклона; б) перемещение по этим же потокам впереди очага северного участка антициклогенетической нулевой изаномалы (здесь она перпендикулярна потокам), которая в целом будет вращаться вокруг особой точки у Британских островов по часовой стрелке; в) смещение на восток северного участка циклогенетической нулевой изаномалы на западной периферии этого очага.

3II. Очаг положительных аномалий над Баренцевым морем совмещается с высотным гребнем и находится в потоках северной ветви ПВФЗ. Последняя должна приближаться к параллельной ей нулевой изаномале на юге этого очага [42], т. е. несколько снизиться. По этой ветви ПВФЗ должен перемещаться на восток и юго-восток с соответствующей скоростью (табл. 2) очаг положительных аномалий. Одновременно на восток и юго-восток, т. е. на Западную Сибирь, должна перемещаться и нулевая изаномала, находящаяся на западе этого очага.

4II. В потоках находится также очаг отрицательных аномалий над Гренландией, который, смещаясь на восток, займет место положительного очага аномалий над Баренцевым морем. В связи с этим высотный гребень над Баренцевым морем должен в течение предстоящих трех суток в этом районе разрушиться и замениться высотной ложбиной.

5II. Высотный циклон над Средним Уралом совмещается с очагом отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} . В первые сутки очаг и циклон остаются малоподвижными. В последующие двое суток циклон должен переместиться на северо-восток очага отрицательных аномалий в направлении особой точки на нулевой изаномале, которая будет вокруг этой особой точки вращаться по часовой стрелке в связи со смещением на востоко-юго-восток лежащего к северу очага положительных аномалий. При этом высотный циклон должен оставаться в отрицательных аномалиях на расстоянии 500—600 км от особой точки, которая вместе

циклогенетической нулевой изаномалой должна также сместиться несколько к востоку.

6_{II}. К югу от этого очага отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} находится циклогенетическая изаномала. Она почти параллельна потокам южной ветви ПВФЗ, и поэтому в предстоящие дни как потоки, так и нулевая изаномала сохранятся, причем последняя должна несколько подстраиваться под потоки ПВФЗ.

7_{II}. Очаг отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} над Францией (рис. 12) находится в слабых северных и северо-восточных потоках (рис. 16), вдоль которых он должен смещаться к юго-

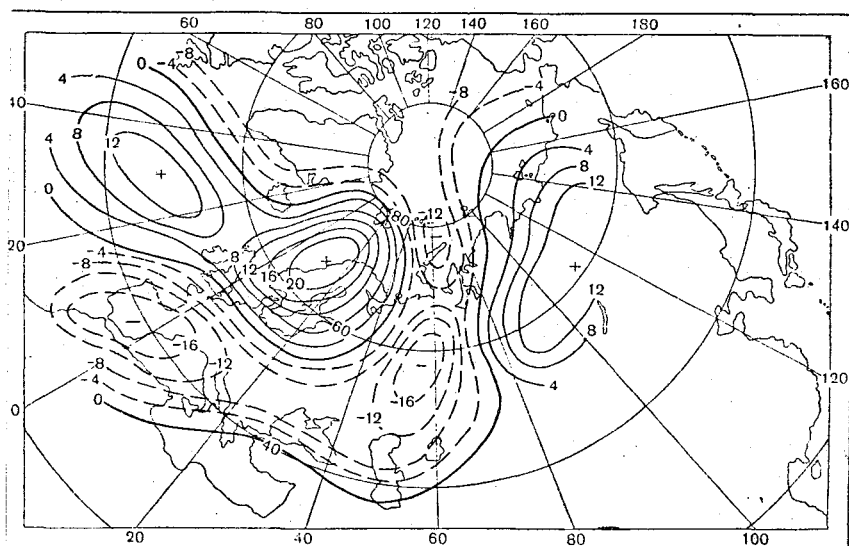


Рис. 24. Схема ожидаемого поля аномалий OT_{1000}^{500} на 17 января 1957 г.

западу на Испанию — Гибралтар, способствуя тем самым уже отмеченному в пункте 1_{II} антициклоническому вращению нулевой изаномалы. Соответствующий этому очагу высотный циклон над Венгерской низменностью (рис. 16) должен также сместиться на западо-юго-запад в район Адриатического моря — Италия. При этом он должен оставаться ближе к циклогенетической нулевой изаномале, расположенной на юге и юго-востоке от отрицательных аномалий.

Изложенные выше выводы об изменениях поля аномалии OT_{1000}^{500} в течение 15—17 января 1957 г. можно изобразить в виде схемы этого поля на 17 января (рис. 24), которое достаточно близко к фактическому (рис. 25).

Имея прогностическую карту поля аномалии OT_{1000}^{500} на 17 января и зная эволюцию этого поля с 15 по 17 января,

нетрудно получить указания о развитии приземного барического поля. Прежде всего начинают с диагноза этого приземного поля анализируя совместно исходное положение за 14 января по карте аномалий $OT_{1,00}^{5,00}$ (рис. 12) и приземной синоптической карте (рис. 15), а уже при прогнозе учитывается составленная схема поля аномалий $OT_{1,00}^{5,00}$ (рис. 24).

8II. Центр приземного атлантического антициклона находится под очагом положительных аномалий, вследствие этого в нем будет наблюдаться слабое понижение давления термического

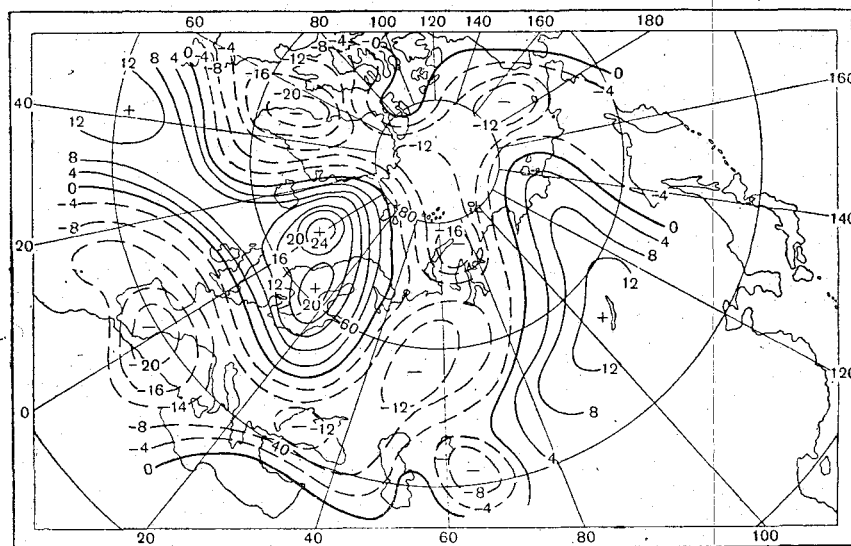


Рис. 25. Фактическая карта аномалий OT_{1000}^{500} за 17 января 1957 г.

происхождения. Одновременно северная и северо-восточная часть антициклона находятся под антициклогенетической нулевой изаномалой, где будет наблюдаться сильный рост давления под влиянием вихревого фактора. Поэтому антициклон вначале должен быстро переместиться у поверхности земли в район особой точки на антициклогенетической нулевой изаномале. В последующем этот антициклон должен усиливаться и находиться в отрицательных аномалиях на расстоянии не более 300—400 км от особой точки, которая (в соответствии с выводами 1II и 2II) должна оставаться примерно на юге Британских островов.

9II. По северо-западной периферии этого антициклона вдоль циклогенетической нулевой изаномалы будет углубляться и смещаться на востоко-северо-восток циклон (см. вывод 2II).

10_{II}. Частный циклон западнее Шпицбергена будет перемещаться на востоко-северо-восток без существенных изменений вдоль северной ветви ПВФЗ вместе с нулевой изаномалой и ее жобой точкой со скоростью потока на уровне поверхности 700 мб (см. табл. 2 и выводы 4_{II}).

11_{II}. Ядра высокого давления над Скандинавией находятся вблизи особых точек на нулевой изаномале (рис. 12), которая будет деформироваться в циклогенетическую (выводы 3_{II} и 4_{II}). В связи с этим следует ожидать быстрое разрушение этих ядер.

12_{II}. Ядро западнее Москвы находится под очагом отрицательных аномалий, совмещающимся в то же время со входом южной ветви ПВФЗ. Это ядро должно смещаться на юго-восток со скоростью примерно 70% скорости на уровне поверхности 700 мб. Под влиянием термического фактора (отрицательные аномалии OT_{1000}^{500}) оно будет сохраняться или даже усиливаться.

13_{II}. Циклон западнее Рима находится под отрицательными аномалиями к западу от особой точки на циклогенетической нулевой изаномале. Под влиянием термического фактора (холод) этот циклон должен несколько заполниться в течение ближайших суток, смещаясь с соответствующей скоростью на особую точку, а затем уже вдоль нулевой изаномалы на юг и юго-восток Европейской территории СССР.

14_{II}. Циклон на полуострове Таймыр в исходный день (14 января) находится вблизи особой точки на антициклогенетической нулевой изаномале, вследствие чего он должен в течение 1—2 суток заполниться.

15_{II}. Частный циклон вблизи Земли Франца-Иосифа находится под очагом положительных аномалий OT_{1000}^{500} , который должен смещаться к востоко-юго-востоку (см. вывод 3_{II}). В этом же направлении вместе с очагом будет перемещаться частный циклон, который под влиянием термических факторов (очаг тепла) может при этом несколько углубляться.

16_{II}. Волна у поверхности земли в районе Среднего Урала находится под очагом отрицательных аномалий OT_{1000}^{500} . Под влиянием термического фактора (холод) эта волна не получит дальнейшего развития.

17_{II}. Ложбина на севере Аральского моря находится под южной ветвью ПВФЗ, которая (согласно выводу 6_{II}) должна быть устойчивой. Однако ложбина находится под отрицательными аномалиями OT_{1000}^{500} , которые не способствуют ее развитию, поэтому ложбина со скоростью, соответствующей потокам, должна перемещаться к северо-востоку и заполняться.

Выводы, полученные в пунктах 8_{II}—17_{II}, легко обобщить в прогностическую схему перемещения и развития приземных барических образований на три дня (15—17 января). Эти выводы и схему можно использовать также для уточнения на первые три дня схемы, которую можно составить уже в первый

день на оставшиеся дни текущего периода, т. е. на 15—19 января (см. выводы $1_1—10_1$).

III. На практике схему развития барических образований на весь текущий синоптический период окончательно уточняют во второй день периода (15 января) одновременно с составлением прогноза на тенденцию следующего периода.

Во второй день синоптического периода в распоряжение синоптика поступают приземная карта погоды, а также высотные карты абсолютной и относительной топографии за 15 января. По этим картам за первый и второй дни синоптического периода дополнительно составляют: а) сборнокинематическую карту тенденции периода, нанося на сборную карту первого дня положение барических центров у поверхности земли за второй день (гл. I); б) среднюю карту AT_{500} тенденции периода; в) среднюю карту изаллогис OT_{1000}^{500} тенденции периода, вычитая из значений OT_{1000}^{500} тенденции периода средние значения OT_{1000}^{500} всего предшествующего синоптического периода; г) карту изаллогис отдельно второго дня, вычитая из значений OT_{1000}^{500} за 15 января средние значения OT_{1000}^{500} всего предшествующего синоптического периода; д) карту разностей изогипс OT_{1000}^{500} или AT_{500} первых двух дней периода; е) карту аномалий второго дня периода; ж) карту лапласианов по карте AT_{500} тенденции периода; з) карты лапласианов по AT_{500} первого и второго дней и по ним карту изменений лапласианов от первого ко второму дню; и) сборную карту ПВФЗ первого и второго дней периода.

После построения всех этих материалов приступают к их анализу с целью уточнения прогноза процессов до конца текущего синоптического периода и прогноза на тенденцию следующего периода. Прежде всего начинают с совместного анализа средней карты AT_{500} тенденции периода (рис. 14), сборной карты ПВФЗ тенденции (рис. 7)², изаллогис отдельно первого и второго дней (рис. 17 и 18) и их изменений (рис. 19). Этот анализ позволяет выявить наметившуюся в первые дни тенденцию изменения высотного поля, которую можно экстраполировать до конца синоптического периода.

III. Очаг отрицательных изаллогипс первого дня синоптического периода над Гренландией (рис. 17) соответствует высотной ложбине в этом районе (рис. 14). От первого ко второму дню он не остается на месте, а смещается к востоку (рис. 18) о чем свидетельствует расположенный еще более к востоку о

¹ Для уменьшения объема технической работы во второй день синоптического периода карту лапласианов по AT_{500} первого дня строят не во второй, а в первый день периода.

² Для сокращения числа рисунков здесь приведена сборная карта ПВФЗ всего синоптического периода, на которой в данном случае следует рассматривать ПВФЗ лишь за первые два дня.

го, на юге Гренландского моря, очаг отрицательных разностей изогипс (рис. 19). В оставшиеся дни синоптического периода очаг отрицательных изаллогипс и соответствующая ему ложбина должны смещаться в направлении на очаг отрицательных разностей изогипс на юге Гренландского моря. Судя по интенсивности очага разностей, к концу синоптического периода в этом районе может оказаться хорошо развитая ложбина или высотный циклон.

2III. Высотному антициклону над Атлантическим океаном (рис. 14) соответствует слабовыраженный очаг отрицательных изаллогипс первого и второго дней синоптического периода, который остается практически без существенных изменений в своей южной части. Следовательно, тенденция стационарирования антициклона без существенных изменений его интенсивности в южной части должна сохраниться до конца текущего синоптического периода. Такой антициклон будет характерен также в начале следующего периода.

3III. Очаг положительных изаллогипс первого дня синоптического периода между Скандинавией и Шпицбергом (рис. 17) соответствует высотному гребню над Скандинавией (рис. 14). Ко второму дню он смещается на юг Баренцева моря (рис. 18), а соответствующий ему очаг положительных разностей изогипс смещен еще дальше к юго-востоку (рис. 19).

В этом же направлении, т. е. на юго-восток, должен развиваться высотный гребень атлантического антициклона и в оставшиеся дни периода.

4III. Высотному циклону над Средним Уралом (рис. 14) соответствует очаг отрицательных изаллогипс, который от первого ко второму дню синоптического периода (рис. 17 и 18) небольшой скоростью смещается на юг Урала, где расположен очаг отрицательных разностей изогипс (рис. 19). В текущем синоптическом периоде этот циклон должен остаться практически малоподвижным, несколько углубляясь, особенно своей южной и юго-восточной части, где расположен еще один очаг отрицательных разностей изогипс (рис. 19). Практически малоподвижный и углубляющийся высотный циклон окажется характерным и для начала следующего синоптического периода.

5III. На юго-востоке Западной Сибири расположен высотный гребень (рис. 14), которому соответствует очаг положительных изаллогипс, усиливающийся от первого ко второму дню синоптического периода, особенно над Якутией (рис. 17, 18 и 19). Следовательно, к концу текущего синоптического периода над востоком Западной Сибири и Якутией должен усиливаться высотный гребень.

6III. К западу от среднеуральского циклона находится дегормационное поле с гиперболической точкой около Львова (рис. 14). В первый день синоптического периода через этот

район проходят отрицательные изаллогипсы (рис. 17), которые ослабевают ко второму дню периода (рис. 18). В районе гиперболической точки расположен очаг положительных разностей изогипс (рис. 19), указывающий на наметившуюся адвекцию тепла в районе гиперболической точки. В текущем синоптическом периоде это должно привести к росту как южного, так и северного гребней над Балканами и Восточной Европой. В связи с последним должна усиливаться изоляция высотного циклона, расположенного над севером Италии.

7_{III}. Высотному циклону над севером Италии (рис. 14) соответствует очаг отрицательных изаллогипс, который расположен к западу от циклона, и от первого (рис. 17) ко второму дню синоптического периода (рис. 18) смещается к западу над Пиренейский полуостров (рис. 19). Точно таким же образом эволюционирует и ПВФЗ в этом районе. Следовательно, в оставшиеся дни периода указанный высотный циклон должен смещаться на район Пиренейского полуострова.

8_{III}. В соответствии с изложенными выше выводами должны эволюционировать и ПВФЗ. Над севером Скандинавии от первого ко второму дню синоптического периода наметилась тенденция смещения вершины волны северной ветви ПВФЗ к юго-востоку, в оставшиеся дни ее смещение должно сохраняться в том же направлении (рис. 7, пунктирная стрелка). Над юго-западом Европы основание волны южной ветви ПВФЗ имеет тенденцию смещаться к западу, в оставшиеся дни эта тенденция должна сохраниться. По наметившейся тенденции можно ожидать некоторое смещение к югу участка ПВФЗ в Аральском и Каспийском районе.

9_{III}. Высотному циклону севернее полуострова Таймы (рис. 14) соответствует очаг отрицательных изаллогипс, смещающийся в течение первых двух дней синоптического периода с циклоном (рис. 17 и 18) и с очагом отрицательных разностей значений изогипс (рис. 19). Такой циклон должен в течение синоптического периода сохраниться и даже несколько углубиться. Естественно, что он будет оказывать влияние на циркуляцию и в начале нового периода.

10_{III}. Полученные в пунктах 1_{III} — 9_{III} выводы могут быть дополнены и с других позиций. Атлантический высотный антициклон и южноевропейский циклон имеют не менее чем по три замкнутых изогипсы. Такие высотные барические образования, как отмечено в главе II, сохраняются в виде самостоятельных до конца синоптического периода. Это подтверждает выводы 2_{III} и 7_{III}. По сборнокинематической карте тенденции синоптического периода и средней карте АТ₅₀₀, в соответствии с правилами Дулетовой, можно установить местоположение высоких холодных циклонов к концу текущего периода (гл. V). По этим правилам на рис. 15 построены треугольники и их медианы. В точках пересечения медиан должны оказаться высокие хо-

подные циклоны к концу текущего синоптического периода. Положение полярного и среднеуральского циклонов хорошо согласуется с тем, которое получено по выводам 4_{III} и 9_{III}. Положение южноевропейской депрессии оказывается несколько восточнее, чем ожидается по выводу 7_{III}.

Таким образом, после получения выводов о развитии до конца синоптического периода высотного барического поля (1_{III} — 10_{III}), выводов о перемещении приземных барических образований (1_I — 10_I) и уточнения на первые три дня периода (8_{II} — 17_{II}) приступают к составлению прогностической схемы

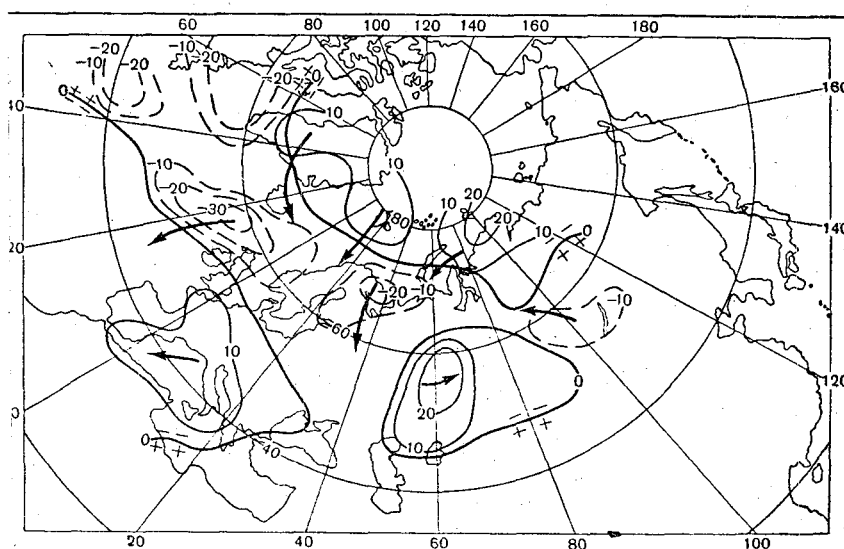


рис. 26. Комплексная карта лапласианов и изаллогипс тенденции синоптического периода (14—15 января 1957 г.).

на три дня и до конца текущего синоптического периода. Так как последняя включает в себя и схему на три дня, мы приводим лишь схему развития и перемещения приземных барических образований до конца текущего периода (рис. 4).

IV. После составления прогностической схемы на текущий синоптический период приступают к составлению прогноза на тенденцию следующего периода, т. е. на 20—21 января, руководствуясь при этом указаниями главы V. Для этой цели прежде всего проводят совместный анализ уже подготовленной комплексной карты лапласианов и изаллогипс тенденции синоптического периода (рис. 26), сборной карты ПВФЗ (рис. 7) и карты изменений лапласианов от первого ко второму дню периода (рис. 27).

Iv. Циклоническому вихрю над Гренландией и Гренландским морем (рис. 26) соответствуют два мощных одноименных

очага изменения лапласианов над Исландией и севернее Скандинавского полуострова. Как отмечалось в главе V, такой циклонический вихрь должен сохраниться и в начале следующего синоптического периода, располагаясь в районе наибольших одноименных изменений вихря (район Исландия — запад Баренцева моря).

2_{IV}. Антициклоническому вихрю северо-западнее Британских островов соответствует одноименный очаг изменений лапласианов северо-западнее Бискайского залива. В этом районе и должен оказаться антициклонический вихрь в начале следующего синоптического периода.

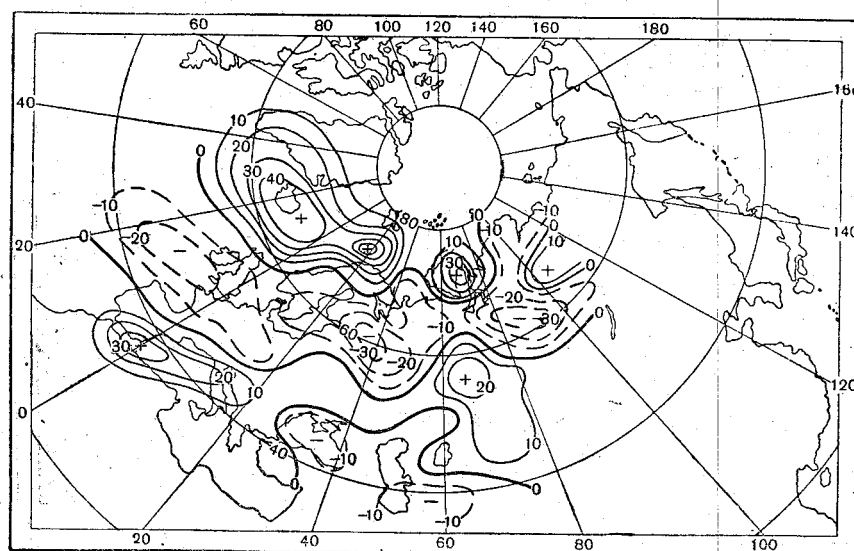


Рис. 27. Карта изменений лапласианов от первого ко второму дню синоптического периода (15—14 января 1957 г.).

3_{IV}. Антициклонический вихрь над Кольским полуостровом в соответствии с эволюцией ПВФЗ в этом районе в начале следующего синоптического периода должен переместиться район Вологды, где расположен мощный очаг изменений лапласианов того же знака.

4_{IV}. В соответствии с выводами 1_{IV} — 3_{IV} в начале следующего синоптического периода можно ожидать резкое смещение к югу северной ветви ПВФЗ над Северной Атлантикой и Скандинавским полуостровом.

5_{IV}. Циклоническому вихрю над полуостровом Таймы (рис. 26) соответствует одноименный очаг изменений лапласианов над полуостровом Ямал. В этом районе и должен оказаться циклонический вихрь в начале следующего синоптического периода.

иода. Очевидно, это будет ложбина циклона, который согласно пункту 9_{III} должен быть в конце текущего синоптического периода в околополярном районе.

6_{IV}. Циклонический вихрь с центром в районе Свердловска практически совпадает с одноименным изменением лапласианов в этом же районе, благодаря чему вихрь должен сохраниться в этом месте и в начале следующего синоптического периода. С этим указанием вполне согласуются выводы 4_{III} и 10_{III} об эволюции высотного барического поля в текущем синоптическом периоде.

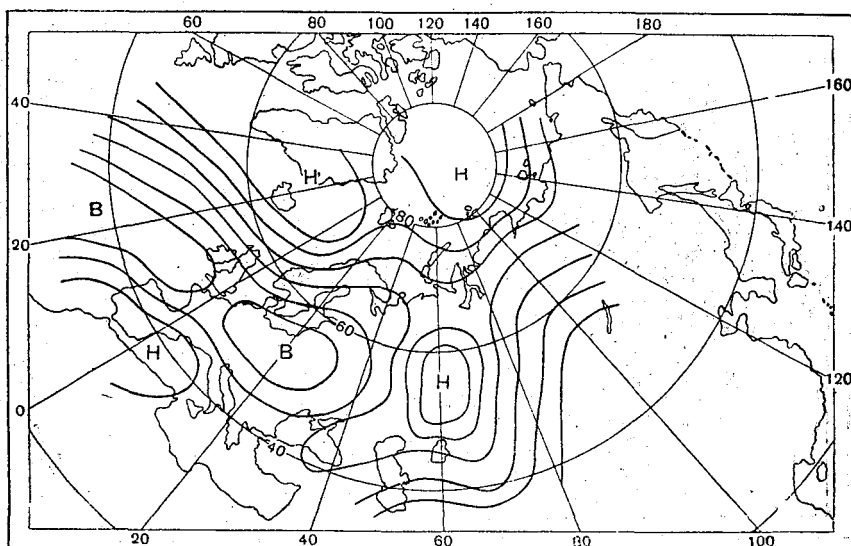


Рис. 28. Прогностическая карта AT_{500} тенденции следующего синоптического периода (20—21 января 1957 г.).

7_{IV}. Циклоническому вихрю над Южной Европой соответствует мощный одноименный очаг изменений лапласианов над западом Средиземного моря. Таким образом, в начале следующего синоптического периода на западе Средиземного моря должен быть циклонический вихрь, что также согласуется с выводами 7_{III}, 8_{III} и 10_{III} об эволюции ПВФЗ и высотного барического поля в текущем синоптическом периоде.

8_{IV}. Антициклонический вихрь над верховьями Енисея в начале следующего синоптического периода должен оказаться в районе среднего течения Оби, где расположен соответствующий ему одноименный очаг изменений лапласианов.

Полученные по пунктам 1_{IV} — 7_{IV} указания наносят на бланк карты. На этот же бланк наносят указания, которые получены на начало следующего синоптического периода в результате

анализа эволюции высотного барического поля до конца текущего периода (2_{III}, 4_{III}, 9_{III} и 10_{III}). Все эти указания разделяют демаркационной линией и рисуют схему ожидаемого высотного поля тенденции нового синоптического периода (рис. 28)

После составления высотной схемы приступают к составлению прогноза приземных барических образований в тенденции следующего синоптического периода.

9_{IV}. По карте AT_{700} , карте аномалий OT_{1000}^{500} за второй день синоптического периода и карте изменений этих аномалий от

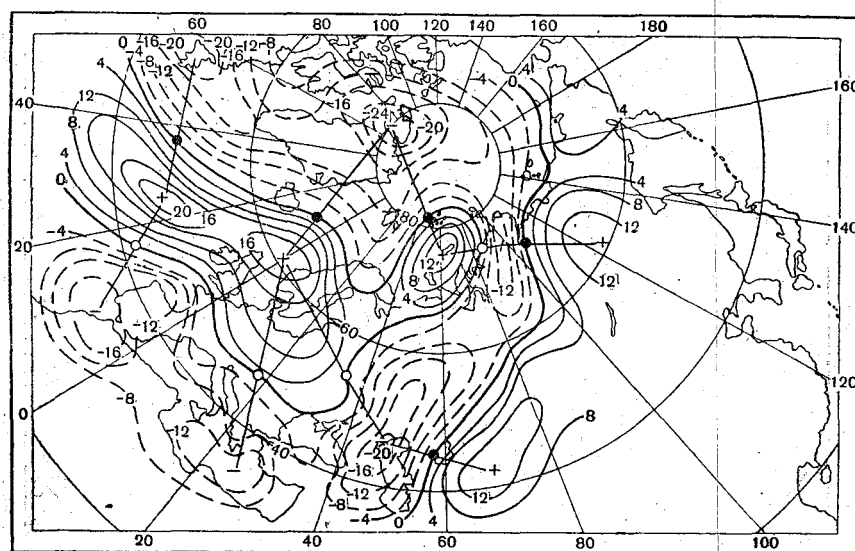


Рис. 29. Карта аномалий OT_{1000}^{500} за 19 января 1957 г.

первого ко второму дню периода составляется прогноз эволюции поля аномалий OT_{1000}^{500} до конца текущего синоптического периода (гл. V).

Анализ этих материалов проводится совершенно аналогично тому, как это сделано в пунктах 1_{II} — 7_{II}. Во избежание повторения такого анализа за прогностическую карту аномалий OT_{1000}^{500} последнего дня синоптического периода мы примем фактические аномалии за 19 января (рис. 29) или прогностическую карту на 17 января (рис. 24), которая по выводам Рафаиловой на 80—85% должна быть аналогична карте аномалий последнего дня. Эту карту (рис. 29) и анализируют совместно с прогностической схемой AT_{500} тенденции синоптического периода (рис. 28) для получения указаний на приземное барическое поле тенденции периода. При этом анализе руководствуются выводами, изложенными в главах III и V.

10iv. Прогностическая высотная карта-схема, наряду с меридиональностью в умеренных широтах Европейской территории СССР и Западной Сибири, характеризуется наличием вытянутой депрессии в полярных широтах. Как отмечалось в главе V, при таком типе процессов в течение синоптического периода никогда не наблюдается вторжение антициклонов с северных широт. Следовательно, начало нового синоптического периода должно характеризоваться полосой низкого давления вследствие перемещения циклонов по северным фронтам.

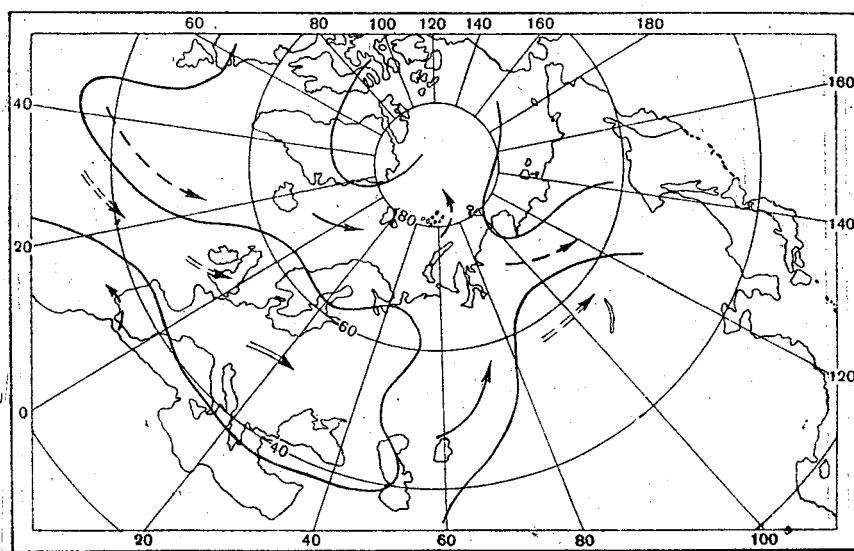


Рис. 30. Прогностическая карта-схема приземных синоптических процессов тенденции следующего синоптического периода (20—21 января 1957 г.).

11iv. С юго-запада Атлантики примерно на Исландию и север Скандинавского полуострова проходит циклогенетическая нулевая изаномала, вдоль которой и должны в основном перемещаться приземные циклонические образования, так как она почти параллельна потокам ПВФЗ. Исходное положение этих циклонических образований определяется особыми точками на нулевой изаномале (рис. 29).

12iv. Положение нулевой изаномалы над Европой (между атлантическими очагами положительных аномалий и средиземноморскими очагами отрицательных аномалий) характерно для стационарных антициклонов (см. схему на рис. 13). Одно антициклоническое образование следует ожидать в районе особой точки западнее Пиренейского полуострова. Очевидно, это будет ядро или гребень разрушающегося антициклона, который стационарировал в этом районе в текущем периоде. В районе

13IV. Аналогично устанавливаются исходные положения тенденции следующего синоптического периода циклонически

13IV. Аналогично устанавливаются исходные положения тенденции следующего синоптического периода циклонически

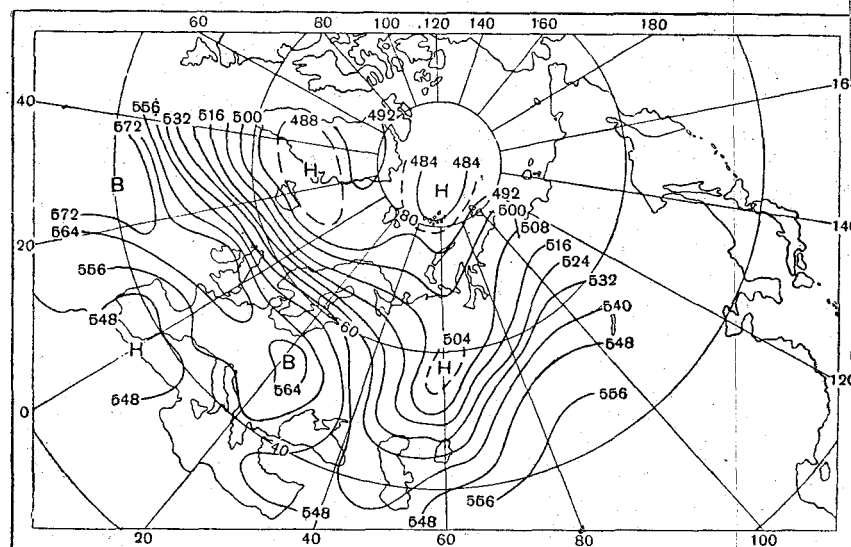


Рис. 31. Фактическая карта средних значений AT_{500} тенденции синоптического периода (20—21 января 1957 г.).

14. И. Демаркационные линии, разделяющие ожидаемые барические образования у поверхности земли в тенденции следующего синоптического периода, как указывалось в главе III, проводятся через очаги аномалий так, чтобы центры положительных аномалий оставались в циклоническом поле, а отрицательных — в антициклоническом поле.

После получения указаний о высотном и наземном барическом поле тенденции следующего синоптического периода подбирается аналог в той последовательности, как описано в главе V. Этот аналог используется для уточнения отдельных деталей при составлении окончательной схемы на остаток те-

ущего (рис. 4) и тенденцию следующего синоптического периода (рис. 28 и 30), а также для оценки характера и интенсивности изменений исходных значений метеорологических элементов. Для возможности сопоставления на рис. 31 и 32 представлены фактические карты тенденции синоптического периода 20—21 января 1957 г.

V. Путем систематического составления трехдневных прогнозов погоды осуществляют уточнения более продолжительного прогноза на 6—7 дней. Наиболее сложно составлять трехдневный прогноз в первый день синоптического периода, когда еще

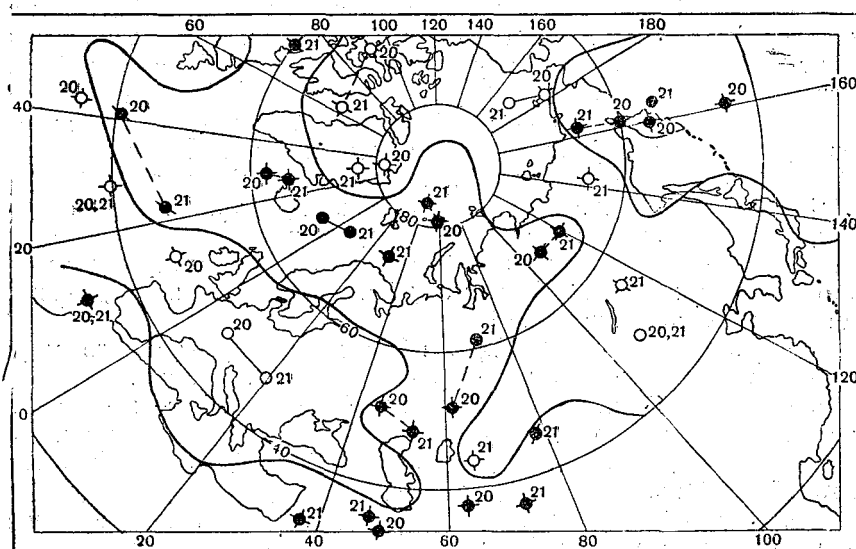


Рис. 32. Сборнокинематическая карта тенденции синоптического периода (20—21 января 1957 г.).

не определились полностью перестройка и тенденция развития барических образований, а также в предпоследний или последний день периода, когда в прогнозируемые три дня должна осуществиться крупная перестройка барического поля. Некоторые особенности прогнозирования в первый день синоптического периода изложены в пунктах 1_I—11_I и 1_{II}—17_{II}. Рассмотрим пример прогноза в последний день синоптического периода, т. е. 19 января 1957 г.

При составлении трехдневного прогноза погоды в последний день синоптического периода, кроме обычного аэросиноптического материала, составляют: а) карту разностей средних значений OT_{1000}^{500} (или AT_{500}) последнего и предшествующего элементарных синоптических процессов; б) карту лапласианов по AT_{500} исходного дня; в) карту температуры на поверхности

500 мб исходного дня (рис. 10) и изменение последней от предшествующего дня к исходному (рис. 11); г) карту аномалий OT_{1000}^{500} исходного дня (рис. 29).

1v. Карту изаллогипс и лапласианов совмещают на одном бланке и такую карту анализируют с целью выявления районов, в которых сохраняются в следующем элементарном синоптическом процессе циклонические и антициклонические вихри (см. гл. III и рис. 9). Привлекая карту температуры на поверхности 500 мб (рис. 10) и изменения этой температуры от предшествующего дня к исходному (рис. 11), уточняют, будет ли тот или иной положительный (отрицательный) вихрь, отображенный на рис. 9, связан с самостоятельной циклонической (антициклонической) циркуляцией или только с ложбиной (ребром).

2v. Циклоническому вихрю западнее Исландии соответствует очаг холода и отрицательные изменения температуры более 4° — в этом районе следует ожидать высотный циклон.

3v. Антициклоническому вихрю над Атлантикой соответствует гребень тепла — ожидается гребень.

4v. Циклоническому вихрю в районе Гибралтара соответствует очаг холода, усиливающийся более чем на 4° , — ожидается высотный циклон.

5v. Циклоническому вихрю на востоке Средиземного моря соответствует ложбина холода — ожидается ложбина.

6v. Антициклоническому вихрю на юге Северного моря соответствует очаг тепла и слабовыраженные отрицательные и положительные изменения температуры менее 4° — ожидается высотный гребень.

7v. Антициклоническому вихрю над Польшей соответствует очаг тепла и его усиление более чем на 4° — ожидается высотный антициклон.

8v. Циклоническому вихрю между Скандинавией и Шпицбергом соответствует ложбина холода — ожидается ложбина.

Подобным образом уточняют характер ожидаемой циркуляции и в других районах (см. отметки на рис. 9). Все эти указания наносят на отдельный бланк, затем проводят демаркационную линию, ориентируясь на положение линии нулевых значений лапласианов, и рисуют карту-схему ожидаемого высотного поля. Заметим, что в последний день подтверждаются и уточняются указания, полученные еще в тенденции текущего синоптического периода, но появляются и новые указания, позволяющие детализировать схему.

9v. Для получения указаний на приземные барические образования, на направление их перемещения и развитие в прогнозируемые три дня привлекают также карту аномалий OT_{1000}^{500} исходного дня (рис. 29). По этой карте выше в выводах уже были получены указания на приземное барическое поле тен-

эволюции синоптического периода, поэтому нет необходимости их повторять. Заметим лишь, что для прогноза направления перемещения этих барических образований в предстоящие три дня привлекаются прогностическая высотная карта и данные о скоростях потоков на уровне поверхности 700 мб. С помощью табл. 2 намечают траектории имеющихся на исходной карте на 19 января приземных барических образований (с учетом предстоящей эволюции их), а также ожидаемых новообразований. Все эти указания объединяются в прогностическую карту-схему развития приземного барического поля.

Приведенные примеры показывают, что в настоящее время разработаны принципиальные основы для прогнозов погоды на 3—7 дней. Применение выводов из различных работ позволяет взаимно дополнять и корректировать получаемые указания, что повышает надежность прогноза. Дальнейшие исследования должны обеспечить еще большее повышение надежности прогноза циркуляции и изменений погодных характеристик в том или другом отрезке времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух С. К. Построение карты AT_{500} тенденции естественного синоптического периода по данным трех изобарических поверхностей. Труды ЦИП, вып. 63 (90). 1957.
2. Анискина Н. А., Дыдина Л. А. К прогнозу барического поля на период элементарного синоптического процесса. Метеорол. и гидрол. № 5. 1954.
3. Аристов Н. А. Исследование квазистационарных антициклонов, характерных для естественных синоптических периодов. Труды ЦИП, вып. 19 (46). 1949.
4. Багров Н. А. Аналогичность полей метеорологических элементов. Труды ЦИП, вып. 46 (73). 1956.
5. Белинский Н. А. Опыт установления индекса циркуляции атмосферы. Труды НИУ ГУГМС, сер. 5, вып. 14. 1946.
6. Блиникова З. Г., Гергель О. Н. Синоптические условия дождей в периодов в Московской области. Труды ЦИП, вып. 36 (63). 1954.
7. Блинова Е. Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы. Доклады АН СССР, т. 39, № 7. 1943.
8. Быков В. В. и Машкович С. А. К характеристике зональной циркуляции атмосферы. Метеорол. и гидрол., № 2. 1956.
9. Бялыницкая В. Г., Педь Д. А. Условия формирования заморозков на Украине. Труды ЦИП, вып. 49. 1957.
10. Вангенгейм Г. Я. Материалы для построения синоптических методов характеристики климата. Изв. ГГО, № 2—3. 1933.
11. Вительс Л. А. Об определении индекса циркуляции по данным синоптического каталога. Метеорол. и гидрол., № 5. 1947.
12. Гандин Л. С., Лайхтман Д. Л., Матвеев А. Г., Юдин М. И. Основы динамической метеорологии. Гидрометеиздат. Л. 1955.
13. Гергель О. Н., Педь Д. А. О перемещении компонентов высотного деформационного поля естественных синоптических периодов. Труды ЦИП, вып. 36 (63). 1954.
14. Гриценко М. В., Кашин К. И. Об изменении давления у земной поверхности. Метеорол. и гидрол., № 5. 1954.
15. Дзердзеевский Б. Л., Монин А. С. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы в северном полушарии и индекс циркуляции. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 6. 1954.
16. Дулетова Т. А., Пагава С. Т., Рождественский А. А., Ширкина Н. А. Основы синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. Под ред. С. Т. Пагава. Гидрометеиздат. Л. 1940.
17. Зверев Н. И. Анализ циркуляционных условий на Дальнем Востоке и опыт использования их при прогнозе карты AT_{500} на 3—5 дней. Труды ЦИП, вып. 64. 1958.
18. Кашин К. И., Гриценко М. В. К вопросу о перемещении циклонов и антициклонов. Метеорол. и гидрол., № 6. 1954.

- Кац А. Л. Об изучении и оценке общей циркуляции атмосферы. Метеорол. и гидрол., № 6. 1954.
- Кац А. Л. Количественная характеристика горизонтальных составляющих общей циркуляции атмосферы в северном полушарии. Метеорол. и гидрол., № 2. 1955.
- Кац А. Л. К вопросу об определении границ естественных синоптических периодов. Метеорол. и гидрол., № 10. 1953.
- Кац А. Л. Изменение направленности переноса воздушных масс в тропосфере при смене естественных синоптических периодов. Метеорол. и гидрол., № 4. 1950.
- Кац А. Л., Морской Г. И., Семенов В. Г. Формирование крупных аномалий температуры воздуха на территории СССР в зимние месяцы. Труды ЦИП, вып. 49. 1957.
- Кац А. Л. и Семенов В. Г. О продолжительности естественных синоптических периодов за 1938—1948 гг. Метеорол. и гидрол., № 3. 1950.
- Курганская В. М. Синоптические условия значительных похолоданий в восточных районах Северного Кавказа. Труды ЦИП, вып. 36 (63). 1954.
- Ленова Г. В. Использование поля температуры на высоте поверхности 500 мб при прогнозе образования и перемещения северо-западных антициклонов. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
- Лорис-Меликов М. А. Опыт характеристики развития методов долгосрочных прогнозов. Геофиз. и метеорол., вып. 3—4. 1932.
- Мультановский Б. П. Влияние центров действия атмосферы на погоду Европейской России в теплое время года. Географ. сб., т. II, вып. 3. 1915.
- Мультановский Б. П. Основные положения для деления Европейской России на районы по воздействиям полярного центра действия атмосферы. Изв. ГФО, № 3. 1920.
0. Мультановский Б. П. Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. Часть I. Изд. ЦУЕГМС. М. 1933.
1. Некрасов В. П. Центральные циклоны, характерные для естественного синоптического периода. Труды ЦИП, вып. 19 (46). 1949.
2. Пагава С. Т. Естественный синоптический период. Климат и погода, № 3. 1936.
3. Пагава С. Т. Основы синоптического метода долгосрочных прогнозов малой заблаговременности. Труды НИУ, сер. II, вып. 20. 1946.
4. Пагава С. Т. Определение границ естественного синоптического периода. Метеорол. и гидрол., № 6. 1948.
5. Пагава С. Т. Повторяемость некоторых типов синоптических процессов. Метеорол. и гидрол., № 6. 1951.
6. Педь Д. А. Определение границ макропроцессов при помощи индекса циркуляции. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
7. Педь Д. А., Альтвергер Р. М. О прогнозе циркуляционных особенностей макропроцессов. Труды ЦИП, вып. 64. 1958.
8. Педь Д. А., Блинникова З. Г. Об определении компонентов высотных деформационных полей естественных синоптических периодов. Метеорол. и гидрол., № 10. 1953.
9. Погосян Х. П. Сезонные колебания общей циркуляции атмосферы. Труды ЦИП, вып. 1 (28). 1947.
0. Погосян Х. П., Савченкова Е. И. О числовом выражении вида атмосферной циркуляции. Метеорол. и гидрол., № 3. 1950.
1. Рафаилова Х. Х. Влияние Арктики на особенности меридиональной циркуляции над Европой и Западной Сибирью. Труды ЦИП, вып. 49. 1957.
2. Рафаилова Х. Х. Применение ежедневных карт аномалии от 500 до 1000 к прогнозам на три дня. Труды ЦИП, вып. 64. 1958.

43. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть I, Гидрометиздат. Л. 1955.
44. Рождественский А. А. Исследование синоптических процессов, связанных с осуществлением карских воздействий на основе изменения индексов циркуляции. Труды ГГО, вып. 55 (117). 1955.
45. Семенов В. Г. Использование средних карт относительной топографии при долгосрочных прогнозах погоды. Метеорол. и гидрол., № 1951.
46. Семенов В. Г. Влияние подстилающей поверхности на формирование атмосферных процессов. Труды ЦИП, вып. 35 (62). 1954.
47. Таборовский Н. Л. Преобразование высотного барического периода и смена естественных синоптических периодов. Труды НИУ ГУГА, сер. II, вып. 3. 1943.
48. Хазова О. Н. К вопросу прогноза высотных барических систем в элементарном синоптическом процессе. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
49. Храбров Ю. Б. Прогноз волн холода в Средней Азии на естественный синоптический период. Труды ЦИП, вып. 19 (46). 1949.
50. Храбров Ю. Б. О прогнозах на естественный синоптический период. Метеорол. и гидрол., № 6. 1955.
51. Храбров Ю. Б. Основные черты развития синоптических процессов в естественных синоптических периодах. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
52. Храбров Ю. Б. Прогноз циркуляционных условий однородного макросиноптического процесса. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
53. Чапыгина Н. М. Использование температурного поля AT_{500} для прогноза высотных барических образований следующего элементарного синоптического процесса. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
54. Шишков В. Г. Об естественном синоптическом периоде. Труды ГГО, вып. 27. 1939.
55. Шишков В. Г. Роль некоторых признаков текущего естественного синоптического периода для прогноза следующего естественного синоптического периода. Метеорол. и гидрол., № 4. 1955.
56. Штабова А. И. К вопросу о способе составления прогноза погоды на 3 дня. Труды ЦИП, вып. 63. 1957.
57. Baur F. Zur Messung des allgemeinen Luftkreislaufes in der gemäßigten Zone. Annalen der Hydrographie und Maritime Meteorologie, August. 1933.
58. Baur F. Einführung in die Grosswetterkunde Wiesbaden, 1947.
59. Hawkins H. The weather and circulation of October 1956. Including a discussion of the relationship of mean 700 mb height anomalies to sea level pressure. Monthly weather Rev., 84, № 10. 1956.
60. Namias J. Extended forecasting by mean circulation methods. U. S. Weather Bureau, Washington, D. C. 1947.
61. Petterssen Sv. Some aspects of general circulation of the atmosphere. Centenary Proceedings of the Royal Meteorol. Society. 1950.
62. Rodewald M. Zur Frage der allgemeinen Zirkulation im strengen Winter 1928/1929. Annalen der Hydrographie..., Dezember. 1937.
63. Rossby C. G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semipermanent centers of action. Journ. Marine Res., № 2. 1939.
64. Wagner A. Zur Bestimmung der Intensität der allgemeinen Zirkulation. Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie, April. 1938.
65. Final report of the weather Bureau — M. I. T. Extended Forecasting project for the final year, July 1, 1946 — June 30, 1947. Cambridge, Mass. M. I. T., 1947.