

А. С. Зверев

Синоптическая метеорология

**2-е издание, дополненное и
переработанное**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
А11

A11 **А. С. Зверев**
Синоптическая метеорология: 2-е издание, дополненное и переработанное /
А. С. Зверев – М.: Книга по Требованию, 2012. – 711 с.

ISBN 978-5-458-26905-6

ISBN 978-5-458-26905-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

При подготовке второго издания учебника (первое издание вышло в 1968 г.) автор стремился учесть новые достижения метеорологической науки в той мере, в какой это необходимо в учебных целях. Как и в предыдущем издании, особое внимание уделяется разъяснению физической сущности атмосферных процессов в доступной для студентов форме.

Поскольку синоптическая метеорология имеет определенную практическую направленность, значительное внимание уделено приемам прогноза синоптического положения и условий погоды. Часть материала включена в учебник по методическим соображениям для связности изложения и облегчения понимания последовательных разделов курса. Однако автор избегал дублирования смежных курсов (динамической метеорологии, численных методов прогноза, долгосрочных прогнозов погоды и других), хотя абсолютное разграничение с этими взаимосвязанными и дополняющими друг друга курсами невозможно и вряд ли нужно. Важнейшим дополнением к учебнику является Практикум по синоптической метеорологии¹.

Быстрое развитие синоптической метеорологии, численных методов прогноза погоды, космических методов исследования атмосферы, технических средств сбора и обработки метеорологической информации должно учитываться в процессе преподавания. Несомненно, каждый лектор найдет возможность дополнить учебник изложением новых данных и исключить устаревший материал. Особое значение имеет изучение официальных Руководств по краткосрочным прогнозам погоды и Наставлений по службе прогнозов погоды, материал которых использован при подготовке учебника.

Автор надеется, что новое издание учебника окажется полезным не только для студентов гидрометеорологических институтов и других вузов, но и для более широкого круга читателей — работников службы погоды, работников смежных специальностей, а также желающих ознакомиться с основами современной синоптической метеорологии.

А. С. Зверев

¹ Практикум по синоптической метеорологии и учебный синоптический атлас. Под ред. А. С. Зверева. Л., Гидрометеониздат, 1972.

Раздел первый

СИНОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД

(Основные объекты
синоптического метода)

Синоптическим методом изучения и предсказания погоды называется метод, основанный на анализе синоптических карт.

Глава 1

ПРЕДМЕТ СИНОПТИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

1.1. Определения. Синоптический метод

*Синоптической*¹ *метеорологией* называется наука, изучающая закономерности развития атмосферных процессов в целях предсказания (прогноза) погоды.

Погодой называется состояние атмосферы в определенный момент или промежуток времени над любым пунктом или районом земного шара. Погода характеризуется совокупностью значений метеорологических величин, важнейшими из которых являются давление, температура и влажность воздуха, ветер, облачность, атмосферные осадки, и особых явлений, таких, как туман, гроза, метель, пыльная (песчаная) буря и др.

Изменения погоды можно предвидеть, как правило, только на основе изучения распределения метеорологических величин над географическими районами глобального масштаба, т. е. сопоставимыми с размерами океанов и континентов. Для анализа погоды в глобальном масштабе на географические карты специальными условными знаками и цифрами наносятся значения метеорологических величин, а также особые явления погоды, определяемые в единый момент времени на обширной сети метеорологических станций. Такие карты получили название *синоптических карт*. В настоящее время вместо термина «синоптическая карта» применяется термин «карта погоды».

Карты погоды составляются как по наблюдениям у поверхности Земли, так и по аэрологическим наблюдениям для различных уровней или поверхностей. Это дает возможность проводить трехмерный анализ.

Синоптические карты дали название *синоптическому методу* изучения и предсказания погоды, основанному на выявлении физических закономерностей развития атмосферных процессов с помощью карт.

¹ Термин «синоптическая» происходит от греческого слова «синоптикос», означающего «одновременно обозревающий».

Синоптический метод является мощным средством изучения атмосферных процессов крупного масштаба. Являясь географическим по форме, этот метод имеет глубокую физическую сущность: он позволяет на основе законов физики атмосферы исследовать и выявлять причины изменения погоды.

Синоптический метод постоянно развивается и совершенствуется, при этом происходит постепенный переход от качественных форм анализа и прогноза к количественным. В настоящее время он получает новое содержание в связи с созданием объективных форм анализа и гидродинамических (численных) методов прогноза полей метеорологических элементов.

Основным приемом синоптического анализа является сопоставление характеристик погоды, нанесенных на карты погоды. При этом сопоставляются:

- 1) значения одной и той же метеорологической величины в разных пунктах, на разных высотах за один и тот же момент времени;
- 2) значения различных метеорологических величин в одном и том же пункте, в разных пунктах и на разных высотах за один и тот же момент времени;
- 3) значения одного или различных метеорологических элементов в последовательные моменты времени как в одном, так и в разных пунктах.

Основными принципами синоптического анализа являются:

1. *Комплексность анализа.* Характеристики погоды анализируются не изолированно, а в комплексе, совместно — с учетом их взаимосвязи и взаимообусловленности.

2. *Трехмерность анализа.* Рассматриваются свойства атмосферы не на одном уровне в горизонтальной плоскости, а в значительной толще атмосферы на различных уровнях (тропосфера и нижняя стратосфера).

3. *Историческая последовательность анализа.* Проводится согласование анализа данной карты погоды с анализом предыдущих карт. Процессы, протекающие в атмосфере, обычно имеют значительную длительность и могут прослеживаться по последовательным картам погоды. При правильном анализе не должна нарушаться логическая последовательность развития атмосферных процессов.

Важнейшими достоинствами синоптического метода являются его наглядность и оперативность.

На одну карту можно нанести сведения о погоде в большом географическом районе, на полушарии или даже на всем земном шаре. Соответственно можно дать прогноз погоды по любому району земного шара, в том числе весьма удаленному от места составления прогноза. Это очень важно, например, для оперативного обеспечения полетов самолетов по авиатрассам большого протяжения.

«Тальнодействие» синоптического метода позволяет с помощью современных средств связи обслуживать народное хозяйство всей страны информацией о погоде и прогнозами погоды из сравнительно

небольшого числа прогностических центров, что имеет важное экономическое значение.

Синоптический метод позволяет более или менее успешно преодолевать трудности, связанные с *недостаточностью метеорологической информации, ее прерывистостью в пространстве и во времени*. Это достигается путем *интерполяции* — нахождения промежуточного значения метеорологического элемента по его значениям на двух или нескольких метеорологических станциях и *экстраполяции* — нахождения предполагаемого значения метеорологического элемента за пределами области, где значения этого элемента известны. Интерполяция и экстраполяция могут осуществляться в пространстве (по горизонтали или вертикали) и во времени (между сроками наблюдений и за их пределами). Интерполяция и экстраполяция осуществляются тем успешнее, чем проще закономерность изменения данного метеорологического элемента в пространстве или во времени.

Конечно, не все явления погоды попадают в поле зрения метеорологических станций, удаленных друг от друга на десятки, сотни, а иногда и тысячи километров. Специфика синоптического метода состоит в том, что он приспособлен к анализу крупно-масштабных атмосферных процессов или, как говорят, процессов синоптического масштаба, охватывающих по горизонтали сотни и тысячи километров.

Для анализа мезомасштабных процессов (ливни, грозы, град и др.), охватывающих по площади всего несколько десятков квадратных километров, необходима очень густая сеть станций с большой частотой наблюдений, что практически неосуществимо. В связи с этим для наблюдения за такими процессами используют дополнительные средства, такие, как радиолокационные метеорологические станции и метеорологические ИСЗ с аппаратурой высокого разрешения.

В зависимости от особенностей решаемой задачи синоптический метод имеет различные формы. Так, например, имеются существенные различия в применении синоптического метода для краткосрочных (на срок до двух суток) и долгосрочных прогнозов погоды. В данной книге рассматриваются вопросы краткосрочных прогнозов погоды.

1.2. Основные понятия синоптической метеорологии

Погода и ее изменения связаны с атмосферной циркуляцией (совокупностью воздушных течений синоптического масштаба). При всей сложности атмосферной циркуляции в ней можно выделить вполне определенные структурные элементы — барические системы, атмосферные фронты и воздушные массы. Именно эти элементы являются основными объектами синоптического анализа, поэтому их называют *синоптическими объектами*.

Барическими системами называются области пониженного и повышенного атмосферного давления, образующиеся в связи с неод-

нородностью его распределения. Поскольку поле давления тесно связано с полем ветра, барическим системам присуще характерное распределение воздушных течений. Совокупность барических систем образует *барический рельеф* (рис. 1.1).

Барические системы выявляются на картах погоды путем проведения изолиний $p = \text{const}$, называемых *изобарами*. К областям пони-

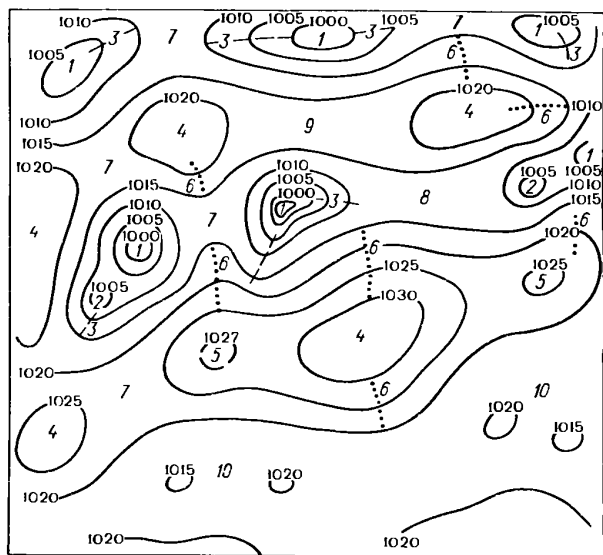


Рис. 1.1. Формы барического рельефа на приземной карте погоды.

1 — циклоны, 2 — вторичные циклоны, 3 — ложбины (— — — ось ложбины), 4 — антициклоны, 5 — отроги (— — — ось гребня), 6 — гребни (..... ось гребня), 7 — седловины, 8 — перемячка пониженного давления, 9 — перемячка повышенного давления, 10 — размытое барическое поле.

женного давления относятся циклоны и ложбины, к областям повышенного давления — антициклоны и гребни (отроги).

Циклон — область пониженного давления с минимальным его значением в центре. Изобарические поверхности в циклоне понижаются от периферии к центру, т. е. имеют вид неправильной воронки, обращенной выпуклостью вниз. Изобары в циклоне замкнуты, форма их различна. Чаще всего эта форма близка к овальной. Диаметр (горизонтальная ось) циклона достигает 100—3000 км, вертикальная мощность — 15—20 км. Давление в центре циклона в умеренных широтах меняется от 950 до 1030 мбар. В среднем давление в центре циклона (глубина циклона) составляет 1000 мбар.

Циклоны, возникающие в тропиках, нередко имеют давление в центре 900 мбар и ниже.

Циклону свойственна своя система воздушных течений. В поле течений (поле ветра) циклон — гигантский вихрь. В слое трения центр циклона является точкой сходимости воздушных течений, т. е. поле движения состоит из двух простых полей: кругового (в северном полушарии против часовой стрелки, в южном — по часовой

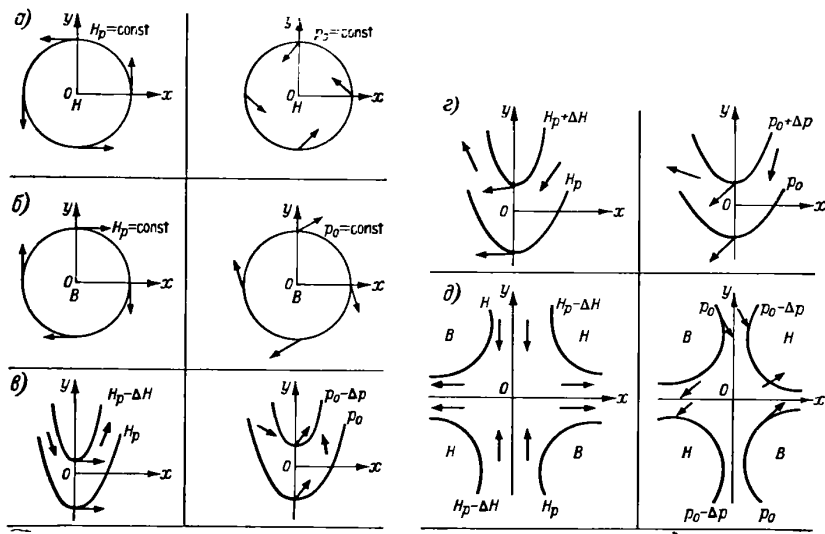


Рис. 1.2. Схемы направления ветра в свободной атмосфере (слева от оси) и в приземном слое (справа от оси).

H — циклон, B — антициклон.

стрелке) и стока. В свободной атмосфере ветер близок к градиентному, т. е. линии тока почти совпадают с изобарами (изогипсами). В циклоне преобладают восходящие движения воздуха. Погода чаще всего облачная, с осадками. Поля давления и ветра в циклоне схематически представлены на рис. 1.2 а.

Ложбина — область пониженного давления, расположенная между двумя областями повышенного давления. Часто это вытянутая периферия циклона (например, V-образная ложбина). Линия в области ложбины, представляющая геометрическое место точек с пониженным давлением, называется ее *осью*. Изобарические поверхности в ложбине понижаются от периферии к оси, т. е. имеют вид лотка, обращенного выпуклой частью вниз. Поле воздушных течений в ложбине имеет циклонический характер, причем в слое трения ось ложбины является линией сходимости воздушных течений (рис. 1.2 а). В ложбине преобладают восходящие движения воздуха и облачная, часто с осадками погода.

Антициклон — область повышенного давления с максимальным его значением в центре. Изобары в антициклоне замкнуты. Изобарические поверхности повышаются от периферии к центру, т. е. имеют вид неправильного купола. Размеры антициклонов сравнимы с размерами циклонов. Антициклон также гигантский воздушный вихрь с циркуляцией в северном полушарии по часовой стрелке, а в южном — против часовой стрелки. В слое трения центр антициклона — точка расходимости линий тока. В свободной атмосфере линии тока почти совпадают с изобарами. В антициклоне преобладают нисходящие движения воздуха и малооблачная погода. Поля давления и воздушных течений в антициклоне даны на рис. 1.2 б.

Гребень — область повышенного давления между двумя областями пониженного давления. Часто это вытянутая периферийная часть антициклона. Линия в области гребня, представляющая геометрическое место точек с наибольшим давлением, называется *осью гребня*. Изобарические поверхности повышаются от периферии к оси гребня, т. е. имеют вид лотка, обращенного выпуклой частью вверх. В слое трения ось гребня является линией расходимости воздушных течений (рис. 1.2 г). В гребне преобладают нисходящие движения воздуха и малооблачная погода.

Отрог — сильно развитый гребень часто с самостоятельной замкнутой изобарой.

Седловина — область, заключенная между двумя накрест лежащими циклонами и двумя антициклонами (рис. 1.2 д). Изобарические поверхности имеют вид седла — они повышаются в сторону антициклонов и понижаются в сторону циклонов. Для седловины характерны слабые ветры.

В системе атмосферной циркуляции можно выделить огромные, относительно однородные по условиям погоды *воздушные массы*. Горизонтальные размеры воздушных масс имеют порядок 10^3 — 10^4 км, вертикальные — несколько километров. Воздушная масса, циркулируя длительное время над определенным географическим районом, называемым очагом ее формирования, приобретает физические свойства, характерные в данное время для этого района, т. е. характерные горизонтальное и вертикальное распределения температуры и влажности, поля облачности и осадков, особые явления и т. д.

Перемещение воздушных масс в другой географический район обуславливает изменение погоды в нем. Естественно, что в процессе перемещения воздушной массы и последующей ее «стабилизации» в новом географическом районе постепенно меняются ее прежние свойства, в результате чего воздушная масса одного типа превращается в воздушную массу другого типа. Процесс изменения свойств воздушной массы называют *трансформацией*.

Атмосферными фронтами называют узкие переходные зоны между соседними теплой и холодной воздушными массами, которые характеризуются резкими изменениями погоды. Если, например, в самих воздушных массах температура по горизонтали меняется

медленно (постепенно), то в зоне атмосферного фронта она изменяется резко (скачкообразно).

Атмосферный фронт трехмерный объект; он наклонен под острым углом к горизонту таким образом, что холодный воздух в виде клина располагается под теплым.

В приземном слое ширина переходной зоны, отождествляемой с атмосферным фронтом, обычно не превышает 100 км. Поэтому при принятом масштабе карт погоды атмосферный фронт обозначается линией. В вертикальной плоскости толщина переходной зоны не превышает, как правило, 1 км. Таким образом, переходный слой можно представить как поверхность, которая называется *фронтальной*. Угол наклона фронтальной поверхности к горизонту не превышает 1° .

Хорошо выраженные атмосферные фронты обычно связаны с циклонами и ложбинами, так как именно здесь отмечаются большие контрасты метеорологических величин и прежде всего температуры.

Атмосферные фронты, распространяющиеся на всю тропосферу или большую ее часть, называют *тропосферными* или *высокими фронтами*. В отличие от них фронты, распространяющиеся только на пограничный слой воздуха, называют *приземными* или *низкими фронтами*.

Различают фронты теплые, холодные и стационарные (мало-подвижные). *Теплым* называется фронт, перемещающийся в сторону холодной воздушной массы; *холодным* фронт, перемещающийся в сторону теплой воздушной массы; *стационарным* фронт, не изменяющий существенно своего положения. Перемещение фронтов определяется системой воздушных течений.

У фронтальной поверхности в теплом воздухе обычно развиваются устойчивые восходящие движения воздуха, с чем связано образование *фронтальной системы облаков* и выпадение *фронтальных осадков*.

С прохождением атмосферных фронтов через определенный пункт или район связаны наиболее резкие непериподписные изменения погоды в этом пункте или районе. Если добавить, что возникновение и развитие циклонов происходит, как правило, на атмосферных фронтах, то станет понятным, почему выявление фронтов на картах погоды является важнейшей задачей синоптического анализа.

В пределах тропосферы и нижней стратосферы существуют переходные зоны между высокими холодными циклонами и высокими теплыми антициклонами. Эти переходные зоны получили название *высотных фронтальных зон* (ВФЗ). Длина ВФЗ имеет порядок 10^3 — 10^4 км, а ширина — 10^2 — 10^3 км. Вертикальная мощность ВФЗ составляет несколько километров. Особенно отчетливо ВФЗ прослеживается в слое от 3 до 12 км. ВФЗ обычно связана с одним или несколькими тропосферными (высокими) фронтами. Характеризуется она значительными горизонтальными градиентами температуры и давления и значительной скоростью ветра (100 км/ч и более). ВФЗ

играют существенную роль в образовании и развитии барических систем.

В данном разделе лишь схематично рассмотрены основные синоптические объекты. Более подробно каждый из них будет изучен в дальнейшем. Однако здесь важно подчеркнуть, что воздушные

массы, атмосферные фронты, циклоны и антициклоны являются носителями определенных типов погоды, а синоптический анализ этих звеньев общей циркуляции атмосферы является ключом к пониманию изменений погоды и ее предсказанию.

I

$(T_g T_g)$	$(T_e T_e)$	C_H	(E_s)	
	TT	C_M	PPP	
VV	ww	N	pp	a
	$T_d T_d$	$C_L N_h$	W	
			(RR)	

dd ff

1.3. Средства синоптического анализа и прогноза погоды. Принципы составления карт погоды

Для анализа атмосферных процессов и прогноза погоды используются различные средства.

1. Карты погоды: а) приземные, б) высотные.

2. Диаграммы и графики: а) аэрологические диаграммы, б) вертикальные разрезы, в) вспомогательные номограммы, таблицы и графики.

Приземные карты погоды составляются путем нанесения данных, содержащихся в метеорологических телеграммах. Порядок нанесения данных и применяемые условные знаки (символы) определяются соответствующими Наставлениями по службе погоды.

На рис. 1.3 приведена схема нанесения метеорологических данных на карту погоды, применяемая с 1974 г., а на рис. 1.4 — таблица условных знаков, соответствующих цифрам синоптического кода.

II

	$(T_e T_e)$	C_H		$I_s E_s E_s R_s$
	TT (t_r)	C_M	PPP	
VV	ww	N	pp	a
	$T_d T_d$	$C_L N_h$	W	
	$T_s T_s$ или $T_w T_w T_w$	$(P_w P_w H_w H_w)$	(RR) $D_s V_s$	

dd ff

$(d_w d_w P_w H_w H_w)$

Рис. 1.3. Размещение элементов вокруг символов станций. Схемы I и II.