



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, экологии и экономического обеспечения деятельности  
предприятий природопользования

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)  
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология  
(квалификация – бакалавр)

На тему «Грозы холодного периода на Черноморском побережье»

Исполнитель Куклина Мария Ивановна

Руководитель д.г.н., профессор Яйли Ервант Аресович

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Туапсе  
2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Физико-географические и климатические характеристики Черноморского побережья Кавказа .....	5
1.1 Геофизическое описание исследуемой территории (г.Сочи).....	5
1.2 Краткое описание климатических характеристик территории (г.Сочи). 9	
2 Особенности формирования грозовых явлений на Черноморском побережье Кавказа.....	15
2.1 Условия формирования грозовой деятельности в холодный период года .....	15
2.2 Анализ грозой активности, её распределения в холодный период, годовой и суточный ход .....	33
3 Методы и средства исследования, прогнозирования характеристик грозовой деятельности .....	38
3.1 Прогностический метод и типы синоптических процессов грозовой деятельности Черноморского побережья Кавказа.....	38
3.2 Методы исследования характеристик грозовой деятельности радиотехническими средствами .....	47
Заключение .....	53
Список использованной литературы.....	56

## Введение

В метеорологии грозу принято рассматривать, как комплексное атмосферное явление. Гроза обычно сопровождается громом и молнией, а также шквалом, ливневыми осадками, нередко градом. Все эти атмосферные явления могут достигать критериев опасного гидрометеорологического явления, а в сочетании между собой образовывать комплекс неблагоприятных условий погоды. Что в последствии может принести к высокой человеческой смертности, а также серьёзный материальный ущерб всем сферам жизнедеятельности человека: транспортно-промышленный оборот, космическую деятельность, работу линий электропередач, радиосвязь, промышленную и гражданскую инфраструктуру, лесное и сельское хозяйство.

Системные наблюдения, и статистические расчёты, показывают, что высокий коэффициент суммарного ущерба от грозовой деятельности, вызван тем, что грозы наблюдаются по всему миру, в любое время года и суток. Одновременно на земле фиксируется около 1900 случаев грозового явления [3, с.51]. Однако необходимо отметить, что на планете они распределяются неравномерно. Над водной поверхностью гроз наблюдается меньше, чем над материками, в связи с этим, их повторяемость над земной поверхностью гораздо выше, чем над водными пространствами. Что касается сезонного распределения гроз, то на большей части территории России грозы активнее наблюдаются в летний период, чем зимой. Тем не менее на Черноморском побережье Кавказа грозовая деятельность отмечается в независимости от сезона, но при этом количество зимних гроз составляет только 20% от всех зафиксированных случаев. Около 60% от общего числа гроз приходится на послеполуденные часы, наименьшая частота — в ночные часы 10%.

Диаметр гроз в среднем составляет 1 км, диапазон колеблется от 0,5 до 10 км. При своём прохождении грозы затрагивают пространство площадью от 500 до 2500 км<sup>2</sup>.

Актуальность работы заключается в том, что человеку необходимо

учитывать масштабы и интенсивность грозовой деятельности, в связи с тем, что она активно оказывает влияние на жизнедеятельность человека, в том числе на промышленность и сельское хозяйство, дорожно-транспортную деятельность и линии электросвязи.

Объект исследования — грозовая деятельность.

Предмет исследования — анализ грозовой деятельности в холодный период года, условий их образования на Черноморском побережье Кавказа.

Целью работы является изучение характеристик грозовой активности в холодный период, а также выявление региональных особенностей их формирования.

Задачи работы можно сформулировать следующим образом:

1. Ознакомиться с физико-географическими особенностями и климатическими характеристиками Черноморского побережья Кавказа;
2. Рассмотреть условия формирования грозовой облачности, сопутствующие метеорологические явления;
3. Выделить типовые синоптические положения формирования грозовой деятельности;
4. Проанализировать данные о распределении и частоте возникновения грозы в холодный период на Черноморском побережье Кавказа.

# 1 Физико-географические и климатические характеристики Черноморского побережья Кавказа

## 1.1 Геофизическое описание исследуемой территории (г.Сочи)

Кавказ представляет собой горный регион, который омывается с запада Чёрным и Азовским морями, а с востока — Каспийским. Северной границей Кавказа принято считать Кумо-Манычскую впадину, ранее соединявший Чёрное море и Каспий. Южная граница — находится в месте, где Армения, Азербайджан и Грузия граничат с Ираном и Турцией (рисунок 1.1).

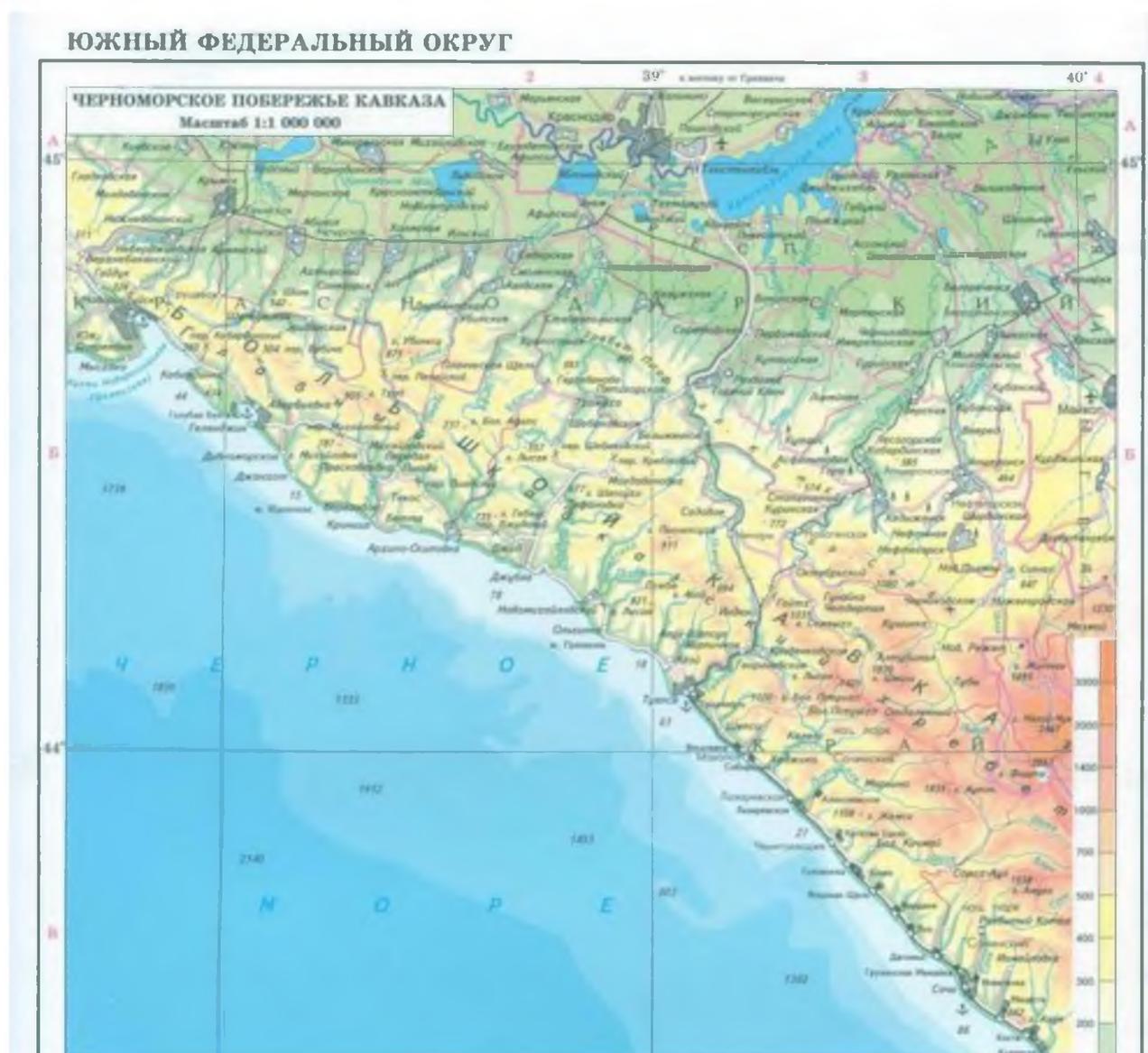


Рисунок 1.1 — Физическая карта Черноморского побережья России [17, с.115]

Орография Кавказа обусловлена наличием мощной горной системы —

Большого Кавказа. Главный Кавказский хребет отделяет Северный Кавказ от Закавказья, а также является основным водораздельным хребтом. Севернее Главного Кавказского хребта расположен Передовой хребет. Высшая точка которого — г. Эльбрус (5642 м) – располагается в Ставропольском крае.

Черноморское побережье Краснодарского края по своему рельефу и происхождением тесно связано с близлежащими хребтами, однако побережье с его природой средой отличается от природы высоких гор Большого Кавказа. Горная часть Краснодарского края и республики Адыгея относится к горной системе Большой Кавказ и его условному подразделению Западный Кавказ, который начинается своей северо-западной оконечностью у станицы Гостагаевская и замыкается высшей точкой Большого Кавказа г. Эльбрус. Так же из Западного Кавказа часто выделяют Северо-западный Кавказ, простирающийся от западной оконечности Большого Кавказа до г. Фишт. Таким образом, Северо-западный Кавказ целиком и часть Западного Кавказа находится в пределах Краснодарского края и республики Адыгея.

Для Черноморского побережья Кавказа характерна частая повторяемость гроз круглогодично. В связи с этим, точное и своевременное прогнозирование и диагностика грозových явлений для данной местности особенно актуальны.

Сочи по административному делению относится к Краснодарскому краю и включает в себя четыре самостоятельных района: Адлерский, Хостинский, Центральный и Лазаревский.

Общая протяжённость города вдоль узкой полосы побережья около 150 км, максимальная ширина составляет 20-30 км. Естественными границами города являются: на юго-востоке (Адлерский район) – река Псоу, за которой простирается Гагринский хребет, перпендикулярно подступающий к берегу; на северо-западе (Лазаревский район) граничит с Туапсинским районом по реке Шепси; на севере, северо-востоке и востоке граница города проходит по предгорьям Главного Кавказского хребта; на западе, юго-западе и юге границей города служит берег Чёрного моря.

Территория города изрезана рядом поперечных хребтов с боковыми

ответвлениями различной высоты, отделяющихся от Главного Кавказского хребта и служащих водоразделами отдельных речных систем. Такой рельеф создаёт весьма сложную комбинацию ряда площадок различной высоты, размеров и взаимных положений относительно друг друга. Низменное побережье сменяется прилегающими поднятиями до высоты 300-400м, местами 550м над уровнем моря.

Рельеф района резко изменяется по высоте при движении с северо-запада на юго-восток. Из общей площади города, 40% её относительно понижена, представляет собой как бы «всхолмлённую» равнину, располагающуюся преимущественно в прибрежной части в виде небольших разобщенных участков, занимающих дно речных долин или же приуроченных к морским террасам [30, с. 221]. Около 45% площади города составляет предгорье высотой от 100 до 550м, 15% приходится на горную часть рельефа в окрестности города, местами выходящую непосредственно к берегу моря.

Адлерский район расположен в низменной долине, в междуречье Псоу-Мзымта-Кудепста, высотой 13 м над уровнем моря и площадью 1500 гектар.

Хостинский район расположен в долине реки Хоста. Эта долина имеет V-образную форму, с востока ограничена возвышенностями, высота которых достигает 200-500 м. Склоны долины крутые, изрезаны балками и оврагами. Населённый пункт спланирован на пойме реки Хоста, которая повышена насыпным грунтом.

Центральный район Сочи расположен в трапециевидной долине реки Сочи, на умеренно крутых (высотой до 50 м) склонах и по дну долины.

Лазаревский район (от Дагомыса до п. Аше) имеет протяжённость вдоль берега 70 км. Он очень разбросан, пересечён несколькими реками. Основные из них: Западный Дагомыс, Шахе, Псезуапсе, Куапсе, Аше, Макопсе, Шепси. Территория района представляет собой чередование речных долин и холмов, переходящих в горы различной высоты. Склоны долин изрезаны поперечными оврагами и балками.

В предгорьях Главного Кавказского хребта, в районе Сочи, характерные

вершины Оштен (2804 м) и Фишт (2867 м) на удалении до 40 км. К востоку от Адлера гора Чугуш (3238 м). Эти высоты достигают снеговой линии и играют роль барьера от проникновения холодных масс воздуха с севера и северо-востока. Одновременно они задерживают на побережье тепло и влагу, создавая высокую влажность воздуха в приземном слое тропосферы, обилие осадков и активную грозовую деятельность [13, с.306].

Вся прибрежная полоса города представляет собой предгорья хребтов в сочетании с небольшими долинами и отличается большой неровностью и изрезанностью реками и речками, впадающими в Чёрное море. Основные из них на территории города Большой Сочи: Шепси, Макопсе, Аше, Куапсе, Псезуапсе, Шахе, Дагомыс, Сочи, Хоста, Мацеста, Кудепста, Мзымта. Основное питание рек происходит за счёт грунтовых вод, от тающего снега и ледников в горах, а также за счёт осадков. Реки на климат города значительного влияния не оказывают.

Почвы довольно разнообразны и имеют ярко выраженную вертикальную зональность. На побережье залегают желтозёмные, выше – бурые, подзолистые почвы, ближе к горам горно-луговые и маломощные примитивные горные почвы. Всхолмлённые равнины покрыты суглинистыми почвами. Общей особенностью почв является их малая мощность, около 0,3-0,4 м. Во многих местах почвенный слой едва прикрывает скальный грунт. По поймам рек грунт илисто-песчаный и илисто-гравелистый.

Растительность преобладает вечнозелёная. Прибрежная полоса покрыта лесом, богатой травянистой и вечнозелёной декоративной растительностью: эвкалипты, кипарисы, тис и кустарниками: падубом, лавровишней, рододендронам, самшитом лианами. Здесь растут представители тропиков и субтропиков: веерные и другие пальмы, декоративный банан, магнолия, бамбук, пробковый дуб, цитрусовые (апельсины, мандарины,) фейхоа, инжир, хурма, олеандр, камелия, юкка, агавы и др. [1, с.49]. С удалением от побережья в горы наблюдается смена растительных видов: на высоте 500-1100 м простирается зона смешанного широколиственного леса (дуб, граб, каштан,

орех) без подлеска и травяного покрова. Выше господствующей породой становится бук, кавказская пихта, субальпийское криволесье из бука, горного клёна, низкорослой горной сосны, пушистой берёзы, рябины, ивы. На желтозёмах побережья растут богатейшие сады вечнозелёных южных культур.

Особое место при рассмотрении физико-географических особенностей Большого Сочи отводится Чёрному морю, с которым связаны все основные климатообразующие факторы. Максимальная глубина Чёрного моря 2210 -2258 м. В некоторых местах уже на удалении 5 км от берега глубина может достигать 500-700 м. Наибольшая длина моря 1148 км, максимальная ширина 600 км, минимальная 258 км.

Чёрное море является незамерзающим в течение всего года, но в отдельные, аномально холодные зимы, оно покрывается у северных берегов неустойчивым ледяным покровом. Абсолютный минимум температуры воды у восточных берегов отмечался  $+5^{\circ}\text{C}$ , максимум  $+30,1^{\circ}\text{C}$ . Минимум наступает в марте, максимум в августе.

Береговая линия на протяжении города имеет различную конфигурацию: с юга (Адлерский район) имеет незначительную вогнутость в сторону материка, центральная часть города мысом выходит в море, далее к Лазаревскому району береговая линия более прямолинейна.

## 1.2 Краткое описание климатических характеристик территории (г.Сочи)

Сочи относится к зоне влажных субтропиков, являясь наиболее северным районом этой климатической зоны во всём мире. Южное расположение района, наличие незамерзающего моря и отрогов Главного Кавказского хребта оказывают существенное влияние на климат. Это влияние сказывается в том, что все процессы, протекающие с довольно определённой закономерностью на равнинных местах, в данном рельефе претерпевают значительные изменения, которые порой трудно учесть.

Северо-западная часть Кавказского хребта служит непреодолимым

препятствием для вторжения холодного воздуха с севера, северо-востока и востока. Холодные воздушные массы, поступающие со стороны моря, значительно прогреваются над водной поверхностью и приобретают повышенную неустойчивость и увлажнённость, в результате чего наступает длительное ухудшение погоды. Система хребтов Большого Кавказа, наличие долин, ущелий, котловин создают сложную циркуляцию внутри горной системы. В предгорной части Кавказа происходит задержка холодных масс воздуха, «стационирование» атмосферных фронтов и нередко обострение их перед орографическим препятствием.

Вынос тёплого влажного воздуха и его натекание вдоль склонов хребта вызывает осадки обычно за 6-9 часов до прохождения фронта. Интенсивность дождей растёт с ростом высоты гор и по мере перемещения фронтальных разделов к югу. Формирование кучево-дождевых облаков происходит тем интенсивнее, чем больше скорость вертикальных движений воздуха. Условия рельефа благоприятствуют возникновению больших скоростей восходящих движений воздуха, насыщенного влагой.

Резкое изменение погоды наблюдается в холодную половину и переходные периоды года. Огромное влияние рельеф района оказывает на скорость смещения и эволюцию барических образований и фронтов. Особенно характерно задерживающее влияние хребта на массы воздуха за холодными фронтами. В результате этого осадки, связанные с холодными фронтами, наиболее интенсивны и продолжительны, чем связанные с другими фронтами [21, с.47]. Под влиянием Главного Кавказского хребта, при смещении холодных фронтов с севера, резкого похолодания, как правило, не наблюдается, т.к. на холодном фронте происходит образование волн. После образования волны на фронте, последний начинает как бы разворачиваться и воздушные массы проходят уже не с севера, а с запада, предварительно прогревшись над морем в нижних слоях. Волновые возмущения на фронтах существенно влияют на циркуляцию в слое трения и представляют трудности в прогнозировании перемещения фронтов и погодных условий.

Отличительной особенностью холодной половины года является максимальное развитие циклонической деятельности. Чёрное море лежит на пути средиземноморских циклонов. Его высокая температура сама по себе способствует возникновению над ним пониженного давления. Взаимодействие холодных тыловых потоков движущихся средиземноморских циклонов с тёплыми воздушными массами их передней части создаёт резкие контрасты температуры именно в районе Чёрного моря. Поэтому часто над бассейном Чёрного моря наблюдается возникновение новых циклонических возмущений, регенерация затухающих циклонов и выход их на юго-восточные районы страны. Выходы циклонов со Средиземного моря весьма существенно смягчают климат Черноморского побережья Кавказа в зимнюю половину года. Поэтому зима очень тёплая. Средняя многолетняя температура января  $+6^{\circ}\text{C}$ . Днём температура воздуха повышается до  $+5+10^{\circ}\text{C}$ , в отдельные дни  $+15+18^{\circ}\text{C}$ . Иногда могут отмечаться дни с отрицательной температурой воздуха. Похолодания чаще всего бывают вызваны прорывом с северо-востока холодного воздуха через низкие перевалы (район п.Лазаревское) или выносом холодного воздуха с Закавказья. В последнем случае первоначально отрицательные температуры наблюдаются в Сухуми-Гагра, а затем в Адлере-Сочи. Устойчивых же морозов здесь не бывает вообще. Дни с отрицательной среднесуточной температурой воздуха бывают очень редко, но в отдельные зимы, при полярном вторжении холодных антициклонов в южные широты и беспрепятственном обвале холодного воздуха с северо-запада через открытое море, возможны интенсивные похолодания, когда абсолютный минимум в районе Сочи достигает до  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Обычно первые холодные вторжения арктического воздуха на Черноморском побережье Кавказа начинаются с ноября. С ними связаны бывают первые снегопады и слабые заморозки. Длительность безморозного периода в районе Сочи составляет 8-10 месяцев, а вегетационный период продолжается 10-11 месяцев. Устойчивые заморозки начинаются лишь в середине декабря. Зима очень дождливая. Максимум осадков выпадает в

холодный период года. Затяжные и интенсивные дожди зимой отмечаются почти в половине всех дней. Снежный покров лежит лишь в отдельные дни и не ежегодно. Дней с отрицательными среднесуточными температурами насчитывается в среднем четыре, однако в отдельные аномально холодные зимы их бывает больше.

С выносом тёплых и влажных масс воздуха в тёплых секторах циклонов со Средиземного моря, повторяемость которых в холодную половину года составляет 50% всех других синоптических процессов, отмечаются резкие оттепели, которые усиливаются «фёновыми» явлениями. Температура воздуха при фёне зимой может повышаться до  $+17$  —  $+25^{\circ}\text{C}$ . При этом зачастую нарушается нормальный суточный ход температуры воздуха, она может аномально повышаться в ночные часы. Зимой средняя месячная температура поверхности почвы положительная  $+1$  —  $+4^{\circ}\text{C}$ . Максимальная температура поверхности почвы в отдельные дни может повышаться до  $+27^{\circ}\text{C}$ , а минимальная в отдельные зимы понижается до  $-16$  —  $-22^{\circ}\text{C}$ . Это связано с вторжением отрогов сибирского максимума или арктического антициклона.

Устойчивый переход температуры воздуха через  $+5^{\circ}\text{C}$  осуществляется в феврале месяце, но в отдельные годы бывает 1-2 дня со средней суточной температурой воздуха ниже  $+5^{\circ}\text{C}$ . От марта к апрелю температура воздуха повышается всего на  $3,5$ - $6,0^{\circ}\text{C}$  из-за охлаждающего влияния моря и частых морских туманов, уменьшающих приток солнечной радиации. Всё это создаёт впечатление затяжной весны, хотя по температуре воздуха она наступает очень рано.

Туманы возможны, главным образом, в конце зимы и весной – 8-10 дней в году. Гололёды отмечаются только в Лазаревском районе.

Сильные ветры преимущественно наблюдаются зимой. Число дней с сильным ветром ( $15$  м/с и более) составляет 15-20 в году.

В тёплую половину года циркуляция воздушных масс ослаблена, циклоническая деятельность затухает. Погода формируется в основном за счёт трансформации воздушных масс в медленно движущихся Азорских

антициклонах и в местной термической депрессии. Создаются благоприятные условия для порождения местной циркуляции воздуха, нарушаемой изредка при прохождении ложбин и фронтов северо-западных циклонов. При вторжении с запада и северо-запада отмечается пасмурная, с дождями и грозами, погода, кратковременное усиление ветра перед фронтом юго-восточного румба, после прохождения фронта – северо-западного и западного румбов. Со второй половины лета устанавливается область повышенного давления, обуславливающая безоблачную погоду с бризовой циркуляцией.

Средняя температура самых жарких месяцев – июля и августа –  $+23^{\circ}\text{C}$ .

Суховеи и пыльные бури отсутствуют из-за избыточной увлажнённости. Количество осадков за год доходит до 1500 мм.

Отличительной особенностью климата является большая повторяемость ливней и гроз. Грозы наблюдаются, главным образом, с мая по сентябрь (20-30 дней в году). Однако и зимой, при прохождении холодных фронтов и окклюзий по типу холодного фронта, грозы могут быть каждый месяц.

Выделение четырёх сезонов года здесь является искусственным. Средняя месячная температура воздуха весь год выше нуля. Таким образом, выраженный зимний период фактически отсутствует. Поэтому внутри года целесообразно выделять два периода: холодный – ветренный, пасмурный, дождливый и тёплый – относительно сухой и ясный, с преобладанием местной бризовой циркуляции.

Климатообразующая роль местной циркуляции на побережье велика. Зимой и весной, в связи с усилением градиентных ветров, местная циркуляция проявляется гораздо слабее. Ветровой режим здесь складывается из общей, горно-долинной, фёновой и бризовой циркуляции. Бризы днём в приземных слоях дуют с моря на сушу, ночью – наоборот. Верхнее компенсирующее течение имеет обратное направление: днём с суши на море, ночью – с моря на сушу. Установление бризовой циркуляции, как и развитие горно-долинных ветров, обычно всегда наблюдается при устойчивой антициклональной погоде с малыми горизонтальными барическими градиентами. Бризовая циркуляция

наиболее резко проявляется летом и осенью. Скорость береговых бризов меньше морских.

Горно-долинные ветры также здесь имеют место и являются одной из типичных климатических особенностей горных районов. Днём они дуют вверх по долинам и склонам (долинные ветры), ночью – в обратном направлении (горные ветры). Суточная их периодичность наиболее выражена в сезоны с ослабленной общей циркуляцией, т.е. осенью и летом.

Расположение города в относительно низких широтах обуславливает интенсивный приток солнечной радиации, обилие солнечного света и тепла. Продолжительность солнечного сияния составляет 2000-2400 часов в год.

## 2 Особенности формирования грозовых явлений на Черноморском побережье Кавказа

### 2.1 Условия формирования грозовой деятельности в холодный период года

Грозы на Черноморском побережье Кавказа в основном бывают фронтального и внутримассового характера. Типичные синоптические положения для формирования внутримассовых гроз, связывают с различного вида циклонической деятельности.

В холодное время года характерна активизация западного типа циклонов, что связано напрямую с активизацией циклонической деятельности над Северной Атлантикой.

По траекториям перемещения западные циклоны могут быть подразделены на четыре подтипа:

- 1) циклоны перемещаются по северным районам ЕТР ( $65-70^0$  с.ш.);
- 2) над центральными районами ЕТР ( $55^0$  с.ш.);
- 3) над южными районами ЕТР и Украиной ( $40-45^0$  с.ш.);
- 4) циклоны, перемещающиеся с меридиональной составляющей, так называемые «ныряющие» циклоны.

При первых двух подтипах влияние на погоду Черноморского побережья Кавказа оказывают ложбины и атмосферные фронты, связанные с этими циклонами.

При третьем и четвертом подтипе – влияние непосредственно самих циклонов и атмосферных фронтов.

При западных процессах высотному барическому полю соответствуют наиболее сглаженные контуры, т.е. наибольшая зональность воздушных течений в средней тропосфере.

Исключение составляют «ныряющие» циклоны, когда резко выражены гребни и ложбины (рисунок 2.1).

Циклоны, перемещающиеся над южными районами ЕТР и Украиной ( $40-$

45<sup>0</sup> с.ш.) являются, как правило, вторичными циклонами, возникающими на волне полярного или арктического холодного фронта, связанного с циклоном, перемещающимся над северными районами ЕТР.



Рисунок 2.1 — Типовые траектории западных циклонов

Таким образом, возникновение фронтальных гроз на Черноморском побережье Кавказа непосредственно связано с прохождением фронтальных систем. Грозы, формирующиеся на холодном фронте, наиболее часто встречаются в исследуемом регионе.

Возникают из-за активного восхождения теплого воздуха перед вторгающимся клином холодного воздуха. Отметим что, чем больше контраст температур и чем больше влагосодержание воздуха, тем интенсивнее протекает процесс образования кучево-дождевой облачности, тем самым вероятность сильных гроз с градом [29, с.330]. Особенно интенсивными бывают грозы на холодных фронтах II-рода, так как они имеют значительную скорость, перед фронтом создается большая неустойчивость. Такие фронты характеризуются динамичной, но при этом кратковременной грозовой деятельностью, причем грозы на таких фронтах почти всегда сопровождаются градом и шквалистым ветром.

Возникшие на холодном фронте циклоны обычно получают дальнейшее развитие, являясь «вторичными» только в самом начале своего существования. В дальнейшем возникший циклон либо сливается с циклоном, расположенным впереди, на холодном фронте которого он образовался, либо сохраняется как самостоятельный вихрь, становясь новым членом семейства циклонов.

Рождению нового циклона способствует разрежение изобар вблизи оси барической ложбины, где возникает его центр при появлении области падения давления. При больших барических градиентах область падения давления приводит лишь к искривлению изобар [10, с.138].

Особое внимание следует уделить так называемым «ныряющим» циклонам, так как они имеют очень большую скорость перемещения и приносят на юг ЕТР наиболее резкие изменения погоды (рисунок 2.2).

Смещение «ныряющих» циклонов происходит по полярной оси (с севера Скандинавии и Баренцева моря) и по ультраполярной оси (с районов Карского моря).

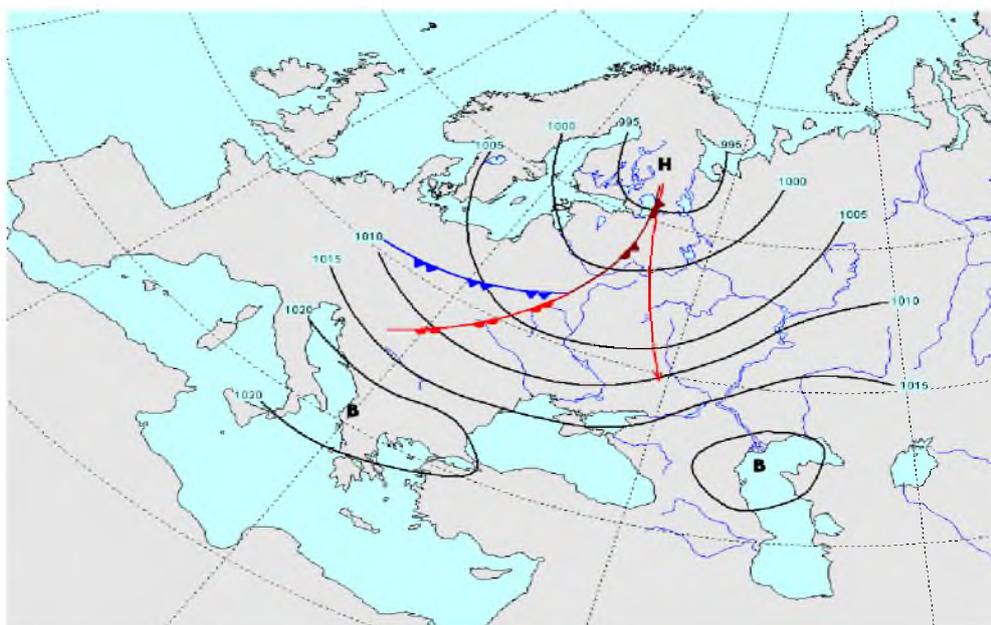


Рисунок 2.2 — Карта-схема приземного поля «ныряющего» циклона

Циклон, сформировавшись над Скандинавией или северными морями, смещается к юго-востоку, югу или юго-западу со скоростью 50-70 км/час. Все явления, связанные с «ныряющим» циклоном, достигают максимальной

интенсивности тогда, когда циклон, становясь высоким и малоподвижным, располагается в районе Воронеж-Саратов.

Влияние местных орографических условий проявляется в изменениях интенсивности и скорости перемещения барических образований и фронтов. Наблюдается замедление перемещения циклонов и ложбин перед горами. Деформация линии фронта с наветренной стороны гор приводит к образованию фронтальных волн, изменению скорости разных участков фронта. Классическим примером влияния орографии на атмосферные фронты является образование окклюзии над Большим Кавказским хребтом при северных и северо-западных вторжениях холода с последующим проникновением холодных масс воздуха в Закавказье через Западную Грузию или Азербайджан. Влияние орографической окклюзии определяет продолжительные осадки на рассматриваемой территории [18, с.139]. При формировании орографической окклюзии создается впечатление фронта, неподвижно лежащего вдоль хребта.

Дополнительной особенностью протекания синоптических процессов в холодный период года является «стационирование» антициклона над юго-восточными районами ЕТР и западом Казахстана, вследствие чего создаются большие градиенты давления и температуры, обуславливающие значительную интенсивность ряда явлений и затяжной характер процессов над Черноморским побережьем Кавказа.

При воздушных течениях, направленных с моря на сушу, вблизи береговой линии возникает сходимостъ потоков, обусловленная различиями шероховатостей водной поверхности и суши. Восходящие движения при этом усиливают процессы конденсации и конвекции, что приводит к увеличению и развитию облачных масс, формированию грозových ячеек и интенсивности осадков. Ориентация Кавказа такова, что склоны на Черноморском побережье Кавказа являются наветренными для влагонесущих потоков. В связи с вышеуказанными факторами в Сочи наблюдается преимущественно конвективная облачность, как следствие грозовой деятельность, осадки ливневого характера.

Условия формирования циклонов над юго-востоком Черного моря напрямую связаны с особенностями географического положения региона – рядом с теплым Черным морем и горами Кавказа. Можно выделить два основных типа процессов, при которых осуществляется частный циклогенез над восточными районами Черного моря:

- 1) сегментация или регенерация заполняющихся циклонов, связанных с приближающимися к Кавказскому хребту с юга или юго-запада основными циклонами.
- 2) местные циклоны, формирующиеся зимой в малоградиентных ложбинах, направленных с полуострова Малая Азия на восточные районы Черного моря, под непосредственным влиянием температурных условий подстилающей поверхности.

Процесс формирования циклонов в большинстве случаев бывает плохо выражен барически и не сопровождается существенными изменениями давления, поэтому связанное с этим процессом ухудшение погоды часто бывает неожиданным. Подавляющее большинство орографических циклонов являются малоподвижными и заполняются на месте. Часть циклонов развиваются и смещаются в северо-восточном, восточном или северном направлениях.

С частными циклонами при первом типе связаны резкие ухудшения погоды: сильные ветры, грозы, сильные осадки, в горах метели. При этом типе при приближении средиземноморских циклонов к хребтам Малой Азии, в передней их части вследствие конвергенции потока в предгорных районах и восходящих движений над наветренными склонами происходит рост давления. По мере перемещения циклона начинается падение давления на подветренном склоне хребта, благодаря чему область пониженного давления вытягивается по направлению потока на восточные районы Черного моря. У наветренной стороны хребта в связи с ростом давления область циклона сжимается по направлению вдоль склонов. В результате может сформироваться два центра низкого давления – один у наветренной, другой у подветренной стороны гор. В дальнейшем циклон, сформировавшийся с подветренной стороны, может

углубляться и смещаться к Черноморскому побережью Кавказа, при этом циклон с наветренной стороны исчезает. Иногда длительно сохраняются оба центра. Для дальнейшего развития возникшего частного минимума необходимо наличие адвекции холода в его тылу. Отсутствие адвекции является одним из признаков непродолжительного существования возникшего циклона.

Далее в работе, были выявлены условия, при которых возникает грозовая деятельность, а также сильные осадки (могут достигать категории ОЯ). Далее подробно рассмотрим 5 синоптических ситуации, при которых за исследуемый период 2010-2019 гг. неоднократно были отмечены зимние грозы. Сложный рельеф территории Черноморского побережья Кавказа в сочетании с географическим положением и особенностями господствующих здесь циркуляционных процессов обусловили по территории достаточно высокую грозовую активность.

I. Высокий циклон над Украиной. Прохождение с запада основных и приземных холодных фронтов.

Основным признаком является наличие высокого циклона над Украиной, который обычно прослеживается в нижней и средней тропосфере.

Циклон у земли развит слабо, очерчивается 1-2 изобарами, глубина его редко ниже 1000 гПа. Центр высотного циклона на уровне АТ-700 располагается в районе, ограниченном 45 и 50 с.ш. и 28-35 в.д. (в районе городов Киев, Харьков, Одесса, Днепропетровск).

Пространственная ось циклона квазивертикальна или слабо наклонена в сторону холодного воздуха.

В течение суток, когда наблюдаются сильные ливни, циклон остается малоподвижным или медленно перемещается к юго-востоку.

Ложбина высотного циклона, направленная на Черное море, имеет пологий профиль, в передней ее части наблюдается расходимость изогипс и понижение геопотенциальных высот (2-7 гп.дам за сутки).

Преобладающее направление ветра на уровне 700 гПа поверхности над восточными районами Черного моря и Северным Кавказом юго-западное и

западное, при этом, по сравнению с предшествующими сутками, происходит заметный поворот ветра вправо (рисунок 2.3).

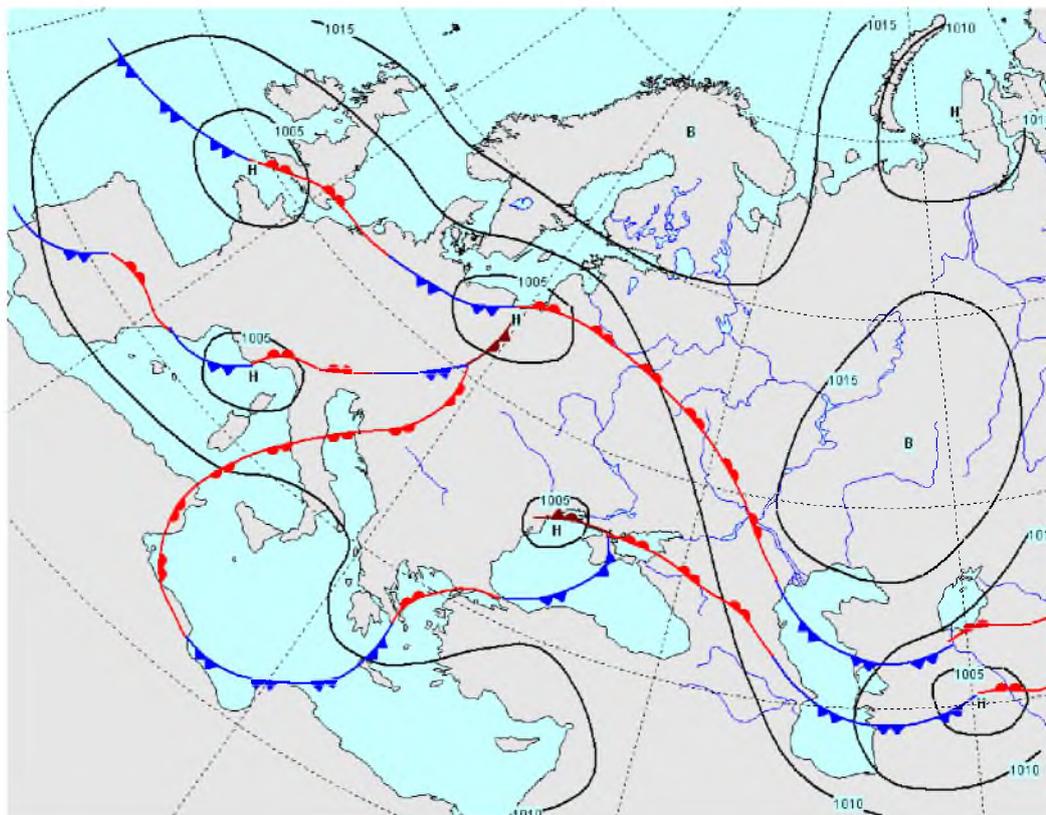


Рисунок 2.3 – Карта-схема приземного барического поля

Ложбина холода несколько сдвинута на запад по отношению к барической. Над Кавказом располагается гребень тепла.

Такая структура термобарического поля обуславливает быстрое (40-50 км/ч) перемещение фронтов и активную адвекцию холодного воздуха. Адвективный рост давления (более 1 гПа за 3 часа), который в предшествующие сутки начинается на западном побережье Черного моря, в момент развития распространяется на западные районы Краснодарского края.

Как правило, грозы и сильные дожди на Черноморском побережье Кавказа отмечаются при прохождении быстро движущихся фронтов. Кроме того, интенсивность осадков напрямую зависит от величины контраста температуры в теплой и холодной воздушных массах. Наиболее благоприятные условия для выпадения сильных ливней возникают при контрастах температуры на АТ -700 10-12° /1500 км, но не менее 4-5° /1500 км.

На снимках ИСЗ облачные полосы основных и приземных холодных фронтов имеют ширину 250-300 км, очень яркие, с четко ограниченными краями и циклоническим изгибом (рисунок 2.4).

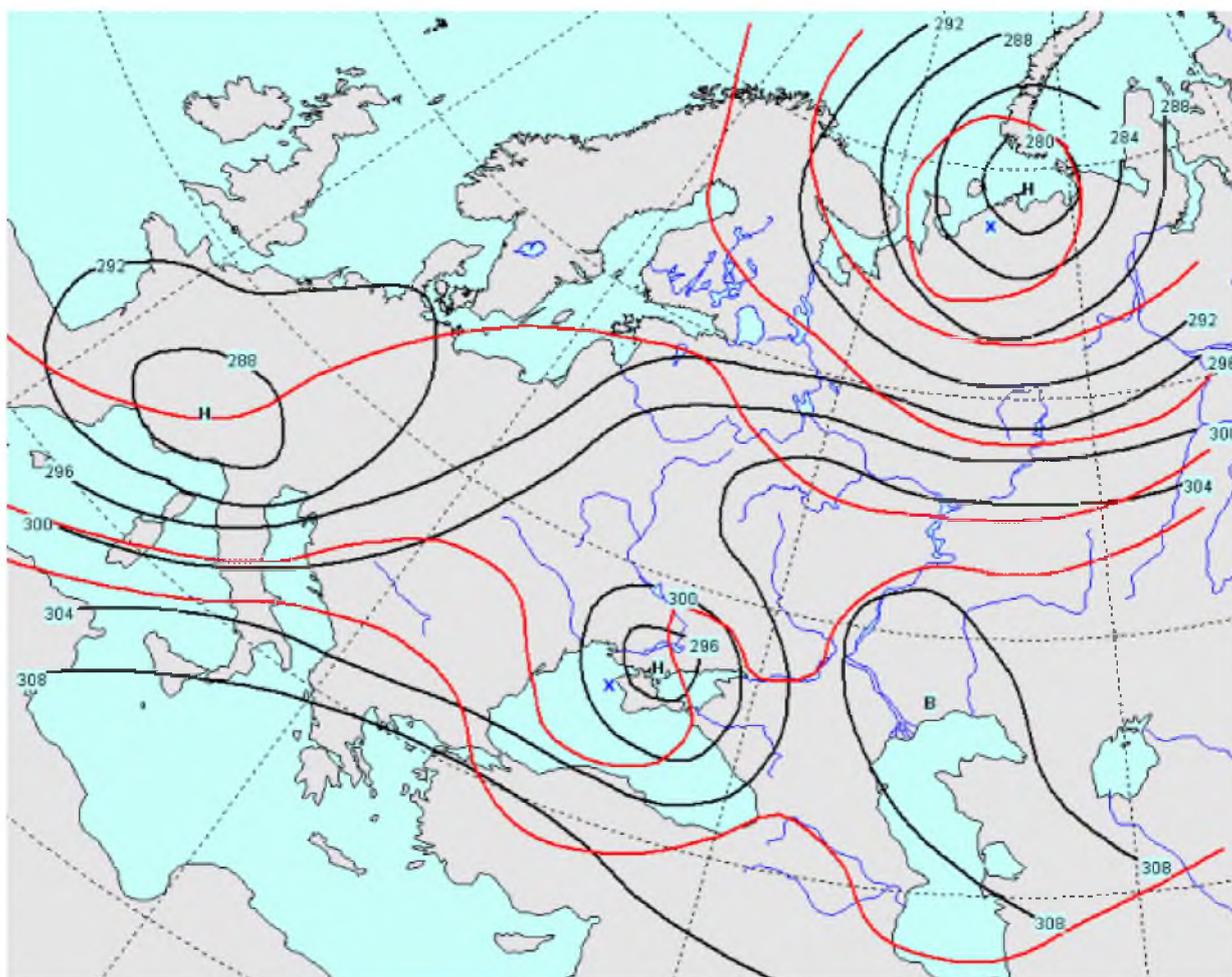


Рисунок 2.4 – Карта-схема АТ-700 и ОТ500/1000 стадия «максимального развития» циклона

Следующая синоптическая ситуация, которую мы рассмотрим будем связана с основными циклонами.

II. Формирование над югом ЕТР высотного и приземного деформационного поля

Циклонические компоненты высотного деформационного поля (ВДП) неравнозначны. Северный циклон является основным. На АТ-700 в его центре значение геопотенциала ниже 290 гп.дам. Циркуляция циклона охватывает огромную территорию. Ось высотной ложбины направлена от центра циклона на юг или юго-запад (рисунок 2.5).

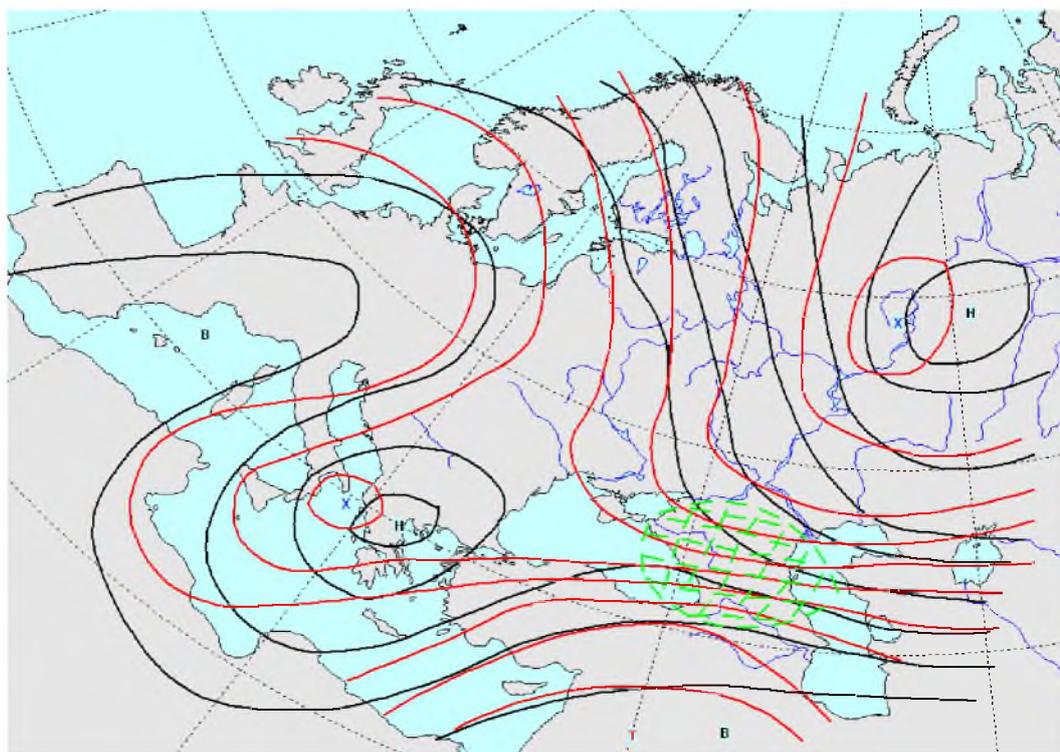


Рисунок 2.5 – Схема карт АТ-700 и ОТ500/1000 — стадия «максимальное развитие»

Зеленым цветом выделена зона сходимости потоков. В течение суток, предшествующим сильным осадкам, гиперболическая точка деформационного поля перемещается с Украины на восток или юго-восток со скоростью от 20 до 50 км/ч. Происходит заметное сближение циклонических компонентов и смещение на юг оси растяжения деформационного поля. В момент максимального развития гиперболическая точка располагается над Краснодарским краем, а ось растяжения пересекает его территорию в широтном направлении.

Южный циклон развит слабее. Значение геопотенциала в его центре на 20-25 гп.дам выше, чем в северном циклоне. Нередко южный циклон оформляется в самостоятельное барическое образование только в момент максимального развития.

Значение геопотенциала в его центральной части составляет на АТ-700 308-316 гп.дам. Мощность восточного гребня на 4-6 гп.дам меньше (рисунок 2.6).

Основные компоненты деформационного поля у земли соответствуют высотным барическим образованиям.

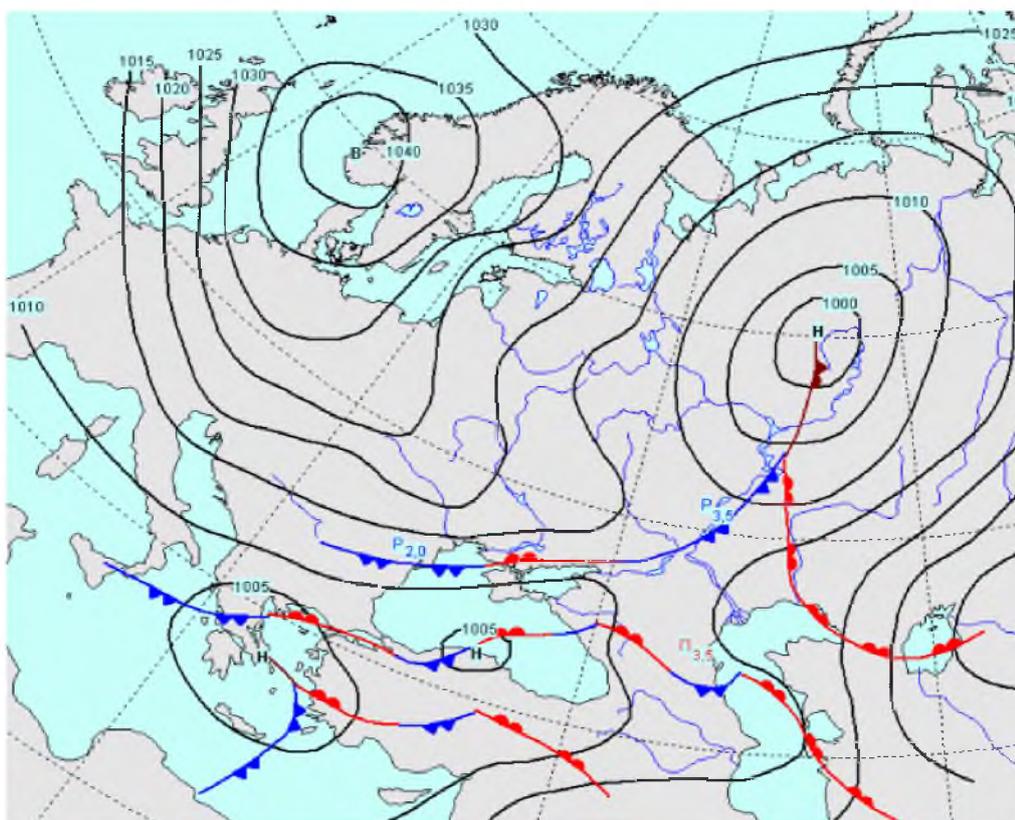


Рисунок 2.6 – Карта-схема приземного барического слоя

Холодный фронт с центральных районов ЕТР перемещается на юг со скоростью 30-50 км/ч и стремится занять положение, параллельное оси растяжения деформационного поля. Происходит сближение арктического и полярного фронтов в общую зону.

Приблизившись к оси растяжения, фронт становится малоподвижным и на большом участке попадает в зону фронтогенетических секторов деформационного поля. Процесс тропосферного фронтогенеза над Северным Кавказом продолжается 12-36 часов.

В этот период здесь располагается зона сходимости северной и южной ветвей ПВФЗ и наблюдается двухсторонняя адвекция температуры. При этом скорость северо-западного потока в северной ветви ПВФЗ на 5-10 м/с больше, чем южного и юго-западного в южной ветви [20, с.65].

III. Перемещение с запада высотной ложбины. Прохождение основного

холодного фронта.

Большинство случаев выпадения сильных осадков при данном типе отмечалось в холодное полугодие. Осадки зимой начинаются в виде дождя, затем переходят в мокрый снег и снег.

В зимнее время при данном типе возникает угроза паводков на реках, так как сильным и продолжительным осадкам обычно предшествует кратковременное, но активное потепление, вызывающее таяние снега в горах. За сутки до начала сильных осадков над Европой располагается обширный высокий циклон с центром над Скандинавией или северными районами ЕТР.

На уровне 700 гПа поверхности значения геопотенциала в центре циклона обычно ниже 280 гп.дам. Ось высотной ложбины направлена на Апеннинский или Балканский полуострова.

Ложбина холода на ОТ 500/1000 значительно сдвинута к западу по отношению к барической ложбине. Над Кавказом располагается гребень тепла.

В области высотной ложбины наблюдается падение геопотенциальных высот, которое охватывает большую территорию. Наиболее значительный очаг падения находится над Прибалтикой или Белоруссией (более 10 гп. дам за сутки).

В течение суток, предшествующих грозам и сильным осадкам, ось высотной ложбины перемещается на восток со скоростью 35-50 км/ч. Одновременно происходит ее углубление; высотные потоки над Европой приобретают большую меридиональность, а в южной части ложбины значительно увеличивается циклоническая кривизна изогипс. Обострение профиля ложбины приводит к постепенному замедлению перемещения ее оси на восток.

Линия холодного фронта у земли в момент «угрозы» проходит через центральные районы ЕТР и Украину (рисунок 2.7).

К моменту начала грозы, а также осадков восходящая ветвь ПВФЗ с градиентами геопотенциала на ОТ 500/1000 14-20 гп.дам/500 км и контрастами температуры у земли 6-10°/500 км проходит с Малой Азии на Северный Кавказ.

Скорость юго-западного переноса составляет 12-15 м/с.

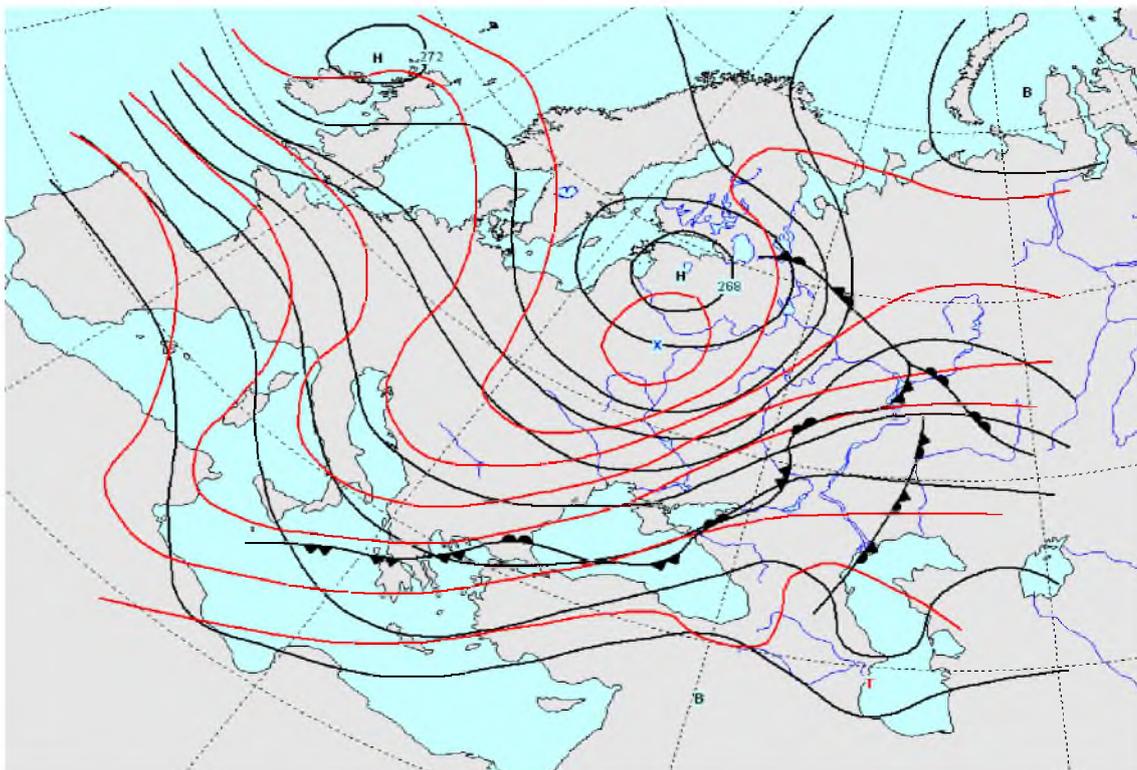


Рисунок 2.7 – Карта-схема АТ-700 и ОТ500/1000

Обязательным условием выпадения сильных осадков является тропосферный фронтогенез над востоком Черного моря [12, с.128]. Он наблюдается при двух видах структуры термобарического поля:

1. Двухсторонней адвекции температуры при сходимости изогипс и малых углах адвекции (изотермы почти параллельны изогипсам);
2. Интенсивной адвекции холода при расходимости изогипс.

Далее рассмотрим ситуации, связанные с южными циклонами.

IV. Увеличение меридиональности высотных потоков над Европой. Выход на Черное море и Северный Кавказ южных циклонов.

Преобразование высотного барического поля, которое приводит к развитию синоптических процессов данного типа, начинается обычно за 2 суток до образования грозных ячеек. Оно характеризуется сопряженным развитием ложбины высотного циклона с центром над северными районами Европы и высотного антициклона над Англией и восточными районами Атлантики (рисунок 2.8).

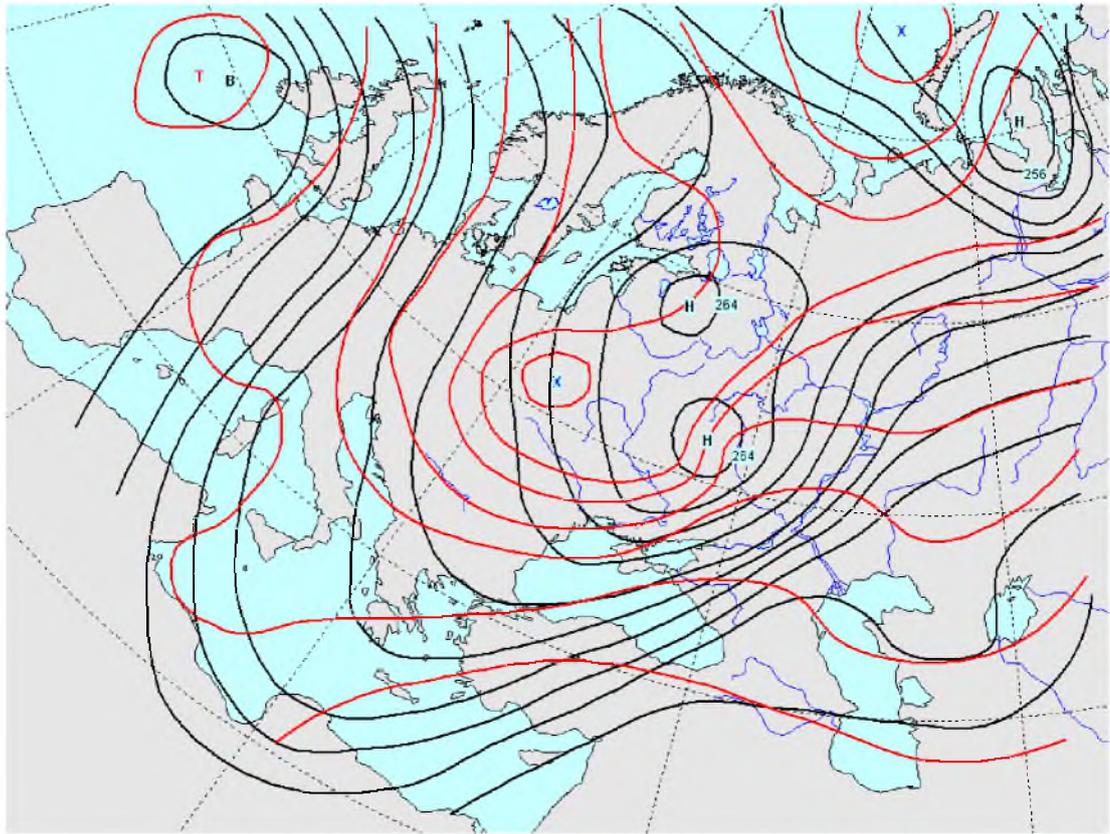


Рисунок 2.8 – Карта схема АТ-700 и ОТ500/1000

В области ПВФЗ между этими барическими образованиями происходит значительное увеличение градиентов температуры и геопотенциала (на ОТ-500/1000 — 15-20 гп.дам/500 км).

Под дельтой ВФЗ над странами северной и центральной Европы возникают условия для значительного падения давления и интенсивного циклогенеза в нижнем слое тропосферы [14, с.95]. Менее чем за сутки возникает циклон, становится высоким барическим образованием с центром над Белоруссией или Украиной. Образование этого циклона вызывает резкий прогиб ВФЗ к югу. Вершина высотной ложбины проникает до северных берегов Африки, над Европой происходит значительное увеличение меридиональности высотных потоков.

Интенсивная адвекция холода на Балканский полуостров вызывает здесь понижение геопотенциальных высот на ОТ-500/1000 более, чем на 20 гп.дам за сутки. Одновременно над этими районами увеличивается кривизна изогипс и наблюдается их расходимость.

В результате, в нижнем слое тропосферы активизируется циклогенез. Чаще всего приземный циклон возникает над Эгейским морем и быстро перемещается на Малую Азию. Здесь происходит его сегментация и образование черноморского циклона [7, с.87].

Непосредственным признаком переваливания циклона на Черное море служит – падение давления в юго-западной части акватории. В зависимости от интенсивности процесса оно составляет от 2 до 8 гПа за 3 часа (рисунок 2.9).

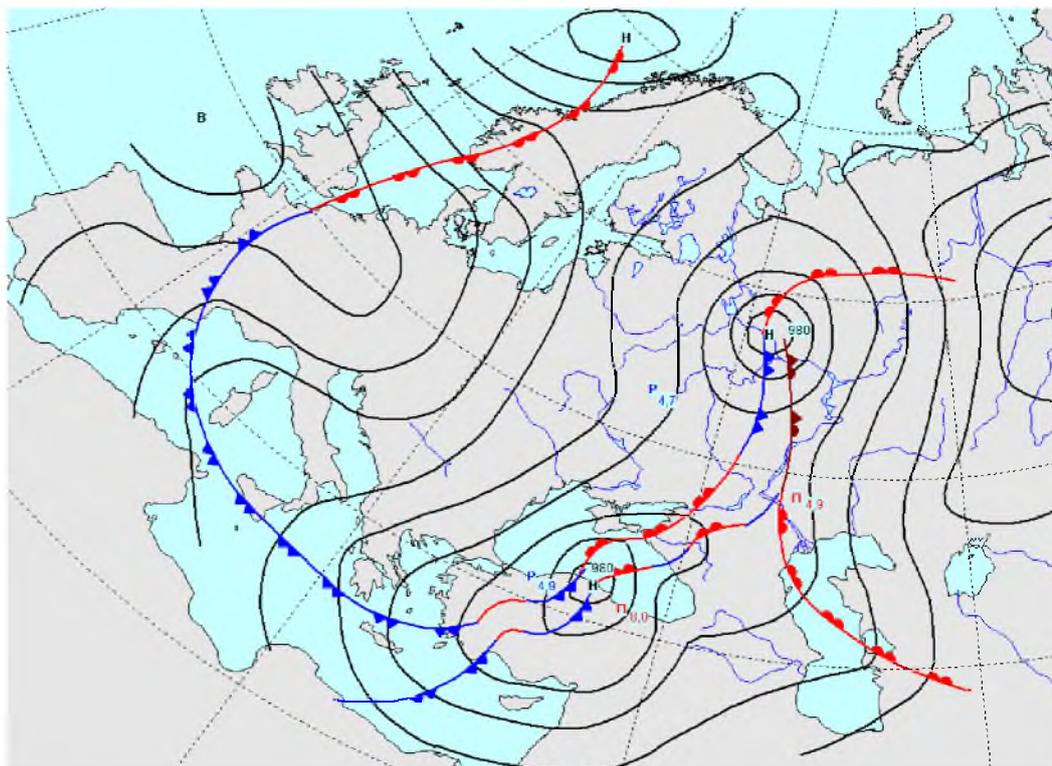


Рисунок 2.9 – Карта-схема приземного слоя

Приближение таких циклонов к Черноморскому побережью Кавказа вызывает увеличение термических и барических градиентов. Разница температуры в теплом секторе черноморского циклона и в холодной воздушной массе над Краснодарским краем достигает 12-16° на 300 км. Упорядоченные вертикальные движения в передней части циклона на АТ850 и АТ700 составляют около 200 гПа/12 ч. Исключительно большое количество осадков и частые грозы, их продолжительность обуславливаются образованием серии черноморских циклонов (2-3 циклона) и прохождением нескольких фронтов. Кроме того, с появлением второго члена циклонической серии над Черным

морем и Северным Кавказом образуется приземное деформационное поле, что приводит к обострению и замедлению движения фронтов.

Следующее синоптическое положение, связано с частным циклогенезом.

V. Частный циклогенез над юго-восточными районами Чёрного моря.

В холодное полугодие над Черным морем преобладает низкое давление, которое вызвано смещением циклонов по различным траекториям и местным циклогенезом обусловленным соседством теплого Черного моря и горами Кавказа.

Преобладающее значение в макросиноптической ситуации имеют основные циклоны, связанные с атмосферными фронтами, но с точки зрения прогноза местных особенностей погоды частные (орографические) циклоны не менее важны, т.к. вызывают существенные изменения погодных условий.

Условия формирования циклонов над юго-востоком Черного моря напрямую связаны с особенностями географического положения региона – рядом с теплым Черным морем и горами Кавказа. Можно выделить два основных типа процессов, при которых осуществляется частный циклогенез над восточными районами Черного моря:

1. Сегментация или регенерация заполняющихся циклонов, связанных с приближающимися к Кавказскому хребту с юга или юго-запада основными циклонами.
2. Местные циклоны, формирующиеся зимой в малоградиентных ложбинах, направленных с полуострова Малая Азия на восточные районы Черного моря, под непосредственным влиянием температурных условий подстилающей поверхности.

Процесс формирования циклонов в большинстве случаев бывает плохо выражен барически и не сопровождается существенными изменениями давления, поэтому связанное с этим процессом ухудшение погоды часто бывает неожиданным. Подавляющее большинство орографических циклонов являются малоподвижными и заполняются на месте. Часть циклонов развиваются и смещаются в северо-восточном, восточном или северном направлениях [6,

с.209].

С частными циклонами при первом типе связаны резкие ухудшения погоды: сильные ветры, сильные осадки, в горах метели. При этом типе при приближении средиземноморских циклонов к хребтам Малой Азии, в передней их части вследствие конвергенции потока в предгорных районах и восходящих движений над наветренными склонами происходит рост давления [11, с.439]. По мере перемещения циклона начинается падение давления на подветренном склоне хребта, благодаря чему область пониженного давления вытягивается по направлению потока на восточные районы Черного моря. У наветренной стороны хребта в связи с ростом давления область циклона сжимается по направлению вдоль склонов. В результате может сформироваться два центра низкого давления – один у наветренной, другой у подветренной стороны гор. В дальнейшем циклон, сформировавшийся с подветренной стороны, может углубляться и смещаться к Черноморскому побережью Кавказа, при этом циклон с наветренной стороны исчезает [16, с.503]. Иногда длительно сохраняются оба центра. Для дальнейшего развития возникшего частного минимума необходимо наличие адвекции холода в его тылу. Отсутствие адвекции является одним из признаков непродолжительного существования возникшего циклона.

Основные прогностические признаки процесса сегментация южных циклонов и возникновения нового циклона над юго-востоком Черного моря:

- 1) наличие высотного циклона над Малой Азией или Балканским полуостровом
- 2) высотная фронтальная зона на восточной периферии циклона пересекает горные хребты Малой Азии или юга Балканского полуострова
- 3) у земли заполняющийся циклон в районе острова Кипр или над юго-западным побережьем Турции
- 4) падение давления с подветренной стороны горных хребтов Малой Азии.

Схематически термобарические условия формирования частного циклона по типу 1 представлены на рисунках 2.10-2.11.

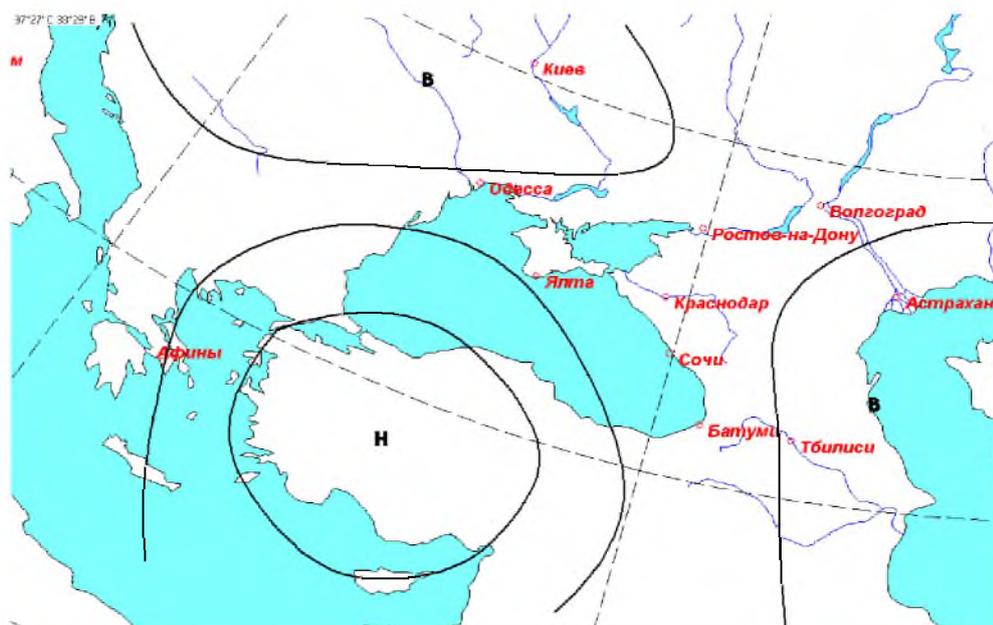


Рисунок 2.10 – Карта-схема приземного барического поля

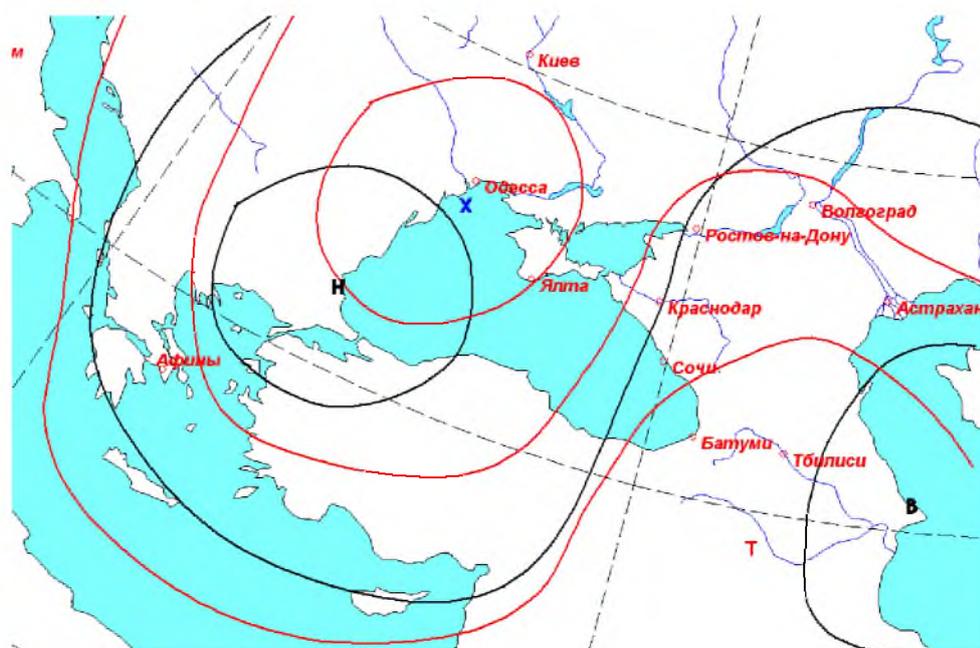


Рисунок 2.11 – Карта-схема термобарического поля АТ-700/АТ-850

При втором типе синоптических процессов оформление частного циклона происходит в вершине малоподвижной обширной депрессии, располагающейся над Малой Азией и северной частью Аравийского полуострова. Такого рода местные барические образования возникают в любое время года, но наиболее часто в холодный период [15, с.403].

В упрощенном виде объяснить формирование подобных барических

образований можно следующим образом. В холодное время года над юго-востоком Черного моря наблюдается резко выраженная термическая неоднородность между теплой поверхностью моря и горами. При слабых ветрах в этом районе над морем образуется слой теплого воздуха толщиной 1-2 км. На приземных картах погоды ему обычно соответствует барическая ложбина. Возникает перенос воздуха – над нагретой площадью воздух поднимается, вне её - опускается, т.е в приземном слое возникает стационарная циркуляция, характерная для барической депрессии. Эта барическая депрессия будет низкой, в верхней части тропосферы она выравнивается или сменяется повышенным давлением. Как правило, формирующиеся внутри одной воздушной массы местные циклоны - это неглубокие барические образования, очерчиваемые одной основной или даже промежуточной изобарой. Они связаны с районами возникновения и не перемещаются в другие районы. Срок «жизни» подобных циклонов от нескольких часов до 2-3 дней, но наиболее часто продолжительность их существования не превышает 1 суток.

С возникновением замкнутой циклонической циркуляции происходит и формирование фронтальных разделов в циклоне, которые являются приземными фронтами. Осадки и грозы наблюдаются при прохождении холодного фронта, теплый фронт чаще всего совсем не обнаруживается. Фронты образуются лишь в развивающихся частных циклонах, у которых в тылу наблюдается адвекция холода [25, с.199].

Прогнозирование формирования подобных барических образований представляет значительные трудности из-за недостатка изученности и отсутствия данных о фактической погоде над акваторией Черного моря [19, с.408].

В формировании частных циклонов над Черноморским побережьем Кавказа существенную роль играет направление переноса в нижней тропосфере. В большинстве случаев приземной малоградиентной ложбине соответствует малоградиентная область пониженного давления на уровне 3-4 км, ложбина холода над Черным морем. На высоте 3-4 км наблюдаются слабые

южные или юго-восточные потоки.

## 2.2 Анализ грозой активности, её распределения в холодный период, годовой и суточный ход

Для изучения динамики и интенсивности грозовой активности территории были использованы имеющиеся архивные данные «Специализированного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей». В целом информационный массив данных содержит стандартные описания гроз: дата, время начала и конца события, характер грозы (сильная, слабая, средняя, в окрестности, в точке наблюдения и т.п.).

Также в процессе работы проводился анализ ежегодных данных наблюдений за грозовой активностью. Осуществлялся сбор данных с метеостанций Сочи-Адлер-Красная поляна, далее производилась статистическая обработка и анализ данных, производимый вариационными методами.

Условия формирования и интенсивность грозовой деятельности зависит от ряда факторов, основным из которых является — синоптическое положение. Благодаря рассмотренным синоптическим процессам в главе 2.1, можно выделить типы синоптических ситуаций для Черноморского побережья Кавказа (г.Сочи), при которых возникают наиболее благоприятные условия для образования гроз.

К первому типу, относятся частный циклогенез над юго-восточными районами Чёрного моря. Преобладающее значение в макросиноптической ситуации имеют основные циклоны, связанные с атмосферными фронтами, но с точки зрения прогноза местных особенностей погоды частные (орографические) циклоны не менее важны, т.к. вызывают существенные изменения погодных условий. Условия формирования циклонов над юго-востоком Черного моря напрямую связаны с особенностями географического положения региона – рядом с теплым Черным морем и горами Кавказа.

Вторым типом синоптического положения, выделим активизацию «западных» циклонов, что связано напрямую с грозовой деятельностью над Северной Атлантикой. Западные циклоны включают в себя: циклоны, перемещающиеся по северным ЕТР; над центральными районами ЕТР; над южными районами ЕТР и Украиной; «ныряющие» циклоны. При данном типе отметим, формирование фронтальных гроз, связанных с прохождением фронтальных разделов.

Третий тип синоптической ситуации связан с процессом выхода Средиземноморских циклонов на побережье Черного моря. Выходы средиземноморских циклонов могут происходить в двух случаях: циклоническая деятельность развивается над центральной частью Средиземного моря и распространяется на запад Черного моря, холодный воздух проникает на Средиземное море, а оттуда на Балканы и Черное море; циклоническая деятельность развивается над востоком Средиземного моря и распространяется на восток Черного моря, при этом над юго-восточными и центральными районами ЕТР наблюдается антициклогенез, т.е. формируется блокирующая система, препятствующая смещению циклонов к северу за пределы Черного моря [4, с.72].

Далее будет рассмотрено распределение среднего и наибольшего числа грозовых дней по территории Черноморского побережья Кавказа (на участке Сочи-Адлер-Красная поляна) представлено в табличном материале, данные получены за период 2010-2019 гг. (таблица 2.1).

Таблица 1.1 – Среднее число дней с грозой (2010-2019 гг.)

Станция	XII	I	II	Год
Красная Поляна	1,3	0,5	0,5	2,3
АМСГ (Адлер)	1,7	1,6	1,0	4,3
М2-Сочи	2,3	1,3	1,0	4,6

Днем с грозой считается день, в течение которого отмечается хотя бы одна гроза независимо от ее продолжительности. В таблице приведено среднее число дней с близкими и отдаленными грозами по месяцам (холодного времен

года) и за год за период 2010-2019 гг.

Среднее число дней с грозой по месяцам получено путем деления суммарного количества дней с грозой для конкретного месяца за многолетний период на число лет наблюдений. Среднее годовое число дней с грозой получено путем суммирования среднего количества гроз по месяцам. При этом среднее число дней с грозой может быть и меньше единицы. Например, «0,5» – означает, за 10 лет бывает пять дней с грозой.

Из таблицы следует то, что максимум грозовой активности приходится на декабрь месяц, отмеченные случаи наблюдались на станции М2-Сочи, а наименьшее количество на Красной поляне.

Такая изменчивость грозовой активности обусловлена тем, что территория Черноморского побережья Кавказа, в том числе станций имеет неоднородную подстилающую поверхность (рельефа невысоких холмистых морских берегов) [5, с. 112]. Об этом можно судить по грозовым характеристикам на метеостанциях Черноморского побережья (таблица 2.2). Так, В Сочи (Н = 142 м) наблюдалось всего – 4,6 дней с грозой в среднем за год, в Адлере (Н = 13 м) – 4,3 дней, а в Красной поляне (Н = 566 м) – 2,3. Следовательно, грозовая деятельность существенно меняется от одного пункта к другому.

Далее представлена таблица средней суммарной продолжительности гроз, из неё следует, что наиболее продолжительнее грозы наблюдались в течении суток с 24-06 часов и с 06-12 часов. Годовой и суточный ход суммарной продолжительности распределяется в связи с неоднородностью рельефа местности станций, от прибрежной зоны к предгорной и горной местности. Можно сделать вывод, что горной и предгорной местности наибольшая вероятность повторяемости грозовой активности, которая наблюдается во второй половине дня. В районе Адлера и Красной Поляны проявляется ночной максимум гроз, а в Сочи максимумы наблюдаются в дневное время.

Средняя непрерывная длительность единичной грозы колеблется по территории в незначительных пределах 0,6 часа в прибрежной зоне, и до 1,9

часа в горных и предгорных районах.

Таблица 2.2 — Средняя суммарная продолжительность гроз в различное время (часы)

Станция	Часы	ХП	I	II	Год
Красная поляна	18-24	0,5	0,7	0,6	0,07
	24-06	0,8	2,9	0,8	
	06-12	0,2	0,1	13,6	
	12-18	0,6	0,2	4	
АМСГ	18-24	1,2	0,3	1,9	0,06
	24-06	0,2	0,4	4,5	
	06-12	1,2	0,0	4,3	
	12-18	0,8	0,2	3,2	
М2-Сочи	18-24	0,3	0,3	1,0	0,05
	24-06	1,5	0,4	7,4	
	06-12	0,5	1,2	4,1	
	12-18	3,4	1,9	2,7	

В общем, можно выделить тенденцию увеличения числа грозовых дней с севера на юг. Это обуславливается тем, что с севера (горной местности) поступают холодные и сухие воздушные массы, а со стороны моря и прибрежной зоны поступают влажные воздушные массы, тем более необходимо учитывать неравномерный рельеф, при движении этих потоков. Образуются адвективные потоки, которые являются источником образование мощной кучево-дождевой облачности, как следствие и грозовой деятельности.

Далее приведена диаграмма распределения количества дней с грозой и их распределение по месяцам холодного периода (рисунок 2.12).

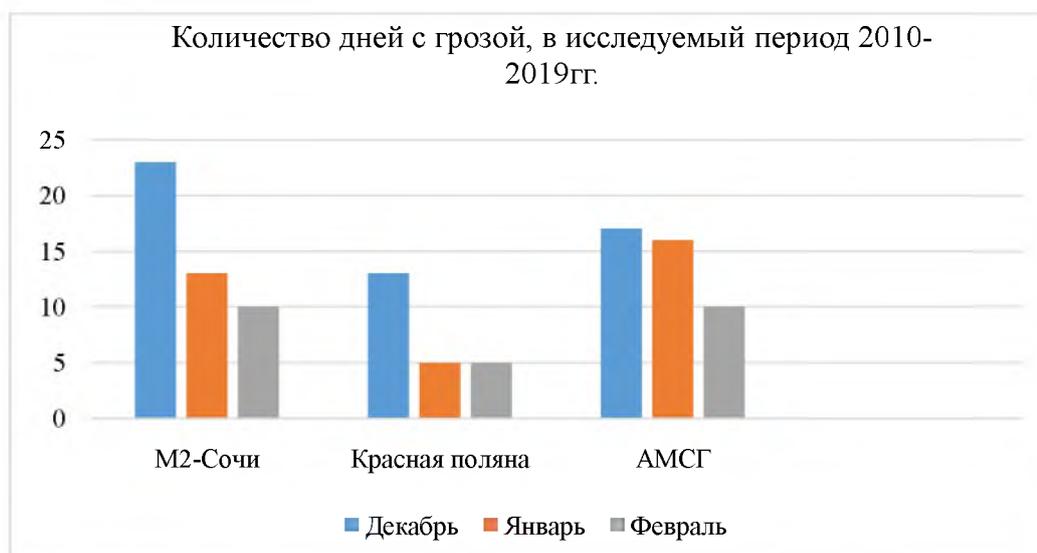


Рисунок 2.12 – Диаграмма месячного распределения грозовой активности

Из диаграммы следует, что максимальное количество дней с грозой на протяжении временного периода с 2010-2019 гг. приходится на декабрь месяц, вне зависимости от месторасположения станции. Максимум отмечается на станции М2-Сочи более 20 с лишним дней, а минимум наблюдался на станции Красная Поляна и не превышает 5 дней. Несмотря на то, что грозы наблюдаются на Черноморском побережье Кавказа круглогодично, нельзя не заметить тенденцию прироста грозовой активности в зимний период.

Далее следует наглядная диаграмма (рисунок 2.13), в ней подробно представлено, количество дней, в которые наблюдалась грозовая активность – декабрь месяц, на который приходится максимум случаев. В среднем на участке станций Красная Поляна-АМСГ-М2-Сочи отмечалось от 5 до 7 дней с грозой. В горной местности максимум немного увеличивается до 10 дней.

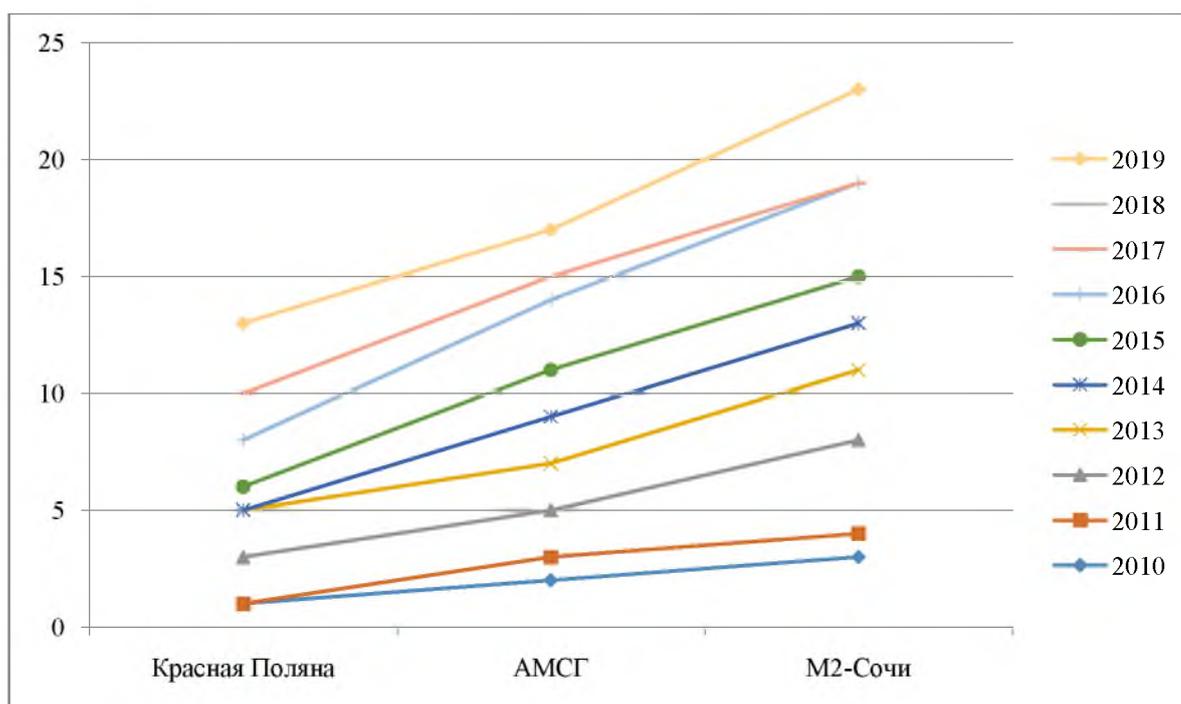


Рисунок 2.13 – Тенденция дней с грозой в декабре месяце

Если выполнять оценку зимнего периода, то можно прийти к выводу что соотношение количества дней теплого и зимнего периода стремительно меняется.

### 3 Методы и средства исследования, прогнозирования характеристик грозовой деятельности

#### 3.1 Прогностический метод и типы синоптических процессов грозовой деятельности Черноморского побережья Кавказа

Существует множество методов прогнозирования гроз, подавляющая их часть является разновидностью метода частицы, основанного на вертикальном адиабатическом перемещении частицы воздуха в покоящейся среде.

Прогностическая кривая стратификации покоящегося воздуха и кривая состояния поднимающегося воздуха строятся при пользовании практически всеми методами прогнозирования конвективных потоков. Уже на данном этапе можно заметить разницу между конкретными способами прогноза по методу частицы. Для построения кривых стратификации температуры и влажности необходим прогноз адвективных изменений температуры и точки росы, прогноз точки росы и максимальной температуры у Земли, а также прогноз изменений температуры и точки росы вследствие упорядоченных вертикальных движений в свободной атмосфере.

Образование зимних гроз находится в зависимости от потенциальной неустойчивости предфронтального теплого воздуха, которая реализуется в результате вынужденного подъёма воздуха по горному склону при приближении холодного фронта и энергии, которую получает воздух от теплой поверхности моря.

Мерой потенциальной неустойчивости является разность псевдопотенциальных температур в нижнем полтора километровом слое:

$$\Delta\theta_p = \theta_p - \theta_{850} , \quad (3.1)$$

где,  $\Delta\theta_p$  — разность потенциальной неустойчивости;

$\theta_p$  — потенциальная неустойчивость температуры;

$\theta_{850}$  — температура на уровне 1500 км.

Для определения псевдопотенциальной температуры на соответствующем уровне нужно на бланке аэрологической диаграммы обычным путем определить уровень конденсации и на влажной адиабате, проходящей через точку пересечения сухой адиабаты с изограммой, просчитываем псевдопотенциальную температуру.

Влияние море учтено через разность температур «море-воздух»:

$$\Delta T = T_m - T_v, \quad (3.2)$$

где,  $T_m$  — температура моря;

$T_v$  — температура воздуха.

Так как зимние грозы только на холодных фронтах, то расчеты следует производить только при приближении к побережью холодного фронта.

Разность температур «море-воздух» берется за ближайший к моменту расчета срок наблюдений в пункте, где производится расчет.

Величина  $\Delta\theta_r$  рассчитывается как разность  $\theta_r$  и  $\theta_{850}$  по данным фактического радиозондирования в г. Туапсе за каждый срок наблюдений

Зависимость грозы от величин представлена на графике (рисунок 3.1).

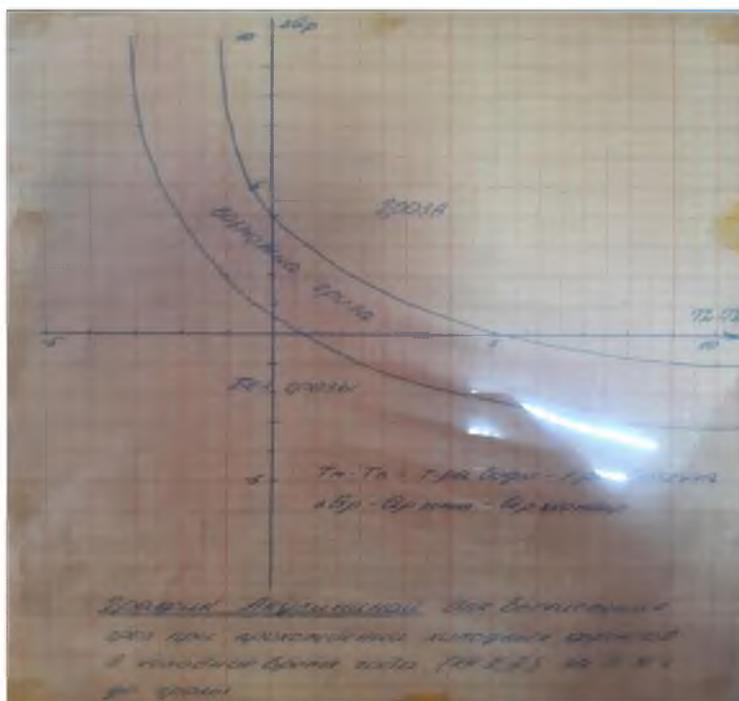


Рисунок 3.1 – Зависимость грозы от величин

Проанализировав данные и характеристики 2 главы, рассмотрев условия формирования гроз, а также выделив основные типичные синоптические положения, можно на основе конкретных дней, в которые наблюдались грозы, на синоптических картах можно выделить прогностические признаки.

Далее будут приведены архивные данные «СЦГМС ЧАМ» — синоптические карты. Интерес информационного массива данных вызывают стандартные представления — приземных и высотных карт погоды. Широкий комплекс метеовеличин и явлений погоды, нанесенный на карте позволяет точный и грамотный анализ синоптического положения, а также отметить некоторые прогностические признаки.

Высокий циклон над Украиной. Прохождение с запада основных и приземных холодных фронтов — тип синоптического положения I (рисунок 3.2).

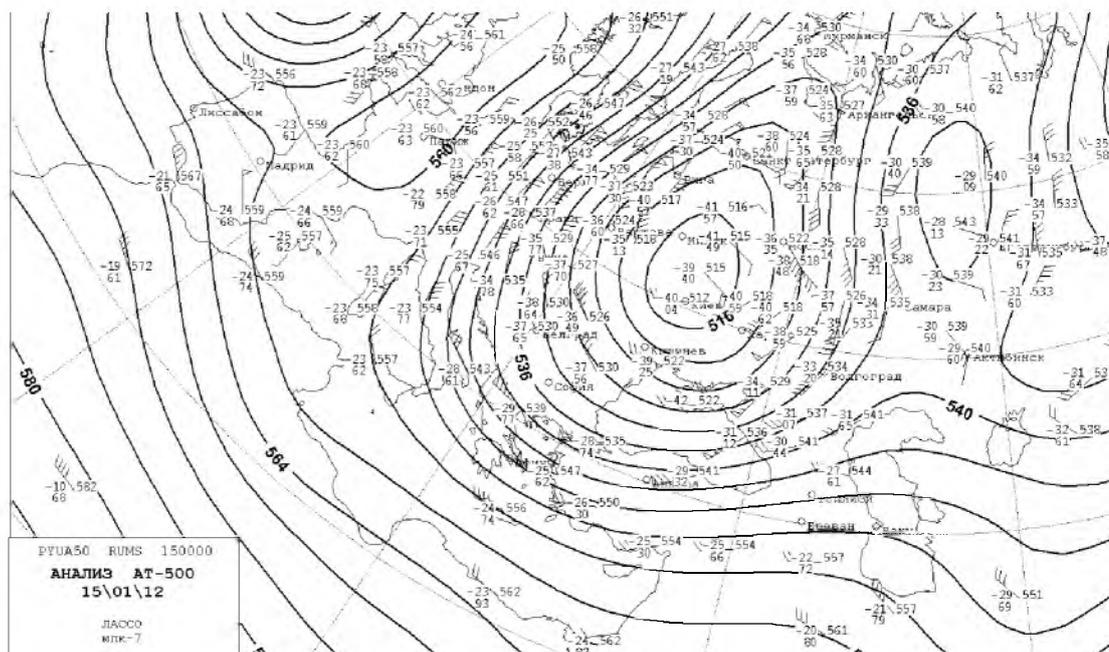


Рисунок 3.2 – Карта АТ-500 15.01.12г

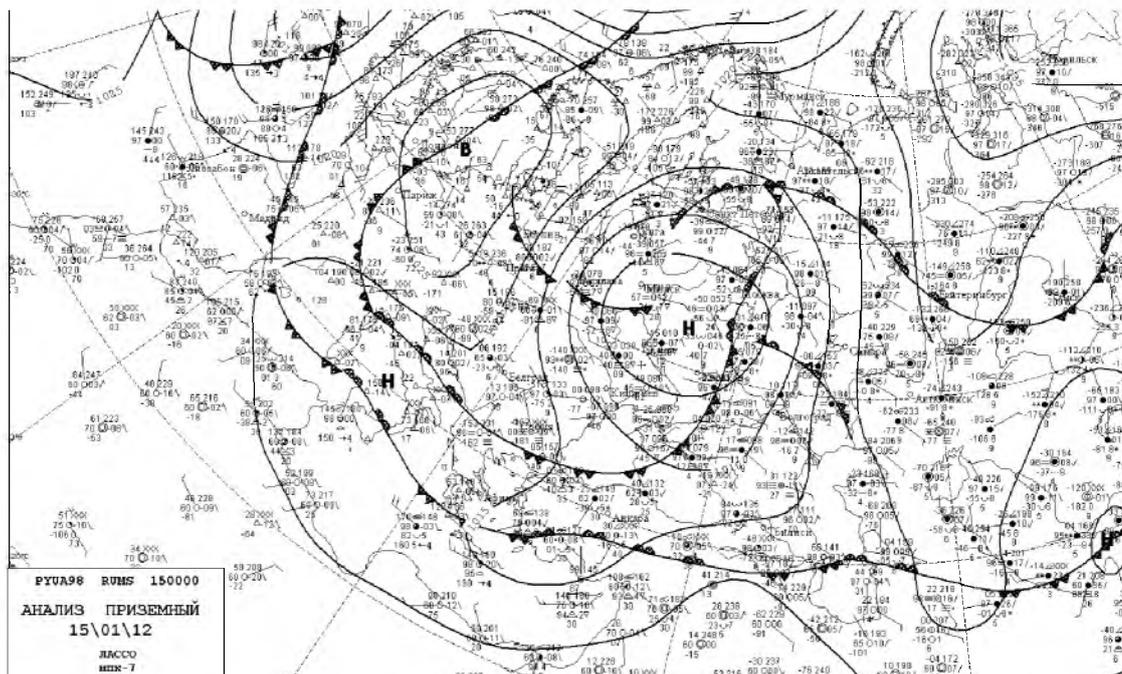
Следует выделить прогностические признаки, для данной ситуации.

В средней тропосфере:

1. Наличие высотного циклона над Черным морем или Турцией (за 24ч)
2. Расположение очага тропосферного холода над западной половиной Черного моря и гребня тепла над Кавказом (24ч)

3. Смена направленности воздушного потока на высоте 3-5 км с юго-восточного на южный или юго-западный
4. Перемещение центра высотного циклона в северном или северо-восточном направлении не менее чем на 100-150 км за сутки (12-24ч)
5. Распространение очага холода на всю акваторию Черного моря
6. Увеличение влагосодержания воздушной массы.

У земли (рисунок 3.3):



1. Наличие малоградиентного поля пониженного давления над Северным Кавказом (24 ч)
2. Появление изаллобарической пары: падение давления на юго-востоке Черного моря и рост – на севере Турции более 1 гПа/3 ч (15-18 ч)
3. Образование орографического циклона над юго-востоком Черного моря или над Северным Кавказом ( $\leq 3$  ч)
4. Формирование в области орографического циклона приземного фронта с контрастом температуры в его зоне  $5-8^\circ/100-200$  км.

Следующая синоптическая ситуация, которую мы рассмотрим будем связана с основными циклонами.

Формирование над югом ЕТР высотного и приземного деформационного поля — тип II (рисунок 3.4).

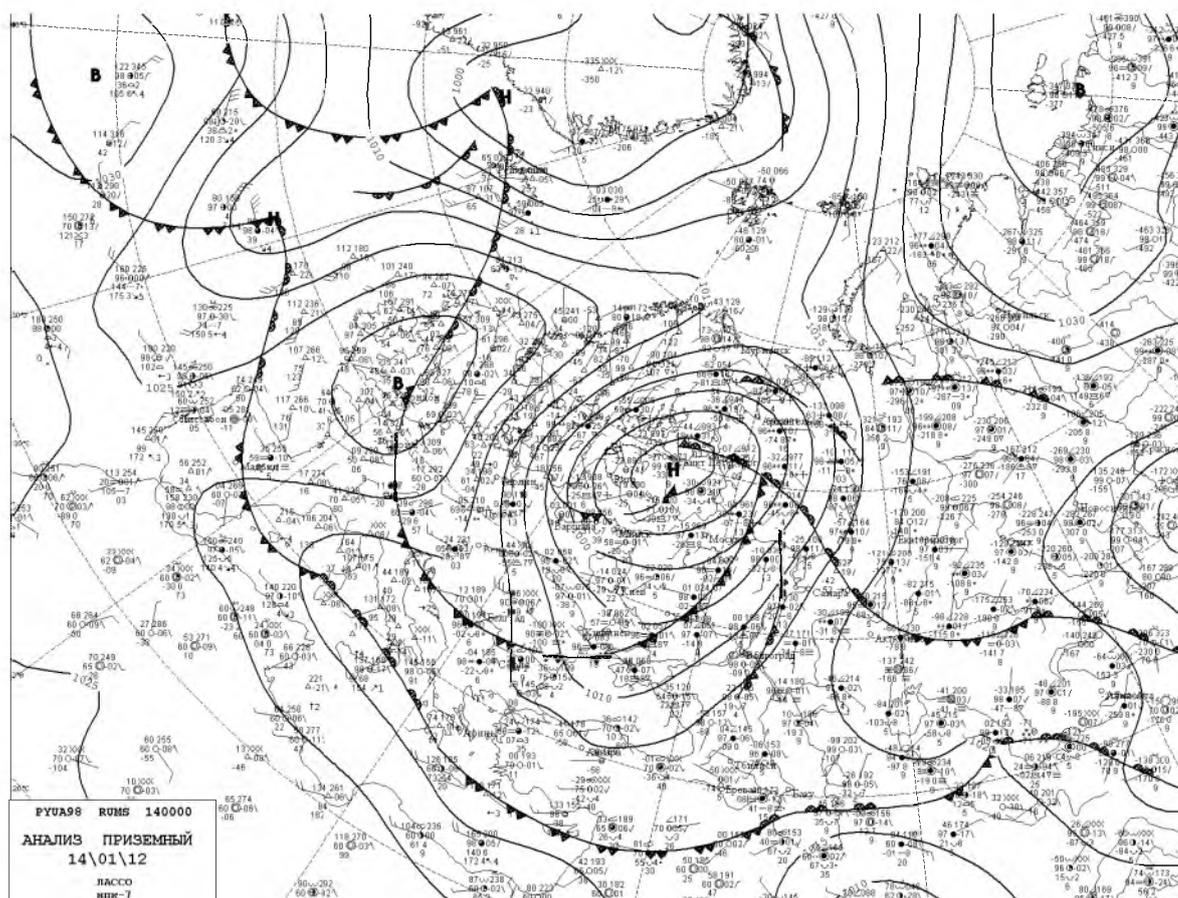


Рисунок 3.4 – Карта приземного анализа 14.01.12г.

Следует выделить прогностические признаки, для данной ситуации.

В средней тропосфере:

1. Формирование над югом ЕТР высотного деформационного поля (24ч);
2. Перемещение на Северный Кавказ с Украины гиперболической точки со скоростью 20-50 км/ч (12-24 ч);
3. Сближение циклонических компонентов ВДП и перемещение на Северный Кавказ оси растяжения ВДП (6-12 ч);
4. Образование на Северном Кавказе зоны сходимости двух ветвей ПВФЗ или перемещение этой зоны с запада со скоростью 30-50 км/ч (12 ч);

У земли:

1. Формирование над югом ЕТР приземного деформационного поля (12-24 ч);

2. Перемещение с северо-запада холодного фронта со скоростью 30-50 км/ч (12-24 ч);
3. Совпадение линии фронта у земли с осью растяжения деформационного поля (6-12 ч);
4. Падение давления на западном и южном берегах Черного моря порядка 2-3 гПа/3 ч и одновременный рост давления за холодным фронтом порядка 3-4 гПа/3 ч (12 -24 ч).

Следующая ситуация — перемещение с запада высотной ложбины.

Прохождение основного холодного фронта — III тип (рисунок 3.5).

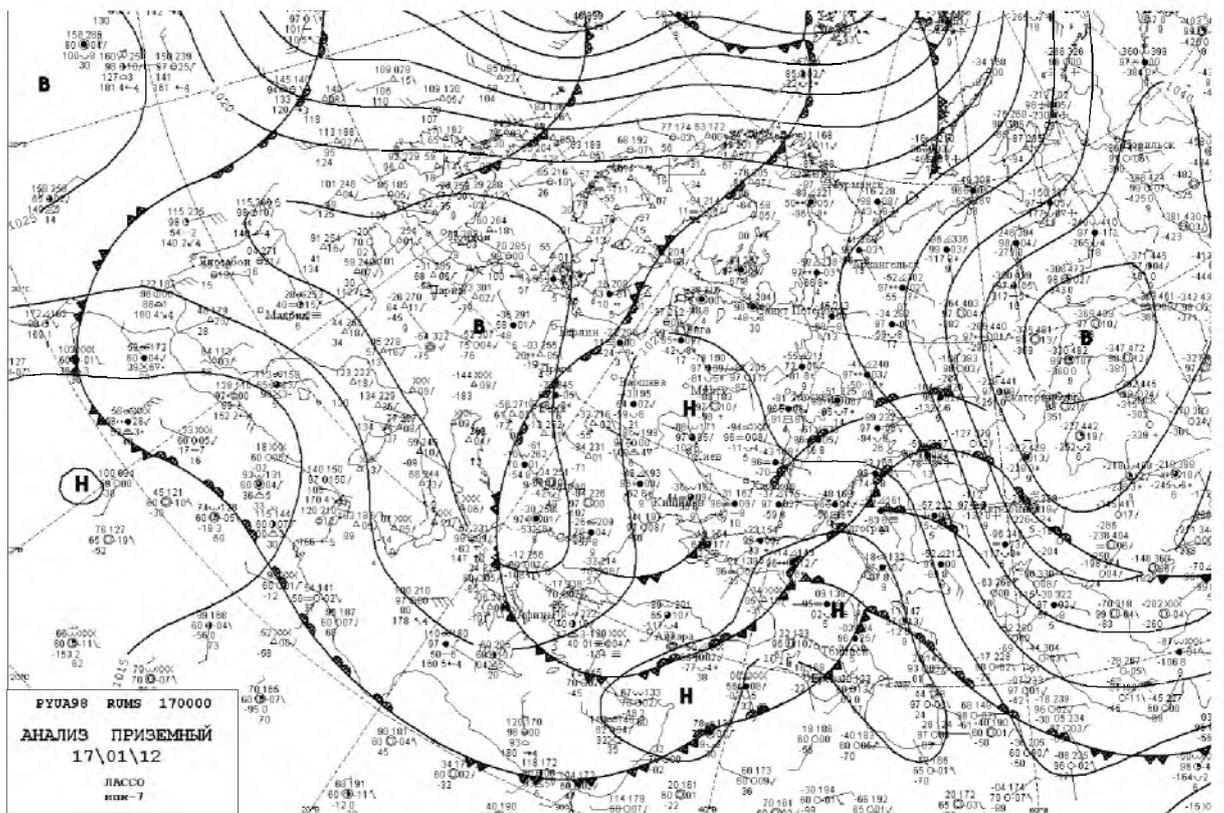


Рисунок 3.5 – Карта приземного анализа 17.01.12г.

У поверхности земли признаком угрозы формирования гроз и сильных осадков за сутки до их начала является наличие изаллобарической пары: падения давления в южной части приземной ложбины, соответствующей холодному фронту, и устойчивого роста давления (порядка 2 и более гПа/3 ч) за линией фронта. Скорость перемещения фронта у земли в этот период 40-50 км/ч [22, с.68].

Позднее появляются признаки замедления движения фронта и его обострения у земли и на высотах:

1. Возникновение над Черным морем частного циклона и формирование над Северным Кавказом приземного деформационного поля;
2. Уменьшение нормальной составляющей ведущего потока к линии фронта, связанное с углублением высотной ложбины.

Следует выделить прогностические признаки, для данной ситуации.

1. Перемещение с запада углубляющейся высотной ложбины со скоростью 35-50 км/ч (заблаговременность 24 ч);
2. Наличие очага падения геопотенциальных высот порядка 7-12 гп.дам/сутки в южной части высотной ложбины (24 ч);
3. Формирование над Черным морем и Северным Кавказом восходящей ветви ПВФЗ с градиентом геопотенциала в среднем слое на ОТ 500/1000 порядка 14-20 гп.дам/500 км (6-12 ч);
4. Характерная структура высотного термобарического поля, обуславливающая тропосферный фронтогенез (6-12 ч).

У земли:

1. Наличие основного холодного фронта над центральными районами ЕТР и Украиной, перемещающегося со скоростью 40-60 км/ч (24 ч);
2. Наличие изаллобарической пары в области приземной ложбины: падение порядка 1,5-2 гПа/3 ч в южной части ложбины и роста более 2 гПа/3 ч – за линией холодного фронта (12-24 ч)
3. Образование над Черным морем частного циклона и формирование над Краснодарским краем приземного деформационного поля (6-12 ч).

К IV типу относим — увеличение меридиональности высотных потоков над Европой. Выход на Черное море и Северный Кавказ южных циклонов

Следует выделить прогностические признаки, для данной ситуации.

Условия образования гроз, связанные с синоптическими процессами данного типа, имеют достаточно четкие и надежные прогностические признаки, которые можно разделить на две группы: большой и малой

заблаговременности (рисунок 3.6).

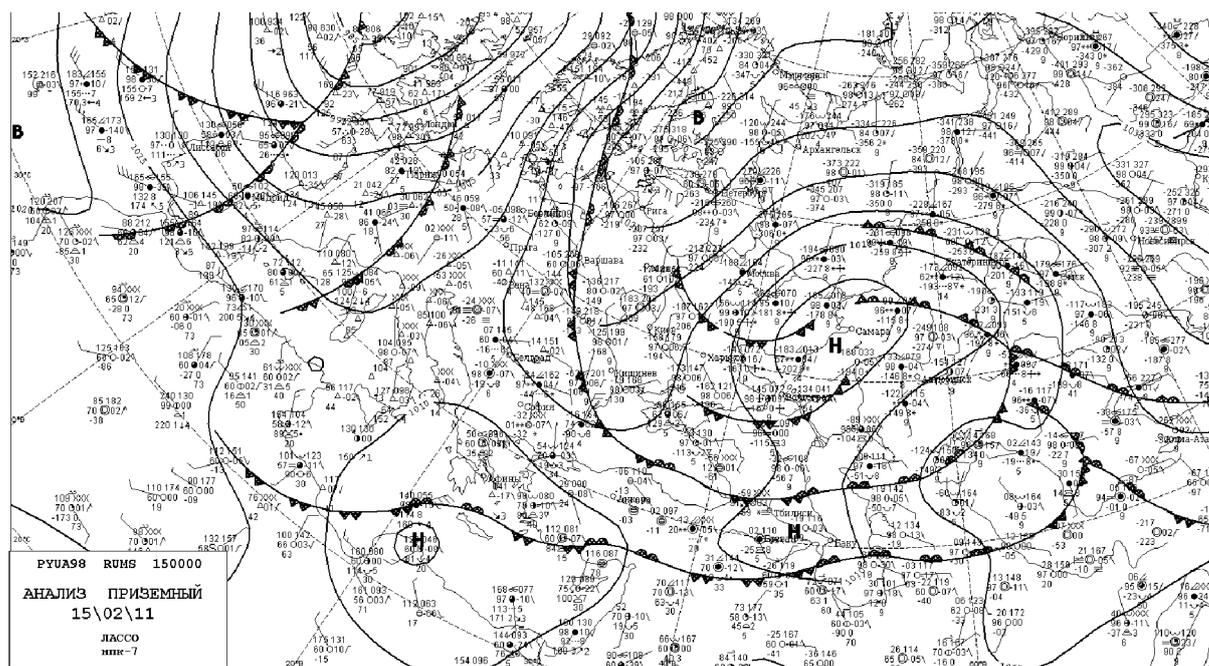


Рисунок 3.6 – Карта приземного анализа 15.02.11г.

К первой группе относятся признаки, указывающие на перестройку высотного барического поля над Европой в сторону увеличения меридиональности высотных потоков:

1. Наличие больших градиентов геопотенциала на картах АТ и ОТ (соответственно 20-25 и 15-20 гп.дам на 500 км) в области ПФЗ над Северным морем между североевропейским высотным циклоном и высотным антициклоном над северо-востоком Атлантики (48-24 ч)
2. Появление очага падения давления более 3-4 гПа/3 ч на синоптической карте над странами северной и центральной Европы как признак возникновения приземного циклона под дельтой ВФЗ (36-24 ч).

Прогностические признаки малой заблаговременности – это признаки начала интенсивного циклогенеза над Эгейским и Черным морями:

1. Перемещение оси высотной ложбины с центральных районов Европы на Балканский полуостров и значительное увеличение циклонической кривизны в области ложбины (12-13 ч)
2. Интенсивная адвекция холода на Балканский полуостров и Эгейское море

– понижение здесь высот геопотенциала в слое 500/1000 гПа на 20 гп.дам за сутки (12-18 ч)

3. Формирование приземного циклона над этими районами (12-15 ч)

4. Появление очага отрицательных изаллогипс порядка 2-4 гп.дам за 3 ч на юго-западном побережье Черного моря (6-9 ч).

К V типу следует отнести частный циклогенез над юго-восточными районами Чёрного моря (рисунок 3.7).

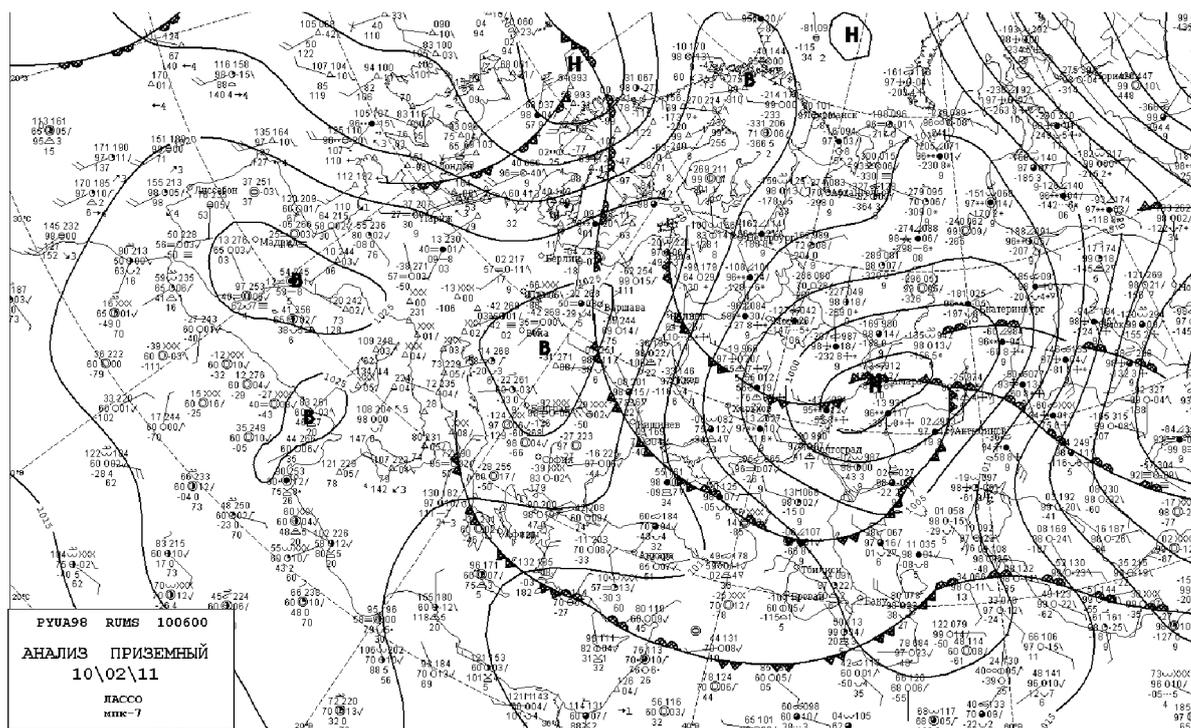


Рисунок 3.7 – Карта приземного анализа 10.02.11г.

Можно отметить, что необходимым условием для осуществления частного циклогенеза такого рода являются:

1. Наличие обширной циклонической области над Малой Азией и ложбины над восточной частью Черного моря;
2. Южные или юго-западные потоки на уровне 3-4 км над востоком Черного моря;
3. Наличие контрастов температур над теплым морем и сушей или морем и холодными воздушными массами над его акваторией;
4. Достаточное влагосодержание воздушных масс в зоне переноса;

## 5. Рост давления над северными районами Турции и падение давления на Черноморском побережье Кавказа.

### 3.2 Методы исследования характеристик грозовой деятельности радиотехническими средствами

С внедрением современных средств наблюдений в оперативную работу, синоптикам стала доступна актуальная информация о грозовых очагах, получаемая посредством использования доплеровского метеорологического радиолокатора (ДМРЛ). Радиолокатор предназначен для: отображения различных метеорологических характеристик; расчета и отображения вертикального профиля скорости и направления ветра, карт вертикального и горизонтального сдвига ветра, турбулентности; определения ОЯ погоды (гроза, шквал, град, интенсивные осадки); отображения скорости и направления перемещения облачных систем; выдачи радиолокационной информации по необходимой кодировке [24, с.32].

ДМРЛ помогает синоптику получить информацию о явлениях погоды, обусловленных конвективными процессами в атмосфере. Данная информация позволяет оценить степень развития кучево-дождевой облачности, уточнить ее местоположение. Наиболее опасные конвективные явления связаны с мезомасштабными конвективными комплексами – крупными, размером  $>200$  км, массивами кучево-дождевой облачности, часто имеющими почти круглую форму, большую вертикальную мощность и среднюю продолжительность жизни около 10 ч, реже до 16 – 18 ч, и даже несколько дней подряд. Вероятность автоматизированного распознавания явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью, реализована на основании расчета определенных критериев, по которым и определяется тип метеорологического явления.

Информативность данных ДМРЛ (МРЛ) многократно возрастает при объединении данных радиолокаторов и построении композитных карт. Карты

метеоявлений позволяют синоптику оценить обстановку, соотнеся метеоявления на карте с синоптической ситуацией, и следить за развитием процессов синоптического масштаба практически в режиме реального времени - с периодом обновления информации 10 мин, и наблюдать, помимо прочих метеоявлений, возникновение грозových ячеек, отслеживать их развитие и перемещение. Использование объединенных карт позволяет уточнять краткосрочные прогнозы погоды и увеличивать заблаговременность составления предупреждений.

В ФГБУ «ЦАО» разработана Веб-ГИС «Метеорад», которая обеспечивает отображение на единой картографической основе метеорологической радиолокационной информации, полученной от всех введенных в эксплуатацию и прошедших метеорологическую адаптацию ДМРЛ сети Росгидромета.

На рисунке 3.8 показан пример данных радиолокационных наблюдений, на которых отображаются метеорологические явления.

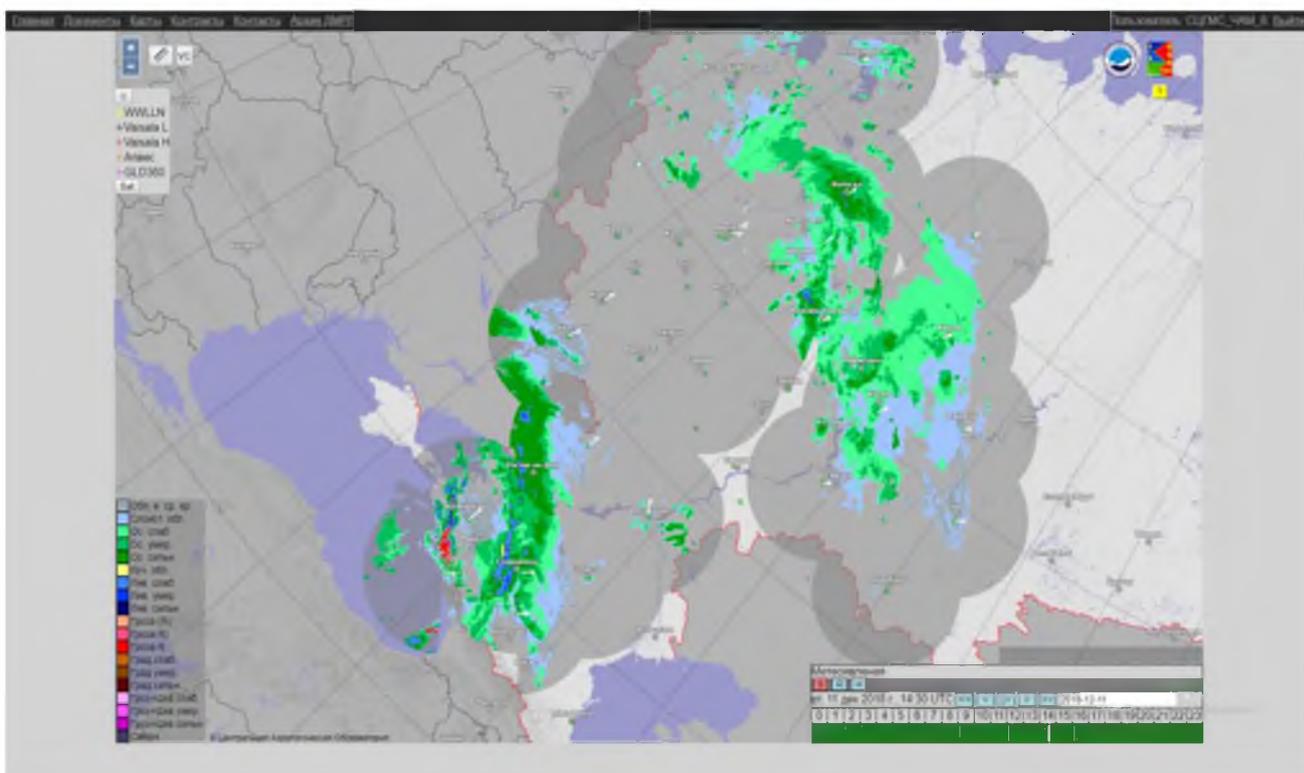


Рисунок 3.8 – Данные радиолокационных наблюдений

Радиолокатор определяет грозovou облачность по косвенным признакам,

с вероятностью более 80%, что является достаточно высоким показателем. У облака, которое впоследствии может стать грозовым, можно выделить три этапа развития: предгрозовой, грозовой и послегрозовой.

Предгрозовой - отмечаются активные восходящие движения во всей ячейке; грозовой - появляются не менее активные нисходящие движения воздуха, выпадают интенсивные осадки ниже основания облака, возникают разряды молнии; послегрозовой - преобладают слабые нисходящие потоки внутри облака, понижается интенсивность осадков и количество молний, вплоть до полного их исчезновения [8, с.79].

Так называемые «радиолокационные грозы», отмеченные знаком (R), с вероятностью 30-70% представляют собой кучево-дождевые облака в предгрозовой стадии (рисунок 3.9).

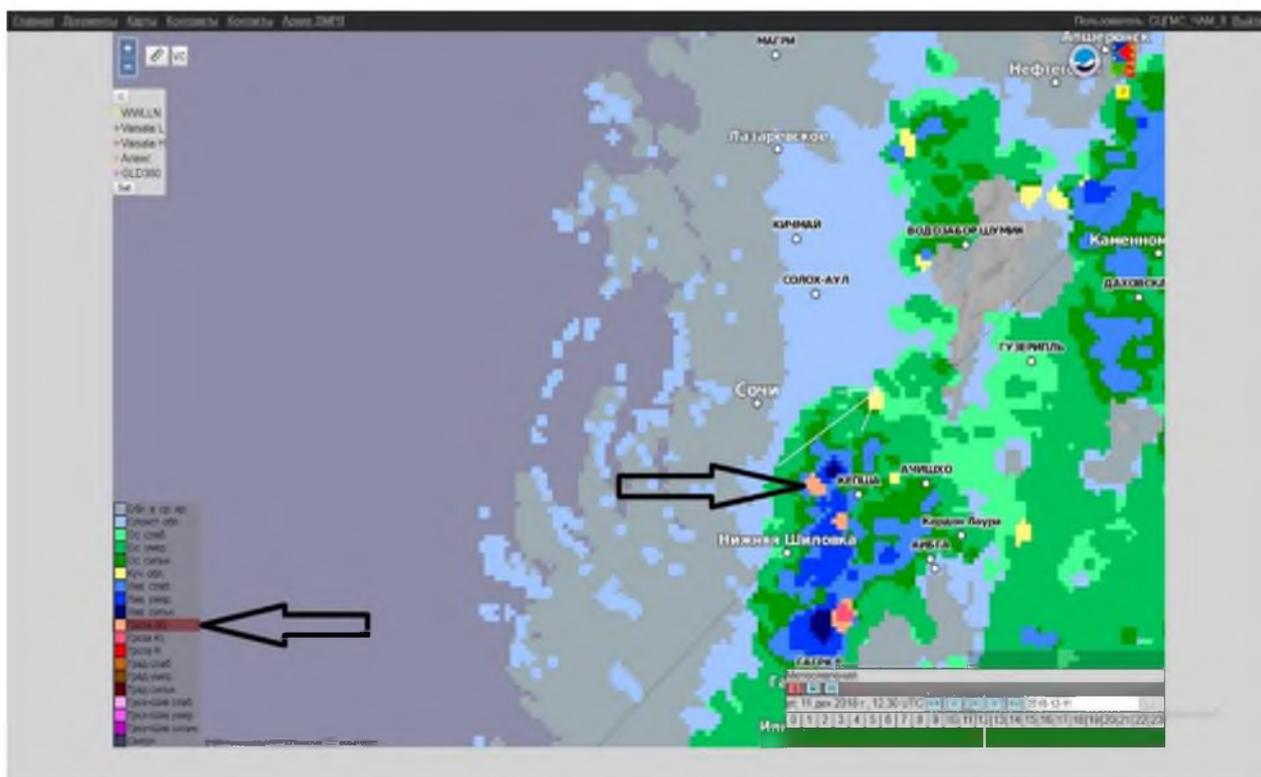


Рисунок 3.9 – Пример отображения «радиолокационных гроз» идентифицированные по ДРЛ как (R)

По мере их развития вероятность грозы в них возрастает, при значении R) вероятность составляет 70-90%. «Радиолокационные грозы», показанные по ДМРЛ как R (рисунок 3.10), с вероятностью грозы более 90% - это почти всегда

реальные грозы в максимальной стадии развития.

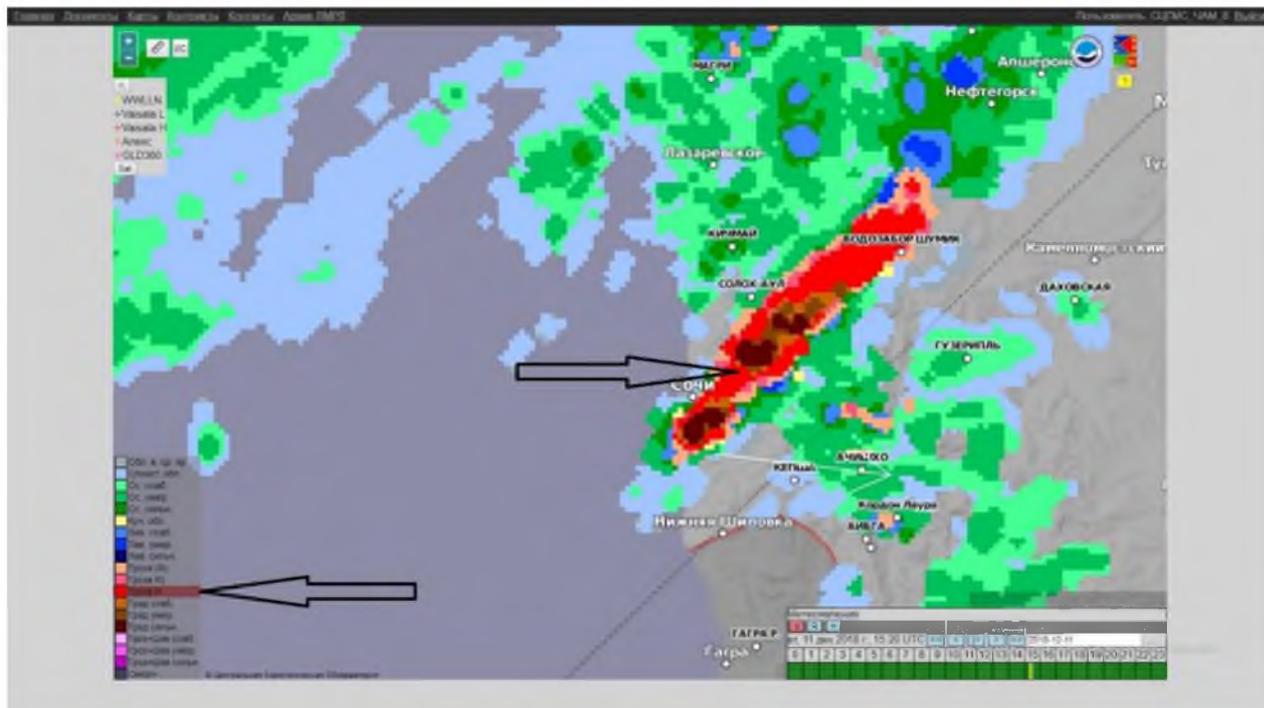


Рисунок 3.10 – «Радиолокационные грозы», идентифицированные по ДМРЛ

Скорость перемещения большинства грозовых очагов составляет от 20 до 60 км/ч, при увеличении скорости более 70 км/ч - грозы обычно сопровождаются градом и шквалами, изредка - смерчами.

Превращение мощных кучевых облаков в кучево-дождевые происходит при проникновении вершин мощных кучевых облаков в слои с температурой ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . При этом происходит оледенение вершин кучево-дождевых облаков. Грозовые кучево-дождевые облака образуются при наличии термодинамических условий, подходящих для развития мощных восходящих движений и уровне конвекции, начиная от 6-7 км и выше. Веб-ГИС «Метеорад» имеет функцию отображения информации о высоте верхней границы облачности (рисунок 3.11). При квазиупорядоченном мезомасштабном подъеме воздуха в зонах перемещающихся атмосферных фронтов образуется кучево-дождевая облачность.

Одна из причин интенсивного развития конвекции и, соответственно, гроз, является скорость перемещения фронта. Чем выше скорость, тем сильнее развитие вынужденной конвекции, как следствие, образование мощной кучево-

дождевой облачности перед фронтом.

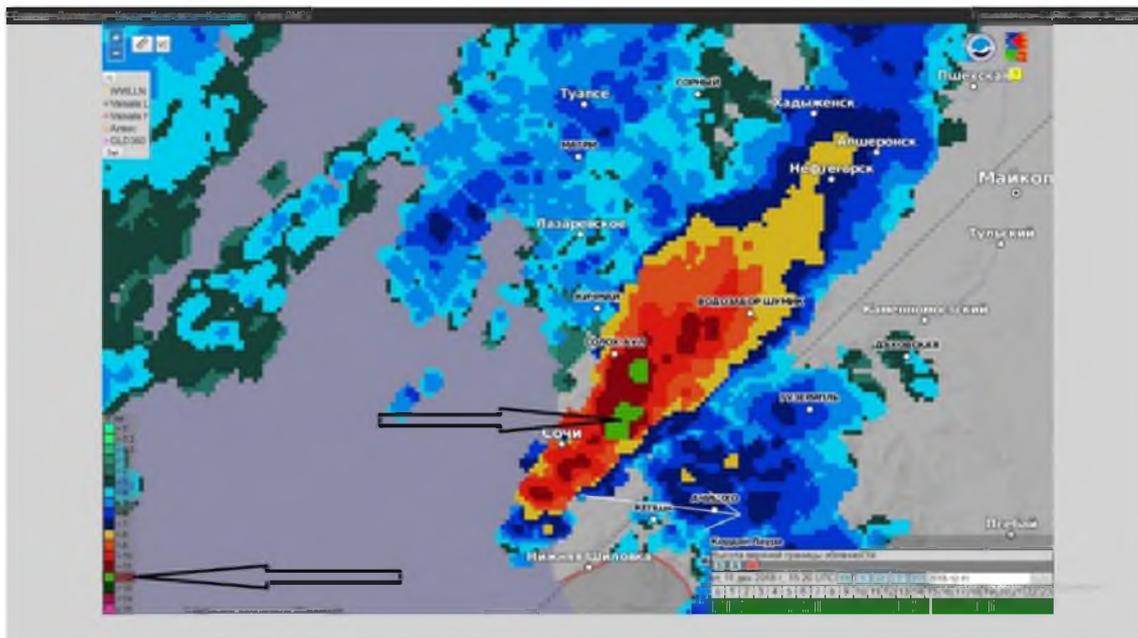


Рисунок 3.11 – Отображение информации о высоте верхней границы облачности

Возникающая в данной ситуации облачная система представляет собой цепь кучево-дождевой облачности с грозами. Веб-ГИС «Метеорад» имеет функцию отображения информации о скорости и направлении смещения облачности (рисунок 3.12). Данная функция полезна для сверхкраткосрочных прогнозов погоды, особенно для авиации.



Рисунок 3.12 – Информация о скорости и направлении смещения облачности

На рисунке 3.13 приведен вертикальный разрез облачности вдоль линии холодного фронта, проходившего через ЧПК 01.12.2019г. Вдоль всей линии фронта наблюдается цепь гроз. Функция «Вертикальный разрез» позволяет построить вертикальный разрез отражаемости (dbZ) в любом направлении, что позволяет оценить вертикальную структуру облачности, выделить наиболее активные зоны, оценить их расположение [26, с.120]. Данная функция позволяет проследивать тенденции прохождения фронтального разреза, в разные периоды времени. Необходимые метеовеличины и возможность наблюдения за ними в реальном времени значительно облегчает дальнейшее прогнозирование развития или затухания процессов и с системой облачности и с метеорологическими явлениями.

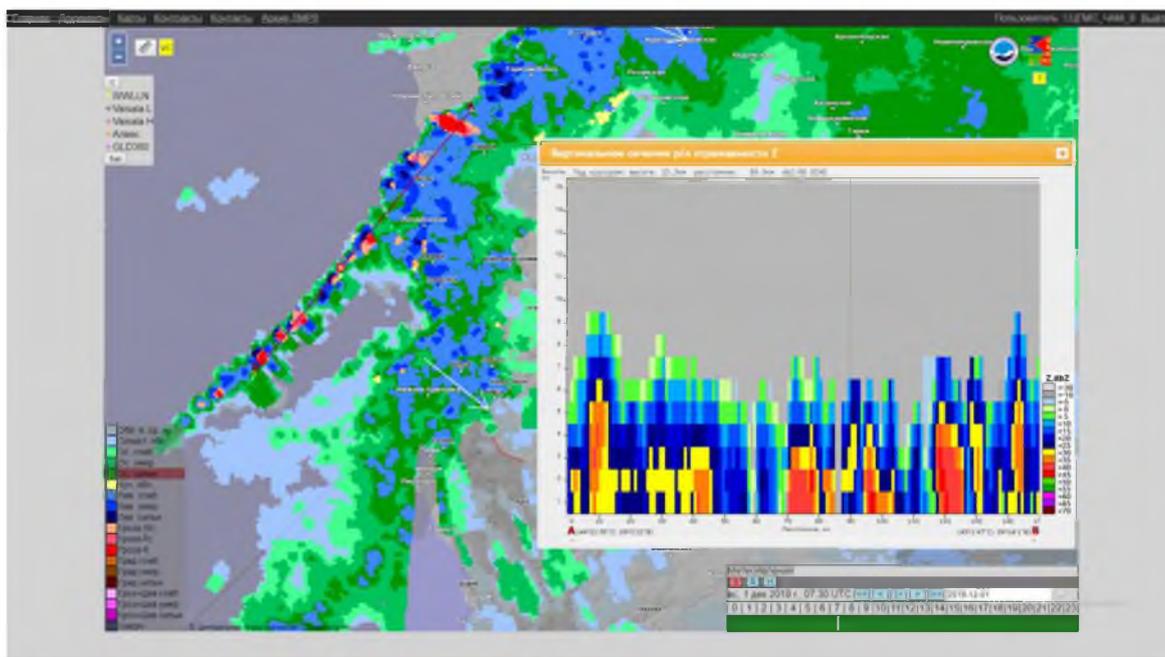


Рисунок 3.13 – Вертикальный разрез облачности на холодном фронте

## Заключение

Каждая передовая наука имеет цель – удовлетворение практической потребности человека, использование своих достижений для нужд различных сфер жизнедеятельности человека. Необходимо правильно учитывать климатические и погодные особенности каждого района страны, чтобы удачно использовать благоприятные условия климата и погоды, а также заблаговременно прогнозировать неблагоприятные и опасные явления погоды. Метеорологические данные и климатические данные широко используются буквально во всех областях народного хозяйства, промышленной и гражданской застройки, при деятельности наземного и воздушного транспорта, а также при работе линии электропередач.

Следует отметить, что риски гроз для человека связаны со следующими её составляющими:

- электрические разряды (молнии);
- шумовое воздействие (гром);
- турбулентность (авиация);
- град;
- переохлажденная влага, способствующая обледенению самолётов;
- ливни;
- кратковременные усиления ветра (шквалы).

На основе анализа исследовательской работы, подробного рассмотрения грозовой деятельности, условий её формирования, характеристик, можно сделать ряд выводов, касающихся условий образования грозовой активности:

1. Образование грозовой деятельности на Черноморском побережье Кавказа взаимосвязан с аномалиями общей циркуляции атмосферы. Ведь атмосфера представляет собой единую и в общем (если отвлечься от фронтальных разрывов) непрерывную среду; поэтому возмущение, возникшее в одном участке атмосферы, должно так или иначе передаваться и в другие её части, с некоторым запозданием и с

возможным изменением характера возмущения;

2. Следующей неотъемлемой частью формирования грозовой деятельности — является наличие барических новообразований — так называемой циклонической деятельности, а именно с фронтальными циклонами, «перемещающимися» циклонами, частным циклогенезом. Они влекут за собой фронтальные разрезы, которые порождают метеорологические явления погоды;
3. Не менее важный фактор повышенной грозовой активности, отмечаемой круглогодично на Черноморском побережье Кавказа — наличие особых физико-географических характеристик. Южное расположение района, наличие незамерзающего моря и отрогов Главного Кавказского хребта оказывают существенное влияние на климат. Это влияние сказывается в том, что все процессы, протекающие с довольно определённой закономерностью на равнинных местах, в данном рельефе претерпевают значительные изменения, которые порой трудно учесть.

Благодаря подробному рассмотрению циклонической деятельности, а также различных синоптических ситуаций, связанных с ней, можно выделить, что в среднем на территории Черноморского побережья Кавказа наблюдалось 27 дней с грозой. Максимальное количество гроз отмечалось в горных и предгорных районах – Красная Поляна и АМСГ.

Также следует отметить, что необходимо продолжать дальнейшее изучение погодных явлений и термобарического поля циклонической деятельности, для более точного и своевременного прогнозирования грозовой активности. Раскрыв закономерности, которые есть в атмосферных процессах, мы можем предусмотреть будущее развитие тем самых процессов. Иначе говоря, для прогноза необходим предварительный анализ. В данной работе мы ознакомились с физико-географическими особенностями и климатическими характеристиками Черноморского побережья Кавказа, изучили синоптические модели циклонической деятельности, выявили закономерности погоды, выделили типовые синоптические положения формирования грозовой

деятельности, а также проанализировали данные о распределении, частоту возникновения грозы в зимний период на Черноморском побережье Кавказа.

Эти навыки анализа синоптической ситуации – являются наиболее важным аспектом проведенной научно-исследовательской работы.

## Список использованной литературы

1. Алтухов, М.Д. Флора и растительность высокогорий Северо-Западного Кавказа. – Л., 1968. – 180 с.
2. Атмосферные явления. Молния. Радуга [Электронный ресурс]. URL: <http://znaniya-sila.narod.ru> (дата обращения: 11.11.2019).
3. Бекряев, В.И. Молнии, Спрайты и Джеты: монография. — СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 95 с.
4. Беленцова, В.А. Территориальное распределение гроз на Северном Кавказе в зависимости от синоптических условий // Труды ВГИ. – 1970. – Вып. 17. – С. 64-78
5. Ватьян, М.Р., Песков, Б.Е. К характеристике грозовой деятельности в предгорных и горных районах Северного Кавказа // Труды ГМЦ СССР. – 1973. – Вып. 105. – С. 109-116.
6. Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 604 с.
7. Главач, А. Молния и человек. – Казахстан, 1989. – 150 с.
8. Грачева, В.П. Исследование характеристики образования гроз // Труды ГГО. – 1960. – Вып. 94. – С. 76-79
9. Гроза [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 21.11.2019).
10. Ермаков, Е.Л., Стожков, Ю.И. Физика грозовых облаков. Краткие сообщения по физике. — М.: ФИАН, 2004. — 220 с.
11. Зверев, А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 712 с.
12. Иванченко, Т.Е., Панов, В.Д. Распределение атмосферных осадков на Большом Кавказе // Сборник работ Ростовской ГМО. – 1980. – Вып. 18. – С. 125-133.
13. Кашлева, Л.В. Атмосферное электричество. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 634 с.

14. Кононов, И.И., Петренко, И.А., Снегуров, В.С. Радиотехнические методы местоопределения грозových очагов. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 222 с.
15. Лачинов, Д. Основы метеорологии и климатологии. – СПб.: Издание А.Ф. Девриена, 1895. – 563 с.
16. Матвеев, Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеоздат, 2000. – 788 с.
17. Нагалеvский, Ю.Я., Чистяков, В.И. Физическая география Краснодарского края: учеб. пособие. – Краснодар, 2003. – 256 с.
18. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – Вып. 3. – Ч. 1. – 297 с.
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – Сер. 3. – 724 с.
20. Павличенко, Т.И. Климат Краснодарa. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 190 с.
21. Погорелов, А.В. Некоторые предварительные оценки изменения климата Краснодарского края и сопредельных территорий. География Краснодарского края: антропогенные изменения на окружающую среду. — Краснодар, 1996. – 108 с.
22. Погосян, Х.П. Грозные явления атмосферы.— М.: Наука, 2000. — 130 с.
23. Природа грозовой активности [Электронный ресурс]. URL: <http://rim.usn.ru> (дата обращения: 08.10.2019).
24. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе грозозащиты. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 230 с.
25. Справочник по климату СССР. Выпуск 13. Часть 5. Облачность и атмосферные явления. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 361 с.
26. Степаненко, В.Д., Гальперин, С.М. Радиотехнические методы исследования гроз. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. — 204 с.
27. Ураган, буря, смерч [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ois.org.ua> (дата обращения: 03.12.2019).
28. Формы молний [Электронный ресурс]. URL: <http://www.planetseed.com> (дата обращения: 12.11.2019).

- 29.Хромов, С.П. Синоптическая метеорология. – М.: «Полиграфкнига», 1940. – 488 с.
- 30.Чалмерс, Дж.А. Атмосферное электричество. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 419 с.