



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему Анализ успешности краткосрочных прогнозов погоды по оперативным  
прогностическим моделям на примере г.Краснодара

Исполнитель Галиакбарова Гузель Анфисовна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)  
Ефимова Юлия Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

23 мая 2018г.

Санкт-Петербург  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
1 Общая характеристика многолетнего режима погоды на юге России	6
1.1 Погода в различных частях циклонов и антициклонов	6
1.2 Погодные особенности юга России	11
1.3 Физико-географическое положение г.Краснодар	26
2 Математические модели прогнозирования погоды	24
2.1 Глобальная система прогнозов (GFS)	26
2.2 Британская математическая модель UKMO	29
3 Методы краткосрочных прогнозов погоды по пункту г.Краснодар	31
3.1 Постановка цели и задач	31
3.2 Критерии успешности	32
3.3 Оценка успешности прогноза температуры воздуха по пункту	34
3.4 Расчет критериев успешности прогноза температуры воздуха для г. Краснодара	36
3.5 Анализ синоптической ситуации, сопутствующей наименее успешным прогнозам максимальной температуры воздуха	46
Заключение	53
Список использованных источников	55
Приложение	56

## Введение

Прогнозирование погоды требует не только больших вычислений, но и целой сети сбора данных о погоде. В своей работе метеорологи используют различные методы предсказания, составляя таблицы оценок, вероятности событий. От решения такой задачи зависит многое. Данные о погоде используются, например, в авиации для предупреждения и избегания сложных метеорологических ситуаций, также в военной области, космической и других.

Ежедневно результаты работы метеоцентра появляются на телевидении и в Интернет-источниках, что даёт возможность людям знать, какая погода их ожидает, и соответственно продуманно спланировать свой день, учитывая метеоусловия.

Погоду можно предсказывать по местным признакам, синоптическим методом - на основе анализа синоптических карт погоды и численными методами - путем вычисления с использованием ЭВМ. Существуют еще и физико-статистические методы, отличительной особенностью которых является составление прогнозов погоды в так называемой вероятной форме. У каждого из перечисленных методов есть свои достоинства и недостатки, своя специфика использования и свои возможности применения на практике для удовлетворения нужд потребителей прогностической информации.

В настоящее время составляются прогнозы как общего пользования, рассчитанные на всех и распространяемые средствами массовой информации, так и специальные - предназначенные для удовлетворения запросов отдельных отраслей народного хозяйства, они помещаются в специальных метеорологических бюллетенях или передаются по ведомственным каналам связи.

Прогнозы общего пользования содержат минимум количественной информации об ожидаемом состоянии всего комплекса метеорологических величин, характеризующих погоду. Специальные прогнозы отличаются большей

детализацией и конкретностью характеристики состояния отдельных метеорологических величин, представляющих наибольший интерес для потребителя.

На Интернет-сайтах, предоставляющих прогнозы погоды, зачастую дают разные данные. А главное условие доверия потребителя к ним – это успешность. Потому для проведения сравнительного анализа будут привлечены прогностические данные с нескольких источников и архив фактических данных по г.Краснодар за 5 месяцев. Эта тема является очень актуальной на сегодняшний день, ведь мы часто слышим от людей вопрос или даже упрек в сторону метеорологов о том, что прогноз погоды не оправдывается. Данная работа поможет разобраться в причинах возможного расхождения и даст понять, где таится корень проблемы в каждой метеоситуации.

На данный момент, синоптики располагают не только приземными и высотными картами погоды, но и радиолокационными наблюдениями, спутниковой информацией, а самое главное – данными гидродинамических моделей, основанных на численных методах прогнозирования.

Гидродинамические модели – это огромный шаг вперед и ценнейшая база, без которой сегодня не обойдется ни один синоптик. Но, несмотря на это, оправдываемость прогнозов погоды еще недостаточно высока. Основная причина - ошибки разного рода: невозможность моделей описывать все физические процессы, происходящие в атмосфере; трудности математического описания этих процессов; недостаточная точность и достоверность первичных метеорологических данных; нерегулярная сеть наблюдений. У глобальных моделей расстояние между точками регулярной сетки порядка 60 км, у региональных и мезомасштаба – меньше, и только синоптик, беря за основу свой опыт и знания особенностей погоды местного региона, может дать полноценный прогноз, беря за основу какую-либо модель. Это определяет такие качественно

новые аналитические функции специалиста-прогнозиста, как выявление и учет систематических ошибок численных прогнозов погоды для региона прогноза.

Без оценки успешности прогнозируемых элементов невозможно дальнейшее улучшение качества той или иной модели. В настоящее время в большинстве центров, занимающихся прогнозированием, ведется сравнительный анализ различных отечественных и зарубежных моделей разного масштаба по оценкам успешности прогнозов различных метеоэлементов. На основе этой статистики происходит замена устаревших моделей, внедрение новых моделей, удовлетворяющих требованиям высокого качества выходной продукции, оперативности и технологичности. Это определяет актуальность настоящей работы.

Известно, что прогноз метеоэлементов тесно связан с характером и интенсивностью атмосферной циркуляции. Поэтому очень важно знать, как та или иная характеристика связана с определенным синоптическим процессом, сформировавшемся над данной местностью. Особенно это касается такого важного элемента погоды, как температура воздуха.

# 1 Общая характеристика многолетнего режима погоды на юге России

## 1.1 Погода в различных частях циклонов и антициклонов

Изучая многолетний режим погоды, целесообразно исследовать погодные условия характерные для основных барических образований, то есть для циклонов и антициклонов.

Циклон на разных стадиях развития имеет своеобразную трехмерную структуру, и каждая стадия отличается особенностями погоды.

Нередко с прохождением циклона связывают пасмурную погоду с сильными ветрами и дождями. Но циклон включает в себя несколько разнородных воздушных масс, с разными характеристикам погоды. Погода в циклоне может быть как пасмурной, так и солнечной – в зависимости от свойств воздушных масс в тыловой и передней частях.

Ранняя стадия циклона характеризуется тремя зонами, с разными погодными характеристиками: передняя часть циклона, тёплый сектор циклона, тыловая часть циклона.

Погодные условия в передней части циклона (перед тёплым фронтом) формируются под влиянием тёплого фронта, являющимся условной тыловой границей этой зоны.

Когда обычная облачная система теплого фронта натекает на расстоянии 900-1000 км от линии приземного теплого фронта поверхности, работник метеослужбы наблюдает облачную полосу тонких прозрачных перистых облаков (Ci) совместно с перисто – слоистыми облаками. При приближении теплого фронта на расстоянии около 600 км от него на смену перистых и перисто-слоистых облаков приходят высокосоистые полупрозрачные (As trans.) И высокосоистыми плотными (As op.).

Плотные слоисто – дождевые облака (Ns) находятся под высоко – слоистыми облаками и плотно прилегают к тёплому фронту. Слоисто – дождевые облака напоминают по внешнему виду высокослоистые, но имеют более темный цвет. Чаще всего слоисто-дождевые облака дают 10 баллов облачности, т.е. небо не имеет просветов. Ширина распространения слоисто – дождевых облаков 300 км. Они несут обложные осадки.

В дневное время летом в восходящие движения воздуха вблизи теплой линии фронта время от времени приобретают характер конвективных и в предфронтальном облачном покрове встречаются конвективные облака, количество и интенсивность осадков увеличивается, нередко возникают штормовые процессы с грозами.

В передней части циклона давление падает и по мере приближения теплого фронта увеличивается. Максимальное падение давления отмечается преимущественно перед теплым фронтом.

Ветер в передней части циклона, движущийся в общей сложности с запада на восток, имеет главным образом юго-восточное направление.

Погодные условия в тёплом секторе циклона характеризуются прекращением обложных осадков из слоисто – дождевых облаков, повышением температуры воздуха и сменой направления ветра с юго – восточного на юго-западному. После того, как фронт пройдет фиксируется заметное уменьшение падения давления, заканчивающимся его ростом за холодным фронтом, который является тыловой границей тёплого сектора.

Воздушная масса тёплого сектора главным образом влажная и устойчивая. В этой части циклона могут быть облачные системы динамической конвекции – слоистые и слоисто-кучевые (St, Sc). Слоистые туманообразные (St neb облака.), сходные с туманом, иногда находятся очень низко и закрывают высокие объекты, находящиеся на земле. Часто в тёплом секторе образуются адвективные туманы, которые сопровождаются сильными ветрами.

Обычно в тёплом секторе не наблюдается значительных осадков. Из слоистых облаков, которые являются капельно – жидкими, возможно выпадение морозящих осадков, а зимой из слоисто – кучевых – небольшой снег.

Если тёплый фронт находится в четко выраженной ложбине и медленно перемещается, то восходящие движения могут охватывать и зафронтальную область (тёплый сектор циклона). В этом случае система облаков восходящего скольжения As – Ns находится с обеих сторон тёплого фронта так, что за фронтом облака сильно расслоены и не дают осадков, либо осадки слабые, чаще всего морозящего вида.

В теплое время года, воздушная масса в тёплом секторе циклона над сушей может быть неустойчивой с малооблачной погодой или с кучевой, время от времени с кучево – дождевой облачностью, с ливневыми осадками, зачастую с грозами, ночными в том числе, с радиационными туманами (в основном после выпадения осадков в виде дождя и ночного прояснения).

Погодные условия тыловой части циклона (за холодным фронтом) типичны для неустойчивой холодной воздушной массы. Здесь наблюдается кучевые, кучево – дождевые облака, осадки в виде ливня, неоднократно повторяющиеся, временами днем гроза, шквал, а ночью над материками образуются радиационные туманы. Очень сильно проявляется суточный ход метеорологических элементов.

После прохождения холодного фронта наблюдается резкий поворот ветра с юга, юго-запада на северо – запад, усиление скорости ветра, понижение температуры воздуха, рост давления, (летом, при ясной погоде, холодный воздух быстро прогревается).

За холодным фронтом отмечается область наибольшего роста давления.

Стадия окклюирования циклона обуславливается тремя зонами по условиям погоды: передняя часть циклона; вторичный тёплый сектор циклона, где фронт окклюзии и вторичный холодный фронт являются границами; тыловая часть циклона – за вторичным холодным фронтом.



Другая половина жизни циклона описывается снижением его поступательной скорости, существенным реорганизацией термобарического поля тропосферы – циклон становится высоким, термически симметричным (холодным) барическим образованием.

Если циклон окклюдированный, то погода отличается в зависимости от характеристик воздушных масс по обе стороны от фронта окклюзии.

Если окклюзия по типу теплого фронта, перед ним воздушная масса будет холоднее, чем после его прохождения. Тёплый фронт окклюзии влечет за собой метели, гололеды.

Если окклюзия по типу холодного фронта, то наблюдается обратная ситуация - тыловая воздушная масса будет холоднее. На окклюзии по типу холодного фронта зачастую возникают грозы, иногда туманы, особенно при кратковременных ночных прояснениях в зоне фронта. На фронте окклюзии нередко бывает слияние облачных систем холодного и тёплого фронтов – создается общая полоса осадков из слоистых облаков восходящего скольжения ( $A_s - N_s$ ) и конвективных кучево-дождевых облаков ( $C_b$ ), выпадение которых будет и перед линией фронта, и позади него.

В стадии окклюдирования циклона у поверхности Земли в барических ложбинах за холодным основным фронтом, где наблюдается сходимости ветра, бывает образование вторичных холодных фронтов (часто не более двух) Система облаков вторичного фронта имеет облачность, сходную с облачностью системы облаков холодного фронта второго рода, но вертикальная протяженность облаков меньше, чем у основных.

Во вторичном тёплом секторе, по сравнению с тёплым сектором молодого циклона после небольшого прояснения, которое наступает вслед за прохождением фронта окклюзии, в тылу циклона начинают появляться конвективные облака, которые связаны со вторичными фронтами, с грозами, ливневыми осадками, метелями и шквалами.

Необходимо заметить, что ливневые осадки выпадают даже в холодное полугодие, так как относительно тёплая воздушная масса, которая располагается за фронтом окклюзии, обладает сильной неустойчивостью и в верхней тропосфере уже является достаточно холодной.

Нередко, на периферии циклона остается часть основного тёплого сектора, ещё выделяют – настоящий тёплый сектор.

Далее при заполнении циклона вместо единой облачной полосы фронта окклюзии появляются разрозненные облачные элементы, которые состоят по большей части из кучевых облаков.

Со временем поля давления и ветра выравниваются, циклон полностью заполняется, но вихревая структура облачной системы на месте бывшего циклона ещё может сохраняться в течение полутора суток – т.е. значения влажности и температуры ещё продолжают отличаться от значений окружающей атмосферы.

Чаще всего, с антициклонами связывают достаточно спокойную ясную или малооблачную погоду – но это очень общее представление, так как погодные условия в антициклоне различаются в зависимости от происхождения и свойств воздушных масс самого антициклона и соседних с ним, влагосодержания и температуры воздушных масс, особенностей подстилающей поверхности, рельефа местности, а также от стадии развития антициклонического возмущения, мощности нисходящих движений в его центральной части, времени года.

С возрастом антициклона растет температура тропосферы, особенно при его стабилизации, что объясняется развитием нисходящих движений в антициклоне и динамическим нагреванием воздуха.

Барические градиенты в центральных частях антициклонов небольшие, следовательно, ветры там слабые, но на периферии антициклона, особенно в передних частях, примыкающих к тыловым окраинам циклонов, могут наблюдаться сильные ветры.

Ветер в приземном слое в антициклоне, как и в циклоне, направлен под углом к изобарам в сторону низкого давления. Следовательно, в антициклоне ветер направлен от центральной части к периферии.

Расходимость воздушных потоков в слое трения обуславливает конвергенцию ветра в более высоких слоях и развитие нисходящих движений. Нисходящие движения в антициклоне удаляют воздух от состояния насыщения и обуславливают в антициклонических областях общее преобладание ясной погоды. Конденсация в антициклоне может быть вызвана преимущественно охлаждением воздуха от подстилающей поверхности или путем излучения, а также вследствие волновых процессов в атмосфере, поэтому она происходит в виде туманов, слоистых облаков и волнистых облаков под поверхностями инверсий. Летом, при отсутствии инверсий, в антициклонах могут наблюдаться конвективные облака.

[1]

Анализ погодных процессов в различных частях циклонов и антициклонов может быть использован при оценке фоновых синоптических условий для наименее успешных прогнозов.

## 1.2 Погодные особенности юга России

*Климатические районы юга России* - районы, где сложные физико-географические условия Юга России создают в пределах этой территории большое разнообразие ландшафтно-климатических зон (от влажного субтропического восточного побережья Черного моря на западе названной территории до резко континентального сухого климата Прикаспийской полупустыни на востоке и от высокогорного климата Кавказских гор, покрытых вечным снегом, на юге до умеренно континентального климата равнины Донских степей на севере). Юг России славится первоклассными климатическими курортами: Сочи, Анапа, Теберда, Кисловодск. В зависимости от

природных и климатических условия на территории Юга России можно выделить три климатических района: морской, горный, полупустынный. *Морские климатические районы Юга России* расположены на побережье Черного, Азовского и Каспийского морей. По климатическим условиям они существенно различаются. Побережье Черного моря делится на два района: Южный - Сочинский и Северный - Анапский. Район Сочи занимает береговую полосу Черного моря от г. Адлера до с. Глубокого. Главный Кавказский хребет, высотой более 2000 м, защищает этот район от континентальных северо-восточных ветров, а юго-западные морские ветры создают здесь климат влажных субтропиков с солнечным, очень теплым и очень влажным летом и очень мягкой зимой. В этом районе произрастают вечнозеленые субтропические растения (пальмы, цитрусовые и др.). Что касается характеристики климата этого района, то продолжительность солнечного сияния составляет 2250 ч в год, средняя годовая температура 13 - 14°C, относительная влажность 76 %, облачность 55-60 %. Количество осадков от 1650 мм (Сочи) до 1350 мм (Туапсе). Лето солнечное, очень теплое, нередко случаи очень жаркой и очень влажной погоды. Зима очень мягкая, облачная с частыми и обильными затяжными осадками. Главный Кавказский хребет, начиная от Туапсе, непрерывно снижается, в Новороссийске его высота уменьшается до 600 м, а в районе Анапы переходит в равнину. По мере снижения горного хребта северо-восточные ветры проникают на побережье все больше и больше, скорость их увеличивается и в районе Новороссийска они достигают скорости шторма, особенно в холодное полугодие. Поэтому климат этого района носит вместе с хорошо выраженными чертами приморского явно выраженные признаки континентального, усиливающиеся к северо-западу: количество атмосферных осадков убывает с 1100 мм (Джубга) до 750 мм (Анапа); продолжительность солнечного сияния возрастает до 2400 ч в год. Субтропическая растительность исчезает и заменяется растительностью умеренных широт. Зима мягкая, сырая и ветреная. Температура в январе от 2,6°C

(Джубга) до 1,8°C (Анапа), влажность в среднем 80 %, облачность нижняя 50 %.  
Лето солнечное, очень теплое, в июле температура воздуха от 22,6°C до 23,4°C.  
Жаркая погода, наблюдаемая в этом районе, переносится сравнительно легко из-за низкой влажности и морских бризов, осадков выпадает немного. Осень значительно теплее весны: сентябрь и половина октября - лучшее время года.  
Побережье Азовского моря представляет собой широкую низменную прибрежную полосу, простирающуюся от Таганрогского залива до Таманского полуострова. Большая часть ее занята плавнями и лиманами дельты р. Кубани и только в северной части района Северо-Кавказские степи доходят до Азовского моря. В Приазовском районе средняя годовая температура 10 - 11°C, относительная влажность 76 - 79 %, небольшая нижняя облачность 30 - 35 %, скорость ветра 5 - 6 м/сек, продолжительность солнечного сияния 2400-2100 ч/год, сумма осадков от 450 до 500 мм. Лето солнечное, очень теплое- в июле средняя температура 24,1°C (Темрюк) - до 21,6°C (Ейск), влажное на юге - 72 % и менее влажное на севере - 66 %, облачность нижняя небольшая - 10 - 15 %, скорость ветра значительная - от 4 до 5,5 м/с. Зима умеренно мягкая, дождливая, сырая, ветреная. Температура января от 1,1°C (Темрюк) до 3,7°C (Ейск), облачность нижняя - от 24 % на юге до 60 % на севере. Климат западного побережья Каспийского моря (территория Дагестана от г. Махачкала до р. Самур) формируется под общим преобладающим влиянием окружающей Каспийское море полупустыни, со свойственным ей континентальным климатом и местным непосредственным влиянием Каспийского моря. Средняя годовая температура 12°C, относительная влажность 75 - 78 %, скорость ветра от 3,2 на юге (Дербент) до 6 м/с на севере (Махачкала), годовое количество осадков 355 - 400 мм, продолжительность солнечного сияния от 1900 ч (Дербент) до 2000 ч (Махачкала). Лето солнечное, очень теплое (июль 24 - 25°C), умеренно влажное (62 %), облачность нижняя небольшая (20 - 26 %), скорость ветра от 5 м/с (Махачкала) до 2,8 м/с (Дербент). Приведенные данные показывают, что районы трех морей находятся в разных климатических условиях: на

побережье Каспийского моря отчетливо выражены черты континентального климата, на Черноморском побережье климат влажных субтропиков. Климат побережья Черного моря в холодную половину года теплее и суше, а летом, наоборот, холоднее и более влажный, чем в Прикаспийской низменности. Летом на Черноморском побережье нередко наблюдаются влажно-тропическая погода.

*Горные климатические районы Юга России.* В среднегорном районе Северного Кавказа природные условия и рельеф отличаются большим разнообразием: вся территория, простирающаяся с юго-востока на северо-запад вдоль северного склона Кавказского хребта, состоит из горных хребтов, расчлененных ущельями и долинами рек. Передовая горная цепь (Пастбищный хребет), отделяющая среднегорный район и часть низкогорного района (выше 800 м) от предгорий Кавказа, защищает эту территорию от неблагоприятных ветров - зимой холодных, сопровождающихся туманами, гололедом и изморозью, а летом знойных и засушливых. Среднегорный район Северного Кавказа характеризуется большой чистотой и прозрачностью воздуха, повышенной интенсивностью солнечной радиации с относительно большим содержанием биологически активной УФ-радиации, большой продолжительностью солнечного сияния (Бермамыт 2350 ч), большим числом ясных дней по нижней облачности (Кисловодск 142, Теберда 134), умеренной влажностью (70 %), слабыми ветрами от 1,7 м/сек (Архыз) до 2,4 м/сек (Кисловодск). В среднегорном районе климатические условия изменяются в зависимости от высоты, рельефа, растительности и т. д. С увеличением высоты давление воздуха уменьшается от 992 мб на высоте 890 м (Кисловодск) до 810 мб (Усенги 1900 м), температура воздуха понижается в среднем на 0,4 - 0,5°С на 100 м. Средняя годовая температура в зависимости от высоты изменяется от 3,3°С (Усенги) до 8,0°С. В долинах наблюдаются местные горно-долинные ветры. Особенно благоприятна в этом районе зима - относительно теплая, солнечная с небольшим количеством атмосферных осадков, безветренная. В зимнем периоде часто наблюдаются явления инверсии и фены. В январе температура воздуха

изменяется от  $-1^{\circ}\text{C}$  (Гуниб) до  $-5,2^{\circ}\text{C}$  (Архыз), облачность от 12 % (Гуниб) до 31 % (Архыз), скорость ветра от 1,9 м/с до 2,5 м/с (Теберда). Сумма осадков от 10 мм до 60 мм (Архыз). Лето по климатическим условиям менее благоприятно, чем зима - в июле температура воздуха изменяется от  $19^{\circ}\text{C}$  (Кисловодск) до  $13^{\circ}\text{C}$  в наиболее высоких местах (Архыз), относительная влажность умеренная - 70 - 80 %, облачность нижнего яруса небольшая - около 40 %, часто наблюдающиеся дожди выпадают в виде кратковременных ливней, преимущественно во второй половине дня, ветры слабые 1 - 2 м/с. Весна - самое ветреное время года, с неустойчивой погодой и резкими колебаниями температур, с частыми осадками и значительной облачностью. Осень солнечная, сухая, безветренная, влажность воздуха умеренная.

*Районы Прикаспийской полупустыни.* Территория этого района представляет собой низменность, прилегающую с северо-запада к Каспийскому морю. Весь этот обширный район является совершенно ровной полупустыней и лежит ниже уровня моря от 0 до 29 м. Ландшафт этой местности представляет солонцевато-глинистую степь с полынно-злаковой растительностью. Климат района континентальный, сухой с умеренно холодной зимой и жарким летом, сильными ветрами и малым количеством осадков: от 186 мм за год на востоке до 300 мм на западе, средняя годовая температура от  $8 - 9^{\circ}\text{C}$  на севере до  $10 - 11^{\circ}\text{C}$  на юге, относительная влажность 60 - 64 %, облачность большая зимой и небольшая летом, скорость ветра 5 - 6 м/с. Зима холодная, температура воздуха в январе  $9 - 10^{\circ}\text{C}$  на севере, и  $3 - 4^{\circ}\text{C}$  на юге; относительная влажность очень высокая, в среднем 86 - 88 %, при восточных ветрах наблюдаются туманы, нижняя облачность 57 - 76 %, скорость ветра от 3 до 5 м/с. Лето солнечное, очень сухое, жаркое: средняя температура июля  $23 - 27^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность низкая 45 - 55 %, облачность небольшая 18 - 23 %, дожди выпадают в небольшом количестве и только в виде кратковременных ливней, скорость ветра 3 - 5 м/с. Характерной особенностью летней погоды являются суховеи, реже - пыльные бури. Весна

короткая, вначале с холодной, влажной, неустойчивой погодой, скоро переходящая в летнюю, сухую и теплую погоду. В первой половине осени увеличиваются облачность и влажность, появляются туманы и уже в конце сентября наблюдаются первые заморозки. [2]

### 1.3 Физико-географическое положение и климат г. Краснодар

Краснодар находится в нижнем течении реки Кубань. Высота над уровнем моря 33 м. Долгота 39 градусов 09 минут, широта 45 градусов 02 минуты. В северной части реки Кубань значительная по размеру территория занята сельскохозяйственными угодьями, в южной части реки сельскохозяйственные земли сменяются массивами дубовых и смешанных широколиственных лесов, которые на расстоянии 40-50 км от Краснодара переходят в горные широколиственные леса. Отроги Кавказа находятся в юго-западной части Краснодарского края на расстоянии 40-50 км, высота их 200-500 м, на расстоянии 60-70 км высота некоторых вершин достигает 690 - 740 м. Такой относительно невысокий горный хребет - начало Большого Кавказа – отделяет Прикубанскую долину от Черного моря. Самое маленькое расстояние до него 90 км, до Азовского моря от Краснодара (на запад) - 120 км.

Непростые физико-географические условия, близость незамерзающих морей разнообразие ландшафта, и горные системы хребтов Кавказа, большое число водохранилищ вносят ряд изменений в общую циркуляцию воздушных масс, что делает климат Краснодара очень своеобразным. Краснодар находится в районе взаимодействия разных систем циркуляции. Здесь могут быть абсолютно разные по своим физическим свойствам и по происхождению воздушные массы: холодные из Арктики, морские с Атлантики, сухие из Казахстана, тропические со Средиземноморского бассейна и Ирана. Влияние рельефа существенно видоизменяет циркуляцию воздушных масс. На Западное Предкавказье



воздействует черноморская депрессия и оно защищено Ставропольским плато от восточных континентальных воздействий. Достаточно, сильное влияние системы хребтов Большого Кавказа. При подходе к хребту задерживаются холодные воздушные массы, замедляется движение фронтов и их орографически обусловленное обострение, феновые эффекты, которые возникают при адвекции южных теплых масс или при нисходящих движениях воздуха над хребтом, сказывается на климате не только гор, но и прилегающих к ним обширных равнин Предкавказья. В зимний период часто наблюдаются затоки холодных континентальных воздушных масс из Казахстана. Циклоны, которые зарождаются на Средиземном море, несут теплый и влажный воздух с осадками. Черное море лежит на пути средиземноморских циклонов, которые, взаимодействуя с теплыми воздушными массами в районе Черного моря, способствуют возникновению новых циклонических возмущений и выходу циклонов на северную часть территории Северного Кавказа. Зимой циркуляция большей частью определяется зависимостью между черноморской депрессии и гребнем азиатского антициклона. Антициклоны арктического происхождения обычно движутся с северо-западного на юго-восточное направление. Типично, что эти антициклоны нередко стационарируют над юго-восточной частью ЕТР, поскольку плотный холодный азиатский антициклон не дает прохода глубже на восток. Система Большого Кавказа при арктических вторжениях задерживает движение холодных воздушных масс, которые не в состоянии перейти через хребет обтекают его с северо-запада и юго-востока. Для весенних процессов наиболее характерным является резкое уменьшение градиентов давления и температуры воздуха при ослаблении азиатского барического максимума. Над Атлантикой усиливается азорский антициклон. Средиземноморские циклоны получают возможность продвигаться к востоку и северо-востоку. С ними происходит вынос теплых воздушных масс с юга и юго-запада, которые способствуют быстрому повышению температуры воздуха. Увеличение значения температуры воздуха связано с процессами

трансформации воздушных масс, но их повторяемость в начале лета значительно меньше, по сравнению с процессами адвекции. Адвекция арктического воздуха в тыловой части проходящих циклонов, которая распространяется на большое расстояние на юг, влечет за собой типичные для весны возвраты холодов. Наиболее яркой чертой весенней циркуляции является сильная изменчивость синоптических процессов и быстрая смена воздушных масс. В теплое полугодие влияние циркуляции ослабевает. Значительный приток солнечной радиации определяет основной летний процесс – прогревание континентального воздуха и преобразование его в тропический воздух. Летом условия циркуляции определяются воздействием континента больше, чем в другие сезоны года. Такое развитие процессов преобразования обусловлено превалированием антициклонической циркуляции. Преобразовательные процессы и определяемая ими засушливость увеличивается к середине лета. Если между тропическим воздухом и более холодным континентальным из Западной Европы происходит столкновение, то образуется линия полярного фронта. В этой части начинают свое развитие циклоны, ведущие за собой выпадение осадков. Главную роль в формировании режима осадков играет характер рельефа. Под влиянием рельефа существенно видоизменяется циркуляция воздушных масс. Летняя циркуляция воздушных масс продолжается и в первой половине осени. Второй половине осени характерно постепенное увеличение барических и температурных градиентов, усиление интенсивности западного переноса и уже в ноябре месяце погодные условия принимают зимний характер. Уникальность климата Краснодара выражается в том, что здесь мягкая, теплая зима и довольно не жаркое лето, а также выпадение довольно большого количества осадков. Среднегодовая температура воздуха по многолетним данным равна 10,6 градуса. За период 1988-2002 год среднегодовая температура воздуха составила 11,5 градусов. Абсолютный минимум по многолетним данным равен -36 градусов, за исследуемый период он составил -30,3 градуса. Абсолютный максимум по

многолетним данным и за исследуемый период составил 41 градус. Самый жаркий месяц года июль, средняя температура его +24.1 градуса, по многолетним данным средняя температура +22.9 градуса. Самым холодным месяцем является январь, его средняя температура -0,4 градуса, по многолетним данным средняя температура -2.1 градуса. Средняя продолжительность холодного периода без морозов по многолетним данным 186 дней, за исследуемый период она увеличилась до 208 дней. Средняя дата прихода первого заморозка 15 октября, последнего заморозка – 11 апреля. Самый ранний заморозок по многолетним данным отмечался 18 сентября, самый поздний - 12 мая. Первый заморозок за исследуемый период наблюдался 14 октября, а последний – 22 апреля. Относительная влажность воздуха устанавливается температурным режимом и притоком влаги в атмосферу. Зимой относительная влажность воздуха не имеет высоких значений, максимумом в ноябре 84%. По многолетним данным максимум относительной влажности 85% приходится на декабрь – январь. Из-за роста температуры воздуха, с февраля месяца наблюдается снижение относительной влажности. В теплый период года относительная влажность воздуха не достигает высоких значений, минимум 66% приходится на июль - август. Средняя годовая относительная влажность воздуха равна 75%, что соответствует норме. В теплый период года осадки выпадают при западных, юго-западных, северо-западных воздушных потоках. Максимальные суммы количества осадков за месяц приходятся на теплое время года с максимумом в июне 90,5 мм. По многолетним данным в июне отмечалось 64 мм осадков. Основная причина возникновения летнего максимума - это активизация холодных фронтов атлантических циклонов летом, существенная по сравнению с зимой повторяемость этих циклонов. Не менее значительную роль в образовании максимума осадков летом играет высокая влажностонеустойчивость атлантического воздуха. Помимо этого термическая неустойчивость вносит свой вклад в развитие конвекции и, соответственно, выпадение осадков в виде сильного ливня. В

холодный период года наибольшее количество осадков приходится на ноябрь-декабрь с максимумом в ноябре 75,2 мм, что значительно меньше летнего максимума, минимальное количество осадков наблюдается в феврале и составляет 43,2 мм. Многолетние данные этого периода года показывают максимальное количество осадков 64 мм в декабре месяце, а наименьшее – 52 мм было в январе-феврале. В холодный период года Северный Кавказ находится большей частью под влиянием континентальных умеренных и арктических воздушных масс, влагосодержание которых очевидно уступает влажным атлантическим массам, которые идут с запада в теплый период. Среднегодовое количество осадков составило 749,5 мм. Это значительно превышает норму осадков по многолетним данным, равную 640 мм. За период апрель-октябрь в среднем выпало 448,2 мм, что на 84,2 мм больше, чем по многолетним данным (364 мм). С ноября по март осадков в среднем выпало 301,3 мм, это на 25,3 мм больше нормы. Максимальное количество осадков 71.4 мм за сутки отмечалось в июле 1989 года. В среднем за год было 168 дней с осадками, по среднемноголетним данным - 132 дня. В среднем за год наблюдалось 14 дней с осадками при видимости менее 1000 м. В 1989 году отмечалось максимальное число дней (27) с осадками при видимости менее 1000 м, а в 1991 году осадков ухудшающих видимость менее 1000 м не наблюдалось. За исследуемый период 1988–1999 гг., господствующим является восточное направление ветра, его повторяемость составляет 21.9%. Северо-восточный ветер имеет повторяемость 12%, юго-западный - 12.3%. Среднегодовая скорость ветра составила 5.2 м/сек. Наибольшая средняя скорость ветра 6 м/с была в марте, наименьшая средняя скорость ветра 4.4 м/сек наблюдалась в августе. Средняя скорость устанавливалась с учетом порывов ветра. Максимальная скорость ветра за период 1988–2002 гг. была 23 м/сек порыв 28 м/сек, и наблюдалась в январе 1993 года. В среднем за год наблюдалось 25 дней с сильным ветром  $\geq 15$  м/сек. Максимальное число дней с сильным ветром отмечалось в 2001 году и составило 45 дней. Мощные восточные ветры возникают в результате:

взаимодействия усиливающихся антициклонов, которые смещаются с северо-запада, севера или северо-востока на юг Европейской территории России с малоподвижной депрессией, располагающейся над Чёрным морем; активизации Черноморской депрессии при наличии над югом ЕТР антициклона. Скорость восточного ветра будет иметь максимальное значение, если центр антициклона находится на одной долготе с Краснодаром, но не севернее Воронежа.

Снежный покров в районе Краснодара очень неустойчивый. В течение зимы он неоднократно сходит, но по многолетним данным в отдельные зимние месяцы (1941-1942, 1953-1954 гг.) снежный покров бывает устойчивым на протяжении 3-4 месяцев. За наблюдаемый период в среднем наблюдалось 39 дней со снежным покровом. Максимальное число дней со снежным покровом (62) отмечалось в 1993 году. Минимальное число дней со снежным покровом (11) наблюдалось в 1990 году. В Краснодаре отмечаются туманы радиационного, адвективного характера и фронтальные. Чаще всего отмечаются радиационные туманы. Они возникают вследствие местного выхолаживания воздуха в ночные часы. Такого рода туманы формируются в антициклонах, гребнях и седловинах, развитых преимущественно в воздушных массах умеренных широт в результате процессов ночного излучения. В результате восточного и западного переноса образуются адвективные туманы, они могут зарождаться в любое время суток. Фронтальные туманы соответственно наблюдаются при прохождении теплых и реже холодных фронтов, возникновение таких туманов практически не зависит от времени суток. За период исследования, в среднем за год, наблюдалось 47 дней с туманом. По многолетним данным в Краснодаре наблюдалось 48 дней с туманом. Чаще всего туманы отмечались в холодный период года с максимумом в январе (7 дней). Максимум – 60 дней с туманом отмечались в 1989 году. Минимальное число дней с туманом (28 ) было в 1998 году. В Краснодаре различают грозы внутримассового и фронтального характера. Из работы «Условия образования гроз в Краснодаре», которая выполнена по материалам 1959–1963 годов вытекает, что

70% случаев грозы имеют фронтальный характер, а остальные 30% имеют внутримассовое происхождение. В тыловой части заполняющихся циклонов возникают внутримассовые грозы. К ним же отнесены и случаи гроз, которые возникают в результате циклогенеза над Северным Кавказом. Прогностическим признаком образования орографических циклонов в основном является неравномерное понижение давления в ложбине, которая занимает районы Малой Азии и Северного Кавказа, а точнее, рост давления над Черным морем и падение или слабый рост в районе Краснодара. Этот признак обычно появляется за 6–8 часов до грозообразования. Фронтальные грозы связаны преимущественно с основными и вторичными холодными фронтами, смещающимися с запада или северо-запада. На теплых фронтах грозы бывают редко и в основном в ночное время суток. Если фронты двигаются с юго-западного на северо-восточное направление, то грозы практически не возникают. Грозы в районе Краснодара бывают круглый год. В среднем за год наблюдалось 35 дней с грозой, по многолетним данным их было 28. Наибольшее число дней с грозой приходится на лето с максимумом в июне до 9 дней, по многолетним данным - 8 дней. Зимой грозы бывают реже. Метели в Краснодаре - это сравнительно редкое явление. По многолетним данным отмечалось 7 дней в году с метелью. За исследуемый период число дней с метелью сократилось в среднем за год до 0.5. С 1988 по 2002 год метели наблюдались в течение 5 лет и отмечались они по 1-2 дня в год. Важным условием для возникновения общей метели является снегопад и сильный ветер. Низовые метели и поземки чаще наблюдаются в антициклонической области. Чаще всего их возникновение происходит при более низких температурах, когда снег сухой и довольно маленького усиления ветра для возникновения низовой метели или поземной метели. Гололед бывает нечасто и не каждый год. В среднем за год он наблюдался до трех дней в году. Максимальное число дней с гололедом было в 1998 году и составило 9 дней. Чаще всего гололед отмечался в декабре. Гололед по большей части образуется при смещении к северу фронтов, ранее

стационарирующих в предгорьях Кавказа, при активизации черноморской депрессии. Град – это также редкое явление. Самая большая вероятность выпадения града приходится на июнь месяц. Град наблюдается в основном летом. Выпадение града зачастую обусловлено прохождением активных холодных фронтов, наличием области пониженного давления, сильной неустойчивостью воздушных масс, местными орографическими факторами. Чаще всего град выпадает при меридиональном типе циркуляции. На уменьшение или увеличение случаев выпадения града сильное влияние оказывают возвышенности и горы, а также большие водоемы. На равнинах даже небольшие возвышенности влияют на возрастание случаев выпадения града. В предгорных и горных районах это действие еще более усиливается. Этому способствует развитие восходящих потоков перед препятствиями, усиление турбулентности в приземном слое воздуха и, как следствие увеличение конвективной облачности. Также сильное влияние на уменьшение числа дней с градом оказывают крупные водоемы. За исследуемый период град наблюдался только в течение 4 лет. [3]

## 2 Математические модели для прогнозирования погоды

Оценка успешности и разработка наиболее точных прогнозов – это одна из фундаментальных задач современной метеорологии, так как, именно, успешность прогнозов является необходимым условием доверия к ним потребителей.

На сегодняшний день в сети Интернет существует большое количество сайтов, предоставляющих прогнозы погоды во многих точках земного шара. Популярными источниками прогнозов используют численные модели анализа атмосферных процессов.

Первые попытки использовать математические модели для прогнозирования погоды были сделаны в 20-х годах XX века, только с изобретением компьютера и компьютерного моделирования стало возможным осуществлять его в режиме реального времени. Такой процесс связан с обработкой большого набора данных и выполнением сложных вычислений и может быть полноценно осуществлен только на мощных суперкомпьютерах, в память которых поступает непрерывный поток метеорологической информации о фактическом состоянии погоды, зафиксированном на тысячах метеорологических станций континента и окружающих его морей и океанов. Эта информация опознается, сортируется, подвергается контролю машиной и специальной обработке, а в дальнейшем осуществляется объективный анализ. Данные отдельных станций, расположенных на разных расстояниях друг от друга, пересчитываются в значения основных метеорологических величин для регулярной сетки точек, расположенных равномерно на географической карте анализируемой территории. Обработанная таким образом информация становится исходной для выполнения расчетов на ЭВМ. Она вводится в уравнения гидротермодинамики, описывающие состояние погоды в исходный момент времени. Решение этих уравнений согласно подготовленной ранее и многократно опробованной программе, выполняемое на ЭВМ, и является будущим состоянием атмосферного давления, ветра,





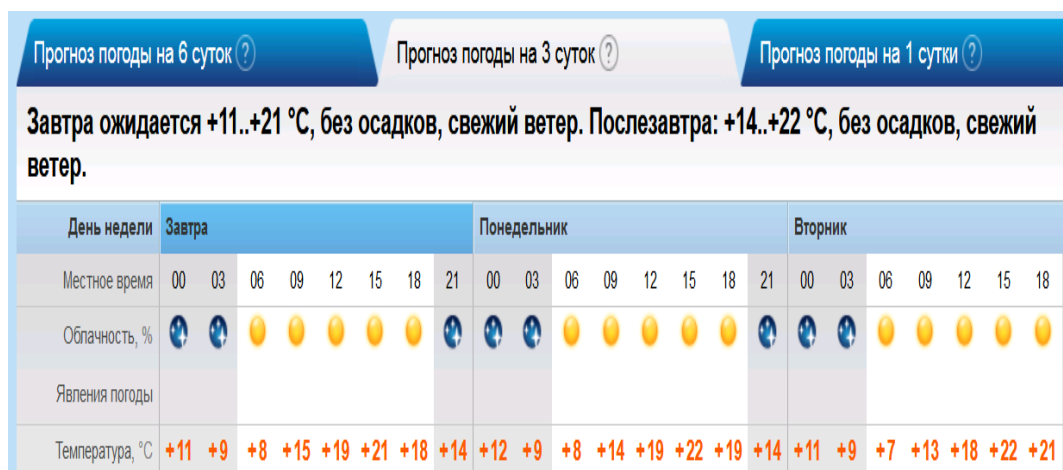


Рисунок 2.2 – Прогноз погоды на 3 суток в г.Краснодар по модели UKMO (сайт [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru))

Данная работа направлена на сравнение прогнозов температуры воздуха города Краснодар, где будут использоваться результаты моделирования GFS, которая публикуется на сайте [windguru.ru](http://windguru.ru) и модель UKMO – на сайте [rp5.ru](http://rp5.ru)

## 2.1. Глобальная система прогнозов (GFS)

GFS (Global Forecast System) - это глобальная система числового прогноза погоды, содержащая глобальную компьютерную модель и вариационный анализ, проводимый Национальной службой погоды США (NWS). Изначально создана на базе квазиоптической модели распространения потоков (без учета интерференций), не учитывает рельефа суши, наличие небольших островов, очертания береговой линии материков и крупных островов. [5] При этом дает достаточно точный прогноз средней погоды для квадрата  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  (а теперь уже во многих случаях и  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ ) для открытых океанов, но совершенно не пригодна для мест вблизи суши, а так же закрытых водоемов, таких как, например, Средиземное море, и уж точно дает совершенно случайный результат для рек и озер, закрытых бухт и т.п. В настоящее время математическая модель

усовершенствована, она запускается четыре раза в день и дает прогнозы на 16 дней вперед, но с уменьшением пространственного разрешения через 10 дней. С течением времени навык прогноза обычно уменьшается (как и при любой модели численного прогноза погоды) и для долгосрочных прогнозов, только большие масштабы сохраняют значительную точность. Это один из преобладающих синоптических моделей средней дальности общего пользования.

Как и в большинстве работ правительства США, данные GFS не защищены авторским правом и находятся в свободном в соответствии с законодательством США. В связи с этим модель служит основой для прогнозов многочисленных частных, коммерческих и зарубежных погодных компаний.

К 2015 году модель GFS отстала от точности других глобальных моделей погоды. Это было наиболее заметно в модели GFS, неправильно прогнозирующей ураган Сэнди, выходящий в море до 4 дней до высадки; В то время как модель Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды предсказывала выход на берег на 7 дней. Большая часть этого была предложена из-за ограничений в вычислительных ресурсах в рамках Национальной службы погоды. В ответ NWS купил новые суперкомпьютеры, увеличив вычислительную мощность с 776 терафлоп до 5,78 петафлоп. Агентство также тестировало потенциальную модель замены с использованием другой механики - модели Icosahedral с конечным объемом потока (FIM) с начала 2010 года.

Основные преимущества прогноза погоды, рассчитанного на основании модели GFS:

- 1.регулярный расчет прогноза погоды для поверхности всей планеты в нескольких гидрометеоцентрах в разных странах;
- 2.доступность прогнозов;
- 3.приемлемо-точное предсказание погоды для открытых океанов.

Основные недостатки прогноза погоды, рассчитанного на основании модели GFS:

1. усредненная погода для квадрата  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$  (15nm x 15nm), а во многих местах и  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  (30nm x 30nm);
2. непригодность прогноза для участков, граничащих с сушей и на суше.

Прогноз погоды, выполненный на основании модели GFS доступен в 3 форматах: Meteocharts, GRIB., Табличный.

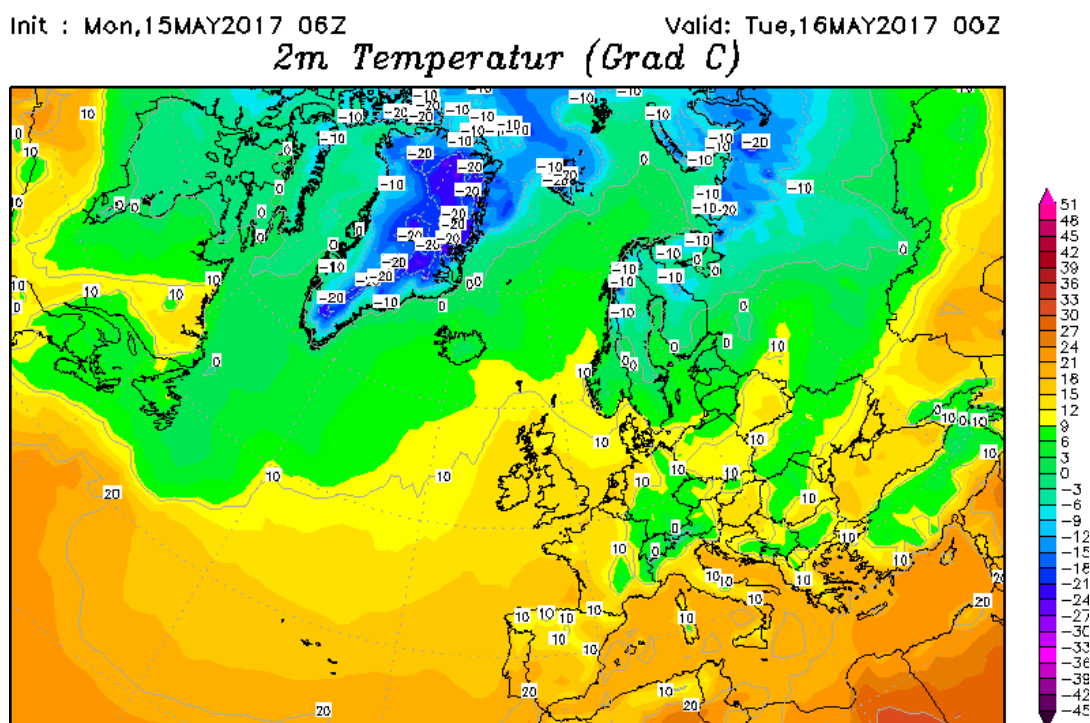


Рисунок 2.3 – Математическая модель прогнозирования GFS

Вместе с тем, в каждом гидрометеоцентре мира (а в некоторых странах их по несколько) разработаны метеорологические модели, оптимизированные для конкретного региона и помимо выдачи прогноза на основании моделей GFS, официального shipping forecast, выдают дополнительные прогнозы в разных форматах для разных участков и степеней детализации территории. Во многих случаях такие прогнозы оказываются, зачастую, более точными для заданных участков, хотя могут пропустить глобальные погодные эффекты. [6]

## 2.2 Британская математическая модель UKMO

Про математическую модель UKMO известно не так много. UKMO - Метеорологическая служба Великобритании, основанная в 1854 году, Робертом Фицроем, штаб-квартира в Эксетере, Великобритания.

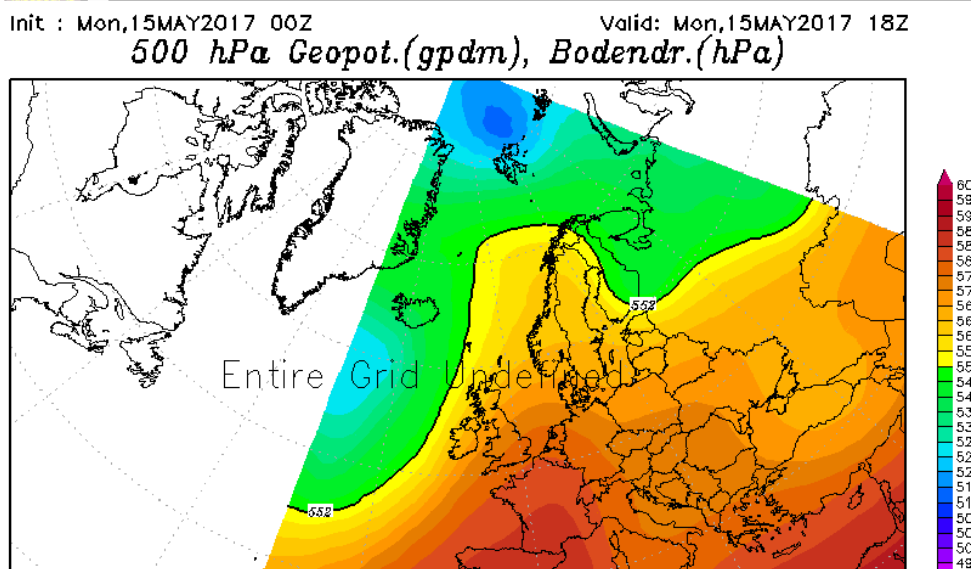


Рисунок 2.4 – Математическая модель прогнозирования UKMO

Для анализа критериев успешности прогнозов по каждой модели будем пользоваться архивом фактических данных температуры по метеостанции, находящейся в пункте г.Краснодар.

Прогнозы глобальной модели (UKMO) поступают в Гидрометцентр России в коде GRIB в узлах сетки по широте и долготе соответственно. Следует отметить, что реальная сетка в этих моделях имеет шаг 30 – 40 км на глобусе. Модель PLAV2 ~40 км, региональная модель ~75 км. Для зарубежных мезомасштабных моделей пространственный шаг составляет от 15 до 20 км и только в модели

Д. Я. Прессмана шаг сетки равен 10 км (эта модель охватывает территорию лишь узлов сетки, что примерно соответствует территории Московской области, и имеет заблаговременность прогноза только до 36 ч).

Отметим, что во все модели включена довольно совершенная система учета разнообразных притоков тепла и неадиабатических факторов, что позволяет достаточно успешно давать прогноз таких сложных метеоэлементов, как приземная температура воздуха и осадки. [6]

### 3 Методы краткосрочных прогнозов погоды по пункту г.Краснодар

#### 3.1 Постановка цели и задач

Целью данной работы является анализ и сравнение показателей успешности краткосрочных прогнозов температуры воздуха трех глобальных прогностических моделей по пункту Краснодар. Также важно выявить циркуляционные условия и синоптический фон, наиболее характерные для случаев наименее успешных прогнозов, совпавших у моделей. В работе использовались интерпретированные прогнозы моделей: UKMO (Глобальная модель прогноза погоды метеоцентра Великобритании), GFS (Глобальная система прогнозирования, США). Актуальность работы заключается в том, что анализ синоптического процесса для наименее успешных прогнозов в его развитии, захватывающий день, когда был составлен прогноз и последующие сутки до прогнозируемой даты, до настоящего времени не проводился.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: составить базу данных, состоящую из прогнозов погоды на 3 и на 5 суток; рассчитать и проанализировать показатели успешности и абсолютной ошибки прогнозов температуры воздуха по двум выбранным моделям для пункта Краснодар; оценить «реакцию» моделей на аномалии среднесуточной температуры воздуха синоптические условия; выявить наименее успешные прогнозы; для случаев неоправдавшихся прогнозов проанализировать архив приземных и высотных карт барической топографии. Определить неблагоприятный синоптический фон для прогноза моделей.

В работе предполагается сформировать архив данных прогностической температуры воздуха (на 72 ч.) по пункту Санкт-Петербург для моделей UKMO (сайт <http://rp5.ru/>) и GFS (сайт <http://windguru.ru/>) и комплексный прогноз синоптика (сайт <http://www.metecentr.ru/>) за три зимних сезона (2017/18гг., 2017/2018гг., 2017/18гг.) периода ноябрь – март. Для зимнего сезона 2017/18гг.

планируется ежедневно сохранять прогностические карты (на 3 суток) барической топографии модели GFS (сайт <http://www.wetterzentrale.de>), для определения траекторий основных барических центров, а также для сравнения их с фактическими картами. В ходе работы предполагается произвести оценку успешности прогнозов максимальной температуры воздуха, выбрать даты, когда модели дают очень хороший прогноз и очень плохой – и соотнести их с атмосферной циркуляцией, которая наблюдалась в эти дни. Таким образом, по-возможности, определить, какая модель дает лучший прогноз и при каких синоптических условиях.

### 3.2 Критерии успешности

Оперативные прогностические подразделения составляют краткосрочные прогнозы погоды по пункту и по территории ответственности. Под территорией ответственности следует понимать территорию субъекта Российской Федерации (республики, края, области, округа и т.д.) или его часть, обслуживаемую ЦГМС-РСМЦ, ЦГМС-Р, ЦГМС; под пунктом – территорию населенного пункта / центра субъекта Российской Федерации[8].

Краткосрочные прогнозы погоды на сроки до 72 ч (на первые, вторые и третьи сутки) составляют ежедневно до 12 ч местного времени. Конкретное время составления прогнозов устанавливают межрегиональные территориальные органы, ГУ УГМС, ФГУ «Калининградский ЦГМС», АНО «Московское ГМБ».

В прогнозах погоды указывают следующие метеорологические величины: облачность, осадки, направление и скорость ветра, минимальная температура воздуха ночью и максимальная температура днем (в градусах Цельсия); а также явления погоды.



Прогноз погоды на сутки составляется отдельно на ночь и на день. Если погода в течение прогнозируемого периода ожидается однородная, то допускается прогноз погоды на сутки давать одним текстом. Период действия прогноза погоды на ночь и день ограничивается, соответственно, временем утреннего и вечернего измерения осадков. Прогнозы публикуют в единой гидрометеорологической базе (ЕГМБ) и распространяют через средства массовой информации, а также передают по информационно-телекоммуникационным сетям, включая сеть Интернет, и сетям почтовой связи[8].

Прогнозы погоды на сутки уточняют сверхкраткосрочным (полусуточным) прогнозом на текущий день. Сверхкраткосрочный прогноз погоды на день составляют не позднее 7 ч местного времени и распространяют по согласованным схемам обслуживания. Если в уточнении нет необходимости, то формулировка суточного прогноза погоды повторяется в прогнозе на текущий день.

Прогноз погоды на сутки и сверхкраткосрочный прогноз погоды для территории и пункта передают, как правило, общим текстом. При этом в прогнозе температуры воздуха для административного центра (населенного пункта) и территории применяют разные градации. Если погода предполагается различной, то прогноз составляют для территории и пункта отдельно.

Прогноз погоды на вторые и третьи сутки составляют по пункту и территории. В этих прогнозах для пункта необходимо применять градации температуры воздуха, принятые для суточного прогноза по пункту. Прогноз погоды на вторые и третьи сутки составляют для каждого суток отдельно (с указанием даты).

Если характер погоды в течение последующих двух суток ожидается однородным, то разрешается составлять объединенный прогноз погоды (прогноз погоды на последующие двое суток)[8].

### 3.3 Оценка успешности прогноза температуры воздуха по пункту

Оценка успешности прогноза погоды производится сравнением прогнозируемых метеорологических величин и явлениями погоды с данными наблюдений метеорологических станций, которые расположены на территории, где составлялся прогноз, и дальнейшего расчёта необходимых статистических показателей. [9]

Главный показатель успешности прогнозов погоды – это оправдываемость. Оправдываемость прогноза метеорологической величины – число соответствия прогнозируемого интервала значений метеорологической величины фактически наблюдавшимся её значениям с установленным допуском (индивидуально для каждой метеорологической величины).

Прогнозы всех метеорологических величин, за исключением количества осадков, оценивают в альтернативной форме: «прогноз оправдался» или «прогноз не оправдался». [9]

Оправдываемость прогноза температуры воздуха на каждой станции  $P$  равна 100 %, если фактически наблюдаемая максимальная (минимальная) температура находилась в пределах прогнозируемой градации или отличалась от крайних ее значений не более чем на 2 °С. Если фактические значения наблюдаемой температуры отличались от крайних значений прогнозируемой градации более чем на 2 °С, то оправдываемость равна 0 %.

Краткосрочные и сверхкраткосрочные прогнозы погоды оценивают по пункту и территории отдельно для дня и ночи. Оправдываемость суточного прогноза определяется как среднее из значений оправдываемости прогнозов на ночь и на день [8].

Для характеристики точности прогноза максимальной и минимальной температуры воздуха по пункту дополнительно рассчитывают абсолютную

ошибку  $\bar{\delta}_t$  (°C) отдельно для максимальной и минимальной температуры по формуле:

$$\delta_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_n - t_{\phi}|_i, \quad (3.1)$$

Где,  $t_n$  - прогностическое значение (среднее значение прогнозируемой градации по пункту);

$t_{\phi}$  - фактическое значение температуры воздуха (соответственно максимальной и минимальной) на каждой метеорологической станции рассматриваемого пункта;

$N$  - общее число метеорологических станций (постов) на рассматриваемой территории. [10]

*Средняя абсолютная ошибка прогноза за период*

По пункту, кроме средней оправдываемости прогноза погоды, рассчитывают среднюю абсолютную ошибку за период  $\Delta t_{\text{пер}}$  по формуле:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_{tc}, \quad (3.2)$$

Где,  $\delta_{tc}$  - абсолютная ошибка прогноза максимальной температуры воздуха за каждый день;

$m$  - число дней в месяце[10].

Оценку успешности прогноза температуры воздуха производят путем сравнения прогностических значений температуры воздуха (днем – максимальной, ночью – минимальной) с фактически наблюдавшимися значениями указанной температуры воздуха на каждой метеорологической станции пункта или территории. [10]

Гидродинамические прогнозы разрабатываются в крупных метеорологических центрах для сравнительно больших территорий. В них очень приближенно учитываются местные влияния на особенности развития

атмосферных процессов. Поэтому эти прогнозы могут рассматриваться как фоновые, нуждающиеся в уточнении по месту и времени, что обеспечивается физико-статистическими методами в метеорологических подразделениях, которые занимаются метеорологическим обеспечением определенного пункта, района, или области. [11]

Возможно, при каких-либо синоптических процессах та или иная модель будет работать лучше (хуже), чем другая. Главная задача данной работы – выявить эти условия, тем самым создав определенные критерии для выбора синоптиком гидродинамической модели при составлении прогноза.

#### 3.4 Расчет критериев успешности прогноза температуры воздуха для г. Краснодара

Целью бакалаврской работы является анализ и сравнение показателей успешности краткосрочных и среднесрочных прогнозов температуры для г.Краснодара за холодное полугодие 2017-2018гг., Также, предполагается выявить синоптические условия, характерные для случаев наименее успешных прогнозов, совпавших у моделей.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: составить базу данных, состоящую из прогнозов погоды на 3 и на 5 суток; рассчитать и проанализировать показатели успешности и абсолютной ошибки прогнозов температуры воздуха по двум выбранным моделям для пункта Краснодар;

Для проведения сравнительного анализа привлечены прогностические данные 2-х моделей и архив фактических данных по пункту г. Краснодар за 5 месяцев. Прогноз максимальной температуры воздуха производился каждый день в одно и тоже время с заблаговременностью 3 и 5 дней для города Краснодар (см.

приложение А). Фактические данные (см. приложение А) были взяты из архивов данных метеостанции.

В ходе работы будет проведена оценка успешности прогноза температуры воздуха по пункту Краснодар. Существует 2 способа оценки успешности прогноза: административный и матричный. Будем использовать административную оценку успешности. Она основана на собрании правил и допусков ошибок при оценке успешности единичных прогнозов. Прогнозы по пункту оцениваются на основании «Наставления по службе прогнозов»[10]. Каждая метеорологическая величина и каждое явление погоды, отмеченные в прогнозе оцениваются самостоятельно. Исходя из этих расчетов и анализа данных устанавливается оценка прогноза погоды.

Для выполнения задачи рассчитаем: абсолютную ошибку прогноза максимальной температуры воздуха на станции; среднюю абсолютную ошибку температуры воздуха за период; оправдываемость прогноза температуры воздуха на станции; среднюю оправдываемость прогноза температуры воздуха за период.

Далее определим, в какие дни модели давали очень хорошие и очень плохие прогнозы, и проанализируем синоптическую ситуацию, которая была в эти дни – определим, как циркуляция влияет на качество прогноза, и какая модель дает лучший прогноз в определенной ситуации.

В таблице 3.1 представлена повторяемость успешных прогнозов в г. Краснодар за холодное полугодие. Наибольшее количество оправдавшихся прогнозов на 3 суток дала модель УКМО ([www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)) за декабрь месяц(77%).

В феврале [www.meteocentr.net](http://www.meteocentr.net) (61%) и марте УКМО ([www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)) (61%) показали одинаково наименьшее количество верных прогнозов.

Таблица 3.1 – Повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 3 суток в %

Месяц/источник	www.rp5.ru	www.meteocentr.ru	www.windguru.ru
Декабрь	77	71	71
Январь	48	61	58
Февраль	68	61	68
Март	65	68	74

На рисунке 3.1 представлена повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 3 суток за весь период. Из диаграммы видно, что за весь исследуемый период наилучшие результаты показала модель GFS (www.windguru.ru) 68% оправдавшихся прогнозов максимальной температуры воздуха, а источники www.rp5.ru (64%) и www.meteocentr.ru (65%) дали примерно одинаковое число оправдавшихся прогнозов.

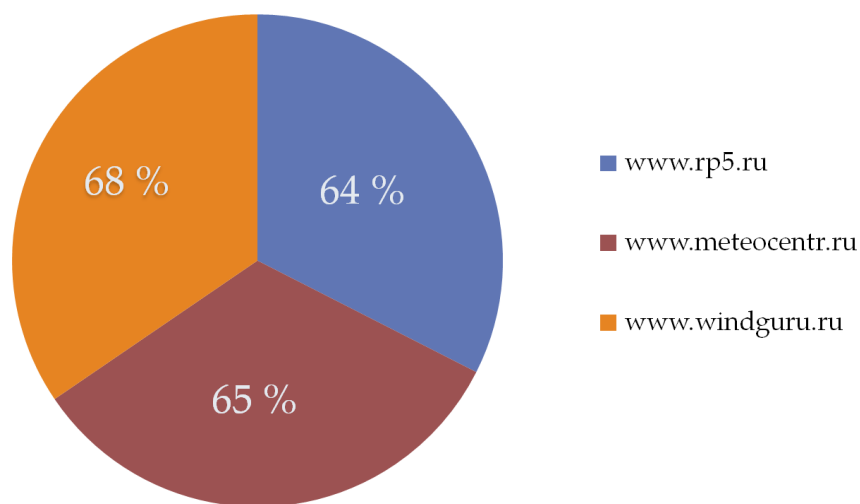


Рисунок 3.1. Повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 3 суток за весь период

В таблице 3.2 представлена повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 5 суток в %. Наибольшее количество оправдавшихся прогнозов на 5 суток дала модель GFS (www.windguru.ru) за декабрь месяц 61%.

Однозначно, источник [www.meteocentr.ru](http://www.meteocentr.ru) показал критически низкое количество верных прогнозов, всего 10%.

Таблица 3.2 – Повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 5 суток в %

Месяц/источник	<a href="http://www.rp5.ru">www.rp5.ru</a>	<a href="http://www.meteocentr.ru">www.meteocentr.ru</a>	<a href="http://www.windguru.ru">www.windguru.ru</a>
Декабрь	48	48	61
Январь	35	10	35
Февраль	39	36	39
Март	48	42	52

На рисунке 3.2 представлена повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 5 суток за весь период. Анализ диаграммы дает понять, что за весь исследуемый сложилась следующая ситуация: наибольшее количество оправдавшихся прогнозов за весь период дали модели GFS(43%) и UKMO(42%), а наименьшее соответственно комплексный прогноз синоптика [www.meteocentr.net](http://www.meteocentr.net) (31%).

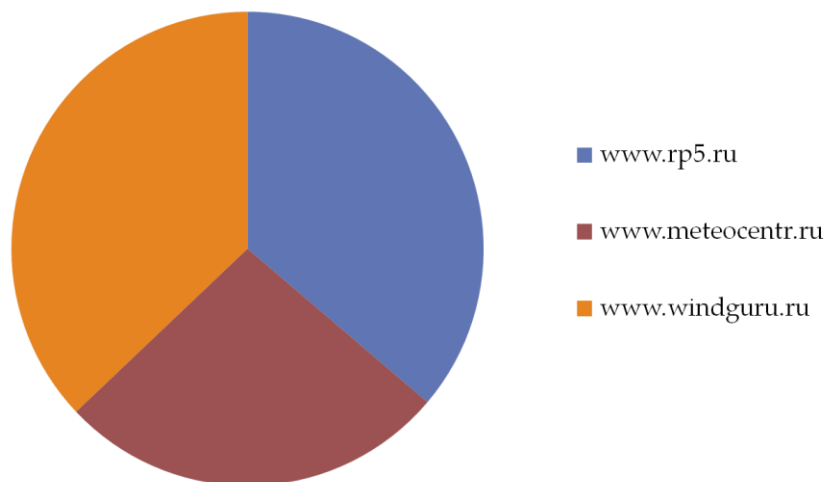


Рисунок 3.2 - Повторяемость успешных прогнозов температуры воздуха на 5 суток за весь период

Рассчитаем абсолютную ошибку прогноза температуры воздуха для г.Краснодар по результатам прогностических данных трех источников и фактических данных станции г.Краснодар.

Рассчитаем абсолютную ошибку по формуле:

$$\delta a = t_{\pi} - t_{\phi} \quad (3.3)$$

где,  $t_{\pi}$  - прогностическое значение (среднее значение прогнозируемой градации по пункту);

$t_{\phi}$  - фактическое значение максимальной температуры воздуха на каждой метеорологической станции рассматриваемого пункта, в данном случае станции Краснодар[10].

Конечные результаты расчета абсолютной ошибки прогноза по температуре на станции представлен в приложении А.

В результате анализа рисунков 3.3 – 3.7 можно сделать выводы по каждому месяцу отдельно.

Например, в декабре значения абсолютной ошибки по всем источникам в течение месяца стабильны и в основном не превышают допустимой нормы, т.е. фактическое значение температуры отличается от прогнозируемого не более чем на 2 °С, за исключением нескольких случаев в середине и второй половине декабря.

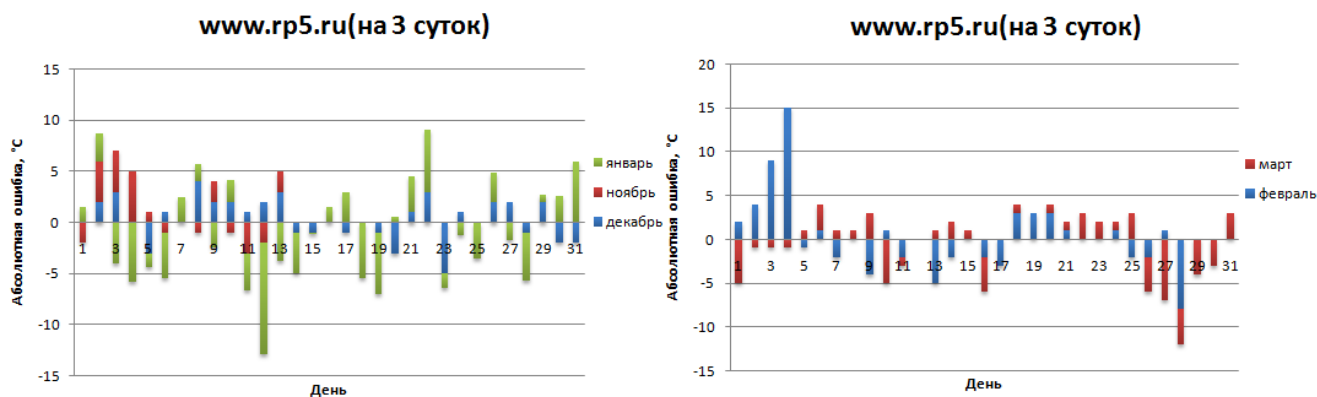


Рисунок 3.3 – Изменение абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 3 суток по прогнозам модели UKMO (www.rp5.ru) на станции



г. Краснодар

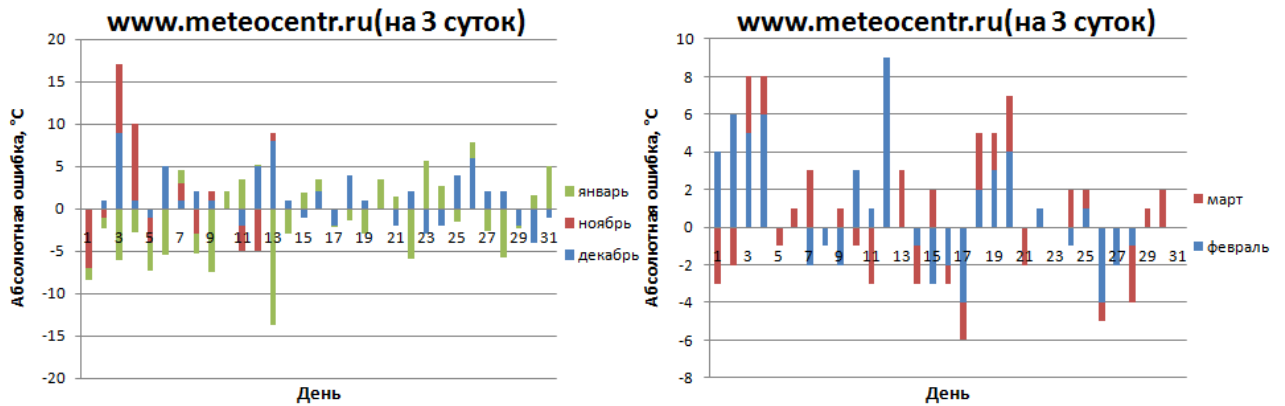


Рисунок 3.4 – Изменение источника www.meteocentr.ru на станции

г. Краснодар

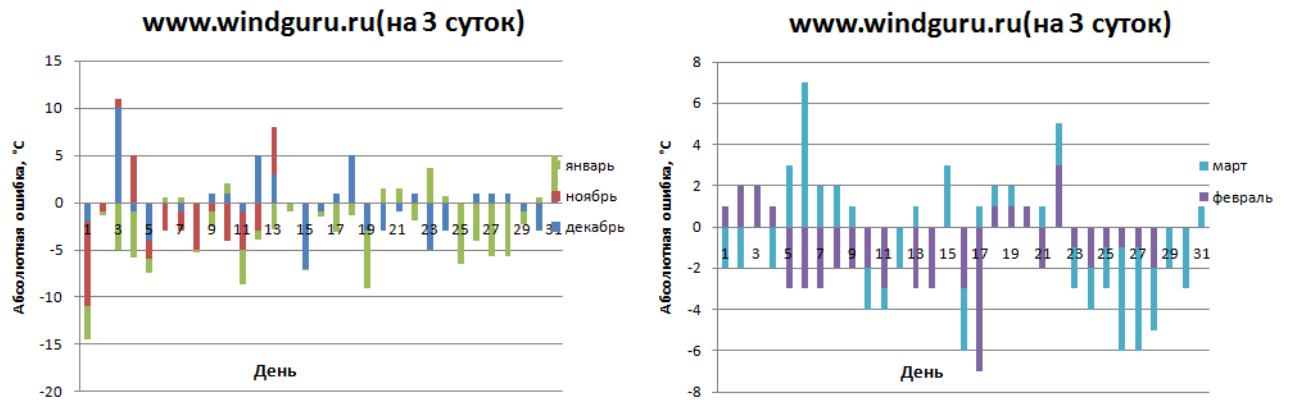


Рисунок 3.5 – Изменение абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 3 суток по прогнозам источника www.windguru.ru на станции

г. Краснодар

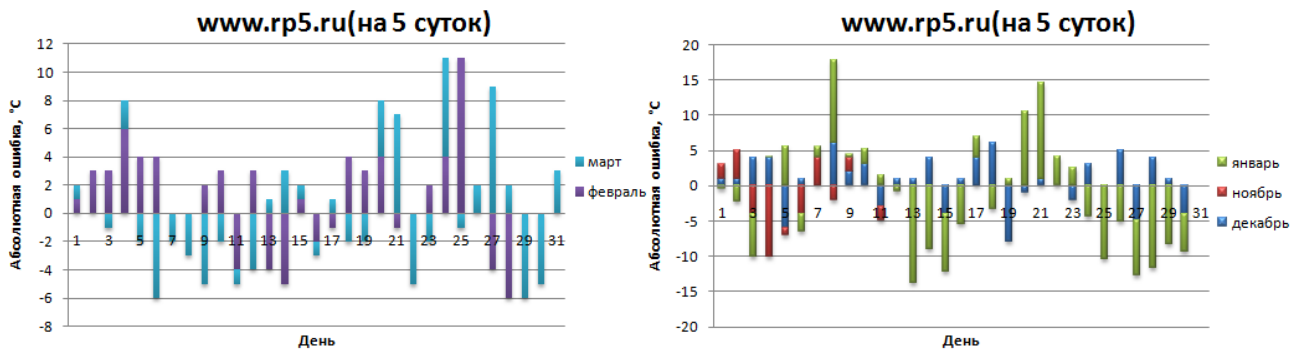


Рисунок 3.6 – Изменение абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 5 суток по прогнозам источника www.rp5.ru на станции г. Краснодар

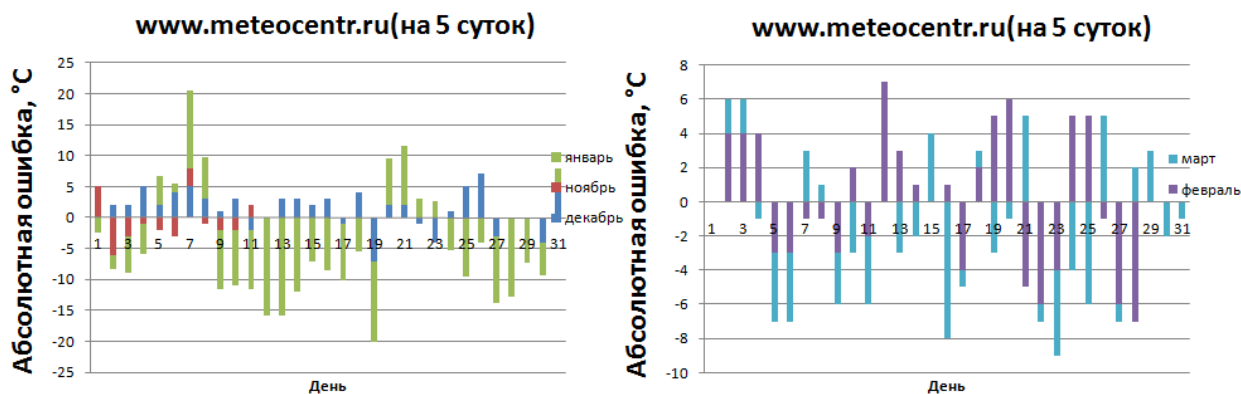


Рисунок 3.7 – Изменение абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 5 суток по прогнозам источника [www.meteocentr.ru](http://www.meteocentr.ru) на станции г. Краснодар

В ноябре и декабре ошибка в пределах допустимой нормы, в январе ситуация намного хуже, нежели в прогнозах на 3 суток, ошибка как будто изменяется по синусоидальному закону, медленно переходит из заниженной в завышенную несколько раз, в феврале и марте также наблюдаются высокие значения ошибки, растущие к концу месяца.

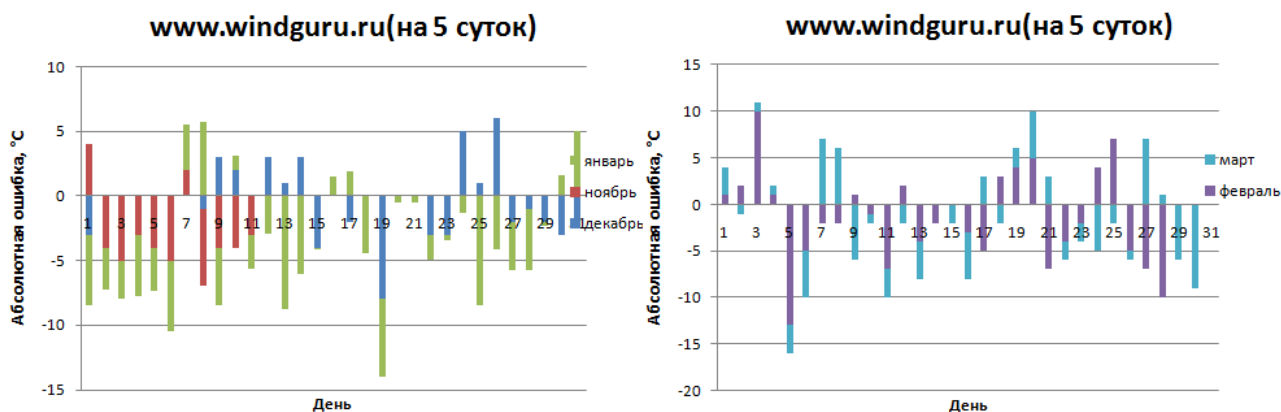


Рисунок 3.8 – Изменение абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 5 суток по прогнозам модели GFS ([www.windguru.ru](http://www.windguru.ru)) на станции г. Краснодар

Проанализировав гистограммы, можно сделать вывод: источник [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru) (прогноз на 3 суток)-в ноябре и в январе в середине месяца абсолютная ошибка

наибольшая ошибка, в декабре ошибка колеблется в пределах допустимого, данные оправдавшихся прогнозов табл. 4.1, подтверждает это (в декабре была наибольшая оправдываемость) в начале и в конце февраля - марта ошибка большая.

Источник [www.gp5.ru](http://www.gp5.ru) (прогноз на 5 суток) - в ноябре высокая ошибка вначале(а на 3 суток, мы наблюдаем обратную ситуацию), в декабре абсолютная ошибка так же, остается в пределах нормы, в январе, феврале и марте ошибка увеличивается с середины месяца(в сравнении с прогнозами на 3 суток этого же источника, результаты имеют обратный ход).

Источник [www.meteocentr.ru](http://www.meteocentr.ru)(прогноз на 3 суток) - высокая завышенная ошибка в начале ноября, в начале декабря немного завышается, в начале января заниженная ошибка, а потом колеблется в пределах нормы, в феврале и марте наблюдается следующая тенденция, в первой половине очень завышенная ошибка, в середине заниженная и в конце месяца ошибка вновь становится завышенной.

Источник [www.meteocentr.ru](http://www.meteocentr.ru)(прогноз на 5 суток) – в ноябре и декабре ошибка в пределах допустимой нормы, в январе ситуация намного хуже, нежели в прогнозах на 3 суток, ошибка как будто изменяется по синусоидальному закону, медленно переходит из заниженной в завышенную несколько раз, в феврале и марте также наблюдаются высокие значения ошибки, растущие к концу месяца.

Модель GFS ([www.winguru.ru](http://www.winguru.ru), прогноз на 3 суток) - в начале ноября сильно заниженная ошибка, через день становится завышенной, а далее удерживается допустимая заниженная ошибка за исключением 13 ноября, где ошибка меняет свой знак на противоположный, в начале декабря ошибка завышенная, далее все в пределах нормы, в начале марта завышенная ошибка, затем колеблется в пределах нормы и в конце становится заниженной, в середине февраля сильно заниженная ошибка.

Модель GFS [www.winguru.ru](http://www.winguru.ru)(прогноз на 5 суток) - в ноябре заниженная ошибка, в декабре наблюдается обратная ситуация по сравнению с прогнозами на 3 суток: в начале декабря ошибка в норме, далее пониженная ошибка сменяет

завышенную, в начале марта и февраля завышенная ошибка, затем сильно занижена, а далее колеблется выходя за границы допустимых значений.

Далее посчитаем среднюю абсолютную ошибку, значения представлены в таблице.

Таблица 3.3 Средняя абсолютная ошибка прогноза температуры воздуха на 3 суток по моделям GFS и UKMO за три зимних сезона по пункту Краснодар

Месяц/источник на 3 суток	www.rp5.ru	www.meteocentr.ru	www.windguru.ru
Ноябрь, °С	0,6	-0,1	-1,8
Декабрь, °С	0,4	1,3	-0,2
Январь, °С	-0,9	-1,1	-1,5
Февраль, °С	0	1	-1
Март, °С	0	0	0

Если рассматривать динамику изменения абсолютной ошибки за каждый месяц от сезона к сезону, то можно сказать следующее: во-первых, абсолютная ошибка понизилась по всем месяцам и в марте дошла до 0, во-вторых, модель UKMO дала абсолютную ошибку ниже, чем в двух других моделях за весь период

Таблица 3.4 Средняя абсолютная ошибка прогноза температуры воздуха на 5 суток по моделям GFS и UKMO за три зимних сезона по пункту Краснодар

Месяц/источник на 5 суток	www.rp5.ru	www.meteocentr.ru	www.windguru.ru
Ноябрь, °С	-1,0	-0,9	-2,9
Декабрь, °С	0,6	1,3	-0,3
Январь, °С	-1,5	-4,3	-2
Февраль, °С	1	0	-1
Март, °С	0	-1	-1

Анализируя динамику изменения абсолютной ошибки прогноза погоды на 5 суток можно сделать выводы:

Во-первых, модель GFS дала максимальную, по сравнению с остальными моделями абсолютную ошибку в январе, во-вторых, модель UKMO и GFS показали минимальную абсолютную ошибку за весь период, в-третьих, абсолютная ошибка понизилась по всем месяцам и в марте дошла до 0, в-четвертых, модель UKMO дала абсолютную ошибку ниже, чем в двух других моделях за весь период

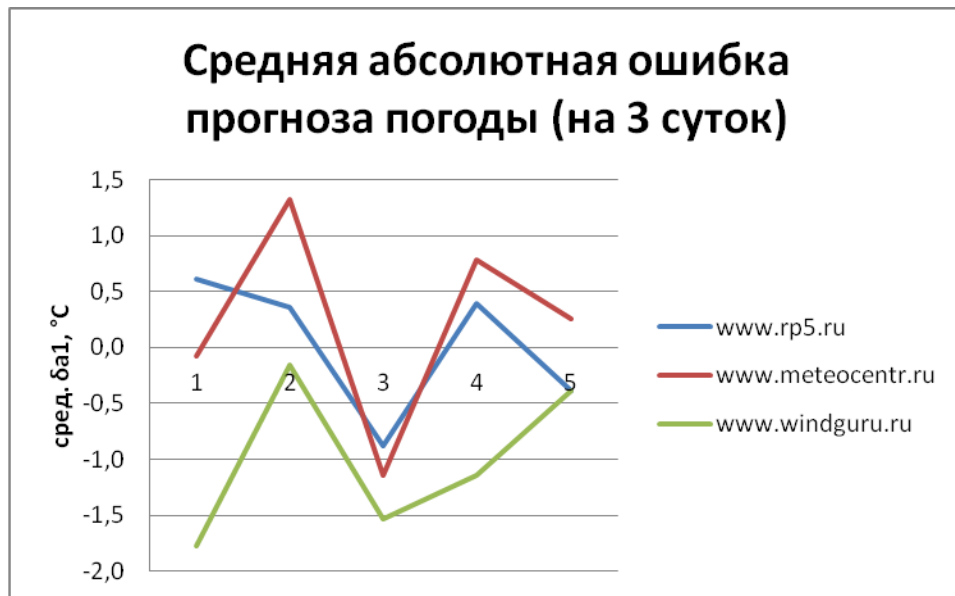


Рисунок 3.8 – Изменение средней абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 3 суток.



Рисунок 3.9 – Изменение абсолютной ошибки прогноза температуры воздуха на 5 суток.

Теперь мы можем сравнить между собой прогнозы на 3 и на 5 суток, так как на графиках все наглядно показано, что модель GFS ([www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)) имеет допустимую среднюю абсолютную ошибку, а источник [www.meteocentr.ru](http://www.meteocentr.ru) дает результаты сильноотклоняющиеся от нормы, причем прогнозирование на 5 суток увеличивает отрицательную среднюю ошибку, а [www.windguru.ru](http://www.windguru.ru) как, странно бы это не казалось, лучшие результаты показывает, прогнозируя на 5 суток, вероятней всего, найти причину можно проанализировав синоптическую ситуацию.

### 3.5 Анализ синоптической ситуации, сопутствующей наименее успешным прогнозам максимальной температуры воздуха

В ходе бакалаврской работы были проанализированы наименее успешные прогнозы максимальной температуры воздуха двух моделей - UKMO и GFS, также был рассмотрен источник [meteocentr.net](http://meteocentr.net) в основе которого лежит комплексный анализ синоптика. Данные наименее успешных прогнозов были разделены на две

группы: занижающие и завышающие фактическую температуру воздуха. Для каждой группы были рассмотрены синоптические карты в тот день, когда максимальная температура была дана неправильно. Ситуация для наименее успешных прогнозов была достаточно разнообразна. Наиболее часто встречающаяся ситуация - это образование частного циклона, в котором Краснодар находится в северо-восточной и северной периферии. Следующий случай - это малоградиентное поле, возникающее в районе северного побережья Черного моря и над территорией Краснодара, в том числе.

Рассмотрим синоптические условия, когда ошибки совпадали у всех рассматриваемых источников, на рисунке 3.10 представлена ситуация за 13.01.2018. Краснодар располагается в передней части уже достаточно развитого частного циклона.

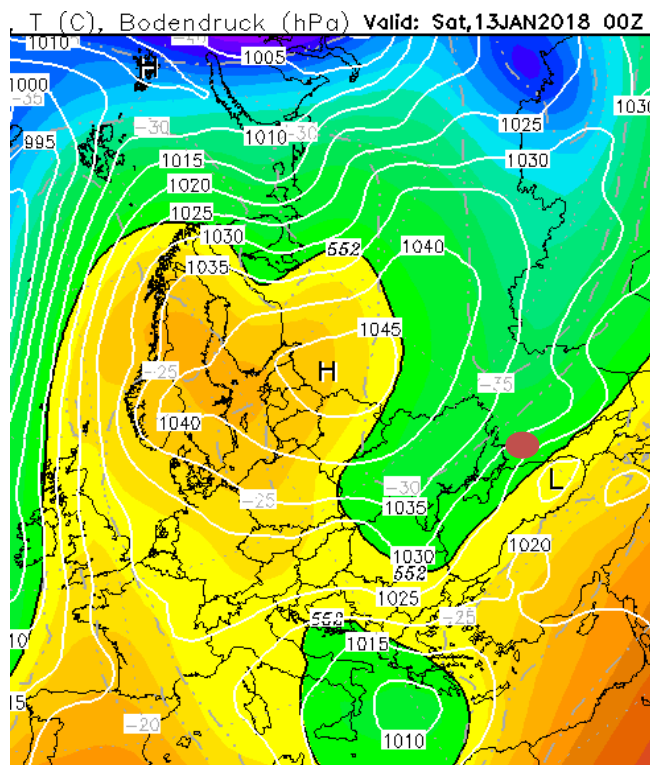


Рисунок 3.10 Синоптическая ситуация 13.01.2018  
Частный циклон над Черным морем

На рисунке 3.11 показана синоптическая ситуация за 28.02.2018, где можно увидеть, что частный циклон над Краснодаром находится в начальной стадии развития.

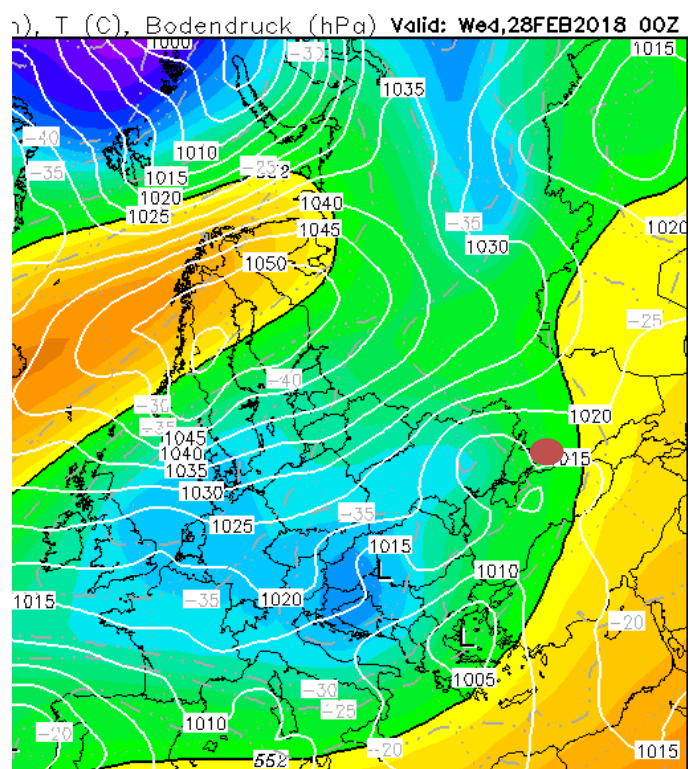


Рисунок 3.11 Синоптическая ситуация 28.02.2018  
Частный циклон над Черным морем

Но нужно иметь в виду, что карты за 00 ч, а к 12 часам циклон будет двигаться в сторону Краснодара. В результате прогноз всех источников дал температуру меньше фактической. Необходимо обратить внимание, что в районе г. Санкт-Петербурга фиксировался высокий очень мощный антициклон, с давлением в центре 1045 гПа (28.02.2018) и 1050 гПа (13.01.2018), что является аномально высоким значением и именно в такой ситуации над Черным морем возникает частный циклон и градиентное поле по всей ЕТР как раз заканчивается в районе Ростова-на-Дону, а уже над Черным морем образуется частный циклон, возможно возникший в результате контраста холодного воздуха, который движется вдоль изобар. Следующий случай встречается достаточно часто в



наименее успешных прогнозах, на рисунке 3.12 Краснодар находится в зоне меридианально вытянутого антициклона, располагающегося не только над Краснодаром, но и над Черным морем, в данном случае температура тоже была занижена.

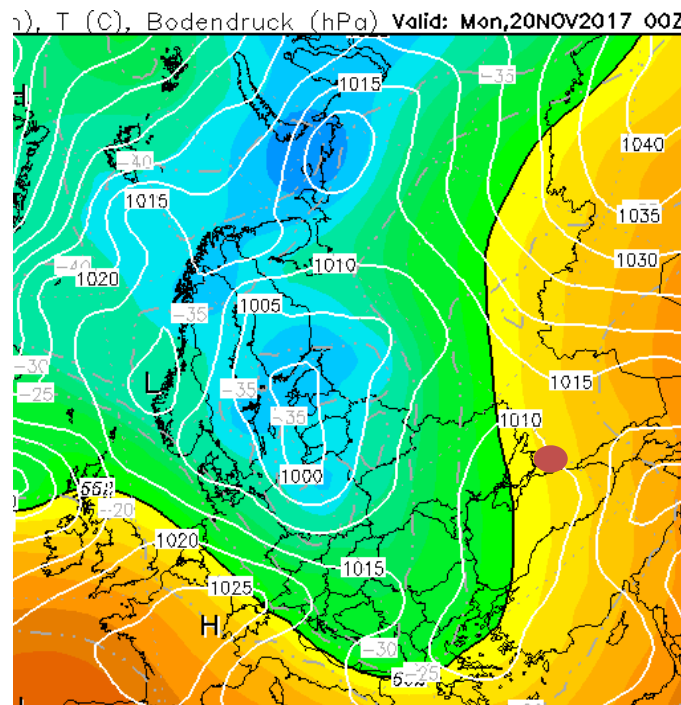


Рисунок 3.12 Синоптическая ситуация 20.11.2017

Малоградиентное поле. Меридионально вытянутый циклон

Модель GFS помимо вышерассмотренных случаев дает заниженную фактическую температуру воздуха, при достаточно сложной синоптической ситуации, на рисунке 3.13 конфигурация изобар выглядит как многочисленные чередования ложбин холода и гребней тепла.

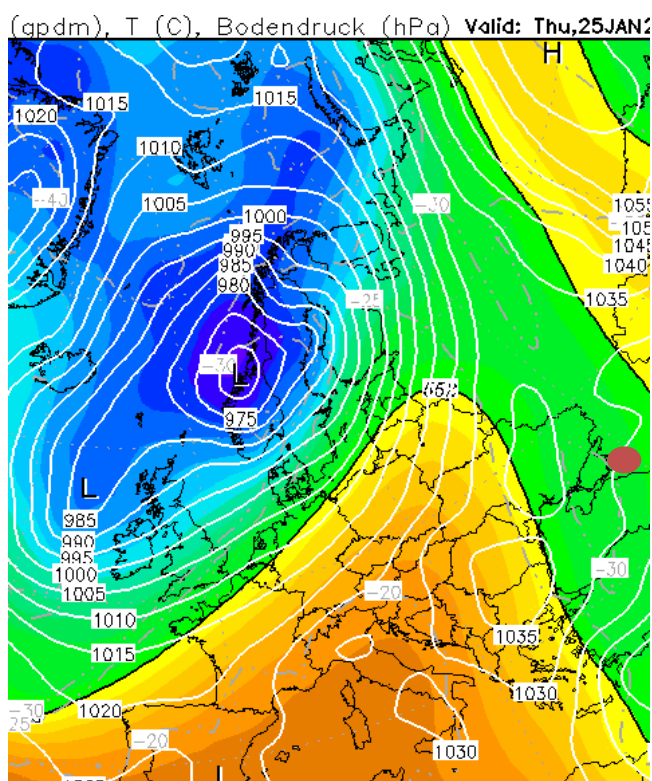


Рисунок 3.13 Синоптическая ситуация 25.01.2018

Следующим этапом работы, были рассмотрены синоптические условия для наименее успешных прогнозов, которые завышали фактическую температуру воздуха, в этих случаях синоптическая ситуация очень разнообразна. Рисунок 3.14 иллюстрирует следующую синоптическую ситуацию: на северо-востоке и востоке от Краснодара располагался либо образующийся антициклон, либо гребень от Сибирского антициклона, который двигался в сторону Краснодара, очевидно, с этим могло быть связано завышение температуры.

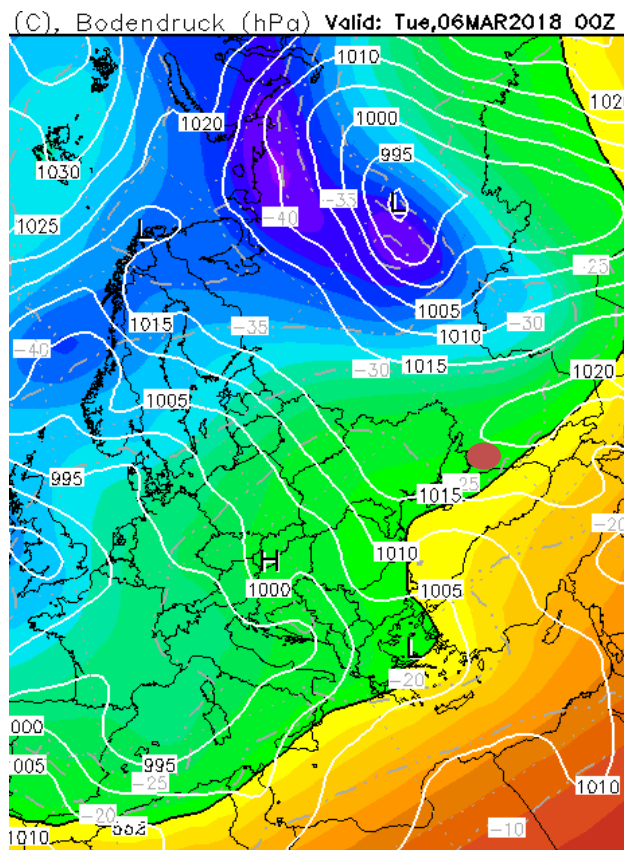


Рисунок 3.14 Синоптическая ситуация 6.03.2018

Также были проанализированы синоптические ситуации прогнозов температуры на 5 суток, но синоптическая ситуация намного сложнее, так как модель дает даже неправильное поле давления, что видно из рисунка.3.15, где мы видим многоцентровую депрессию с неправильно определенными центрами.

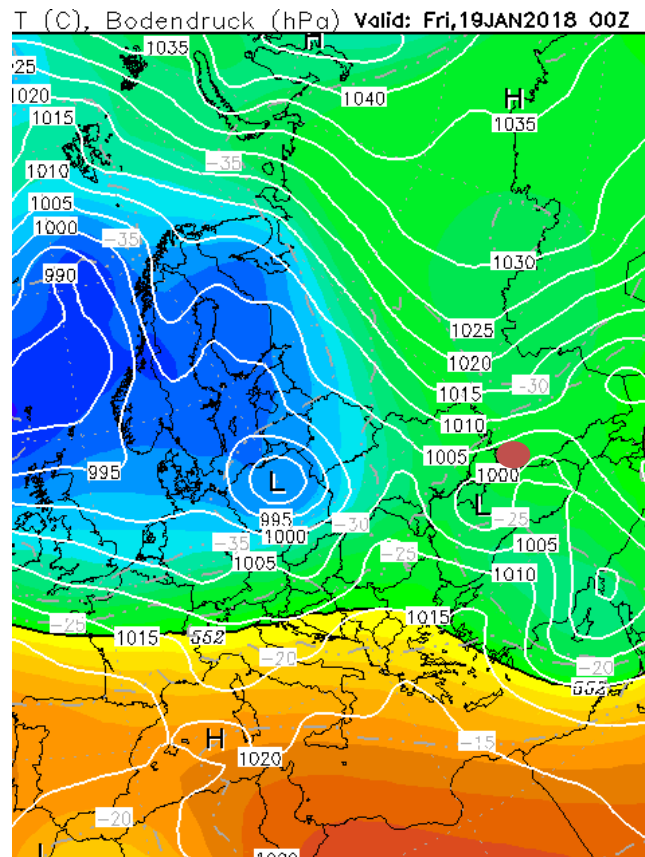


Рисунок 3.15 Синоптическая ситуация 6.03.2018

В результате анализа наименее успешных прогнозов максимальной температуры воздуха и синоптической ситуации, связанной с ними, можно сделать вывод о том, что ситуация при таких прогнозах достаточно разнообразна. Наиболее часто встречаются случаи формирования частного циклона в районе Черного моря и мощного антициклона в районе Санкт-Петербурга с очень высоким давлением, а Краснодар находится на юге от зоны высоких градиентов между этими двумя процессами. Второй вариант - это малоградиентное поле и меридианально вытянутый антициклон, а для модели GFS (rp5.ru) - многочисленные волнообразные изгибы изобар. На 5 суток прогноз максимальной температуры не дал типичную синоптическую ситуацию в связи со сложностью поля давления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы все поставленные цели и задачи были выполнены, рассчитаны критерии успешности прогнозов максимальной температуры воздуха: абсолютная ошибка и средняя абсолютная ошибка.

В результате анализа успешности краткосрочных (на трое суток) и среднесрочных (на пять суток) прогнозов температуры воздуха по оперативным прогностическим моделям UKMO и GFS за холодное полугодие 2017/18гг., можно сделать следующие выводы: в исследуемый период, прогнозы всех рассматриваемых источников показали невысокую успешность. При сравнении успешности прогнозов двух моделей погоды на 3 суток лучше всего прогнозирует модель GFS, занижая результаты в случаях неуспешных прогнозов.

На 5 суток все источники показывают успешность менее 50%. Модель погоды GFS и UKMO одинаково успешны. Самую низкую успешность показывает комплексный прогноз. Интересно, что на 5 суток модель GFS завывает температуру воздуха.

Анализ синоптической ситуации для наименее успешных прогнозов на трое суток, занижающих фактическую температуру воздуха показал, что в большинстве случаев встречается образование частного циклона, где Краснодар находится в его северной, северо-восточной периферии и малоградиентное поле, возникающее у северного побережья Черного моря и над территорией Краснодара, в том числе. Модель GFS помимо вышерассмотренных случаев дает заниженную фактическую температуру воздуха, когда синоптическая ситуация достаточно сложная и конфигурация изобар выглядит как многочисленные чередования ложбин холода и гребней тепла.

Синоптическая ситуация была очень разнообразной, при рассмотрении синоптических условий для наименее успешных прогнозов, которые завышали фактическую температуру воздуха. На северо-востоке и востоке от Краснодара располагался либо образующийся антициклон, либо гребень от Сибирского антициклона, который двигался в сторону Краснодара, можно предположить, что с этим могло быть связано завышение температуры. Помимо этого были проанализированы синоптические ситуации прогнозов температуры на 5 суток, но синоптическая ситуация намного сложнее, так как модель показала многоцентровую депрессию с неправильно определенными центрами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии: – Владивосток.: ДВГУ, 2005
2. Кобышева Н.В. Климат России: - СПб. : Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.
3. Инструкция по метеорологическому обеспечению полётов на аэродроме Краснодар (Пашковский). – Краснодар, 2012. – 58с.
4. <https://ru.wikipedia.org>
5. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>
6. <https://forcesail.ru/meteorology/>
7. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1411633>
8. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 492 с.
9. Севастьянова Л.М., Ахметшина А.С. Методы Краткосрочных прогнозов погоды общего назначения: учеб. пособие – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2014. – 268 с.
10. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения: РД 52.27.724 – 2009 Росгидромет. – Обнинск.: ИГ-СОЦИН, 2009. – 50 с.
11. Воробьев В.И. – Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 604 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчет критериев успешности прогноза температуры воздуха по данным моделей для г.Краснодар.

Таблица А1 - Расчет критериев успешности прогноза температуры воздуха за период с ноября по март 2017/2018г.г. по данным моделей для г.Краснодар с заблаговременностью прогноза трое суток

Модель / дата	18.11	19.11	20.11	21.11	22.11	23.11	24.11	25.11	26.11
www.rp5.ru	9	12	16	6	4	3	1	0	4
фактическая	7	16	20	11	5	2	1	-1	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	4	4	5	1	-1	0	-1	2
P1, %	100	0	0	0	100	100	100	100	100
www.meteocenter.ru	14	17	12	2	8	2	-1	2	5
фактическая	7	16	20	11	5	2	1	-1	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-7	-1	8	9	-3	0	2	-3	1
P1, %	0	100	0	0	0	100	100	0	100
www.windguru.ru	16	17	19	6	7	5	3	4	7
фактическая	7	16	20	11	5	2	1	-1	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-9	-1	1	5	-2	-3	-2	-5	-1
P1, %	0	100	100	0	100	0	0	0	100

Модель / дата	27.11	28.11	29.11	30.11	1.12	2.12	3.12	4.12	5.12
www.rp5.ru	4	6	4	8	9	9	9	15	7
фактическая	3	3	2	10	9	11	12	15	4
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-1	-3	-2	2	0	2	3	0	-3
P1, %	100	0	100	100	100	100	0	100	0
www.meteocenter.ru	3	6	7	9	9	10	3	14	5
фактическая	3	3	2	10	9	11	12	15	4
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	0	-3	-5	1	0	1	9	1	-1
P1, %	100	0	0	100	100	100	0	100	100
www.windguru.ru	7	7	5	5	11	11	2	16	8
фактическая	3	3	2	10	9	11	12	15	4
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-4	-4	-3	5	-2	0	10	-1	-4



P1, %	0	0	0	0	100	100	0	100	100
-------	---	---	---	---	-----	-----	---	-----	-----

Модель / дата	6.12	7.12	8.12	9.12	10.12	11.12	12.12	13.12	14.12
www.rp5.ru	4	4	4	11	13	8	13	12	14
фактическая	5	4	8	13	15	9	15	15	13
$\delta a1, ^\circ\text{C}$	1	0	4	2	2	1	2	3	-1
P1, %	100	100	0	100	100	100	100	0	100
www.meteocenter.ru	0	3	6	12	15	11	10	7	12
фактическая	5	4	8	13	15	9	15	15	13
$\delta a1, ^\circ\text{C}$	5	1	2	1	0	-2	5	8	1
P1, %	0	100	100	100	100	100	0	0	100
www.windguru.ru	5	5	8	12	14	10	10	12	13
фактическая	5	4	8	13	15	9	15	15	13
$\delta a1, ^\circ\text{C}$	0	-1	0	1	1	-1	5	3	0
P1, %	100	100	0	100	100	100	0	0	100

Модель / дата	15.12	16.12	17.12	18.12	19.12	20.12	21.12	22.12	23.12
www.rp5.ru	11	13	12	14	8	7	2	-1	5
фактическая	10	13	11	14	7	4	3	2	0
$\delta a1, ^\circ\text{C}$	-1	0	-1	0	-1	-3	1	3	-5
P1, %	100	100	100	100	100	0	100	0	0
www.meteocenter.ru	11	11	13	10	6	4	5	0	3
фактическая	10	13	11	14	7	4	3	2	0
$\delta a1, ^\circ\text{C}$	-1	2	-2	4	1	0	-2	2	-3
P1, %	100	100	100	0	100	100	100	100	0
www.windguru.ru	17	14	10	9	10	7	4	1	5
фактическая	10	13	11	14	7	4	3	2	0
$\delta a1, ^\circ\text{C}$	-7	-1	1	5	-3	-3	-1	1	-5
P1, %	0	100	100	0	0	0	100	100	0

Модель / дата	24.12	25.12	26.12	27.12	28.12	29.12	30.12	31.12	1.1
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----

www.rp5.ru	4	10	9	6	13	9	12	13	5
фактическая	5	10	11	8	12	11	10	11	6,5
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	1	0	2	2	-1	2	-2	-2	1,5
P1, %	100	100	100	100	100	100	100	100	0
www.meteocenter.ru	7	6	5	6	10	13	14	12	8
фактическая	5	10	11	8	12	11	10	11	6,5
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	4	6	2	2	-2	-4	-1	-1,5
P1, %	100	0	0	100	100	100	0	100	100
www.windguru.ru	8	10	10	7	11	12	13	10	10
фактическая	5	10	11	8	12	11	10	11	6,5
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-3	0	1	1	1	-1	-3	1	-3,5
P1, %	0	100	100	100	100	100	0	100	0

Модель / дата	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1
www.rp5.ru	4	8	11	8	7	9	10	5	1
фактическая	6,7	4	5,2	6,6	2,5	11,5	11,7	2,5	3,1
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	2,7	-4	-5,8	-1,4	-4,5	2,5	1,7	-2,5	2,1
P1, %	0	100	100	100	0	100	0	0	0
www.meteocenter.ru	8	10	8	10	8	10	14	10	1
фактическая	6,7	4	5,2	6,6	2,5	11,5	11,7	2,5	3,1
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-1,3	-6	-2,8	-3,4	-5,5	1,5	-2,3	-7,5	2,1
P1, %	100	0	0	0	100	100	100	0	0
www.windguru.ru	7	9	10	8	2	11	12	4	2
фактическая	6,7	4	5,2	6,6	2,5	11,5	11,7	2,5	3,1
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-0,3	-5	-4,8	-1,4	0,5	0,5	-0,3	-1,5	1,1
P1, %	100	0	0	100	100	100	100	100	100

Модель / дата	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1
www.rp5.ru	5	10	0	2	1	0	0	10	7
фактическая	1,4	-0,9	-3,8	-2	0,9	1,5	2,9	4,6	1
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-3,6	-10,9	-3,8	-4	-0,1	1,5	2,9	-5,4	-6
P1, %	100	100	0	100	100	100	100	0	0
www.meteocenter.ru	-2	-1	10	1	-1	0	3	6	4

фактическая	1,4	-0,9	-3,8	-2	0,9	1,5	2,9	4,6	1
$\delta a_1$ , °C	3,4	0,1	-13,8	-3	1,9	1,5	-0,1	-1,4	-3
P1, %	100	100	100	100	100	100	100	100	0
www.windguru.ru	5	0	-1	-1	1	2	6	6	7
фактическая	1,4	-0,9	-3,8	-2	0,9	1,5	2,9	4,6	1
$\delta a_1$ , °C	-3,6	-0,9	-2,8	-1	-0,1	-0,5	-3,1	-1,4	-6
P1, %	0	100	0	100	100	100	0	100	0

Модель / дата	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1
www.rp5.ru	9	7	0	8	0	-1	-3	2	4
фактическая	9,5	10,5	6,1	6,6	-1,3	-4,5	-0,1	0,3	-0,7
$\delta a_1$ , °C	0,5	3,5	6,1	-1,4	-1,3	-3,5	2,9	-1,7	-4,7
P1, %	100	0	100	0	100	0	0	0	0
www.meteocenter.ru	6	9	12	1	-4	-3	-2	3	5
фактическая	9,5	10,5	6,1	6,6	-1,3	-4,5	-0,1	0,3	-0,7
$\delta a_1$ , °C	3,5	1,5	-5,9	5,6	2,7	-1,5	1,9	-2,7	-5,7
P1, %	100	0	100	100	100	0	100	0	0
www.windguru.ru	8	9	8	3	-2	2	4	6	5
фактическая	9,5	10,5	6,1	6,6	-1,3	-4,5	-0,1	0,3	-0,7
$\delta a_1$ , °C	1,5	1,5	-1,9	3,6	0,7	-6,5	-4,1	-5,7	-5,7
P1, %	100	100	100	0	100	0	0	0	0

Модель / дата	29.1	30.1	31.1	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2
www.rp5.ru	3	6	5	7	10	6	1	5	3
фактическая	3,7	8,6	11	9	14	15	16	4	4
$\delta a_1$ , °C	0,7	2,6	6	2	4	9	15	-1	1
P1, %	100	100	0	100	0	0	0	100	100
www.meteocenter.ru	4	7	6	5	8	10	10	4	4
фактическая	3,7	8,6	11	9	14	15	16	4	4
$\delta a_1$ , °C	-0,3	1,6	5	4	6	5	6	0	0
P1, %	100	0	0	0	0	0	0	100	100
www.windguru.ru	5	8	7	8	12	13	15	7	7
фактическая	3,7	8,6	11	9	14	15	16	4	4

$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-1,3	0,6	4	1	2	2	1	-3	-3
P1, %	100	100	0	100	100	100	100	0	0

Модель / дата	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2
www.rp5.ru	10	9	11	11	8	10	8	7	8
фактическая	8	9	7	12	6	10	3	5	8
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	0	-4	1	-2	0	-5	-2	0
P1, %	100	100	100	100	100	100	0	100	100
www.meteocenter.ru	10	10	9	9	5	1	3	6	11
фактическая	8	9	7	12	6	10	3	5	8
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	-1	-2	3	1	9	0	-1	-3
P1, %	100	100	100	0	100	0	100	100	0
www.windguru.ru	11	11	9	14	9	10	6	8	8
фактическая	8	9	7	12	6	10	3	5	8
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-3	-2	-2	-2	-3	0	-3	-3	0
P1, %	0	100	100	100	0	100	0	0	100

Модель / дата	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2
www.rp5.ru	10	8	5	5	7	2	3	4	3
фактическая	8	5	8	8	10	3	3	4	4
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	-3	3	3	3	1	0	0	1
P1, %	100	0	0	0	0	100	100	100	100
www.meteocenter.ru	10	9	6	5	6	3	2	4	5
фактическая	8	5	8	8	10	3	3	4	4
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	-4	2	3	4	0	1	0	-1
P1, %	100	0	100	0	0	100	100	100	100
www.windguru.ru	11	12	7	7	9	5	0	5	6
фактическая	8	5	8	8	10	3	3	4	4
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-3	-7	1	1	1	-2	3	-1	-2
P1, %	0	0	100	100	100	100	0	100	100

Модель / дата	25.2	26.2	27.2	28.2	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3
www.rp5.ru	7	5	-3	5	0	0	7	6	5

фактическая	5	3	-2	-3	-5	-1	6	5	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	-2	1	-8	-5	-1	-1	-1	1
P1, %	100	100	100	0	0	100	100	100	100
www.meteocenter.ru	4	7	0	-2	-2	1	3	3	7
фактическая	5	3	-2	-3	-5	-1	6	5	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	1	-4	-2	-1	-3	-2	3	2	-1
P1, %	100	0	100	100	0	100	0	100	100
www.windguru.ru	6	4	-1	-1	-3	1	6	7	3
фактическая	5	3	-2	-3	-5	-1	6	5	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-1	-1	-1	-2	-2	-2	0	-2	3
P1, %	100	100	100	100	100	100	100	100	0

Модель / дата	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3
www.rp5.ru	10	8	1	7	23	18	5	6	4
фактическая	13	9	2	10	18	17	5	7	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	3	1	1	3	-5	-1	0	1	2
P1, %	0	100	100	0	0	100	100	100	100
www.meteocenter.ru	12	6	2	9	19	20	5	4	8
фактическая	13	9	2	10	18	17	5	7	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	1	3	0	1	-1	-3	0	3	-2
P1, %	100	0	100	100	100	0	100	0	100
www.windguru.ru	6	7	0	9	20	18	7	6	6
фактическая	13	9	2	10	18	17	5	7	6
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	7	2	2	1	-2	-1	-2	1	0
P1, %	0	100	100	100	100	100	100	100	100

Модель / дата	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3
www.rp5.ru	2	16	11	14	7	13	22	15	3
фактическая	3	12	11	15	7	14	23	18	5
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	1	-4	0	1	0	1	1	3	2
P1, %	100	0	100	100	100	100	100	0	100
www.meteocenter.ru	1	13	13	12	5	11	25	18	5
фактическая	3	12	11	15	7	14	23	18	5

$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	2	-1	-2	3	2	3	-2	0	0
P1, %	100	100	100	0	100	0	100	100	100
www.windguru.ru	0	15	10	14	6	14	22	16	7
фактическая	3	12	11	15	7	14	23	18	5
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	3	-3	1	1	1	0	1	2	-2
P1, %	0	0	100	100	100	100	100	100	100

Модель / дата	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3
www.rp5.ru	9	2	14	19	15	13	10	11
фактическая	10	5	10	12	11	9	7	14
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	1	3	-4	-7	-4	-4	-3	3
P1, %	100	0	0	0	0	100	100	0
www.meteocenter.ru	8	4	11	12	14	8	5	14
фактическая	10	5	10	12	11	9	7	14
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	2	1	-1	0	-3	1	2	0
P1, %	100	100	100	100	0	100	0	0
www.windguru.ru	12	7	15	17	14	11	10	13
фактическая	10	5	10	12	11	9	7	14
$\delta a_1, ^\circ\text{C}$	-2	-2	-5	-5	-3	-2	-3	1
P1, %	100	100	0	0	0	100	100	0

