



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

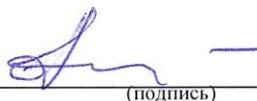
На тему: «Анализ условий формирования заморозков в городе Кирове»

Исполнитель Смирнов Михаил Васильевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Ефимова Юлия Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

  
(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна  
(фамилия, имя, отчество)

« 11 » июня 2021 г.

Санкт-Петербург  
2021

## Содержание

Введение.....	3
1. Климатические основы Кировской области.....	5
1.1 Физико-географическая характеристика .....	5
1.2 Характеристика рек и озёр .....	7
1.3 Движение воздушных масс .....	9
1.4 Циклоны и антициклоны .....	11
2 Опасные погодные явления.....	18
2.1 Опасные погодные явления для сельского хозяйства.....	18
2.2 Заморозки .....	18
2.3 Оттепели.....	21
2.4 Грозы .....	23
3. Анализ условий формирования заморозков в г. Кирове .....	28
3.1 Обозначение цели и задач бакалаврского проекта.....	28
3.2 Анализ повторяемости заморозков в городе Кирове .....	29
3.3 Анализ синоптических процессов условий формирования Заморозков в г. Кирове .....	31
3.4 Оценка успешности методов прогноза заморозков в г. Кирове.....	39
Заключение .....	45
Список литературы .....	47
Приложение А (расчёты заморозков методом Михалевского и Нижегородским методом) .....	48
Приложение В.....	51

## Введение

Целью работы является анализ условий формирования заморозков в г. Кирове и оценка успешности прогноза заморозков, в период вегетации весной и осенью, что особенно важно для нужд сельского хозяйства в городе Кирове и Кировской области.

Заморозок - это понижение температуры воздуха и/или поверхности почвы (травостоя) до значений ниже  $0^{\circ}$  С на фоне положительных средних суточных температур воздуха в периоды активной вегетации сельскохозяйственных культур или уборки урожая, приводящие к повреждению и/или частичной гибели урожая сельскохозяйственных культур.

В работе предполагается проанализировать повторяемость заморозков весной и осенью по декадам за последние 30 лет. Важно выявить синоптические условия формирования заморозков, оценивать успешность расчётов различных методов прогноза заморозков. Эта задача актуальна и практически значима, потому что фоновые синоптические ситуации, способствующие заморозку, можно использовать для предвидения опасной синоптической ситуации. Благодаря прогностическим моделям с заблаговременностью до десяти суток можно заранее спрогнозировать неблагоприятный синоптический фон и принять меры защиты. Благодаря оценке успешности расчётных методов можно выявить наиболее эффективный за последние годы в Кировской области.

В работе проводится анализ температуры воздуха на картах АТ 850 за срок 00 часов, сопутствующей появлению заморозков. Выявление термического режима на высотной карте, сопровождающего заморозок, представляет интерес для синоптиков.

В первой главе были рассмотрены климатические, физико-географические и циркуляционные факторы климата Кировской области.

Во второй главе описываются опасные погодные явления для сельского хозяйства: заморозки, оттепели и грозы.

В третьей главе отображаются конечные итоги проведения научно-исследовательской работы. В этой главе выделяется и анализируется повторяемость заморозков, анализируются синоптические процессы, сопутствующие дням с отрицательной ночной температурой воздуха, также в работе выделяется особое внимание двум наиболее часто используемым методам по заморозкам в Кировском ЦГМС-филиале ФГБУ «Верхне-Волжское» УГМС: метод Михалевского и «Нижегородский» метод. В ходе работы будет выявлен наиболее успешный метод. Результатом работы будет рекомендация Кировскому ЦГМС наиболее успешного метода по заморозкам, который в современных условиях работает лучше.

# 1 Климатические основы Кировской области

## 1.1 Физико-географическая характеристика Кировской области

Бакалаврская работа посвящена условиям формирования заморозков в г. Кирове. Первая обзорная глава работы посвящена обзору климатических характеристик территории, на которой расположен город Киров.

Кировская область расположена на востоке Европейской части страны между  $56^{\circ}$  и  $61^{\circ}$  северной широты и  $41^{\circ}$  и  $54^{\circ}$  восточной долготы. Территория Кировской области составляет 120,8 тыс. км<sup>2</sup>, протяженность с севера на юг составляет 570 км, с запада на восток-440 км. На севере область граничит с Республикой Коми и Архангельской областью, на западе-с Вологодской, Костромской и Нижегородской, на юге-с Республикой Татарстан и Марий Эл, на востоке-с Республикой Удмуртия и Пермским краем.

Породы, которыми сложена территория области, подразделяются на четыре возрастные группы: докембрийскую, палеозойскую, мезозойскую, кайнозойскую.

Кристаллические породы магматического и метаморфического происхождения- в основном, гнейсы. Они образуют кристаллический складчатый фундамент Русской платформы. Фундамент расколот на блоки. Среди впадин особенно выделяется Советско-Кировский авлакоген-узкий, длинный, глубокий разлом. В направлении с юга на север он пересекает докембрий нашей области по линии г. Советск- г. Киров – с. Сырьяны – пос. Нагорск – пос. Кажим (в Республике Коми). Все остальные группы состоят только из осадочных отложений.

Палеозойская группа. На поверхности расположены отложения пермской системы. Его отложения известняка представлены по берегам

рек Вятка и Немда. Пермские осадочные породы смяты в очень пологие складки системы Вятского вала, которая вытянута полосой с юга на север.

Мазойская группа представлена триасовым, юрским и меловым периодами. Юрские отложения (верховья рек Вятка и Кама) представлены глинами, песчаниками, глинистыми и горючими сланцами.

Основные черты рельефа связаны с геологическим строением области и её геологической историей. Рельеф области представляет собой увалисто- волнистую рассеченную равнину. Наиболее повышенные участки на северо- востоке достигают 337 м. На территории области имеются формы рельефа, созданные внутренними силами, а также ледниковые, эрозионные и карстовые. Тектонические формы рельефа представлены Верхнекамской возвышенностью, Вятским и Северными увалами. Вятский Увал представляет собой пологую возвышенность шириной до 40 км, проходящую по центру области с юга на север. Наибольшая абсолютная высота достигает 284 м. К западу и к востоку от Увала расположены плоские равнины.

Верхнекамская возвышенность тянется параллельно Вятскому Увалу. Средняя её высота – 200 м, а наибольшая 337 м (в южной части). Возвышенность расчленена неглубокими долинами рек. На север области заходят южные отроги Северных увалов. Они представлены отдельными грядами и холмами с пологими склонами и округлыми или плоскими вершинами.

С юга к увалам прилегает всхолмленная заболоченная равнина. В северной части области широко распространены ледниковые формы рельефа, поскольку Кировская область подверглась воздействию ледника. Там, где преобладали плотные породы, ледник оставил куполовидные формы, а в рыхлых выпахивал понижения. На северо-западе области встречаются холмы.

Водные потоки, текущие от ледника, расширили долины рек. Широкая полоса таких отложений прослеживается в долине р. Вятка. На водоразделах в виде холмов расположены «дресвяные горы», высотой 50 – 75 м. Сложены они песчано-галечниковым материалом. Их можно встретить в Кирово-Чепецком, Слободском, и других районах. Основной формой рельефа, возникшего в результате водной эрозии, являются многочисленные речные долины. Долины р. Вятка и её притоков (Быстрица, Кильмезь, Чепца, Молома) асимметричны. Правые берега как правило крутые, а левые пологие. Объясняется это действием силы Кориолиса. Однако встречаются участки, где левые берега круче правых, как например, на р. Вятка у г. Кирова.

Оползневые и карстовые процессы отмечаются по крутым берегам рек Вятка, Кильмезь и Молома. Карстовые формы рельефа встречаются в осевой части Вятского увала, наиболее ярко выражены в Медведском бору Нолинского района, по нижнему течению р. Гремячка. В 7 км от г. Советск по р. Немда имеется карстовая пещера, а в Уржумском районе находится провальное озеро Шайтан – единственный на территории Русской равнины водоём с неперiodическими выбросами воды на поверхность, которые происходят в виде фонтана до 10 м высотой или в виде водяного столба диаметром 1-1,5 м и высотой до 4 м.

Климат Кировской области умеренно континентальный, с продолжительной умеренно холодной зимой и коротким, но сравнительно тёплым летом.

## 1.2 Характеристика рек и озёр

В Кировской области много рек и озёр. В области насчитывается

около

20 тысяч рек общей протяжённостью порядка 67 тысяч километров. Климатические условия, характер рельефа и геологическое строение местности формируют протяженные водные артерии.

Речные системы относятся к бассейнам рек Волга и Северная Двина. Главный водораздел проходит по Верхнекамской возвышенности и Северным увалам.

Большинство рек относится к малым, длиной до 10 км (95 %). Реки длиной от 11 до 50 км составляют 5%, а реки длиной более от 51 до 200 км – меньше. Протяженностью свыше 200 км отличается всего 11 рек, . У большей их части только часть бассейна относится к Кировской области.

Рассмотренные реки относятся к равнинному типу, уклоны их невелики и скорость течения мала.[1]

Реки рассматриваемой территории относятся к типу рек с чётко выраженным весенним половодьем (72% годового стока), летно-осенними дождевыми паводками (20% годового стока) и длительной устойчивой меженью (8% годового стока) [1].

Модуль стока сокращается по направлению с севера на юг. В верховьях Вятки средний модуль стока составляет 11 л, а в верховьях Большой Кокшаги – 5 л. Минимальный сток в зимний период для большинства рек равен 0,7-0,4 л/с. В тесной связи с питанием находится и колебание уровней рек. Самые низкие уровни наблюдаются зимой и летом, а самые высокие – весной во время половодья. В это время уровень воды в реке может повыситься над меженью на три – шесть м. Летом и осенью подъём связан исключительно с выпадением осадков. При замерзании рек толщина льда достигает 80 – 100 см. Вскрытие рек начинается со второй декады апреля. Ледоход длится 3-8 дней. Он

сопровождается быстрым подъёмом воды, которая выходит из берегов и широко разливается [1,2] .

Вятка – самая крупная река в области. Она начинается на юге Верхнекамской возвышенности и впадает в р. Кама. Длина её 1314 км, площадь бассейна 129 тыс. км<sup>2</sup>. Исток реки расположен в лесном массиве. Сначала она течёт на север, а затем поворачивает на запад до деревни Верхнее Кокорье.

Ниже по течению река делает два колена, огибая выступы Вятского увала. От г. Киров Вятка течёт сначала на северо-запад, затем в юго-восточном направлении, а от г. Котельнич на юго-юго-восток. Ниже г. Советск долина реки резко сужается. Вятка имеет ширину до 500-700 м. Скорость течения летом – около 0,5 м/с. Глубина реки колеблется от 0,3 до 10 м. Река Вятка судоходна на протяжении 1013 км.

Средний многолетний модуль стока (р. Вятка/г. Вятские Поляны) 7,3 л/с- км<sup>2</sup>. В Вятку впадает много притоков. Жёсткость минимальная – поэтому вода мягкая. Минерализация воды небольшая, преобладают гидрокарбонаты.

На территории Кировской области из водоёмов выделяются озёра. Всего на водосборе р. Вятка насчитывается 4137 озёр, а в бассейне р. Лузы – 242 озера. По площади это небольшие водоёмы. По типу озерных котловин можно выделить пять типов, из которых наиболее многочисленными являются старичные и карстовые.

### 1.3 Движение воздушных масс

Погода и климат – формируются циркуляционными процессами. Атмосферная циркуляция – это воздушные потоки, заполняющие значительные по территории географические районы. Перемещения

воздушных масс, их трансформация определяют погоду, как состояние параметров атмосферы в данный момент над данной территорией. В глобальном временном масштабе формируют климат, как среднюю многолетнюю погоду над регионом.

В умеренных широтах возникает западный перенос воздушных масс. На востоке Европейской части РФ фиксируется преобладание западной составляющей потока в тропосфере и нижней стратосфере (до высоты 15 – 17 км). Это обуславливает большое влияние на местный климат атлантических воздушных течений, которые смягчают и увлажняют его, несмотря на значительную удалённость территории от океана. Вместе с тем сюда поступают и воздушные массы, сформировавшиеся в других, в том числе и резко континентальных, районах и обладающие специфическими термогигрометрическими свойствами [3] .

По северо-восточным, северным и северо-западным траекториям входит холодный воздух арктического происхождения. Иногда он поступает на изучаемую территорию с юго-востока, пройдя по территории Западной

Сибири и обогнув Уральские горы. С юга и юго-запада, а летом и с юго-востока, обычно приходит тропический воздух. Из районов Атлантики, как отмечалось, поступает морской воздух умеренных высот, несущий неустойчивую с осадками погоду и вызывающий некоторое похолодания весной и заметное потепление осенью и зимой. Из районов Сибири зимой вторгается холодный континентальный воздух умеренных широт, приводящий к установлению малооблачной морозной погоды. Наибольшей повторяемостью в течении года характеризуются вхождения воздуха с запада, наименьшей – с северо-востока.

Характер и величина изменения основных параметров воздушных масс за время передвижения из «очагов формирования» зависят от

траектории и скорости их движения, времени года и многих других причин. Исследования показали, что воздушные массы, проходящие по северным и северо-восточным траекториям, прогреваются во время движения в среднем на 2 – 3°С за сутки весной и летом и на 1,5 – 2°С осенью и зимой.

Под влиянием местных условий процессы трансформации продолжаются, и в случае ослабления внешних воздействий пришедшая воздушная масса превращается в так называемую «местную» воздушную массу, приобретая свойства данного географического района. Температура в местной воздушной массе летом выше, а зимой ниже климатической температуры, то есть в ней усиливаются континентальные черты погоды и климата.

#### 1.4 Циклоны и антициклоны

Прохождение циклонов сопровождаются обычно быстрыми и резкими изменениями погоды с сильно развитой облачностью, осадками, порывами ветра. В антициклонах господствует более спокойная малооблачная погода.

Погода и климат территории обычно зависит от того, какие чаще наблюдаются здесь процессы. Кировская область в большей степени подвержена влиянию циклонической деятельности. Поэтому здесь сравнительно часто выпадают осадки и преобладает облачная погода, особенно зимой [4].

Циклоны и антициклоны с севера приносят арктический воздух, с запада и востока соответственно – умеренный морской и континентальный воздух, а с юга – тропический воздух. Наряду с другими климатообразующими факторами (солнечной радиацией и характером подстилающей поверхности), это создаёт на территории

области умеренно- континентальный климат с продолжительной, многоснежной и холодной зимой и умеренно тёплым летом. По классификации Б.П. Алисова (1956) Кировская область отнесена к континентальному климату умеренного пояса, где преобладающим является континентальный воздух умеренных широт.

Северные и северо-восточные вторжения с п-ва Таймыр, Карского моря, с о. Земля Франца Иосифа, о. Новая Земля приносят очень холодный арктический воздух. При перестройке на эти процессы погода становится холодной, осадки преимущественно прекращаются (наблюдаются только при выходе циклонов). В весенне-летний период они обуславливают заморозки.

Северо-западные вторжения на Кировскую область от Шпицбергена, восточного побережья Гренландии. Эти процессы вызывают резкие изменения погоды, особенно в осадках и температуре воздуха, что связано с затоками морского арктического воздуха. Для этого типа характерна быстрая смена циклонических процессов антициклоническими. В холодное время года при прохождении северо-западных циклонов вначале идут осадки, наблюдаются метели, погода становится мягче, но ненадолго. Даже в течении дня погода может измениться, усилиться ветер и начаться похолодание. Циклоны нередко идут сериями, друг за другом, поэтому вскоре вновь начинаются осадки, метели. В тёплое время эти вторжения также характеризуются неустойчивостью, преимущественно прохладной с осадками погодой и ветрами северных румбов. Западные траектории вторжений начинаются с северной Атлантики (к югу от Исландии и к западу от Британских островов). На Кировскую область циклоны и антициклоны оттуда приходят через северо-западные и западные центральные области России. Поэтому в тёплое время года выпадает много осадков, часты грозы, становится холоднее. С приближением тёплой массы в холодный

период, обычно в начале, начинаются метели, иногда наблюдается гололёд. После прохождения тёплого фронта значительно теплеет и иногда образуются туманы. При этих вторжениях в антициклонах погода зимой не очень холодная, а летом не очень жаркая, но сухая.

Юго-западные траектории вторжений направлены из районов Атлантики между 30 – 50° с.ш. и 10 – 40° з.д. через север Африки, Средиземное, Чёрное, Азовское моря, Украину, Среднюю Волгу. При этом, как правило, приносится тропический морской или континентальный воздух, который по пути движения трансформируется (обычно охлаждается). В юго-западных циклонах выпадает много осадков, летом наблюдается интенсивная грозовая деятельность, зимой сильные метели. Когда их центры проходят северо-западнее г. Киров, область попадает в зону очень теплого воздуха.

При южных вторжениях приходит сухой и тёплый воздух тропического происхождения с Туранской низменности. Однако вначале при приближении фронтов наблюдаются осадки, а после прохождения циклонов в тылзасасывается холодный воздух из Арктики.

Местные циклоны и антициклоны сформированные вблизи границ Кировской области в континентальном воздухе умеренных широт, много осадков не дают, однако летом в них выпадают ливневые осадки, часто сопровождаемые грозами.

Обычно с прохождением циклона связывают плохую погоду. Наблюдаются осадки и умеренный с порывами до сильного ветры.

Рассмотрим стадии развития циклонических образований:

- а) начальная стадия (стадия волны);
- б) стадия молодого циклона;
- в) стадия максимального развития (входит в стадию окклюдирования);
- г) стадия заполнения циклона (входит в стадию окклюдирования).

Для начальной стадии развития циклона, характерен процесс от первых признаков возникновения – от деформации фронтальной поверхности (стадия волны), до появления первой замкнутой изобары на приземной карте погоды. Разность давления между центром и периферией составляет не более 5-10 гПа. На высотах вихри в начальной стадии не прослеживаются [13].

Возникновение волны на фронте сопровождается изменением термобарического поля тропосферы. Тёплый воздух получает движется в сторону холодного воздуха и впереди волны в результате восходящего скольжения тёплого воздуха формируются мощные слоистые облака Nimbostratus (Ns)-Altostratus(As)-Cirrostratus(Cs).

В молодом циклоне наблюдаются два фронта: и холодный.

Оба фронта идут от центра циклона, а между ними располагается область, занятая теплой воздушной массой (теплым теплым сектором циклона. Остальная часть циклона заполнена холодной воздушной массой (холодным воздухом).

В молодой стадии развития, которая указана на рисунке 2.3, продолжительность которой также обычно не более суток, циклоны имеют уже не менее 2-х замкнутых изобар [13].

Термобарическое поле деформируется, циклон углубляется, превращается в мощный атмосферный вихрь со значительными скоростями ветра. Циклоническая циркуляция распространяется в верхние слои атмосферы.

В молодом циклоне можно выделить три зоны резко отличающиеся по условиям погоды [13].

Зона I – передняя и центральная части холодного сектора циклона перед тёплым фронтом. В этой зоне характер погоды определяется свойствами тёплого фронта. Чем ближе к центру циклона и к линии фронта, тем мощнее система облаков и тем вероятнее выпадение обложных осадков [13].

Зона II – тыловая часть холодного сектора циклона за холодным фронтом. Здесь погода определяется свойствами холодной воздушной массы. При достаточной влажности и значительной неустойчивости в этой зоне выпадают ливневые осадки [13].

Зона III – тёплый сектор между теплым и холодным фронтом. Зимой в теплом секторе молодого циклона отмечаются сплошные облака St, Sc, а иногда наблюдаются адвективные туманы и морось. Летом в теплом секторе циклона в зависимости от влажности воздушной массы может наблюдаться малооблачная погода, так и облачная погода, а иногда даже грозы. Днём отмечаются преимущественно кучевые облака [13].

Третья стадия характеризуется наименьшим давлением в центре циклона. Продолжительность стадии не более 12-24 ч. В последней стадии циклон заполняется. У поверхности Земли в центре циклона давление повышается. Горизонтальные градиенты давления и скорости ветра постепенно уменьшаются. Данная стадия наиболее продолжительна – 4 суток и более [13].

В случае окклюдированного циклона погода различается в зависимости от характеристик воздушных масс по обе стороны от фронта окклюзии. На фронте окклюзии имеет место сочетание облачных систем холодного и тёплого фронтов – образуется общая полоса осадков из слоистых облаков восходящего скольжения (As-Ns) и конвективных кучево-дождевых облаков (Cumulonimbus(Cb)), которые будут выпадать как перед линией фронта, так и позади него [13].

Различают два основных вида циклонов — внетропические и тропические.

Внетропические образуются в умеренных или полярных широтах и имеют диаметр от тысячи километров в начале развития, и до нескольких тысяч в случае так называемого центрального циклона. Среди внетропических циклонов выделяют южные циклоны, образующиеся на

южной границе умеренных широт (средиземноморские, балканские, черноморские, южно-каспийские и т. д.) и смещающиеся на север и северо-восток. Южные циклоны обладают колоссальными запасами энергии; именно с южными циклонами в средней полосе России и СНГ связаны наиболее сильные осадки, ветры, грозы, шквалы и другие явления погоды.

Антициклон — область повышенного атмосферного давления с замкнутыми концентрическими изобарами на уровне моря и с соответствующим распределением ветра. В низком антициклоне — холодном, изобары остаются замкнутыми только в самых нижних слоях тропосферы (до 1,5 км)[13].

Стадии развития антициклонов:

- а) начальная стадия;
- б) стадия молодого антициклона;
- в) Стадия максимального развития;
- г) Стадия разрушения

Высокий антициклон — теплый, он фиксируется замкнутыми изобарами и на высотах в верхней тропосфере.

Воздух в антициклоне в северном полушарии движется по часовой стрелке. Для антициклона характерно преобладание ясной или малооблачной погоды. Вследствие охлаждения воздуха от земной поверхности в холодное время года и ночью в антициклоне возможно образование приземных инверсий и низких слоистых облаков (Stratus(St)) и туманов. Летом над сушей возможна умеренная дневная конвекция с образованием кучевых облаков. Конвекция с образованием кучевых облаков наблюдается и в пассатах на обращенной к экватору периферии субтропических антициклонов. При стабилизации антициклона в низких широтах возникают мощные, высокие и теплые субтропические антициклоны. Стабилизация антициклонов происходит также в средних и в полярных широтах. Высокие

малоподвижные антициклоны, нарушающие общий западный перенос средних широт, называются блокирующими [13].

Синонимы: область высокого давления, область повышенного давления, барический максимум.

Антициклоны достигают размера несколько тысяч километров в поперечнике. В центре антициклона давление обычно 1020—1030 мбар, но может достигать 1070—1080 мбар. Как и циклоны, антициклоны перемещаются в направлении общего переноса воздуха в тропосфере, то есть с запада на восток, отклоняясь при этом к низким широтам. Средняя скорость перемещения антициклона составляет около 30 км/ч в Северном полушарии и около 40 км/ч в Южном, но нередко антициклон надолго принимает малоподвижное состояние.

В летний период антициклон приносит жаркую малооблачную погоду. В зимний период антициклон приносит сильные морозы, иногда также возможен морозный туман [13].

## 2 Опасные погодные явления

### 2.1 Опасные погодные явления для сельского хозяйства

В данной работе будут рассмотрены гидрометеорологические явления, опасные в первую очередь для сельского хозяйства.

Заморозки, оттепели, грозы могут в разное время года нанести серьезный ущерб садовым и полевым культурам. Заморозки в весеннее время, особенно после начала активной вегетации, наносят вред подросшим всходам, в осеннее время страдают озимые культуры.

Оттепели опасны при их возникновении во вторую половину холодного полугодия, когда зеленые насаждения (деревья и кустарники) уже длительное время находятся в состоянии покоя. В этот период повышение температуры воздуха выше нуля с резким ее понижением может негативно отразиться на перезимовке, например, таких плодовых культур, как яблони. Особенно на молодых деревьях появляются морозобойные трещины. При повторении подобной ситуации дерево может погибнуть.

Грозы сами по себе не влияют на полевые и садовые культуры, однако шквалистый ветер, град и сильные ливни так же приносят вред сельскому хозяйству.

### 2.2 Заморозки

Для переходных периодов года, таких, как весна и осень, заморозки являются обычным климатическим явлением. Несмотря на это они наносят вред сельскому хозяйству, а в отдельные годы заморозки могут принести значительный ущерб. В период активной вегетации, поздней весной или ранней осенью (для озимых культур) резкие понижения

температуры воздуха ниже нулевого предела являются крайне опасными. В некоторых случаях может погибнуть будущий урожай. Так, например, произошло в г. Кирове и области в 2011 году. Погибла ботва картофеля. К концу весны, когда после тёплого периода растения развились, внезапное и сравнительное охлаждение воздуха может повредить сельскохозяйственным культурам на больших площадях.

Ранней осенью, в самом начале вегетации заморозки также могут повредить не только озимым. Но и в некоторых случаях неснятому урожаю.

Под заморозком понимается понижение минимальной температуры ниже 0°C на поверхности почвы и в приземном слое воздуха на фоне устойчивых положительных среднесуточных температур. В зависимости от процесса образования выделяют три типа заморозков: адвективные, радиационные и адвективно-радиационные. Адвективные заморозки образуются в результате вторжения холодных воздушных масс с температурой ниже 0°C, наблюдаются, как правило, в течении нескольких суток подряд и могут охватывать большие районы.

Радиационные заморозки образуются в тихие ясные ночи в результате охлаждения почвы вследствие эффективного излучения земной поверхности. При этом типе микроклиматические различия интенсивности заморозка выражены очень резко в отличие от адвективных заморозков.

Адвективно-радиационные заморозки образуются в результате вторжения холодных воздушных масс с последующим их выхолаживанием за счёт ночного эффективного излучения. Заморозки этого типа наблюдаются при достаточно высоких среднесуточных температурах и поэтому являются наиболее опасными для сельскохозяйственных растений.

На образование заморозков большое влияние оказывают местные

физико-географические особенности расположения метеостанций (высота над уровнем моря, рельеф, характер растительности, близость водоёмов), поэтому в территориальном распределении заморозков отмечается значительное разнообразие.

В целом можно отметить хорошо выраженное широтное изменение повторяемости заморозков: с севера на юг наблюдается заметное уменьшение дней с заморозками. Наибольшее число дней с заморозками. Наибольшее число дней с заморозками отмечается на северо-западе области на станции Лальск (42 дня) и северо-востоке области на станции Кирс (39 дней). В центральной части выделяются станции Нагорское, Белая Холуница

И Киров, где наблюдается пониженная повторяемость заморозков – от 26 до 32 дней.

Определённую ценность для сельскохозяйственного производства имеют даты последнего заморозка весной, первого заморозка осенью и продолжительность безморозного периода.

Осенью разброс в средних датах первого заморозка более существенен – от 5 сентября на ст. Лальск до 29 сентября на ст. Кильмезь. Самые ранние осенние заморозки наблюдались на севере области на станциях Лальск (7 июля 1991 г.) и Кирс (22 июля 1997 г.). На юге области первые заморозки осенью наблюдались в конце августа – начале сентября.

Условия, содействующие возникновению заморозков

- 1) Небольшая облачность или ясная погода.
- 2) Небольшое влагосодержание в почве и в воздухе.
- 3) Незначительное турбулентное перемешивание воздуха в приземном слое воздуха.
- 4) Заморозкам могут сопутствовать значительные амплитуды температуры воздуха. Они вероятны при наличии большого суточного

хода температуры.

5) Если к 21 часу наблюдается точка росы ниже  $0^{\circ}$ , то следует ожидать заморозки.

6) Если к 21 часу точка росы была ниже  $2^{\circ}$ , то при безоблачном небе и безветрии можно ожидать заморозки.

Рассмотрим условия, при которых понижения температуры воздуха на фоне установившихся положительных температур не происходит.

1) При точке росы  $2^{\circ}$ - $4^{\circ}$  заморозки маловероятны.

2) Заморозки невозможны, если точка росы у земли выше  $0^{\circ}$ , удельная влажность не меняется или возрастает с высотой.

3) Ветер более 4-5 м/сек разрушает инверсию температуры в приземном слое, что уменьшает вероятность заморозка.

4) Заморозки не возникают после интенсивных ливневых дождей, выпавших на тёплую подстилающую поверхность во второй половине дня, когда точка росы заметно увеличивается благодаря испарению, а температура воздуха понижается, в этих случаях чаще образуется туман, препятствующий возникновению заморозка.

5) Адвекция тёплого влажного воздуха под слоем холодного воздуха при сохранении небольшой облачности увеличивает встречное излучение к земной поверхности и уменьшает вероятность заморозков. При увеличении облачности заморозки ещё менее вероятны.

### 2.3 Оттепели

В районах возделывания озимых зерновых культур холодный период года является опасным для жизни растений. Зимой растения, находясь в состоянии вынужденного покоя, непрерывно подвергаются

воздействию метеорологических факторов, которые не только прямо влияют на перезимовку растений, но и определяют динамику их устойчивости к неблагоприятным условиям.

Особенно сильно снижают морозостойкость озимых интенсивные и длительные оттепели, при которых у растений нарушается состояние зимнего покоя. Резкие понижения температуры почвы после оттепелей вызывают гибель растений при значительно более высоком уровне минимальной температуры почвы, чем при постепенном похолодании. В отрицательных формах рельефа при интенсивных оттепелях может скапливаться вода, которая замерзает при последующем понижении температуры, образует ледяную корку. Растения при длительном пребывании под притёртой к почвеледяной коркой, покрывающей всю их надземную массу, повреждаются, а иногда полностью погибают.

Под оттепелью понимается повышение температуры воздуха по максимальному термометру до 0<sup>0</sup> и выше в холодный период на фоне установившихся отрицательных температур.

Зимой на территории Кировской области проявляется влияние Атлантического океана, частые вхождения циклонических барических образований с Атлантики смягчают зиму, делают её более снежной, с оттепелями и сильными ветрами.

Наибольшее число оттепелей отмечается в периоды слабых отрицательных температур – в ноябре (7-10 дней) и в марте (12-14 дней).

В территориальном распределении пониженной повторяемостью оттепелей (22-26 дней) выделяются станции Нагорское и Мураши, расположенные на Северных Увалах и имеющие отметки относительно уровня моря (217 и 216 метров соответственно). Максимальная повторяемость оттепелей отмечается на юго-западе области и составляет 35 дней (ст. Яранск и Санчурск).

## 2.4 Грозы

В тёплое время года в атмосфере часто наблюдаются электрические явления в виде гроз и зарниц. Впервые стал изучать эти явления М.В. Ломоносов. Он ещё в 1752 году экспериментально доказал, что в атмосфере существует электрическое поле и молния представляет не что иное как электрическую искру.

Наблюдения показывают, что воздух всегда находится в ионизированном состоянии. Эта ионизация состоит в том, что от электрически нейтральных молекул отделяются электроны, остальные же части молекул остаются заряженными положительно и образуют положительные ионы. Выделившиеся электроны оседают на нейтральные молекулы, которые вследствие этого получают отрицательные заряды и создают отрицательные ионы. Таким образом, ионизация воздуха приводит к тому, что в нём возникают ионы обоих знаков. Появление ионов делает воздух электропроводящим. Одновременно в воздухе происходит процесс воссоединения ионов, т. е. соединение ионов противоположных знаков, и образование нейтральных молекул. Ионы могут оседать также и на частицы пыли, ядра конденсации и капельки тумана. В этом случае они образуют так называемые тяжёлые ионы.

Ионизация воздуха происходит под действием коротких ультрафиолетовых лучей, поступающих в атмосферу от солнца, под влиянием радиоактивных веществ, находящихся в верхних слоях земной коры (радия, тория, актиния), а также под действием радиоактивных продуктов распада их, которые в виде эманаций попадают из почвы в воздух; наконец. Ионизация воздуха происходит под влиянием космического излучения, поступающего в атмосферу из недр мирового пространства. Под влиянием этого излучения в атмосфере с высоты 1000 м происходит значительный рост ионизации воздуха.

Благодаря ионизации воздуха в атмосфере всегда имеются электрические заряды. Под влиянием зарядов в атмосфере создаётся электрическое поле, в котором действуют электрические силы. Это поле характеризуется напряжённостью. Последняя определяется разностью потенциалов, рассчитанной на единицу расстояния. Напряжённость электрического поля атмосферы в сильной степени зависит от метеорологических условий.

Гроза представляет собой атмосферное явление в виде молнии и грома, вызываемое бурное конденсацией водяного пара и сопровождаемое обычно дождём или градом. Если видна только молния, а грома не слышно, явление называется зарницей. Зарница наблюдается в случае освещения облачных масс отдаленной молнией, непосредственно не видимой в данном месте.

Механизм образования грозы ещё полностью не изучен. Не выяснен в достаточной мере и вопрос о происхождении грозового электричества. Однако известно, что в верхней части грозового облака, где температура ниже  $-10^{\circ}$ , обычно сосредотачиваются мелкие ледяные частицы, заряженные положительно. В более же низкой части облака, где температура выше  $0^{\circ}$ , находятся капли воды. Последние попадают в мощные вихревые движения, которые имеются в грозовом облаке, и разбрызгиваются на крупные и мелкие капли, причём мелкие капли, отделившиеся от поверхностных слоёв, несут отрицательный заряд, крупные же заряжаются положительно. Таким образом, в грозовом облаке вследствие разделения зарядов появляются сильные электрические поля. Одновременно между отдельными частями облака возникает электрическая индукция. Последняя образуется также между нижней частью грозового облака и поверхностью земли. Чаще всего нижняя часть облака бывает заряжена отрицательно, на поверхности же земля под облаком при таких условиях появляются положительные заряды. Молния при грозе возникает в том случае, если между облаком и поверхностью земли или между отдельными частями облака создаётся

большая разность потенциалов. Она представляет искровой разряд. Длина же молнии определяется в среднем в 2-3 км, в некоторых случаях она доходит до 20 км и более.

Различают линейную, плоскую, шаровую и четочную молнию. Линейная молния представляет искровой разряд с многочисленными ответвлениями от главного канала. Плоская молния есть кратковременный разряд, представляющий совокупность светящихся таких разрядов, испускаемых отдельными каплями облака; этот разряд может охватывать значительную часть облаков. Такая молния часто не сопровождается громом. Шаровая молния бывает видна в виде огненного шара диаметром в 10-20 см, перемещающегося в воздухе с небольшой скоростью. Иногда такой шар проникает в помещение. Часто существование его заканчивается сильным взрывом. Шаровая молния образуется очень редко. Ещё реже бывает видна четочная молния, которая представляет цепочку, состоящую из светящихся точек. Она, возможно, является переходной формой от линейной к шаровой молнии. Природа шаровой и четочной молнии ещё не выяснена.

Наблюдения показали, что процесс образования молнии этим не ограничивается. Обычно по пути, проложенному первым лидером и разрядом, устремляется новый лидер, а за ним новый главный разряд. Таких отдельных разрядов, каждый из которых состоит из своего лидера и главного разряда, бывает до 2-3, а в некоторых случаях количество их может доходить до 50. Образование отдельных разрядов делает молнию прерывистой и мерцающей. Время между образованием отдельных разрядов не превышает сотых долей секунды, а полная длительность молнии чаще всего составляет около 0,2 сек.

Молния обычно сопровождается громом. Сначала бывает видна молния, а затем слышен гром. Более поздняя слышимость грома вызывается тем, что звук распространяется с малой скоростью 300-500 м/с. Отдалённые молнии сопровождаются раскатами грома. Последние создаются тем, что

звук, возникающий при разряде, достигает наблюдателя не сразу, а в течении некоторого времени, так как расстояние от наблюдателя до различных точек молнии неодинаково. Раскаты могут создаваться и в том случае, когда разряды следуют один за другим; при этом может происходить быстрая интерференция и усиление звуковых волн. Наконец, раскаты грома могут вызываться многократным отражением звука от облаков, возвышенностей и других препятствий.

Причиной грома является сильное и быстрое нагревание воздуха вдоль разрядного канала; это нагревание приводит к внезапному расширению воздуха и образованию волны сгущения, переходящей в звуковую волну. Гром редко бывает слышен на расстоянии более 20 км. Однако слышимость его не превосходит 10 км. Молния чаще всего поражает высокостоящие предметы.

Для защиты зданий и различных сооружений от прямых ударов молнии служит молниеотвод (громоотвод). Наиболее простым и распространенным является стержневой молниеотвод.

Грозы делятся на внутримассовые и фронтальные. Внутримассовые грозы тесно связаны с конвекцией, которая создаёт благоприятные условия для возникновения грозовых облаков. Такие грозы носят местный характер. После прохождения их каких-либо резких изменений погоды не бывает. Чаще всего эти грозы возникают в послеполуденные часы, когда воздух у земной поверхности наиболее прогревается. Иногда им предшествует появление утром высоко-кучевых облаков с небольшими, выступающими кверху башенками.

Внутримассовые грозы могут наблюдаться и в холодных воздушных массах при перемещении их над тёплой поверхностью. При таком перемещении воздух с низу прогревается, ввиду чего он приобретает неустойчивость. В нём создаётся конвекция, ведущая к образованию грозовых облаков. При фронтальных грозах бурный подъём тёплого воздуха

вызывается не только конвекцией, но и вытеснением его холодным воздухом. Поэтому суточный ход таких гроз выражен слабо. Фронтальные грозы вызывают резкие изменения погоды – сильные порывистые ветра, ливни, град. После таких гроз температура значительно понижается. Летом они могут возникать и перед тёплым фронтом в случае, если скользящий вдоль поверхности раздела тёплый воздух значительно прогрет от подстилающей поверхности. Фронтальные грозы перемещаются вместе с фронтами, со средней скоростью около 40 км/час.

На материках наибольшее количество гроз возникает в летние месяцы. В зимнее время грозы представляют очень редкое явление.

### 3. Анализ условий формирования заморозков в г. Кирове

#### 3.1 Постановка целей и задач бакалаврского проекта

Целью бакалаврского проекта является анализ условий формирования заморозков в городе Кирове.

В городе Кирове проблема весенних и осенних заморозков является актуальной. Например, 11 июня 2011 г. в результате заморозка в травосто при температуре воздуха  $-1^{\circ}\text{C}$ , погибла ботва картофеля и других культур. Таких случаев много и их повторяемость повышается.

Анализ успешности методов прогноза заморозков и условий их формирования задача практически значимая и несомненно актуальная. чтобы выполнить поставленную целью необходимо решить следующие задачи.

Проанализировать повторяемость весенне-осенних заморозков. Заморозком в данной работе считается понижение ночной температуры ниже 0, т.е. с  $-0,1$ градусов в вегетационный период, дату начала и окончания заморозков определяет выше стоящая организация ФГБУ «Верхне-Волжское» УГМС (приведу пример за 2020 год когда были озвучены даты и написать чем опасны весенние и осенние заморозки.

Планируем проанализировать синоптические условия, сопутствующие формированию заморозков в городе Кирове. Выделенные данные с 1991 по 2020 годов были сопоставлены с картами погоды приземными и высотными барической топографии. Карты данные Ре-анализа и карты, полученные в отделе синоптиков с баз данных.

В работе предполагается оценить успешность прогнозов заморозков по двум методам, которые используются в Кировском ЦГМС филиал-ФГБУ

«Верхне-Волжское» УГМС. Выбраны два наиболее часто

используемых метода-это метод Михалевского и Нижегородский метод. По этим методам с 2019 по 2020 годы предполагается провести анализ успешности и выделить наиболее успешный.

Для выявления и анализа повторяемости заморозков был использован ряд по минимальной температуре воздуха в городе Кирове за период с 1991 по 2020 годы. Данные получены на основании базы данных ВНИИГМЦД (Обнинские данные).

### 3.2 Анализ повторяемости весенних и осенних заморозков в городе Кирове

На первом этапе выполнения бакалаврского проекта были выделены и проанализированы заморозки и дана оценка их повторяемости. Для расчётов использовался ряд данных с 1991 по 2020 годы по минимальной температуре воздуха в городе Кирове. Результаты расчётов представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1

#### Повторяемость заморозков с 1991 по 2020 гг. в городе Кирове

Месяцы и декады	Годы для анализа данных по заморозкам		
	1991-2000	2001-2010	2011-2020
Май	39	24	22
1 декада	17	11	13
2 декада	14	7	5
3 декада	8	6	4
Июнь	-	-	1
1 декада	-	-	1
Август	-	-	1
3 декада	-	-	1
Сентябрь	26	13	10
1 декада	1	1	1
2 декада	5	6	2
3 декада	20	6	7
Итого	65	37	34

Анализируя данные таблицы 3.1 можно заключить, что за последние 30 лет с мая по сентябрь происходит резкое сокращение заморозков, почти в два раза. В мае количество заморозков уменьшилось на 17, а в сентябре количество заморозков уменьшилось на 16.

Впервые за 30 лет заморозок появляется 2 июня 2018 г. и 31 августа 2019 г.

В мае в 2011-2020 гг. во второй и третьей декаде происходит снижение заморозков, что делает эти декады пригодными для сельского хозяйства.

В сентябре в 2010-2020 гг. в первой и во второй декаде заморозки практически отсутствуют, что продлевает благоприятный период для роста овощей и фруктов.

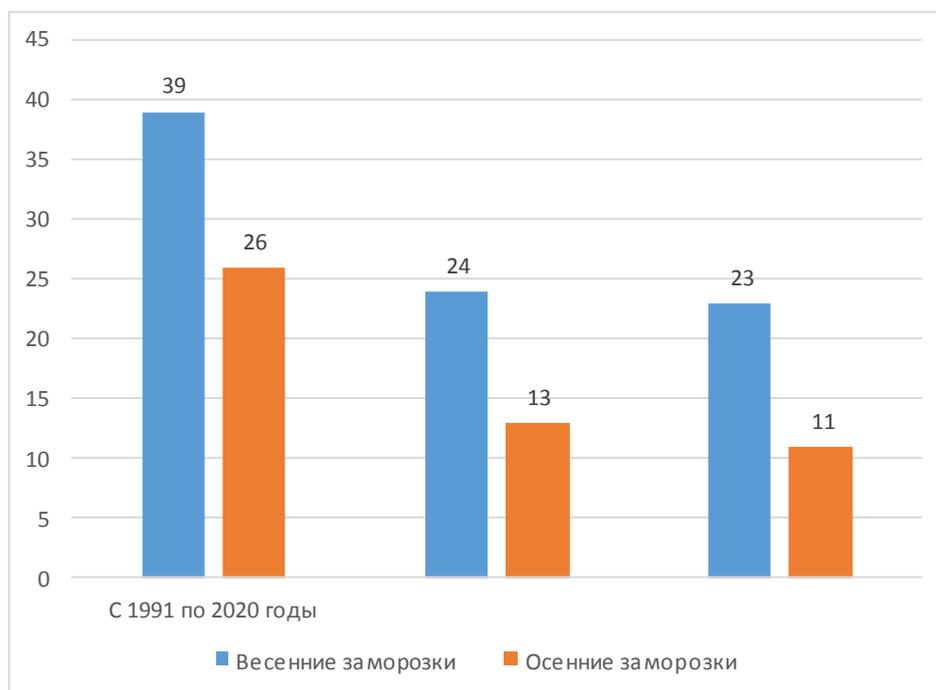


Рисунок 3.1 Повторяемость заморозков с 1991 по 2020 годы

Весенне-осенние заморозки за период с 1991 по 2020 годы.

По диаграмме рисунка 3.1 можно сделать вывод о том, что общее

количество заморозков снижается. Наибольшее количество заморозков наблюдалось в 90-е годы. Весной заморозков больше, чем осенью. Повторяемость весенних заморозков чаще осенних.

В результате анализа повторяемости заморозков можно сделать вывод о том, что количество заморозков в последние годы снижается. Необходимо отметить, что в последние годы наблюдаем аномальные случаи заморозков – появление их в первой декаде июня, что раньше не отмечалось. Осенью фиксируется появление первого заморозка в третьей декаде августа, что также раньше не отмечалось.

### 3.3 Анализ синоптических условий формирования заморозков в г. Кирове

В процессе работы над бакалаврским проектом были проанализированы все синоптические ситуации, сопутствующие формированию заморозков за период с 1991-2020 гг. В данной работе отдельно были рассмотрены весенние и осенние заморозки. В работе было выделено 86 весенних и 50 осенних заморозков.

Рассмотрим синоптические ситуации характерные для весенних заморозков.

Самая часто встречаемая синоптическая ситуация характерная для заморозков в г. Кирове и Кировской области весной является, тыл циклона, пришедшего с севера. Такие ситуации характерны при ультраполярном вторжении.

Типовая синоптическая ситуация «тыл циклона» представлена на картах погоды рисунка 3.2

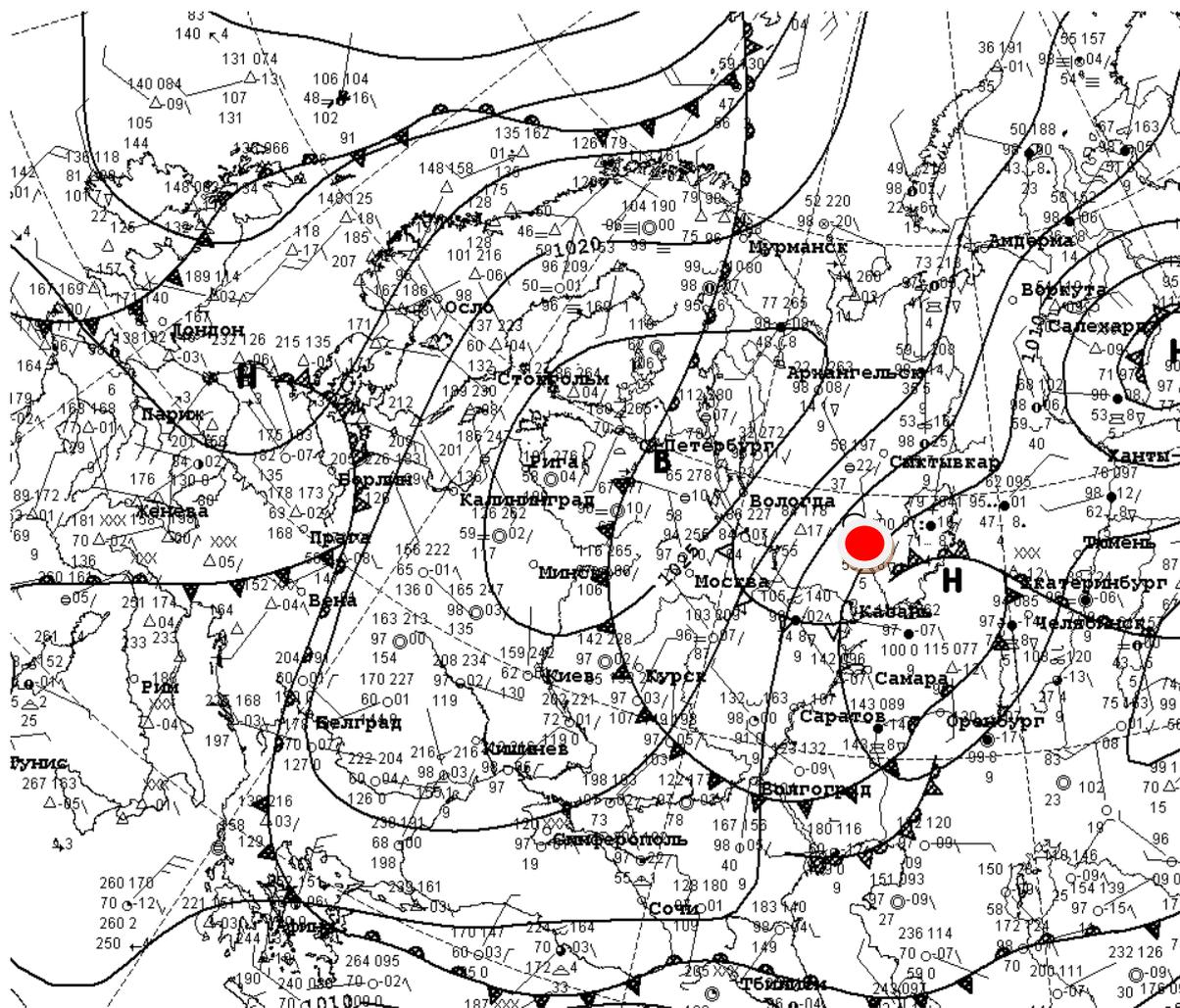


Рисунок 3.2 Анализ приземный 28/08/19 за срок 00

На рисунке 3.2 наблюдается обширный стационарный антициклон, который расположился над восточной и северной Европой, Кольским полуостровом, над Европейской частью России и над западной частью Чёрного моря. Циклон, который располагается над Уральскими горами и Западной Сибирью. Город Киров находится на границе антициклона и тыловой частью циклона. Южнее Кирова проходит вторичный холодный фронт, заморозки в пункте исследования наблюдаются за вторичным холодным фронтом, отмечаются северные ветра. Воздушная масса движется с района севера Уральских гор.

На рисунке 3.3 представлено поле температуры воздуха на высоте

1.5 км над уровнем моря (карта барической топографии АТ-850) в день с заморозком при данной синоптической ситуации.

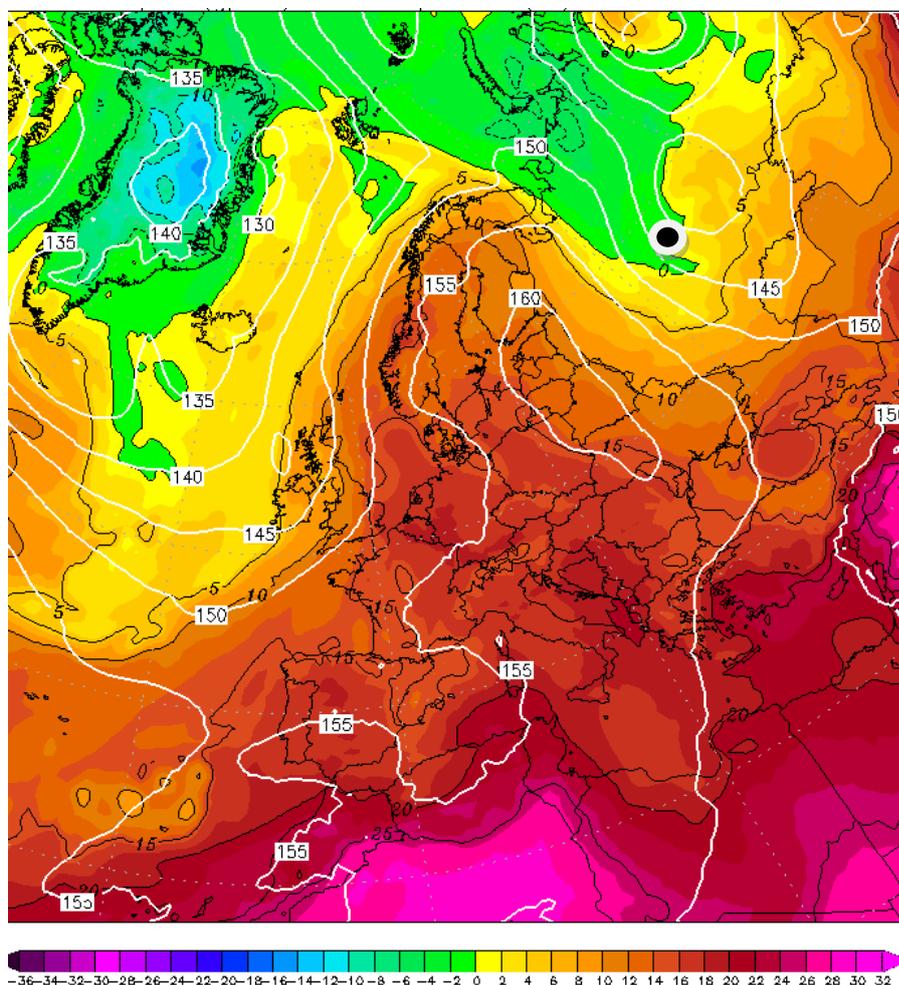


Рисунок 3.3 Анализ АТ-850 28/08/19 за срок 00

Над Северной и Восточной Европой отмечается очаг тепла, который соответствует антициклону. А над северной частью России располагается ложбина холода, которая соответствует тыловой частью циклона. Следует отметить, что холодные потоки над г. Кировом перемещаются с севера, с арктического побережья. Данная карта подтверждает ложбину холода над г. Кировом, что и приводит к заморозку.

В результате анализа рисунка 3.4, на котором представлен уровень средней тропосферы 500 гПа можно сделать вывод, что высотная

фронтальная зона над Северной Европой имеет изгиб, а над г. Кировом наблюдается ложбинообразная конфигурация фронтальной зоны.

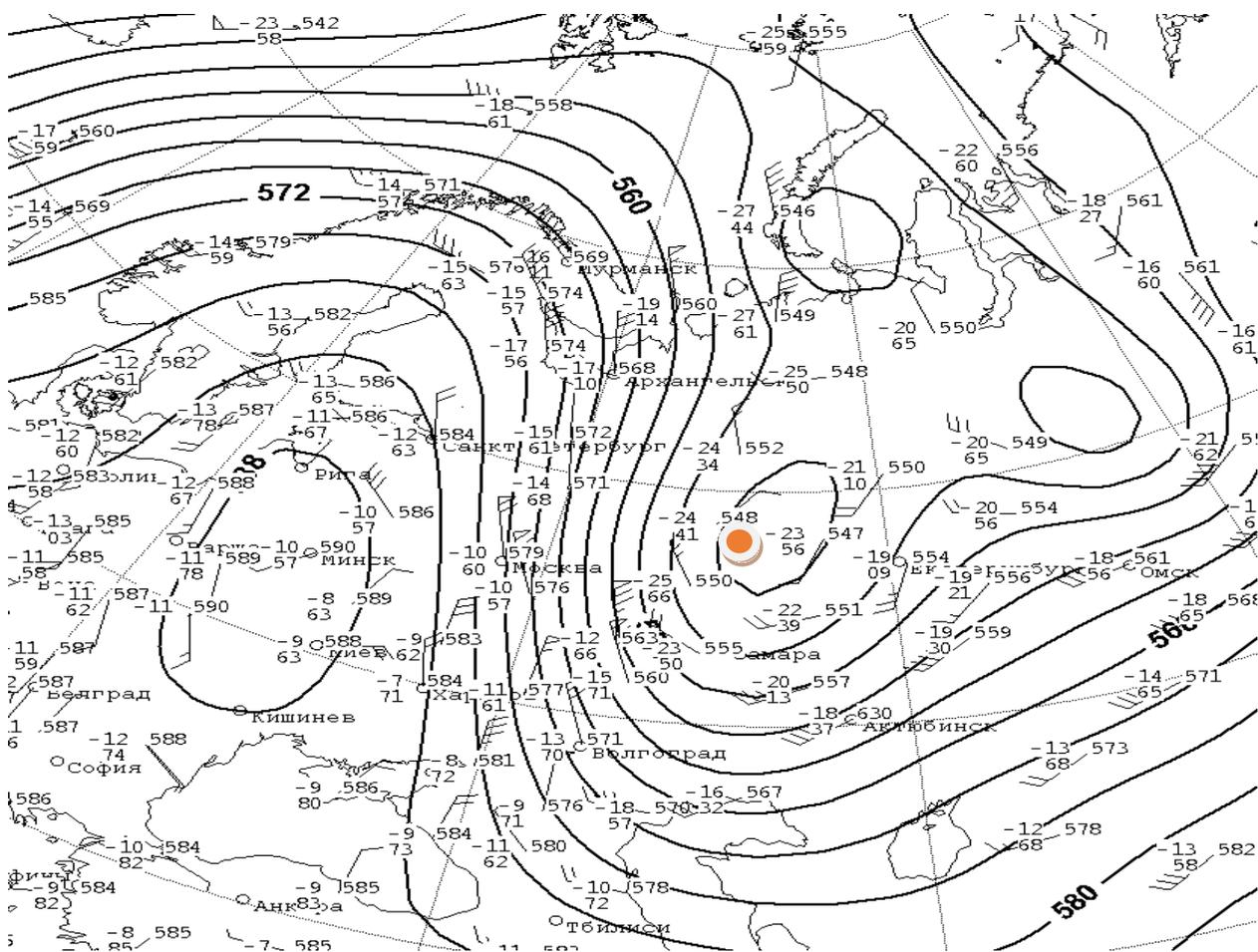


Рисунок 3.4 Анализ АТ-500 28/08/19 за срок 00

То есть на высоте около 5 км в районе исследования наблюдается полярное вторжение, Киров находится в тыловой части высотной ложбины.

В некоторых случаях заморозки в г.Кирове являются не единичными а длительными. Могут наблюдаться в течение 5 дней. Продолжение периода заморозков в августе 2019 года можно оценить по картам погоды, представленным на рисунке 3.5

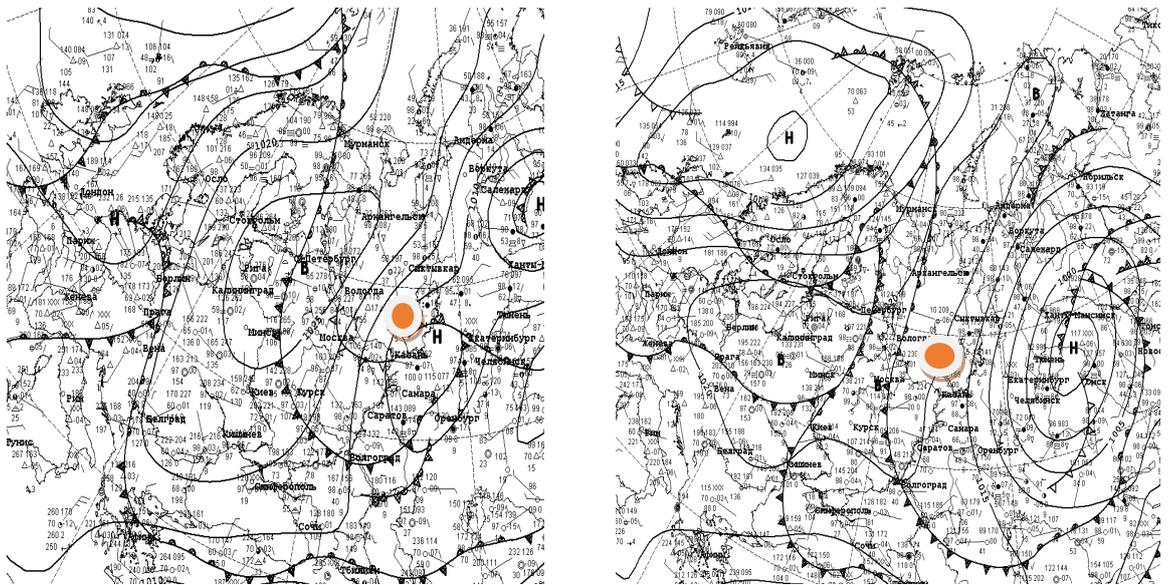


Рисунок 3.5 Приземный анализ 28/08/19 за срок 00 и Приземный анализ 31/08/19 за срок 00

Заморозки наблюдались несколько дней с 27.08.2019 по 31.08.2019 в этот период синоптическая ситуация над г. Кировом менялась от тыла циклона с переходом в восточную периферию антициклона.

Другой распространённой синоптической ситуацией, характерной формированию заморозков является восточная периферия антициклона, она представлена на рисунке 3.6.

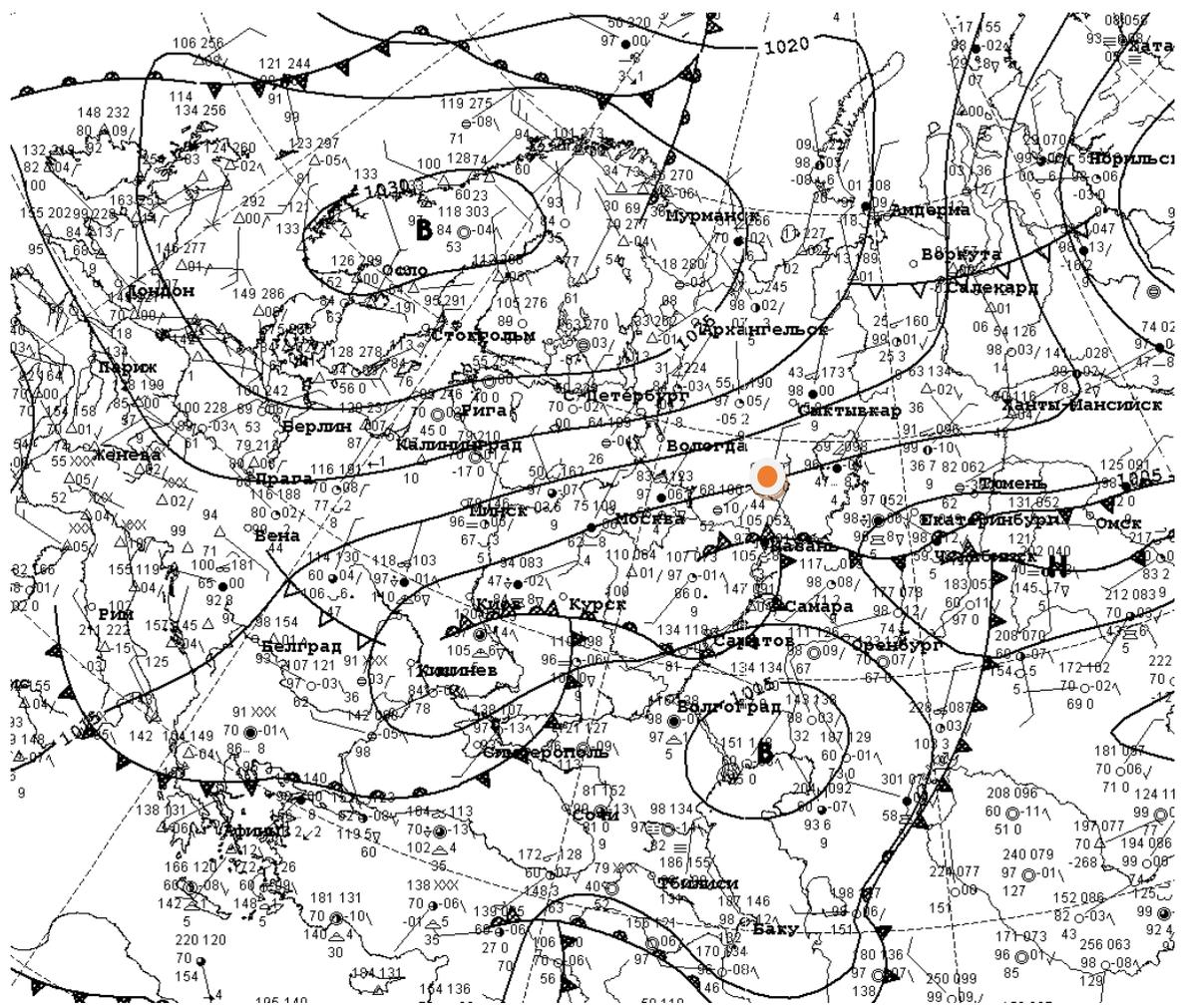


Рисунок 3.6 Анализ приземный 01/06/2020 за срок 00

На рисунке 3.6 изображён обширный антициклон, который расположился над странами Скандинавии, прибалтийскими странами, над территорией Германии, Польши, Украины, Белоруссии, а также над северной частью европейской частью России с центром над Швецией. Антициклон движется на восток через территорию Кировской области.

Циклон расположился над южной частью Европейской России. Город Киров расположен между антициклоном и циклоном и находится в высокоградиентном поле. Потoki холода направляются с севера.

На рисунке 3.7 представлена карта АТ-850 гПа.

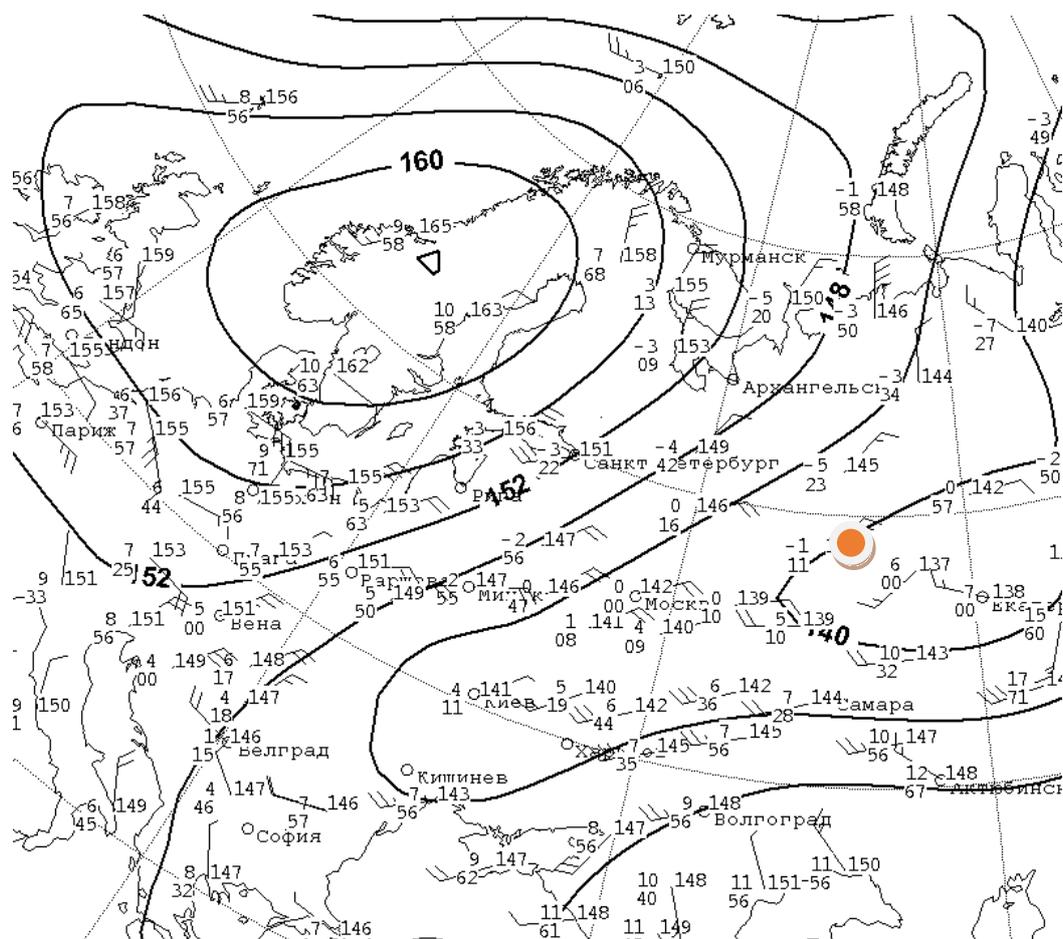


Рисунок 3.7 Анализ АТ-850 01/06/2020 за срок 00

На рисунке 3.7 г. Киров находится в тыловой части высотной ложбины циклона, также наблюдается заток холодной воздушной массы с северо-востока.

На рисунке 3.8 наблюдаем расходимость воздушных потоков,двигающихся с Баренцева моря на юг. О

дна часть воздушных потоков делает разворот над Европейской частью России и уходит в Западную Сибирь, а другая часть потока разворачивается над северной частью Уральских гор и соединяется с первым потоком в Западной Сибири.

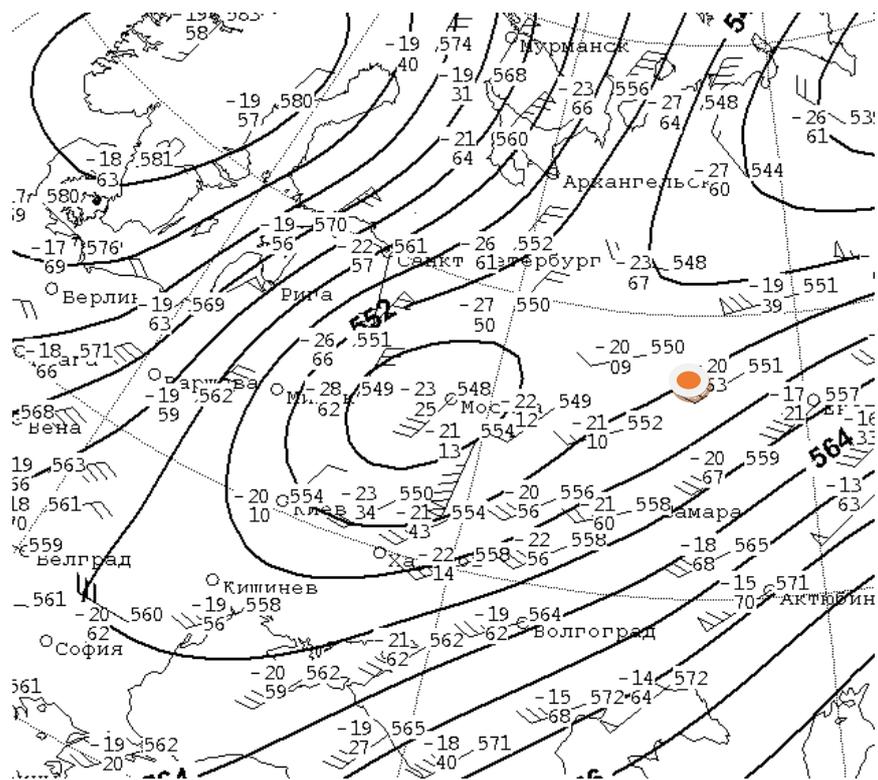


Рисунок 3.8 Анализ АТ-500 От исх. 01/06/2020 за срок 00

На рисунке 3.8 г. Киров находится в высотной ложбине. Ветер юго-западного направления 40 км/ч. Воздушная масса влажная.

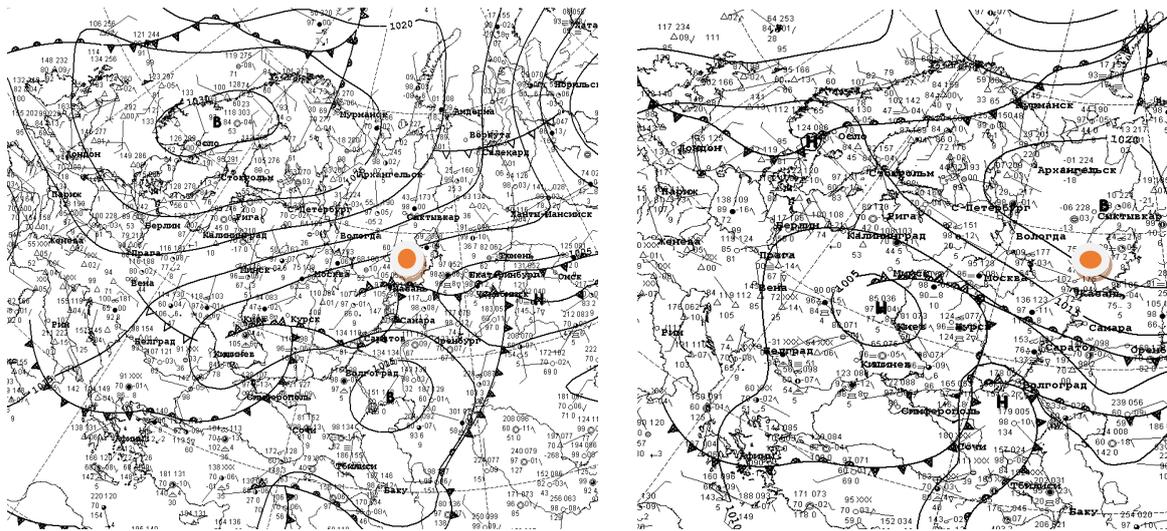


Рисунок 3.9 Приземный Анализ От исх. 01/06/2020 за срок 00 и Приземный Анализ От исх. 03/06/2020 за срок 00

Антициклон с давлением в центре 1030,9 гПа 01.06.2020 г. находится

в районе Скандинавии. К 03.06.2020 г. антициклон сместился на восток с центром над г. Сыктывкар, давление антициклона в центре стало 1022,5 гПа. В процессе смещения антициклон начал разрушаться.

Для весенних и осенних заморозков характерной синоптической ситуацией является полярное вторжение. Низкие температуры воздуха фиксируются в тыловой части арктического циклона. При длительных заморозках тыловая часть циклона сменяется восточной периферией обширного антициклона с центром над Калининградом. Низкие температуры воздуха определяет узконаправленный в сторону Новой Земли гребень антициклона, переходящий в его восточную периферию.

В 2020 году впервые так поздно, в первую декаду июня (1.06.2020 – 3.06.2020 гг.), было зафиксировано понижение температуры воздуха ниже нуля в течение 3 дней. Синоптическая ситуация, характеризовалась высокоградиентным полем. Город Киров располагался между восточной периферией обширного антициклона над Скандинавией и западной частью Северного Ледовитого океана и тыловой частью двухцентральной депрессии над Западной Сибирью и полуостровом Таймыр.

Отличий в синоптических ситуациях формирующих заморозки, весной и осенью в работе не выявлено.

### 3.4 Оценка успешности методов прогноза заморозков в г.Кирове

Расчёты по методу Михалевского весна 2019 года

В Кировском ЦГМС- филиал «Верхне-Волжского» УГМС для прогноза заморозков использую два метода: метод Михалевского и Нижегородский метод.

Расчёты по методу Михалевского. Весна 2019 года.

В методе используют данные метеорологических телеграмм за срок 09

часов UTC.

Расчёты проводились по следующим метеорологическим станциям: Киров, Кирс, Лальск, Яранск, Даровское, Уни, Шабалино, Опарино, Нагорск. В качестве примера рассмотрим заморозок на 19.05.2019 года. Использовался метод Михалевского.

Для определения ожидаемой минимальной температуры воздуха и почвы Михалевский предложил следующие формулы:

$$T_{\text{воздуха}} = t' - (t - t') * C$$

$$T_{\text{почвы}} = t' - (t - t') * 2C$$

Где  $t'$  - температура по смоченному термометру в 13 часов, в градусах;

$t$  - температура по сухому термометру в 13 часов, в градусах;

$C$  - коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха  $f$ .

Таблица 3.2

Расчетный коэффициент  $C$  для метода Михалевского

Влаж в 13ч,%	C								
15	0,3	35	0,8	55	1,3	75	2,5	100	5,0
20	0,4	40	0,9	60	1,5	80	3,0		
25	0,5	45	1,0	65	1,8	90	4,0		
30	0,7	50	1,2	70	2,0	95	4,5		

В 21 час расчёт уточняется:

При ясном небе (0...3 балла)  $T$  необходимо понизить на 2 градуса, при средней облачности (4...7 балла) оставить температуру без изменений, при облачности (8...10 баллов)  $T$  повышать на 2 градуса.

Результаты по данному методу представлены в таблице 2.

## Пример расчёта заморозков по методу Михалевского.

На 19.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	C по влажности из псих. табл.	T мин. Воздух	C	T мин. Почвы
Киров	2,7	5,8	1,3	-1,3	1,3	-5,3
Кирс	3,1	6,3	1,3	-1,0	1,3	-5,2
Лальск	4,3	7,2	1,4	0,2	1,4	-3,8
Яранск	3,9	8,4	0,9	-0,1	0,9	-4,2
Даровское	2,5	5,9	1,2	-1,5	1,2	-5,6
Уни	2,8	6,3	1,2	-1,4	1,2	-5,6
Шабалино	2,9	6,8	1	-1	1	-4,9
Опарино	1,9	3,4	2,5	-1,8	2,5	-5,6
Нагорск	2,6	4,7	1,8	-1,1	1,8	-4,9

Далее расчёты заморозков сравниваются с фактическими данными в таблице 3.

Если установить критерий успешности данного метода определения минимальной температуры воздуха на 2 м  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , то на почве данный метод дает низкую оправдываемость, а температура воздуха оправдывается на 88 %.

Метод Михалевского применялся 16 раз. На площади Кировской области работает 20 метеостанций, метод применялся на 9 станциях, находящихся в северной части области, в том числе в городе Кирове.

Для определения общей успешности данного метода в качестве критерия используют наличие отрицательных температур либо в воздухе, либо на почве. В случае, когда прогноз минимальной температуры почвы дает низкую оправдываемость, а прогноз температура воздуха успешен, то считается, что оправдываемость 100%. Во всех проведенных расчетах по методу Михалевского прогноз оправдался в 13 случаях из 16. Общая оправдываемость метода составила 81%.

Сравнение расчётов заморозков с фактическими температурами методом Михалевского

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 19.05.2019					
	Температура воздуха			Температура почвы		
	прогноз	факт	$\Delta T$	прогноз	факт	$\Delta T$
Киров	-1,3	1,3	-2,6	-5,4	-1	-4,4
Кирс	-1	0,2	-1,2	-5,2	0	-5,2
Лальск	0,2	1,3	-1,1	-3,8	1	-4,8
Яранск	-0,2	1	-1,2	-4,2	0	-4,2
Даровское	-1,6	0	-1,6	-5,7	1	-6,7
Уни	-1,4	-0,5	-0,9	-5,6	-3	-2,6
Шабалино	-1	0,6	-1,6	-4,9	1	-5,9
Опарино	-1,9	1,2	-3,1	-5,6	-1	-4,6
Нагорск	-1,2	0,1	-1,3	-5	1	-6

Помимо метода Михалевского в Кировском ЦГМС- филиал «Верхнее-Волжское» УГМС используется «Нижегородский метод» В бакалаврской работе данный метод также использовался.

Рассмотрим с равнение расчётов с фактом по Нижегородскому методу весна 2019 года

Заморозки рассчитывались по г. Кирову и по Кировской области. В качестве примера рассмотрим заморозок на 19.05.2019 года. Использовался Нижегородский метод.

Нижегородский метод.

В 1987 году из Верхне-Волжского УГМС в Кировский ЦГМС был разработан расчетный метод для определения заморозков.

В данной работе с целью прогноза заморозков предполагается выявить связь между минимальной температурой воздуха на прогнозируемую ночь и рядом синоптических параметров (предикторов), определённых по синоптическим картам и картам барической топографии в день прогноза.

Параметры, которые учитываются для прогноза:

1 Синоптическая ситуация на прогнозируемую ночь.

2 Данные следует определять, когда ожидается температура воздуха в интервале от -5 градусов до +5 градусов.

3 Состояние почвы в пункте прогноза.

4 Минимальная температура воздуха в городе (точке прогноза) за прошедшую ночь.

Следующие данные определяются в начальной точке траектории с заблаговременностью 24 часа.

5 Температура воздуха у поверхности земли.

6 Температура на уровне 925 гПа.

7 Температура на уровне 850 гПа.

8 Дефицит точки росы на уровне 925 гПа.

9 Дефицит точки росы на уровне 850 гПа.

10 Наличие осадков вдоль траектории.

Следующие данные снимаются с прогностических карт на ближайшие сутки в точке прогноза.

11 Лапласиан приземного давления, определяемый для радиуса 500 км по 8 точкам.

12 Прогностические вертикальные токи на уровне 850 гПа.

13 Градиентная скорость ветра у земли.

Дальше заносятся данные за прогнозируемую ночь

14 Минимальная температура воздуха по городу.

15 Минимальная температура на поверхности почвы по городу.

16 Минимальная температура на уровне 2 см по городу.

17 Минимальная температура воздуха по области.

18 Минимальная температура на поверхности почвы по области.

19 Минимальная температура на высоте 2 см по области.

На данный момент расчёт автоматизирован.

Результаты по данному методу представлены в таблице 4

Сравнение расчётов заморозков с фактическими температурами  
Нижегородским методом.

Наименование категорий	Дата прогноза: на 19.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	$\Delta T$	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	2	1,3	0,7	-
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	-0,6	-1	0,4	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	-1,3	0	-1,3	+
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-2,3	-0,7	-1,6	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-3,5	-3	-0,5	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-4,8	-3,1	-1,7	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)	-0,5	0,5	-1	
Синоптическое положение на дату прогноза	Тыл циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-2, на почве 0,-1			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-6/137			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

Нижегородский метод применялся на всю площадь Кировской области 16 раз. Из них 13 раз оправдался и 3 раза не оправдался. Оправдываемость метода - 81%.

Нижегородский метод рассчитывает: температуру воздуха, температуру на земле и температуру в травостое на двух см от поверхности земли, В методе Михалевского рассчитывается только температура воздуха и температура на почве. По результатам работы будет рекомендован отделу ОГМО Кировского ЦГМС- филиала ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» применять в работе Нижегородский метод, как более информативный для сельского хозяйства, особенно для поздних заморозков, когда после начала активной вегетации прошло некоторое время, появились всходы.

## Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы все поставленные цели были выполнены и задачи решены.

В ходе научно-исследовательской работы были разобраны типичные синоптические ситуации при заморозках в Кировской области. Были выявлены две характерные синоптические ситуации, сопутствующие формированию осенних и весенних заморозков. К первой относится тыловая часть циклона при ультраполярном вторжении (циклон «ныряющий с севера»). Другая ситуация связана с восточной периферией антициклона.

В ходе работы была оценена успешность методов прогноза заморозков, используемая в Кировском УГМС. Были получены расчётные данные по заморозкам двух методов с 2019 по 2020 гг., получена оправдываемость каждого метода для Кировской области. В результате анализа успешности этих методов можно сделать вывод о том, что для Кировской области можно использовать оба метода прогноза заморозков.

Нижегородский метод рассчитывает: температуру воздуха, температуру на земле и температуру в травостое на двух см от поверхности земли, В методе Михалевского рассчитывается только температура воздуха и температура на почве. По результатам работы будет рекомендован отделу ОГМО Кировского ЦГМС- филиала ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» применять в работе Нижегородский метод, как более информативный для сельского хозяйства, особенно для поздних заморозков, когда после начала активной вегетации прошло некоторое время, появились всходы.

В ходе анализа температурного режима на высотных картах погоды были выявлены следующие закономерности для весенних заморозков: на высоте 850 гПа. температура воздуха в период заморозка меняется от -

7° С

до +3° . При температуре выше +3°С заморозки прекращаются, наблюдается ветер северной четверти. Наблюдения за осенними заморозками дали следующие результаты: на высоте 850 гПа. В период заморозка температура воздуха меняется от -3° С до +4° С при температуре выше +4°С заморозки прекращаются, наблюдается ветер северной четверти. На высоте 500 гПа температура при заморозках меняется от -18°С до -24°С.

## Список используемой литературы

1. Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М. З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. - 242 с.
2. Костин С. И. Основы метеорологии и климатологии. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград 1958. -404 с.
3. Френкель М.О., Переведенцев Ю.П., Соколов В.В. Климатический мониторинг Кировской области. Казань: Казан. гос. ун-т, 2012. -264 с.
4. Френкель М. О., Швер Ц.А. Климат Кирова. Ленинград. Гидрометеоиздат. 1982. -216 с.
5. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Гидрометеоиздат. Ленинград. 1977. – 712 с.
6. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда приволжского федерального округа. Казань: Казан. гос. ун-т, 2013. -274 с.
7. Матвеев Л.Т., Теория общей циркуляции атмосферы и климата земли. Ленинград. Гидрометеоиздат. 1991. -296 с.
8. Смирнов М.В., Курсовая работа на тему «Анализ условий формирования заморозков в городе Кирове». Санкт-Петербург. 2020.-33 с.
9. Руднев Г.В., Агрометеорология. Ленинград. Гидрометеоиздат, 1973.
10. Хомякова Л.С., Синоптические условия возникновения заморозков на территории Кировской области. Киров. 1962.
11. Березина Е. Х., Весенние и осенние заморозки в Кировской области и меры борьбы с ними. Киров.
12. Иванова Т.И., Методический сборник в помощь синоптику. Куйбышев. 1977.
13. Воробьёв Б.М., Краткий курс метеорологии. Конспект лекций. 2007

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1.

Расчёт заморозков методом Михалевского

На 20.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	С по влажности из псих. табл.	T мин. Воздух	С	T мин. Почвы
Киров	2,7	3,8	3,2	-0,82	3,2	-4,34
Кирс	3,6	4,5	3,5	0,45	3,5	-2,7
Лальск	2,4	4,6	1,8	-1,56	1,8	-5,52
Яранск	2,7	5,9	1,2	-1,14	1,2	-4,98
Даровское	2,2	4,3	1,8	-1,58	1,8	-5,36
Уни	3,3	4,9	2,5	-0,7	2,5	-4,7
Шабалино	2,8	5,8	1,3	-1,1	1,3	-5
Опарино	1,9	2,4	4	-0,1	4	-2,1
Нагорск	1,6	2,5	3,4	-1,46	3,4	-4,52
На 21.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	С по влажности из псих. табл.	T мин. Воздух	С	T мин. Почвы
Киров	4,9	8,1	1,3	0,74	1,3	-3,42
Кирс	4,8	9	1	0,6	1	-3,6
Лальск	7,4	11,3	1,3	2,33	1,3	-2,74
Яранск	6,3	11,4	0,9	1,71	0,9	-2,88
Даровское	5,4	10,1	0,9	1,17	0,9	-3,06
Уни	5,7	9,2	1,3	1,15	1,3	-3,4
Шабалино	7,7	11	1,5	2,75	1,5	-2,2
Опарино	5,4	9,4	1,2	0,6	1,2	-4,2
Нагорск	4,6	8,3	1,2	0,16	1,2	-4,28

Продолжение таблицы

На 22.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	С по влажности псих. табл. из	T мин. Воздух	С	T мин. Почвы
Киров	6,3	12,3	0,8	1,5	0,8	-3,3
Кирс	6,1	12,4	0,7	1,69	0,7	-2,72
Лальск	6,2	13,2	0,5	2,7	0,5	-0,8
Яранск	7,2	14	0,7	2,44	0,7	-2,32
Даровское	6,5	13,4	0,5	3,05	0,5	-0,4
Уни	6,7	12,1	0,9	1,84	0,9	-3,02
Шабалино	7,7	13,7	0,8	2,9	0,8	-1,9
Опарино	5,3	11,1	0,7	1,24	0,7	-2,82
Нагорск	5,5	11,5	0,7	1,3	0,7	-2,9
На 23.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	С по влажности псих. табл. из	T мин. Воздух	С	T мин. Почвы
Киров	9	16,5	0,7	3,75	0,7	-1,5
Кирс	7,1	15,4	0,4	3,78	0,4	0,46
Лальск	9,5	17,6	0,5	5,45	0,5	1,4
Яранск	8,7	17	0,5	4,55	0,5	0,4
Даровское	7,1	17	0,3	4,13	0,3	1,16
Уни	8,3	16	0,5	4,45	0,5	0,6
Шабалино	7,6	15,2	0,5	3,8	0,5	0
Опарино	8,9	16,7	0,5	5	0,5	1,1
Нагорск	6,9	15,1	0,4	3,62	0,4	0,34
На 24.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	С по влажности псих. табл. из	T мин. Воздух	С	T мин. Почвы
Киров	10,9	12	3,6	6,94	3,6	2,98
Кирс	9,4	10	4,2	6,88	4,2	4,36
Лальск	2,6	4,7	1,9	-1,39	1,9	-5,38
Яранск	12,3	14,8	2,3	6,55	2,3	0,8
Даровское	9,8	10,5	4,1	6,93	4,1	4,06
Уни	10,6	12,6	2,6	5,4	2,6	0,2
Шабалино	11,6	14,5	1,9	6,09	1,9	0,58
Опарино	4,8	6,3	2,8	0,6	2,8	-3,6
Нагорск	8,8	9,3	4,3	6,65	4,3	4,5

Продолжение таблицы

На 25.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	C по влажности псих. табл. из	T мин. Воздух	C	T мин. Почвы
Киров	2,3	6	1	-1,4	1	-5,1
Кирс	2,1	5,6	1,1	-1,75	1,1	-5,6
Лальск	2,5	6,6	0,9	-1,19	0,9	-4,88
Яранск	4,2	9	0,8	0,36	0,8	-3,48
Даровское	3,6	7,2	1,2	-0,72	1,2	-5,04
Уни	2,8	6,2	1,2	-1,28	1,2	-5,36
Шабалино	3,4	7,5	1	-0,7	1	-4,8
Опарино	1,7	5,3	1	-1,9	1	-5,5
Нагорск	1,3	5	1	-2,4	1	-6,1
На 26.05.2019 г. Расчёт заморозков методом Михалевского						
Наименование станции	T' смоченное	T сухое	C по влажности псих. табл. из	T мин. Воздух	C	T мин. Почвы
Киров	5,8	11,6	0,8	1,16	0,8	-3,48
Кирс	4,4	10	0,7	0,48	0,7	-3,44
Лальск	6,5	12,7	0,7	2,16	0,7	-2,18
Яранск	7,8	14,2	0,8	2,68	0,8	-2,44
Даровское	5,8	12,1	0,7	1,39	0,7	-3,02
Уни	5,3	11,3	0,7	1,1	0,7	-3,1
Шабалино	6,3	13,4	0,5	2,75	0,5	-0,8
Опарино	5,4	11,8	0,6	1,56	0,6	-2,28
Нагорск	4,5	9,7	0,8	0,34	0,8	-3,82

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 2.

Сравнение расчётов с фактом по методу Михалевского весна 2019 года

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 17.05.2019					
	Температура воздуха			Температура почвы		
	прогноз	факт	$\Delta T$	прогноз	факт	$\Delta T$
Киров	2,2	3,9	-1,7	0	2	-2
Кирс	3,4	1,9	1,5	2	3	-1
Лальск	2,8	1,6	1,2	2	0	2
Яранск	11,1	3,4	7,7	0	2	-2
Даровское	7,8	3,3	4,5	2	0	2
Уни	7,75	1,9	5,85	2	0	2
Шабалино	3,7	2,5	1,2	-1,5	-1	-0,5
Опарино	2,7	2,1	0,6	-2,2	0	-2,2
Нагорск	4,7	3,4	1,3	3	-1	4
Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 19.05.2019					
	Температура воздуха			Температура почвы		
	прогноз	факт	$\Delta T$	прогноз	факт	$\Delta T$
Киров	-1,3	1,3	-2,6	-5,4	-1	-4,4
Кирс	-1	0,2	-1,2	-5,2	0	-5,2
Лальск	0,2	1,3	-1,1	-3,8	1	-4,8
Яранск	-0,2	1	-1,2	-4,2	0	-4,2
Даровское	-1,6	0	-1,6	-5,7	1	-6,7
Уни	-1,4	-0,5	-0,9	-5,6	-3	-2,6
Шабалино	-1	0,6	-1,6	-4,9	1	-5,9
Опарино	-1,9	1,2	-3,1	-5,6	-1	-4,6
Нагорск	-1,2	0,1	-1,3	-5	1	-6

Продолжение таблицы

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 20.05.2019					
	Температура воздуха		ΔТ	Температура почвы		ΔТ
	прогноз	факт		прогноз	факт	
Киров	-0,82	3	-3,82	-4,34	-0,1	-4,24
Кирс	0,45	2,9	-2,45	-2,7	-1,2	-1,5
Лальск	-1,56	-1	-0,56	-5,52	-1,6	-3,92
Яранск	-1,14	4,5	-5,64	-4,98	-1,4	-3,58
Даровское	-1,58	0,4	-1,98	-5,36	-1	-4,36
Уни	-0,7	2,9	-3,6	-4,7	-1,3	-3,4
Шабалино	-1,1	4,7	-5,8	-5	-1	-4
Опарино	-0,1	0,9	-1	-2,1	0	-2,1
Нагорск	-1,46	2,5	-3,96	-4,52	-1	-3,52
Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 21.05.2019					
	Температура воздуха		ΔТ	Температура почвы		ΔТ
	прогноз	факт		прогноз	факт	
Киров	0,74	0,9	-0,16	-3,42	-3	-0,42
Кирс	0,6	-1	1,6	-3,6	-2	-1,6
Лальск	2,33	-2,9	5,23	-2,74	-3	0,26
Яранск	1,71	-2	3,71	-2,88	-2	-0,88
Даровское	1,17	-2,7	3,87	-3,06	1	-4,06
Уни	1,15	-0,5	1,65	-3,4	-5	1,6
Шабалино	2,75	-0,9	3,65	-2,2	-1	-1,2
Опарино	0,6	1	-0,4	-4,2	-2	-2,2
Нагорск	0,16	2,1	-1,94	-4,28	0	-4,28

Продолжение таблицы

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: 22.05.2019					
	Температура воздуха		ΔТ	Температура почвы		ΔТ
	прогноз	факт		прогноз	факт	
Киров	1,5	-0,2	1,7	-3,3	-1	-2,3
Кирс	1,69	-0,8	2,49	-2,72	0	-2,72
Лальск	2,7	-3	5,7	-0,8	-1	0,2
Яранск	2,44	2,3	0,14	-2,32	2	-4,32
Даровское	3,05	0	3,05	-0,4	4	-4,4
Уни	1,84	-1,5	3,34	-3,02	-6	2,98
Шабалино	2,9	4	-1,1	-1,9	3	-4,9
Опарино	1,24	-3	4,24	-2,82	-2	-0,82
Нагорск	1,3	4	-2,7	-2,9	4	-6,9

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 23.05.2019					
	Температура воздуха		ΔТ	Температура почвы		ΔТ
	прогноз	факт		прогноз	факт	
Киров	3,75	7,7	-3,95	-1,5	5	-6,5
Кирс	3,78	6,4	-2,62	0,46	5	-4,54
Лальск	5,45	6,2	-0,75	1,4	7	-5,6
Яранск	4,55	5,4	-0,85	0,4	6	-5,6
Даровское	4,13	8,9	-4,77	1,06	9	-7,94
Уни	4,45	5,1	-0,65	0,6	2	-1,4
Шабалино	3,8	6,7	-2,9	0	6	-6
Опарино	5	7	-2	1,1	5	-3,9
Нагорск	3,62	6,9	-3,28	0,34	5	-4,66

Продолжение таблицы

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 24.05.2019					
	Температура воздуха			Температура почвы		
	прогноз	факт	$\Delta T$	прогноз	факт	$\Delta T$
Киров	6,94	-0,3	7,24	2,98	-1	3,98
Кирс	6,88	-1,5	8,38	4,36	0	4,36
Лальск	-1,39	-1,6	0,21	-5,38	-2	-3,38
Яранск	6,55	0	6,55	0,8	0	0,8
Даровское	6,93	-2,4	9,33	4,06	1	3,06
Уни	5,4	-0,8	6,2	0,2	-3	3,2
Шабалино	6,1	-1,5	7,6	0,58	-1	1,58
Опарино	0,6	-1,5	2,1	-3,6	-3	-0,6
Нагорск	6,65	-0,4	7,05	4,5	0	4,5
Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 25.05.2019					
	Температура воздуха			Температура почвы		
	прогноз	факт	$\Delta T$	прогноз	факт	$\Delta T$
Киров	-1,4	-2,1	0,7	-5,1	-4	-1,1
Кирс	-1,75	-2,2	0,45	-5,6	-2	-3,6
Лальск	-1,19	-3,1	1,91	-4,88	-3	-1,88
Яранск	0,36	-3,3	3,66	-3,48	-3	-0,48
Даровское	-0,72	-4,2	3,48	-5,04	-2	-3,04
Уни	-1,28	-3,7	2,42	-5,36	-7	1,64
Шабалино	-0,7	-1,4	0,7	-4,8	-1	-3,8
Опарино	-1,9	-2,7	0,8	-5,5	-5	-0,5
Нагорск	-2,4	-0,6	-1,8	-6,1	5	-11,1

Продолжение таблицы

Наименование станций Кировской области	Дата прогноза: на 26.05.2019					
	Температура воздуха		ΔT	Температура почвы		ΔT
	прогноз	факт		прогноз	факт	
Киров	1,16	6,7	-5,54	-3,48	3	-6,48
Кирс	0,48	1,5	-1,02	-3,44	1	-4,44
Лальск	2,16	1,7	0,46	-2,18	3	-5,18
Яранск	2,68	6,1	-3,42	-2,44	4	-6,44
Даровское	1,39	5,4	-4,01	-3,02	6	-9,02
Уни	1,1	4,2	-3,1	-3,1	-1	-2,1
Шабалино	2,75	7,1	-4,35	-0,8	7	-7,8
Опарино	1,56	4,6	-3,04	-2,28	2	-4,28
Нагорск	0,34	5	-4,66	-3,82	3	-6,82

## ПРИЛОЖЕНИЕ С

Таблица 1.

Сравнение расчётов с фактом по Нижегородскому методу весна 2019 года

Наименование категорий	Дата прогноза: на 17.05.2019			
	по градусам		ΔТ	по наличию
	прогноз	факт		факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	4,4	3,9	0,5	-
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	2,2	2	0,2	-
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	2	2	0	-
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	0,2	-0,2	0,4	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-0,8	0	0,8	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-2,9	-1,9	-1	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)	2	2	0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Тыл циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-1 гр. Почве 0,-1 гр			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-3/147			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

Наименование категорий	Дата прогноза: на 19.05.2019			
	по градусам		ΔТ	по наличию
	прогноз	факт		факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	2	1,3	0,7	-
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	-0,6	-1	0,4	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	-1,3	0	-1,3	+
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-2,3	-0,7	-1,6	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-3,5	-3	-0,5	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-4,8	-3,1	-1,7	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)	-0,5	0,5	-1	
Синоптическое положение на дату прогноза	Тыл циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-2, на почве 0,-1			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-6/137			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

### Продолжение таблицы

Наименование категорий	Дата прогноза: на 20.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	ΔТ	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	3,6	3	0,6	+
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	0,9	2	-1,1	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	-0,1	2	-2,1	-
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-0,5	-1	0,5	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-1,7	-1	-0,7	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-2,7	-1,9	-0,8	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)	1,4	2,5	-1,1	
Синоптическое положение на дату прогноза	Тыл циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-2, на почве 0,-3			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-4/142			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

Наименование категорий	Дата прогноза: на 21.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	ΔТ	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	3,4	0,9	2,5	-
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	0,7	-3	3,7	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	-0,2	-4	3,8	+
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-0,9	-2,9	2	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-1,9	-3	1,1	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-3,3	-7	3,7	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)			0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Восточная пер. антициклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-2, на почве 0,-3			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-3/146			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

## Продолжение таблицы

Наименование категорий	Дата прогноза: на 22.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	$\Delta T$	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	4,1	-0,2	4,3	+
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	1,2	-1	2,2	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	0,2	-2	2,2	+
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-0,5	-3	2,5	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-1,5	-6	4,5	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-2,8	-7	4,2	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)			0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Седловина			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-2, на почве -2,-5			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	1/146			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

Наименование категорий	Дата прогноза: на 23.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	$\Delta T$	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	6,5	7,7	-1,2	-
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	4,5	5	-0,5	-
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	3,2	4	-0,8	-
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	2,9	3,6	-0,7	-
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	1,7	2	-0,3	-
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	0,9	1	-0,1	-
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)			0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Тёплый сектор циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Тем-ра ночью +6,+11, при прояснениях +3			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	5/140			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

## Продолжение таблицы

Наименование категорий	Дата прогноза: на 24.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	$\Delta T$	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	2,1	-0,3	2,4	+
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	-0,6	-1	0,4	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	-1,1	-2	0,9	+
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-2,2	-2,4	0,2	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-3,2	-3	-0,2	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-4,9	-6	1,1	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)			0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Тыл циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-2, на почве до -3			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-7/136			
АТ 500 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)				

Наименование категорий	Дата прогноза: на 25.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	$\Delta T$	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	-1,7	-2,1	0,4	+
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	-4,1	-4	-0,1	+
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	-4,4	-5	0,6	+
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	-5,7	-4,2	-1,5	+
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	-7,5	-7	-0,5	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	-7,9	-8	0,1	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)			0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Гребень антициклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе 0,-3, на почве до -5			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	-5/145			

### Продолжение таблицы

Наименование категорий	Дата прогноза: на 26.05.2019			
	по градусам		по наличию	
	прогноз	факт	$\Delta T$	факт
Мин-ная тем-ра воздуха у земли в г. Кирове	5,7	6,7	-1	-
Минимальная тем-ра воздуха в г. Кирове у поверхности почвы	3,4	3	0,4	-
Мин-ная тем-ра воздуха в г. Кирове на высоте 2 см от пов-сти почвы	1,9	2	-0,1	-
Минимальная тем-ра воздуха у земли по области	2	1,5	0,5	-
Минимальная тем-ра воздуха по области поверхности почвы	0,8	-1	1,8	+
Ми-ная тем-ра воздуха по области на высоте 2 см от пов-ти почвы	0,2	-3	3,2	+
Преоб-щая мин-ная тем-ра воздуха по области(середина градации)			0	
Синоптическое положение на дату прогноза	Передняя часть циклона			
Гидрометеорологический бюллетень	Ночью заморозки в воздухе +1,+6, на почве до -1			
АТ 850 температура/изогипса (на дату прогноза по факту)	3/145			