



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 «Условия образования и прогнозирование гроз на севере
Европейской части России»

Исполнитель Иванов Павел Дмитриевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

Новикова Нина Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

«25» августа 2018 г.

Санкт-Петербург
2018

Содержание

Введение	4
1. Условия образования гроз и их классификация	5
1.1 Конвективная облачность и процессы, приводящие к ее образованию	5
1.2 Условия образования и структура грозового облака	6
2. Основные методы прогноза гроз	13
2.1 Методы прогноза гроз, основанные на адиабатической модели (метод частицы)	13
2.1.1 Метод Н.В. Лебедевой для прогнозирования гроз	14
2.1.2 Метод Бейли для прогнозирования гроз	16
2.1.3 Метод Б.Е. Пескова для прогнозирования гроз	17
2.1.4 Метод Г.Д. Решетова для прогнозирования гроз	18
2.1.5 Метод Вайтинга для прогнозирования гроз	19
2.1.6 Метод Н.П. Фатеева для прогнозирования гроз	20
2.1.7 Метод Р.А. Ягудина для прогнозирования гроз	21
2.2 Методы прогноза гроз, учитывающие неадиабатичность атмосферных процессов	22
2.2.1 Метод И.А. Славина для прогнозирования гроз	23
2.2.2 Метод Фауста для прогнозирования гроз	26
3. Прогноз гроз на севере ЕЧР	28
3.1 Исходные данные	28
3.2 Использование метода Фатеева для прогноза гроз	29
3.3 Использование метода эталонов для прогноза гроз	35
Заключение	40
Список используемых источников	41
Приложение А – Обучающая выборка	43
Приложение Б – Контрольная выборка	46
Приложение В – Синоптические карты с ситуациями наличия и отсутствия гроз.	47

Приложение Г – Данные температурно-ветрового зондирования при ситуации наличия и отсутствия гроз	49
Приложение Д - Оперативный график для прогноза наличия и отсутствия гроз на севере ЕЧР	54

Введение

Грозы и связанные с ними другие метеорологические явления, такие как сильные ливни, шквалистые усиления ветра, град, являются одними из самых опасных природных явлений как для инфраструктуры, так и для людей в целом. Опасность представляют электрические разряды (молнии), поражающие высокие предметы на поверхности земли; шквалы, ломающие деревья, нарушающие работу линий электропередач, разрушающие плохозакрепленные конструкции на земле; и град, который может нанести ущерб не только материальным предметам и народному хозяйству, но и здоровью человека. Поэтому проверка и усовершенствование методов прогноза гроз, в частности на севере ЕЧР, является неотъемлемой частью для успешного прогнозирования опасных явлений и своевременного предупреждения населения об их приближении и принятию мер защиты от них.

Цель работы: оценить возможности использования метода Фатеева для прогнозирования гроз на севере ЕЧР.

Задачи:

- изучить физические причины и условия образования кучево-дождевой облачности, связанной с грозами, а также различные методы прогноза гроз;
- подготовить исходные данные (обучающие и контрольные выборки) для оценки метода наличия и отсутствия гроз;
- по возможности уточнить и проверить метод Фатеева для прогноза наличия и отсутствия гроз на севере ЕЧР.

1. Условия образования гроз и их классификация

1.1 Конвективная облачность и процессы, приводящие к ее образованию

Конвективные или кучевообразные облака – это облака вертикального развития, имеющие вид изолированных облачных систем. Данный вид облаков имеет сильное развитие по вертикали и, как правило, небольшую горизонтальную протяженность. В связи с этим, между ними могут наблюдаться значительные солнечные просветы. Основными процессами, приводящими к образованию конвективной облачности, являются термическая конвекция и турбулентный обмен.

Термическая конвекция возникает в результате неравномерного перегрева отдельных масс воздуха при неустойчивой стратификации атмосферы в ее нижних слоях. Самые благоприятные условия для развития конвективных движений в атмосфере создаются днем над поверхностью суши, в теплое полугодие, когда приток прямой солнечной радиации к земной поверхности имеет самые высокие значения. Под влиянием этого притока вблизи земной поверхности возникает неустойчивая стратификация. При таких условиях, отдельные перегретые массы воздуха начинают перемещаться вверх по вертикали. Пока они не достигли состояния насыщения, то есть при относительной влажности воздуха f менее 100%, движение таких масс воздуха происходит по сухой адиабате. На уровне конденсации $z_{\text{конд}}$, то есть при достижении относительной влажности 100%, воздух достигает состояния насыщения. При наличии крупных и активных ядер конденсации состояние насыщения достигается несколько ниже уровня конденсации $z_{\text{конд}}$. После прохождения уровня конденсации $z_{\text{конд}}$, продолжая свое движение вверх по вертикали, отдельные массы воздуха начинают двигаться уже по влажной адиабате. Благодаря понижению температуры воздуха с высотой происходит конденсация водяного пара и, как следствие, образование облачности [1].

1.2 Условия образования и структура грозового облака

Грозовые кучево-дождевые облака разделяют в зависимости от условий их образования. Различают внутримассовые и фронтальные грозы.

Внутримассовые грозы, в свою очередь, подразделяют на конвективные, адвективные и орографические.

Конвективные грозы возникают в результате сильного прогрева земной поверхности и, как следствие, приземного слоя довольно влажного воздуха. При этом выше данного слоя располагается относительно холодная воздушная масса. Развитие такого вида гроз обычно происходит летом в полуденные часы в размытых малоградиентных барических полях, на перифериях заполняющихся циклонов или в барических седловинах.

Адвективные грозы могут являться следствием быстрого перемещения относительно холодной и влажной воздушной массы над теплой подстилающей поверхностью в летние месяцы. Например, в тыловой части циклона или в передней части барического гребня в холодной воздушной массе.

Причиной орографических гроз является вынужденный подъем неустойчивой воздушной массы, например, вдоль наветренных склонов гор.

Фронтальные грозы, в отличие от внутримассовых, обычно связаны с атмосферными фронтами. Самым ярким примером фронтальной грозы является прохождение холодного фронта или фронта окклюзии по типу холодного фронта летом. Хотя фронтальные грозы могут наблюдаться и в любые другие сезоны, но все же большинство подобных гроз формируется именно в теплый сезон. Несмотря на то, что суточного хода фронтальные грозы не имеют, они возникают преимущественно во второй половине дня и в это же время имеют максимальную интенсивность. А с закатом их интенсивность, наоборот, быстро снижается.

Фронтальные грозы могут формироваться не только на холодных фронтах в дневные часы, но и на теплых фронтах в ночные часы. Это объясняется развитием интенсивных вертикальных движений в слоисто-

дождевых облаках за счет ночного понижения температуры верхней части облачности. При этом в облаке увеличивается вертикальный градиент температуры и, как следствие, образуется неустойчивая стратификация. Этот градиент может стать выше влажно-адиабатического, и тогда в атмосфере могут создаться условия для развития ночной конвекции, формирования кучево-дождевой облачности и соответственно гроз [2].

Разницы в строении внутримассовых и фронтальных гроз нет. Кучево-дождевая облачность может состоять как из одной, так и нескольких ячеек. Данное утверждение было исследовано с помощью авиации и локационной техники. В зависимости от знака вертикальной скорости выделяют три стадии развития конвективных ячеек: начальную стадию, стадию зрелости и стадию распада (рис. 1.1).

Начальная стадия характеризуется восходящими движениями воздуха в большей части грозовой ячейки. Продуктами конденсации служат капли воды, некоторая часть которых в верхней части облака уже успела замерзнуть и образовать частицы крупы. Начальная стадия характеризуется формированием из кучевого облака хорошей погоды (Cu hum) мощного кучевого облака (Cu cong), а затем и кучево-дождевого лысого облака (Cu calv) [2,3].

В отличие от начальной стадии при наступлении стадии зрелости восходящие движения воздуха наблюдаются только в центральной части ячейки, а на ее перифериях преобладают уже нисходящие потоки. Эта стадия развития облака характеризуется наибольшей электризацией. Верхняя часть облака уже состоит из кристаллов льда, а в средней части присутствуют частицы крупы с водяными каплями. Воздух при подъеме в центральной части ячейки охлаждается влажноадиабатически, а на перифериях при опускании нагревается сухоадиабатически. Увеличение веса единичного объема воздуха за счет увеличения количества жидкой воды в сочетании с более низкой температурой приводит к тому, что в нижней части ячейки, а также под ней возникает нисходящее движение воздуха и, как следствие, внезапное выпадение ливневых осадков. Нисходящий воздушный поток под облаком,

растекаясь вблизи земной поверхности, влияет на поле ветра. Данная стадия характеризуется дальнейшим развитием кучево-дождевого лысого облака (Cu calv) в кучево-дождевое волосатое облако с грозовыми явлениями (Cu cap) [2,3,4].

При стадии распада, восходящие движения воздуха практически отсутствуют, а нисходящие потоки распространяют практически на всю площадь ячейки. Процессы электризации ослабевают, хотя электрическое поле в облаке за счет нерассеянных объемных зарядов может быть еще довольно велико. Верхняя наковальня начинает постепенно растекаться по небу. Из-за прекращения восходящих потоков, прекращается и обновление влаги в облаке. Следовательно, интенсивность осадков уменьшается и эти осадки постепенно размывают ячейку.

Длительность каждой стадии сильно варьируется в зависимости от каждого конкретного случая. Но в среднем начальная стадия продолжается около 10-15 минут, стадия зрелости длится около 15-30 минут. Длительность третьей последней стадии распада также составляет около 30 минут [3,4].

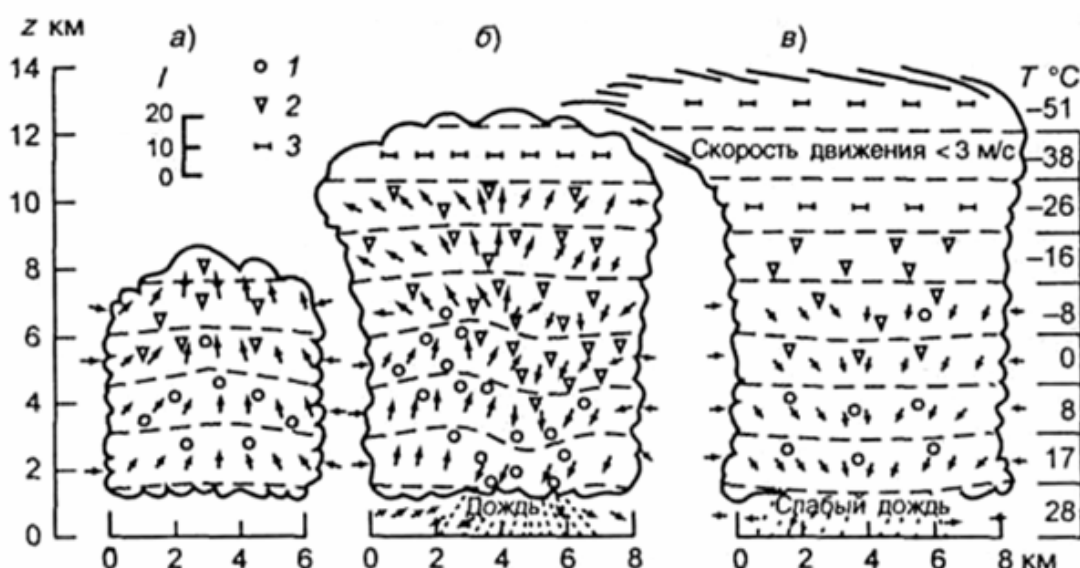


Рис. 1.1 – Модель строения грозовой ячейки в разных стадиях развития: начальной (а), зрелости (б), распада (в). I – масштаб скорости (м/с), 1 – капли, 2 – частицы крупы и града, 3 – кристаллы.

Вышеописанная структура характерна скорее для одноячейковых гроз. Но чаще всего мощные грозовые ячейки включает в себя несколько ячеек, каждая из которых проходит все стадии своего развития независимо друг от друга. Однако развитие одной ячейки может способствовать развитию следующих. В купола мощных кучевых облаков могут попадать кристаллы льда из замершей вершины первой ячейки, находящейся в стадии зрелости или распада. Эти кристаллы льда ускоряют оледенение купола новых облаков и наступление их второй стадии развития. Облако, в котором сформировалось несколько ячеек носит название мультіячейкового. Изначально, оно возникает как одноячейковое образование. При достижении стадии зрелости, примерно через 15-20 минут от момента формирования первой ячейки, как правило, справа от направления движения кучево-дождевого облака формируется вторая, так называемая дочерняя ячейка. И она также проходит все стадии развития. Последующее образование новых ячеек приводит к формированию так называемого мультіячейкового кучево-дождевого облака, способного просуществовать даже несколько часов. Мультіячейковые облака имеют многокупольные вершины, заканчивающиеся наковальнями, расположенными на разной высоте. В связи с изменением направления ветра в зависимости от высоты, наковальни ориентированы под меньшим или большим углом по отношению друг к другу.

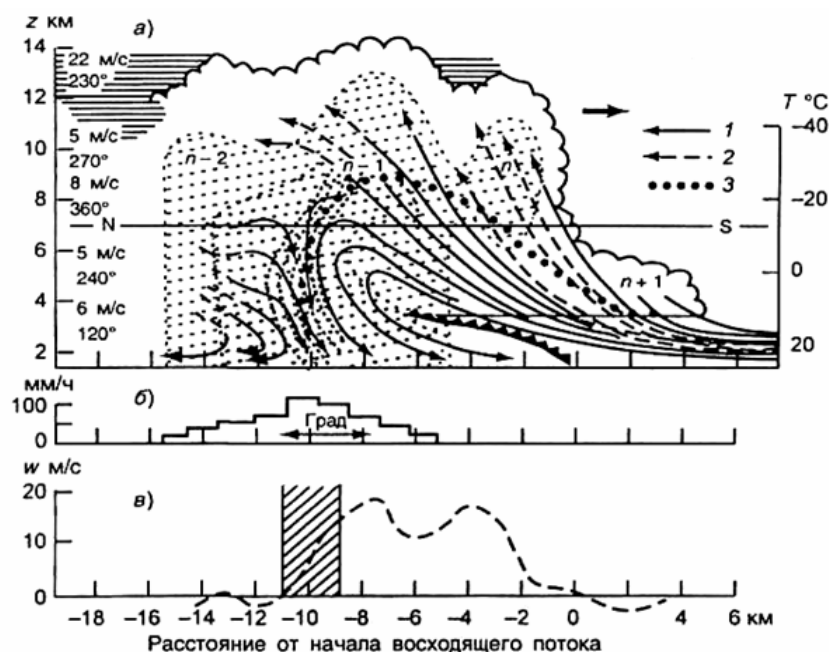


Рис. 1.2 – Мультиячейковое грозовое облако. а – схема строения облака (на оси ординат кроме высоты указаны скорость и направление ветра относительно облака, а также температура воздуха), б – интенсивность осадков (дождя или града), в – вертикальная скорость вдоль линии NS, отмеченной на рисунке «а» (заштрихован участок сильной турбулентности).

На рисунке 1.2 представлена схема развития мультиячейкового грозового кучево-дождевого облака. В данном облаке можно наблюдать 4 ячейки в различных стадиях своего развития. Первой возникла ячейка $n-2$. Она находится на стадии распада. Ячейка $n-1$ - в зрелой стадии. Ячейки n и $n+1$ - в начальной стадии. По касательной к линиям тока 1 направлена скорость движения воздуха относительно облака. Линии тока 2 соответствуют частям облака, ориентированным под большим углом к плоскости рисунка 1.2. Кривая 3 изображает траекторию градин. Скорость восходящего движения максимальна (около 20 м/с) в передней части кучево-дождевого облака на высоте около 7 км. В его тыловой части, из которой выпадают ливневые осадки и град, преобладают нисходящие движения (максимум скорости около 15 м/с) вблизи основания облака. Время существования каждой ячейки около 45 минут, а промежуток времени между зарождением последовательных ячеек около 15 минут.

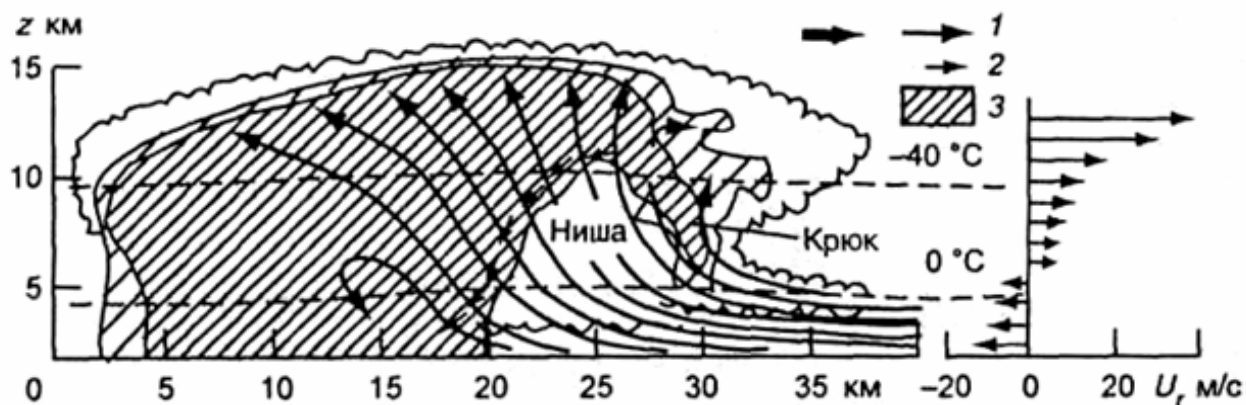


Рис. 1.3 – Схема строения суперячейкового грозового облака. 1 – линия тока, 2 – траектория градин, 3 – область наиболее интенсивного радиоэха; U_r – скорость движения воздуха по отношению к облаку.

Наибольший след после себя оставляют грозы и сопутствующие им метеорологические явления, связанные с формированием суперячейковых грозовых кучево-дождевых облаков (рис. 1.3). Такие облака обладают большой вертикальной и горизонтальной протяженностью: верхняя граница облачности достигает 12-15 км, а диаметр такого конвективного образования составляет аж 15-20 км.

Благоприятными условиями для образования суперячейковых кучево-дождевых облаков служит значительный поворот скорости ветра с высотой. В этих случаях восходящий поток влажного теплого воздуха вблизи правой передней (по отношению к направлению движения) части облака и нисходящий поток в тыловой части облака формируют мезомасштабную замкнутую циркуляцию, поддерживающую пополнение суперячейкового облака влагой и, как следствие, существование его в течение нескольких часов. Поскольку в восходящую ветвь кучево-дождевого облака постоянно вовлекаются новые массы воздуха справа от облака, то траектория видимого его перемещения отклоняется вправо от направления ветра на нижних уровнях. Вершина суперячеек - однокупольная, а наковальня может достигать внушительных размеров. В передней части суперячейкового облака скорость восходящего потока может достигать 50 м/с. Такой восходящий поток с легкостью переносит

градины вверх. Выпадает град преимущественно в центральной и тыловой частях облака, где наблюдается нисходящее движение воздуха. Такие градины могут достигать огромных размеров за счет их слияния и соударения с твердыми и жидкими частицами. Изначально, мелкие градины, вынесенные мощными восходящими потоками в более верхние облачные слои, уносятся горизонтальными ветрами в переднюю часть наковальни. Затем, падая вниз, они снова могут оказаться вовлеченными в восходящие потоки. Многократные подъемы и падения градин в суперячейковых кучево-дождевых облаках способствуют многократному увеличению их в размерах. Когда градины становятся настолько крупными и тяжелыми, что восходящие потоки уже не способны удерживать их в облаке, они выпадают вместе с ливневыми осадками на земную поверхность.

Но не все градины достигают гигантских размеров. Особенностью строения суперячеек являются ниши - области, которые обнаруживаются по слабому радиолокационному отражению. В этих областях скорость восходящих потоков достигает максимума. Благодаря этому только-только образовавшиеся градины выносятся из облака, не успев вырасти до значительных размеров [3].

2. Основные методы прогноза гроз

2.1 Методы прогноза гроз, основанные на адиабатической модели (метод частицы)

Прогнозирование гроз методом частицы считается самым простым и доступным методом. Синоптик, по данным температурного-ветрового зондирования атмосферы, обрабатывает аэрологическую диаграмму. На этой диаграмме стоит кривую состояния, которая показывает, как изолированный объем воздуха (по-другому его называют частицей) будет изменять свою температуру при изменении высоты [2].

Подъемная сила, которая действует на частицу, пропорциональна разности плотностей окружающей среды и данной частицы. Эта сила сообщает частице ускорение, пропорциональное на каждом данном уровне разности температур частицы и окружающего воздуха. Если частица на каждом уровне внутри какого-либо слоя оказывается теплее окружающего воздуха, то она будет ускоренно подниматься через этот слой и на его верхней границе будет обладать кинетической энергией, называемой энергией статической неустойчивости и определяемой с помощью выражения:

$$E = -R \cdot \int_{p_0}^p (T_2 - T) d \ln p \quad (2.1)$$

где T - температура окружающего воздуха в Кельвинах; T_2 - температура поднимающейся частицы в Кельвинах; p_0 и p - давление на исходном уровне и, соответственно, на верхнем уровне; R - газовая постоянная сухого воздуха. Значение этой энергии определяется на аэрологической диаграмме путем измерения площади, заключенной между кривой состояния, кривой стратификации и изобарами p_0 и p . Энергия неустойчивости положительна, когда кривая состояния ограничивает эту площадь справа, и, наоборот,

отрицательна, когда кривая состояния лежит левее кривой стратификации. На высоте пересечения кривой состояния с кривой стратификации, где $T_2 = T$, ускорение частицы стремится к нулю. При этом ее скорость на этом уровне должна быть максимальной. Частица по инерции продолжает подниматься в вышележащем устойчивом слое, замедляясь под действием силы плавучести, направленной, в свою очередь, вниз. Скорость частицы должна обратиться в ноль на том уровне, где вся ее кинетическая энергия будет потрачена на работу против силы плавучести [5].

2.1.1 Метод Н. В. Лебедевой для прогнозирования гроз

Применение метода частицы к прогнозу ливневых осадков в СССР наиболее успешно осуществила Н. В. Лебедева. Она предложила по данным утреннего температурно-ветрового зондирования рассчитывать определенные параметры конвекции, по которым и определяется возможность возникновения конвективных явлений. К этим параметрам относятся:

- Суммарный дефицит точки росы (ΣD , °C) на изобарических уровнях AT850, AT700, AT500. Эта сумма учитывает влияние вовлечения и характеризует возможность образования облачности в слое AT850-AT500. Если суммарный дефицит точки росы больше 25 °C, то дальнейшие расчеты не имеют смысла, так как в нижней половине тропосферы при большой сухости воздуха конвекция не приводит к образованию облаков вертикального развития. Если же этот суммарный дефицит точки росы меньше либо равен 25 °C, переходят к расчету следующего параметра;

- Дефицит температуры точки росы у земли или на верхней границе приземной инверсии на момент максимального развития конвекции (D_0 , °C). Если этот параметр больше 20 °C, то дальнейшие расчеты не производятся. Это связано с тем, что уровень конденсации расположен на высоте более 2,5 км. Следовательно, при такой высоте нижней границы облачности (уровня конденсации) осадки не будут достигать поверхности земли, так как они

попросту будут испаряться по пути к земле. Если же уровень конденсации расположен ниже 2 км и для возникновения конвекции существуют благоприятные условия, то в этом случае следует определять все остальные параметры;

- Толщина Конвективно-Неустойчивого Слоя (КНС) ($\Delta H_{\text{кнс}}$, гПа). Каждая частица этого слоя будет участвовать в конвекции до больших высот. Чем больше толщина КНС, тем больше вероятность образования кучево-дождевой облачности, и тем больше вероятность развития грозовой деятельности;

- Уровень конденсации ($H_{\text{конд.}}$, км). Уровень конденсации указывает среднее положение высоты нижней границы кучево-дождевой облачности. Определение его высоты также производится по аэрологической диаграмме;

- Уровень конвекции ($H_{\text{конв.}}$, км). Уровень конвекции позволяет определить среднее положение вершин кучево-дождевых облаков. Нетрудно догадаться, что чем выше этот уровень, тем более мощной должна быть грозовая облачность;

- Температура воздуха на уровне конвекции ($T_{\text{конв}}$, °C). Замечено, что чем ниже эта температура, тем более вероятны ливни и грозы;

- Средняя величина отклонения температуры на кривой состояния (T_2) от температуры на кривой стратификации (T). Это отклонение обозначается ΔT и определяется по формуле:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \frac{(T_2 - T)}{n} \quad (2.2)$$

где: T_2 и T - температуры на кривой состояния и кривой стратификации, соответственно на уровнях, кратных 100 гПа, n - число целых слоев толщиной по 100 гПа, начиная от уровня конденсации и заканчивая уровнем конвекции. Чем больше ΔT , тем больше неустойчивость воздуха, и, как следствие, тем интенсивнее может развиваться конвекция;

- Средняя вертикальная мощность конвективных облаков ($\Delta H_{к.о}$, км). Этот параметр определяется, как разность высот уровня конвекции и уровня конденсации. Чем больше эта величина, тем более вероятнее возникновение конвективных явлений и тем больше их интенсивность.

По результатам расчета указанных выше параметров конвекции, Н.В. Лебедева предлагает оценивать возможность возникновения конвективных явлений и их интенсивности по следующей таблице 2.1:

Таблица 2.1 - Параметры конвекции и соответствующие им конвективные явления (по Н.В. Лебедевой).

ΣD	D_o	$\Delta H_{кнс}$	$H_{конд}$	$H_{конв}$	$T_{конв}$	ΔT	$\Delta H_{к.о}$	Конвективные явл-я
>25	>20	-	-	-	-	-	-	Не ожидается
≤ 25	≤ 16	>10	$\sim 1,5$	>6	≤ 23	>4	$\sim 4,5$	Слаб. ливн. дождь
≤ 20	≤ 14	>20	$\sim 1,5$	>5	$-23..-1$	≥ 3	$>3,5$	Лив. дождь без гр.
≤ 20	≤ 14	>30	$\sim 1,5$	>8	≤ 23	≥ 3	$>6,5$	Лив. дождь, мест. гр.
≤ 16	~ 10	$>60-100$	$1,5-1,0$	>8	≤ 23	≥ 3	$>7,5$	Сил. лив. дождь с гр.
~ 16	~ 10	-	$1,5-1,0$	>8	≤ 23	≥ 3	$>7,5$	Град

2.1.2 Метод Бейли для прогнозирования гроз

В этом методе установлены признаки отсутствия гроз. Именно поэтому его используют, обычно, в сочетании с другими методами в качестве проверки основного метода. Если в определенном районе по данным температурно-ветрового зондирования выполняется хотя бы одно из пяти условий, то гроз в этом районе ждать не стоит. Условия выглядят следующим образом:

- На любом уровне в слое между изобарическими поверхностями АТ850 и АТ700 гПа дефицит температуры точки росы $D \geq 13^\circ\text{C}$;
- Сумма дефицитов температуры точки росы ΣD на уровнях АТ700 и АТ600 гПа $\geq 28^\circ\text{C}$;

- Наблюдается адвекция сухого воздуха на уровнях АТ850 и АТ700 гПа;
 - Вертикальный градиент температуры в слое АТ850 - АТ500 гПа $\leq 0,5^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$;
 - Если уровень замерзания ($T = -12^{\circ}\text{C}$) располагается ниже высоты 3600 м, то из развивающихся облаков могут выпадать только слабые ливневые осадки.
- Если же ни одного условия не выполняется, то в прогнозе следует указывать грозу согласно графику:

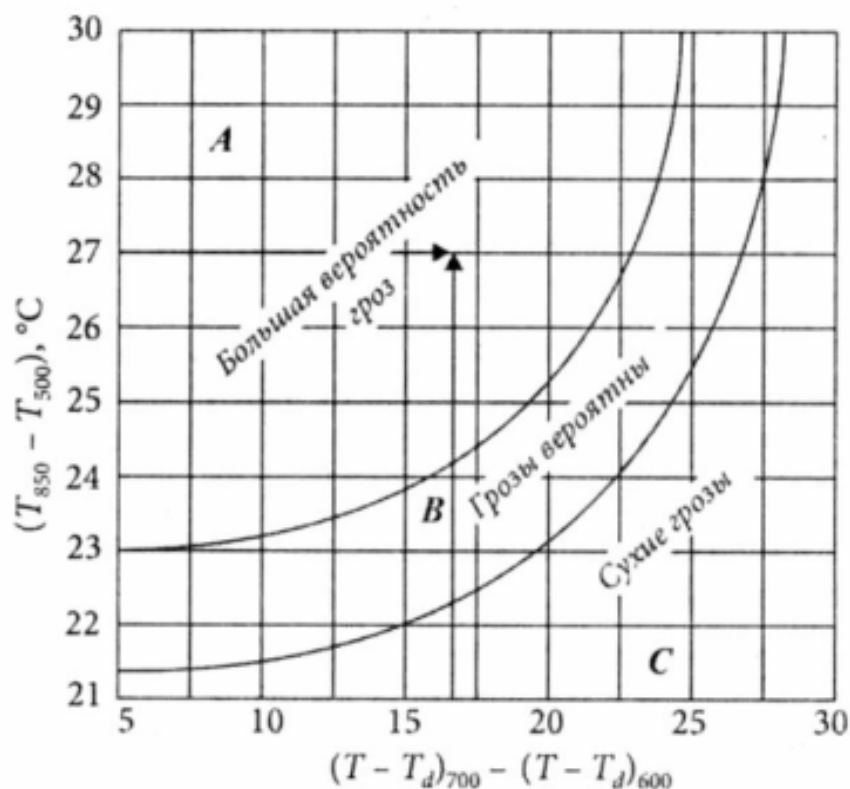


Рис. 2.1 - График для прогноза гроз по методу Бейли.

По горизонтали на этом графике откладывается сумма дефицитов точки росы на уровнях АТ700 и АТ600 гПа. По вертикали – разность температур на уровнях АТ850 и АТ500 гПа [6].

2.1.3 Метод Б. Б. Пескова для прогнозирования гроз

Предикторы, используемые в данном методе, определяются по прогностическим кривым стратификации температуры и температуры точки росы, а также прогностическому полю приземного давления. Расчет функции производится по формуле:

$$U = 0,4*(T_2-T)_{600} - 0,05*(T-T_d)_{500} + 0,4*\nabla^2 p_0 - 0,07*|\Delta V|_{700}^{300} \quad (2.3)$$

где $(T_2-T)_{600}$ - отклонение кривой состояния от кривой стратификации на уровне АТ600 гПа;

$(T-T_d)_{500}$ - дефицит точки росы на уровне АТ500 гПа;

$\nabla^2 p_0$ - лапласиан приземного давления, характеризующий приземную

конвергенцию потоков. Его рассчитывают по восьми точкам, удаленным от

центральной на 250 км. Формула для $\nabla^2 p_0$ выглядит следующим образом:

$$\nabla^2 p_0 = \frac{1}{2} (p_1 + p_2 + \dots + p_8 + 8*p_0) \quad (2.4)$$

где p_0 - давление в центральной точке, совпадающее с пунктом прогноза;

$|\Delta V|_{700}^{300}$ - модуль векторной разности скорости ветра на поверхностях АТ700 и АТ300 гПа.

Гроза прогнозируется, если функция $u \geq 0$ [7].

2.1.4 Метод Г. Д. Решетова для прогнозирования гроз

Прежде чем делать расчёты, Решетов предложил первым делом оценить характер ожидаемой синоптической ситуации. Дальнейшие расчеты будут являться целесообразными, если пункт прогноза находится в зоне быстродвижущегося холодного фронта (или по-другому холодного фронта второго рода), малоподвижного фронта с волнами, фронта окклюзии, в зоне неглубокой барической ложбины, в теплом секторе циклона или на периферии антициклона, в передней или центральной части ложбины или замкнутого очага холода на картах ОТ 500/1000 и ОТ 300/1000. Для развития ночных гроз благоприятно прохождение теплых фронтов и фронтов окклюзии [5].

Если одна из этих синоптических ситуаций имеет место быть, то для определения возможности возникновения гроз необходимо рассчитать три параметра:

- высота вершин кучево-дождевой облачности (H_v);
- температура воздуха на их вершине (T_v);
- толщина облачного слоя, в котором наблюдаются отрицательные температуры (ΔH).

Затем прогноз возникновения гроз осуществляется по графику, построенному по результатам дискриминантного анализа. По вертикали откладывается величина ΔH , а по горизонтали величина T_v :

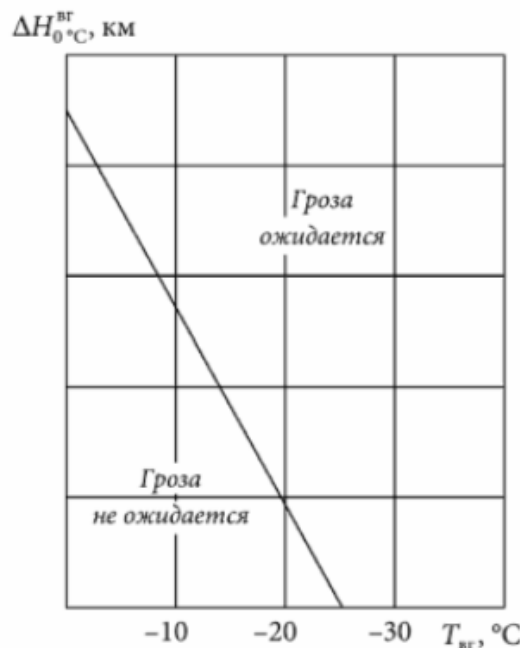


Рис. 2.2 - График для прогноза гроз по методу Г.Д. Решетова.

2.1.5 Метод Вайтинга для прогнозирования гроз

Метод основан на расчете параметра К по данным утреннего температурно-ветрового зондирования. Замечено, что этот метод дает довольно неплохие результаты при прогнозировании гроз не по пункту, а по некой территории. Формула для расчета параметра К имеет следующий вид:

$$K = (T850 - T500) + Td850 - D700 \quad (2.5)$$

Где T850 – значение температуры на уровне АТ850;

T500 – значение температуры на уровне АТ500;

Td850 – значение температуры точки росы на уровне АТ850;

D700 – значение дефицита температуры точки росы на уровне АТ700.

После расчета определяется вероятность гроз по прогнозируемой территории:

Таблица 2.2 - Определение вероятности гроз по методу Вайтинга.

Значение параметра К	Прогноз гроз
$K < 20$	Не ожидаются
$20 < K < 25$	Изолированные грозы
$25 < K < 30$	Отдельные грозы
$K > 30$	Грозы повсеместно

Однако иногда, уже в рассчитанные значения параметра К, вводится поправка на кривизну приземных изобар:

Таблица 2.3 - Величина поправки на кривизну приземных изобар.

R, км	< 250	250 - 500	500 – 1000	> 1000
Zn	2	1,4	1	0
Azn	-2	-1,4	-1	0

где Zn – величина поправки на кривизну изобар в циклоне;

Azn – величина поправки на кривизну изобар в антициклоне.

2.1.6 Метод Н.П. Фатеева для прогнозирования гроз

Фатеев, желая усовершенствовать метод Вайтинга, предложил использовать для прогноза гроз параметр А, который учитывает распределение влажности по высотам лучше, относительно Вайтинга. Формула для параметра А выглядит следующим образом:

(2.6)

где T850, T500 – значения температур на уровнях AT850 и AT500 соответственно;

D850, D700, D600, D500 – значения дефицитов температур точки росы на уровнях AT850, AT700, AT600 и AT500 соответственно.

По результатам расчета параметра А определяют вероятность гроз. Если $A \geq 0$, то в прогнозе следует указывать грозу, иначе не следует [2].

2.1.7 Метод Р.А. Ягудина для прогнозирования гроз

Этот метод чаще всего используют в Западной Сибири для прогнозирования ночных гроз. Путем физико-статистического анализа были выбраны следующие предикторы:

- суммарная массовая доля водяного пара на уровнях AT850 и AT700 ($\sum q(700-850)$);
- перепад температуры на границах слоя между изобарическими поверхностями AT850 и AT700 ($\Delta T(850-700)$);
- суммарный дефицит температуры точки росы между изобарическими поверхностями AT850-AT700-AT500 ($\sum T-T_d(850-500)$);
- индекс неустойчивости на уровне AT700, то есть разность температур между поднимающейся с изобарической поверхности AT850 частицей до уровня AT700 и окружающим воздухом ($\Delta T'700$);
- точно такой же индекс неустойчивости на уровне AT500 ($\Delta T'500$);
- дефицит температуры точки росы на уровне AT700 ($(T-T_d)700$).

Вышенаписанные параметры были попарно использованы на трех графиках:

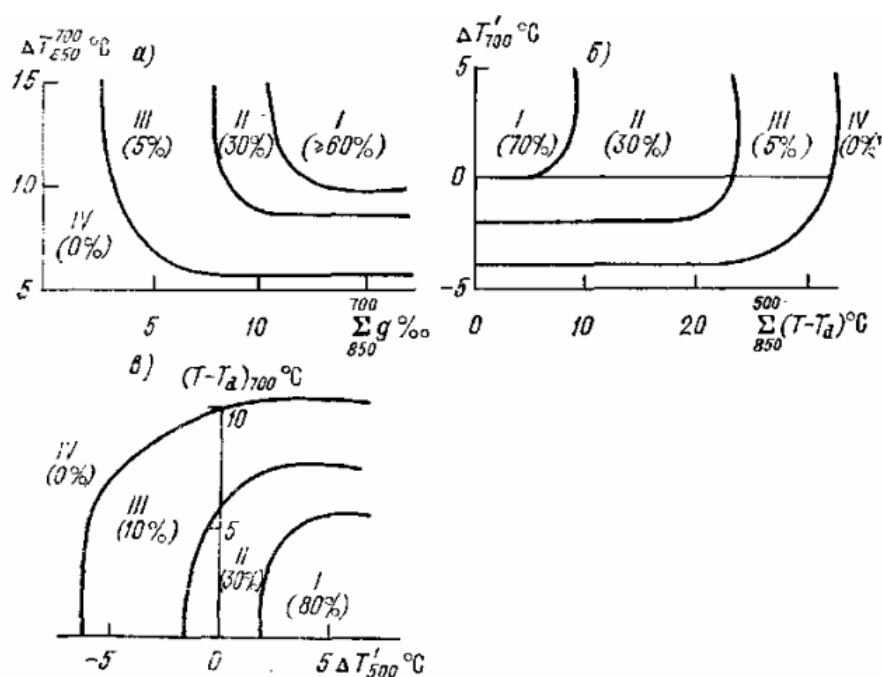


Рис 2.3 - Диаграммы вероятности ночных гроз по методу Р.А. Ягудина.

Гроза ожидается лишь в том случае, если на каждом из трех графиков точка попадает в зону с вероятностью грозы не менее 30%. Иначе гроза не ожидается [8].

2.2 Методы прогноза гроз, учитывающие неадиабатичность атмосферных процессов

В процессе образования конвективной облачности поднимающийся насыщенный воздух неизбежно перемешивается с менее влажным и более сухим воздухом на высотах. В результате перемешивания, неадиабатическая кривая состояния (близкая к реальной) не будет совпадать с влажной адиабатой, а будет находится чуть левее ее и чуть ближе к кривой стратификации [2].

2.2.1 Метод И.А. Славина для прогнозирования гроз

Именно этот метод основывается на неадиабатической модели конвекции с учетом возникновения гроз. Согласно Славину, если разность температур между окружающим воздухом и облачным воздухом на уровне 500 гПа превышает некую величину, то вероятность грозы становится довольно высокой. При использовании этого метода необходимо придерживаться следующего плана:

1. Охлаждение поднимающегося воздуха с учетом эффекта вовлечения рассчитывают по формуле:

$$dT = 2,5 \cdot \varepsilon \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{q_a - q}{1 + 0,18 \cdot q} \right) \quad (2.7)$$

Где q_a – удельная влажность поднимающегося воздуха в точке пересечения влажной адиабаты, проходящей через $p_{\text{конд}}$, и изобарой $p_{\text{конд}} - \Delta p/2$. Причем за середину слоя в этом методе принимается уровень 700 гПа ($q_a \text{ ср} = q_a \text{ 700 гПа}$, $q \text{ ср} = q \text{ 700 гПа}$);

ε - масса ненасыщенного воздуха, присоединяющегося к единице массы облачного воздуха при ее подъеме на 1 гПа.

2. По таблице 2.4 по значениям T^{y850} и T_d^{y850} определяют T_a^{500}

Таблица 2.4 - Значения T_a^{500} , как функция T_d^{y850} и T^{y850} .

T^{y850}	T_d^{y850}					
	—6	—5	—4	—3	—2	—1
7	—23,4	—23,0	—22,5	—21,9	—21,3	—20,9
8	—22,7	—22,1	—21,9	—21,0	—20,6	—20,0
9	—22,0	—22,4	—21,0	—20,4	—19,9	—19,2
10	—21,1	—20,7	—20,2	—19,6	—19,0	—18,3
11	—20,4	—20,0	—19,5	—19,0	—18,1	—17,6
12	—19,7	—19,1	—18,9	—18,1	—17,4	—17,0
13	—19,0	—18,3	—18,0	—17,4	—16,8	—16,0
14	—18,1	—17,5	—17,2	—16,6	—15,9	—15,1
15	—17,4	—16,9	—16,4	—15,8	—15,0	—14,3

T_d^{y850}	T^{y850}					
	0	1	2	3	4	5
7	—20,2	—19,5	—18,9	—18,0	—17,0	—16,0
8	—19,3	—18,7	—18,0	—17,0	—16,2	—15,3
9	—18,4	—17,7	—17,0	—16,3	—15,3	—14,5
10	—17,6	—17,0	—16,1	—15,5	—14,6	—13,8
11	—16,9	—16,0	—15,3	—14,8	—14,0	—13,0
12	—16,0	—15,3	—14,5	—14,0	—13,1	—12,2
13	—15,3	—14,5	—13,9	—13,2	—12,3	—11,4
14	—14,4	—13,6	—13,0	—12,3	—11,5	—10,5
15	—13,7	—12,9	—12,2	—11,5	—10,7	—9,7

3. В таблице 2.5 по значениям T_a^{500} и T^{y500} определяют показатель грозовой неадиабатической неустойчивости β . Если $\beta \leq 0$, то гроза не ожидается.

Таблица 2.5 - Значения β (числитель) и E (знаменатель), как функции $T_a 500$ и $T^y 500$.

$T_a 500$	T^y																
	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32
-20	—	-0,2	0,8	1,7	2,6	3,7	4,7	5,7	6,6	7,5	8,5	9,5	10,5	11,6	12,6	13,5	14,5
-19	-0,4	0,6	1,6	2,5	3,6	4,5	5,5	6,5	7,4	8,3	9,3	10,3	11,4	12,4	13,3	14,3	15,4
-18	0,4	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,2	8,1	9,0	10,0	11,2	12,2	13,0	14,1	15,2	16,0
-17	1,0	2,0	3,0	4,1	5,0	6,0	7,0	8,0	8,9	9,9	11,0	12,0	12,9	14,0	15,0	15,9	17,0
-16	1,8	2,8	3,9	4,8	5,9	6,8	7,6	8,6	9,6	10,6	11,7	12,6	13,7	14,7	15,6	16,7	17,6
-15	2,5	3,6	4,5	5,4	6,4	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,4
-14	3,0	4,1	5,0	6,0	7,0	7,9	9,0	9,9	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	15,8	16,9	17,9	19,0
-13	3,6	4,5	5,4	6,4	7,3	8,3	9,3	10,4	11,4	12,5	13,5	14,5	15,4	16,4	17,4	18,5	19,4
-12	4,0	5,0	5,8	6,8	7,8	8,9	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	15,9	16,9	17,9	18,9	19,7
-11	4,3	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,2	11,3	12,2	13,3	14,2	15,3	16,2	17,2	18,2	19,0	20,0
-10	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6	9,7	10,7	11,7	12,7	13,7	14,8	15,7	16,6	17,4	18,3	19,0	—
-9	5,0	5,9	6,9	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	16,8	17,6	18,0	—	—
	1,7	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	—	—

4. Если же $\beta > 0$, то по этой же таблице 2.5 определяют величину E , равную:

$$E = 2,5 * \Delta p * \varepsilon \quad (2.8)$$

5. В таблице 2.6 по значениям $T_a 500$ и $T^y 500$ определяют величину D , равную:

$$D = \frac{(q_{a700} - q_{cp700})}{1 + 0,18 * q_{a700}} \quad (2.9)$$

Таблица 2.6 - Значения D , как функция $T_a 500$ и $T^y 500$.

$T_{a\text{ sea}}$	T_{500}																
	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11
-20	2,20	2,16	2,13	2,10	2,06	2,01	1,96	1,90	1,86	1,80	1,73	1,66	1,58	1,51	1,43	1,34	1,24
-19	2,28	2,25	2,22	2,19	2,15	2,10	2,06	2,00	1,95	1,90	1,84	1,76	1,69	1,62	1,54	1,45	1,36
-18	2,38	2,34	2,31	2,28	2,24	2,20	2,15	2,10	2,05	2,00	1,93	1,87	1,80	1,72	1,65	1,57	1,48
-17	2,47	2,44	2,40	2,37	2,33	2,29	2,24	2,20	2,14	2,10	2,03	1,96	1,90	1,83	1,75	1,68	1,58
-16	2,55	2,52	2,50	2,47	2,43	2,38	2,33	2,29	2,24	2,19	2,13	2,06	2,00	1,93	1,86	1,79	1,68
-15	2,64	2,60	2,58	2,56	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,28	2,23	2,16	2,11	2,04	1,96	1,90	1,80
-14	2,72	2,70	2,66	2,64	2,60	2,56	2,52	2,48	2,43	2,38	2,32	2,25	2,20	2,14	2,06	2,00	1,90
-13	2,80	2,77	2,75	2,73	2,69	2,65	2,61	2,57	2,53	2,47	2,42	2,36	2,30	2,24	2,17	2,10	2,02
-12	2,88	2,86	2,84	2,80	2,77	2,74	2,69	2,65	2,60	2,56	2,50	2,45	2,40	2,34	2,27	2,20	2,10
-11	2,96	2,94	2,92	2,89	2,85	2,82	2,78	2,75	2,70	2,65	2,60	2,55	2,50	2,43	2,37	2,32	2,22
-10	3,04	3,02	3,00	2,97	2,93	2,90	2,86	2,83	2,78	2,74	2,70	2,64	2,59	2,52	2,47	2,42	2,33
-9	3,12	3,10	3,07	3,05	3,02	2,99	2,95	2,92	2,86	2,84	2,79	2,74	2,68	2,62	2,57	2,51	2,43

6. По формуле (2.10) определяют грозовой индекс ϕ . Эти значения наносятся на карту АТ500 и проводятся изолинии $\phi=0$. Эти изолинии, в свою очередь, переносятся со скоростью геострофического ветра вдоль изогипс с учетом заблаговременности прогноза (12-18ч). В областях с положительным значением грозового индекса ϕ прогнозируются грозы и, наоборот, где грозовой индекс отрицательный – грозы не ожидаются [9].

$$\phi = \beta - E \cdot D \quad (2.10)$$

2.2.2 Метод Фауста для прогнозирования гроз

Основа метода – определение разности температур ΔT между температурой на уровне АТ500 и температурой нулевого испарения T_v . В полученную разность вводят поправку на кривизну изобар по таблице 2.3 и поправку на сходимост и расхожимост изобар (поправка = +1 градусу при сходимости изобар и, наоборот, -1 градусу при их расхожимости). В то же время, T_v определяется по специальному графику на рисунке 2.4. Грозы ожидаются в случае, если температура нулевого испарения T_v положительная [2].

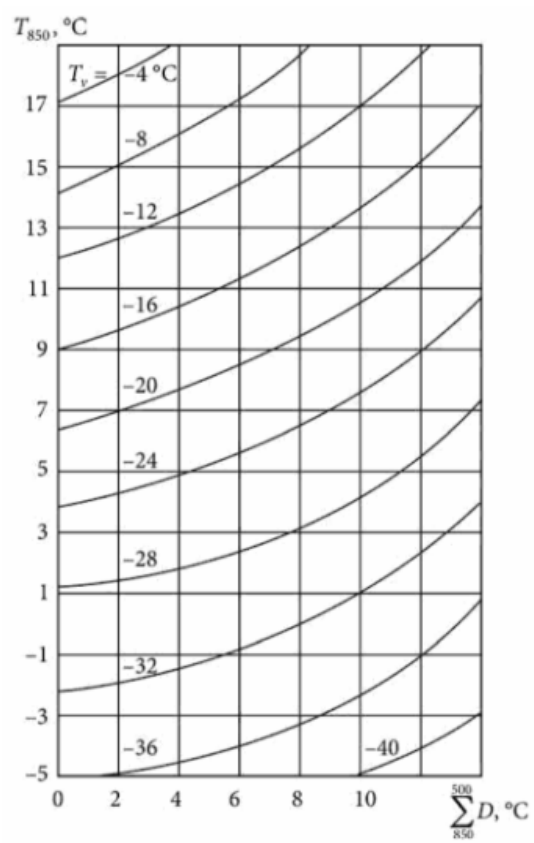


Рис. 2.4 - График для определения температуры нулевого испарения.

3. Прогноз гроз на севере ЕЧР

3.1 Исходные данные

Материалом для исследований послужили данные о грозовой активности по 8 станциям на севере европейской части России: Архангельск (22543), Мурманск (22113), Кандалакша (22217), Кемь (22522), Нарьян-Мар (23205), Каргополь (22845), Печора (23415), Сыктывкар (23802) за период с мая 2013 по август 2017 года. Данные о наличии гроз и их отсутствия при кучево-дождевой облачности были взяты из интернет-ресурса <https://rp5.ru/>

Для разработки прогноза гроз по северу ЕЧР изначально было отобрано 188 случаев, из которых 144 случая – обучающая выборка (72 случаев наличия гроз внутримассового происхождения и 72 случая отсутствия гроз, но с кучево-дождевой облачностью (Приложение А, таблицы А.1 и А.2) и 44 случая – контрольная выборка (22 случая наличия гроз внутримассового происхождения и 22 случая отсутствия гроз, но с наличием кучево-дождевой облачности (Приложение Б, таблицы Б.1 и Б.2). Однако в результате введения неких ограничений для использования метода Фатеева, речь о которых пойдет ниже, обучающие выборки были сокращены до 108 случаев (53 случая наличия гроз внутримассового происхождения и 55 случаев отсутствия гроз, но с кучево-дождевой облачностью). В качестве исходных материалов использовались синоптические карты и данные радиозондирования атмосферы за дневные сроки. Примеры с ситуациями наличия и отсутствия гроз с данными радиозондирования размещены в приложениях В и Г.

Порядок обработки материала:

1. По архивным данным интернет-сайта <https://rp5.ru/> отбирались дни с дневными летними грозами и аналогичные без гроз, но с кучево-дождевой облачностью.

2. Затем, по данным интернет-сайта <http://www2.wetter3.de/> из отобранных дней с наличием дневных гроз отбирались грозы только внутримассового происхождения, путем просмотра архивных данных http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html для каждого конкретного случая.

3. По данным температурного ветрового зондирования с интернет-сайта <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> были сняты значения температур на уровнях 850, 700, 600 (вычислены путем линейной интерполяции ближайших значений), 500 гПа, значения температур точки росы на уровнях 850, 700, 600 (также вычислены путем линейной интерполяции ближайших значений), 500 гПа. Значения дефицита точки росы для каждого уровня рассчитывались по формуле:

$$D = T - T_d \quad (3.1)$$

где T – температура воздуха,

T_d – температура точки росы.

Все вышеперечисленные данные были использованы для возможного уточнения метода Фатеева для прогноза гроз и его проверки на независимой контрольной выборке.

3.2 Использование метода Фатеева для прогноза гроз

Для проверки метода Фатеева (см. п. 2.1.6) были составлены обучающая и контрольная выборки. При их формировании использовались значения температур на высоте 850, 700, 600, 500 гПа, температур точки росы на высоте 850, 700, 600, 500 гПа, дефицита точки росы на уровнях 850, 700, 600, 500 гПа. На основе данных обучающей выборки при наличии и отсутствии гроз по 8 станциям на севере Европейской части России был рассчитан коэффициент

Фатеева по формуле (2.6). Значения коэффициента A представлены в Приложении А.

Обучающая выборка использовалась для оценки метода прогноза гроз методом Фатеева и возможного его уточнения, а контрольная выборка – для проверки уточненного метода. После первичного анализа обучающих выборок, замечено, что метод Фатеева при наличии больших дефицитов точки росы D ложно не прогнозирует грозы, даже при их фактическом наличии. А при небольших дефицитах точки росы, наоборот, ложно прогнозирует грозы, даже при их фактическом отсутствии. В связи с этим мною было введено два ограничения к использованию метода Фатеева на севере ЕЧР:

1. Если на любом изобарическом уровне (850, 700, 600, 500 гПа) значение дефицита точки росы D больше, либо равно 13, то, несмотря на ложный прогноз отсутствия гроз методом Фатеева, грозу стоит прогнозировать. (3.2)

2. Если на всех изобарических уровнях (850, 700, 600, 500 гПа) значение дефицита точки росы D меньше, либо равно 5, то, несмотря на ложный прогноз наличия гроз методом Фатеева, грозу не стоит прогнозировать. (3.3)

С введением этих ограничений обучающая выборка, как уже было сказано в пункте 3.1, была сокращена с 144 до 108 случаев (сокращено 19 случаев наличия гроз внутримассового происхождения и 17 случаев отсутствия гроз, но с кучево-дождевой облачностью).

Полученные в конечном итоге выборки были проверены на однородность по критериям Диксона, Смирнова-Граббса и Фишера [13]. В результате проверки значения вышеуказанных критериев оказались ниже критических, что говорит о том, что выборки являются однородными.

Для оценки успешности прогнозов были использованы матрицы сопряженности, общий вид которых представлен в таблице 3.1. Также рассчитывались общая оправдываемость прогноза по формуле (3.4), формулы для оправдываемости и предупрежденности прогнозов наличия и отсутствия

явления по формулам (3.5) - (3.8), критерий точности прогнозов М. А. Обухова и критерий надежности прогнозов Н. А. Багрова по формулам (3.9) и (3.10) соответственно.

Таблица 3.1 - Общий вид матрицы сопряженности

	Гроза прогнозировалась	Гроза не прогнозировалась	Σ
Гроза была	n11	n12	n10
Грозы не было	n21	n22	n20
Σ	n01	n02	N

где, n11 – число случаев оправдавшихся прогнозов наличия гроз, то есть грозы прогнозировались и фактически наблюдались;

n21 – число случаев неоправдавшихся прогнозов наличия гроз, то есть грозы прогнозировались, но фактически не наблюдались;

n01 – общее число случаев, когда грозы прогнозировались;

n12 – число случаев неоправдавшихся прогнозов отсутствия гроз, то есть грозы не прогнозировались, но фактически наблюдались;

n22 – число случаев оправдавшихся прогнозов отсутствия гроз, то есть грозы не прогнозировались и фактически не наблюдались;

n02 – общее число случаев, когда грозы не прогнозировались;

n10 – общее число случаев, когда грозы были;

n20 – общее число случаев, когда гроз не было;

N – общее число всех случаев.

Формула общей оправдываемости прогнозов (в процентах) выглядит следующим образом:

$$p = \left(\frac{n_{11} + n_{22}}{N} \right) \cdot 100 \quad (3.4)$$

где $n_{11} + n_{22}$ – суммарное число случаев оправдавшихся прогнозов наличия и отсутствия гроз;

N – общее число всех случаев.

Формула для оправдываемости прогноза наличия явления выглядит следующим образом:

$$p(\text{наличие}) = \left(\frac{n_{11}}{n_{10}} \right) \cdot 100 \quad (3.5)$$

Формула для оправдываемости прогноза отсутствия явления выглядит следующим образом:

$$p(\text{отсутствие}) = \left(\frac{n_{22}}{n_{20}} \right) \cdot 100 \quad (3.6)$$

Формула для предупрежденности наличия явления выглядит следующим образом:

$$p(\text{наличие}) = \left(\frac{n_{11}}{n_{01}} \right) \cdot 100 \quad (3.7)$$

Формула для предупрежденности отсутствия явления выглядит следующим образом:

$$p(\text{отсутствие}) = \left(\frac{n_{22}}{n_{02}} \right) \cdot 100 \quad (3.8)$$

Формула для критерия точности прогнозов М. А. Обухова выглядит следующим образом:

$$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \quad (3.9)$$

где n_{12}/n_{10} и n_{21}/n_{20} – относительные ошибки прогнозов.

Параметр Q выражает долю безошибочных точных и успешных прогнозов при известной повторяемости фаз погоды. Его значение меняется от -1 (все прогнозы ошибочные) до 1 (все прогнозы идеальные).

Формула для критерия надежности прогнозов Н. А. Багрова выглядит следующим образом:

$$H = \frac{p - p(\text{случ})}{1 - p(\text{случ})} \quad (3.10)$$

где $p(\text{случ})$, в свою очередь, рассчитывается по следующей формуле:

$$p(\text{случ}) = \frac{n11(\text{случ}) + n22(\text{случ})}{N} \cdot 100\% \quad (3.11)$$

Появившиеся переменные $n11(\text{случ})$ и $n22(\text{случ})$ рассчитываются по следующим формулам (3.12) и (3.13) соответственно:

$$n11(\text{случ}) = \left(\frac{n10 \cdot n01}{N} \right) \quad (3.12)$$

$$n22(\text{случ}) = \left(\frac{n20 \cdot n02}{N} \right) \quad (3.13)$$

где $n11(\text{случ})$ и $n22(\text{случ})$ – число случайно оправдавшихся прогнозов наличия и отсутствия гроз соответственно;

p – оправдываемость методических прогнозов.

Параметр H характеризует относительное приращение общей оправдываемости к максимально возможному. Его значение меняется в пределах от 0 (оправдываемость методических прогнозов на уровне случайных) до 1 (оправдываемость методических прогнозов на уровне идеальных) [14].

После проверки метода Н.П. Фатеева на обучающей выборке уточнения метода для севера ЕЧР не понадобилось, так как при попытке уточнить его оправдываемость еще больше снижалась. При формулировке прогноза гроз с использованием метода Фатеева следует прогнозировать грозу при A больше, либо равно 0, и не прогнозировать грозу при A меньше 0 с учетом введенных ограничений.

Также, результаты проверки показали, что метод Н.П. Фатеева на севере ЕЧР работает неудовлетворительно. Результаты представлены в таблице А.3 приложения А.

Матрица сопряженности для метода Фатеева представлена ниже в таблице 3.2:

Таблица 3.2 – Матрица сопряженности для контрольной выборки по методу Фатеева

	Гроза прогнозировалась	Гроза не прогнозировалась	Σ
Гроза была	19	11	30
Грозы не было	3	11	14
Σ	22	22	44

По построенной матрице сопряженности были получены критерии успешности для контрольной выборки по методу Фатеева. Они изложены в таблице 3.3:

Таблица 3.3 – Критерии успешности для контрольной выборки по методу Фатеева

Критерий	Значение критерия
Общая оправдываемость	68%
Оправдываемость наличия гроз	63%
Оправдываемость отсутствия гроз	79%
Предупрежденность наличия гроз	86%
Предупрежденность отсутствия гроз	50%
Критерий точности М. А. Обухова	0,42
Критерий надежности Н. А. Багрова	0,36

Далее был получен оперативный график для прогноза наличия или отсутствия гроз на основе предикторов Фатеева и их возможных сочетаний: T (850-700), T (850-600), T (850-500), T (700-600), T (700-500), T (600-500), T-Td (850-700), T-Td (850-600), T-Td (850-500), T-Td (700-600), T-Td (700-500), T-Td (600-500) (Приложение А и Б), с использованием метода эталонов.

3.3 Использование метода эталонов для прогноза гроз

Эталонные определяются по данным обучающей выборки для исходных состояний атмосферы, соответствующих классу возникновения гроз и классу отсутствия гроз. В качестве эталонов для указанных классов были использованы следующие параметры: T(850), Td(850), T(700), Td(700), T(600), Td(600), T(500), Td(500), T-Td(850), T-Td(700), T-Td(600), T-Td(500), T(850-700), T(850-600), T(850-500), T(700-600), T(700-500), T(600-500), T-Td(850-700), T-Td(850-600), T-Td(850-500), T-Td(700-600), T-Td(700-500), T-Td(600-500).

Из представленных выше предикторов и их сочетаний были отобраны наиболее информативные с помощью расчета чисел Махаланобиса. Эти числа количественно описывают информативность предикторов на предмет разделения ситуаций на классы (в нашем случае класс возникновения гроз и класс отсутствия гроз). Так как в нашем случае необходимо оценить информативность каждого предиктора в отдельности, то была использована формула (3.14) для расчета чисел Махаланобиса первого порядка:

$$(3.14)$$

где $\overline{X_i(A)}$ и $\overline{X_i(B)}$ – средние значения предиктора по классу А (наличия гроз) и В (отсутствия гроз);

$\sigma_i^2(A)$ и $\sigma_i^2(B)$ – дисперсия i-ого предиктора в классе А и В соответственно.

Чем больше число Махаланобиса $\Delta_1^2(X_i)$, тем информативнее предиктор. Эти числа всегда положительные.

Имеет смысл с самого начала с помощью чисел Махаланобиса первого порядка исключить из рассмотрения неинформативные предикторы. Для этого нужно сравнить рассчитанные числа Махаланобиса с пороговыми числами и, если числа Махаланобиса меньше пороговых значений, то соответствующие предикторы исключаются из рассмотрения.

Пороговые значения чисел Махаланобиса можно получить из распределения Стьюдента:

$$\hat{t} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{N}}} \quad (3.15)$$

где $\hat{t}$ - квантиль распределения Стьюдента;

$\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние значения двух выборок x_1 и x_2 .

Сопоставляя формулу с выражением для чисел Махаланобиса первого порядка, замечено, что:

$$\Delta_1^2 = (2(\hat{t}^2 - 1))/N \quad (3.16)$$

Используя табличные значения $\hat{t}$ и уровень значимости 0,05, можно получить следующие пороговые значения $[(\Delta_1^2)]_{\text{пор}}$ для соответствующего объема выборки N, приведенные в таблице 3.4 [15]:

Таблица 3.4 – Пороговые значения $[(\Delta_1^2)]_{\text{пор}}$ чисел Махаланобиса для соответствующего объема выборки N

N	
60	0,267
100	0,16

150	0,104
200	0,078
400	0,039

Для нашей обучающей выборки $N=104$. Следовательно, пороговое значение $\left(\chi^2_{1-\alpha}\right)_{\text{пор}}$ чисел Махаланобиса = 0,16.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5. В ней также представлены значения $\bar{x}_i(A)$, $\bar{x}_i(B)$ и дисперсии (A) и (B).

Таблица 3.5 – Результаты расчета числе Махаланобиса

Параметр	$\bar{x}_i(A)$	$\bar{x}_i(B)$	$\sigma_i^2(A)$	$\sigma_i^2(B)$	Δ_i^2	Информативность
T850	9,1	-0,4	17,11	18,45	5,076	+
Td850	3,49	-4,28	11,62	17,68	4,125	+
T700	-1,88	-8,69	11,26	18	3,168	+
Td700	-6,18	-14,7	13,24	23,43	3,962	+
T600	-9,12	-15,41	13,12	21,86	2,262	+
Td600	-14,1	-24,29	22,09	33,15	3,758	+
T500	-18,29	-23,75	15,96	22,95	1,533	+
Td500	-24,63	-33,4	30,99	22,31	2,891	+
T-Td (850)	5,61	3,88	5,82	5,59	0,522	+
T-Td (700)	4,3	6,01	5	12,64	0,333	+
T-Td (600)	4,99	8,89	5,67	20,61	1,157	+
T-Td (500)	6,34	9,65	8,02	14,37	0,981	+
T (850-700)	10,98	8,29	1,36	5,91	1,993	+
T (850-600)	18,22	15,01	2,45	9,21	1,767	+
T (850-500)	27,39	23,35	3,02	11,33	2,272	+
T (700-600)	7,24	6,72	-0,07	1,7	0,328	+
T (700-500)	16,41	15,07	0,76	3,65	0,821	+

T (600-500)	9,17	8,35	0,28	0,64	1,485	+
T-Td (850-700)	1,31	-2,13	8	10,99	1,247	+
T-Td (850-600)	0,62	-5	11,63	20,26	1,984	+
T-Td (850-500)	-0,73	-5,77	13,66	14,04	1,811	+
T-Td (700-600)	-0,69	-3,64	5,97	8,88	0,642	+
T-Td (700-500)	-2,04	-3,44	9,2	10,8	0,256	+
T-Td (600-500)	-1,35	-0,77	5,22	12,79	0,039	-

Наиболее информативными из 24 предикторов оказались температура воздуха на уровне 850 гПа ($\Delta t = 5,076$) и разность температур между уровнями 850 и 500 гПа ($\Delta t = 2,272$). По этим предикторами был построен оперативный график для прогноза наличия и отсутствия гроз на севере ЕЧР (Приложение Д).

Прогноз гроз по полученному оперативному графику был проверен на контрольной выборке (Приложение Б, таблицы Б.1 и Б.2), в которой было использовано по 22 случая наличия и отсутствия гроз. Также, была составлена матрица сопряженности (таблица 3.6), рассчитаны общая оправдываемость прогноза по формуле (3.4), формулы для оправдываемости и предупрежденности прогнозов наличия и отсутствия явления по формулам (3.5) - (3.8), критерий точности прогнозов М. А. Обухова и критерий надежности прогнозов Н. А. Багрова по формулам (3.9) и (3.10) соответственно.

Таблица 3.6 – Матрица сопряженности для контрольной выборки по результатам проверки оперативного графика

	Гроза прогнозировалась	Гроза не прогнозировалась	Σ
Гроза была	21	4	25
Грозы не было	1	18	19
Σ	22	22	44

По построенной матрице сопряженности были получены критерии успешности для контрольной выборки по оперативному графику. Они изложены в таблице 3.7:

Таблица 3.7 – Критерии успешности для контрольной выборки по оперативному графику

Критерий	Значение критерия
Общая оправдываемость	89%
Оправдываемость наличия гроз	84%
Оправдываемость отсутствия гроз	95%
Предупрежденность наличия гроз	95%
Предупрежденность отсутствия гроз	82%
Критерий точности М. А. Обухова	0,79
Критерий надежности Н. А. Багрова	0,77

Сравнительный анализ результатов оценки метода прогноза гроз с использованием метода Фатеева и оперативного графика, полученного с использованием метода эталонов, представлен в таблице (3.8). Анализ показал, что предпочтительнее использовать оперативный график, основанный на двух самых информативных предикторах Фатеева, нежели сам метод.

Таблица 3.8 – Сравнительный анализ критериев успешности для контрольной выборки по методу Фатеева и по оперативному графику

Критерий	Значение критерия
----------	-------------------

	по методу Фатеева	по опер. графику
Общая оправдываемость	68%	89%
Оправдываемость наличия гроз	63%	84%
Оправдываемость отсутствия гроз	79%	95%
Предупрежденность наличия гроз	86%	95%
Предупрежденность отсутствия гроз	50%	82%
Критерий точности М. А. Обухова	0,42	0,79
Критерий надежности Н. А. Багрова	0,36	0,77

Далее в заключении представлены основные выводы по работе.

Заключение

1. При выполнении данной работы были изучены физические причины и условия образования кучево-дождевой облачности, связанной с грозами, а также были рассмотрены основные методы для прогноза гроз.

2. Основываясь на данных с мая 2013 по август 2017 года, были созданы обучающая и контрольная выборка, служащие для проверки метода Фатеева для прогноза наличия и отсутствия гроз на севере ЕЧР.

3. По двум лучшим предикторам, предложенным Фатеевым, и их сочетаниям, был получен оперативный график для прогноза наличия и отсутствия гроз с использованием метода эталонов.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- при проверке метода Фатеева для прогноза гроз на севере ЕЧР уточнения коэффициента A не понадобилось;

- для использования метода Фатеева на севере ЕЧР было введено два ограничения (3.2) и (3.3):

1. Если на любом изобарическом уровне (850, 700, 600, 500 гПа) значение дефицита точки росы D больше, либо равно 13, то, несмотря на ложный прогноз отсутствия гроз методом Фатеева, грозу стоит прогнозировать. (3.2)

2. Если на всех изобарических уровнях (850, 700, 600, 500 гПа) значение дефицита точки росы D меньше, либо равно 5, то, несмотря на ложный прогноз наличия гроз методом Фатеева, грозу не стоит прогнозировать. (3.3)

- сравнительный анализ расчетов всех критериев успешности показал, что для условий севера ЕЧР целесообразнее использовать оперативный график, построенный по двум самым информативным предикторам Фатеева и их сочетаниям, чем сам метод Фатеева; предварительно его следует испытать на более представительном материале.

Список используемых источников

1. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика Атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 1965. – 876 с.
2. Богаткин О. Г. Авиационные прогнозы погоды. – СПб.: изд. «БХВ-Петербург». – 2010. – 288 с.
3. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. - СПб.: Гидрометеиздат, 2000. - 778 с.
4. Имянитов И. М. Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества. – Т. 76; вып. 4, Апрель 1962. – 642 с.
5. Блохина В. И. Авиационные прогнозы погоды. Учебное пособие по дисциплине «Авиационные прогнозы». – СПб.: 2004. – 67 с.
6. Богаткин О. Г. Основы авиационной метеорологии. - СПб.: РГГМУ. 2009. – 338 с.
7. Назаренко А. В. Опасные явления погоды конвективного происхождения / А.В. Назаренко Учебно-методическое пособие для ВУЗов. Часть 3. – г. Воронеж. – 2008.- 62 с.
8. Абрамович К. Г., Васильева А. А. Руководство по прогнозированию метеорологических условия для авиации. – Ленинград.: Гидрометеиздат, 1985. – 303 с.

9. Зверев А. С., Синоптическая метеорология. – Ленинград.; Гидрометеиздат, 2-е изд., 1977. – 712 с.
10. Архив погоды на метеостанциях [Электронный ресурс]/URL: <https://rp5.ru/>
11. Прогностические и фактические синоптические карты [Электронный ресурс]/URL: <http://www2.wetter3.de/>
12. Данные радиозондирования атмосферы [Электронный ресурс]/URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
13. Лобанов В. А., Смирнов И. А., Шадурский А. Е. Практикум по климатологии. Часть 1. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 145 с.
14. Хандожко Л. А. Экономическая метеорология / Л. А. Хандожко. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 490 с.
15. Лавров Н. А. Реализация метода последовательного графического дискриминантного анализа для целей составления альтернативных прогнозов Н. А. Лавров – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 4 с.

Приложение А – Обучающая выборка

Таблица А.1 – Наличие гроз

Приложение К. Обучающая выборка																											
Таблица А.1. Наличие гроз																											
№	Дата	Пункт	Срок	т8550	т8850	т7000	т6000	т5000	т4850	т47000	т46000	т45000	т44500	т44000	т43500	т43000	т42500	т42000	т41500	т41000	т40500	т40000	т39500	т39000	т38500	т38000	
1	05.07.2013	Архангельск	15	7	3,3	-0,9	-5,4	-6,6	-18,5	-17,7	-24,7	3,7	4,5	11,9	7	7,9	13,6	24,7	5,7	16,8	11,1	-0,8	-8,2	-3,3	0	21	20
2	20.05.2014	Архангельск	15	15	6	1,4	-5,6	-7	-13	-14,1	-33,1	9	7	6	9	13,6	22	29,1	8,4	15,5	7,1	2	3	0	-1	7,4	-2,5
3	04.07.2014	Архангельск	15	6,2	4,5	-4,9	-7,9	-11,5	-15,3	-20,9	-29,9	1,7	3	3,8	9	11,1	17,7	27,1	6,6	16	9,4	-1,3	-2,1	-7,3	-0,8	-6	-5,2
4	19.05.2015	Архангельск	18	8,6	1,6	-2,5	-4,6	-11,2	-14,6	-22,3	-34,3	7	2,1	2,4	12	11,1	19,8	30,9	8,7	19,8	11,1	4,9	3,6	5	-1,3	-8,9	-8,6
5	18.07.2015	Архангельск	18	7	2,2	-4,1	-12,1	-30,4	-15,2	-22,3	-29,9	4,8	8	4,8	7,6	11,1	17,4	29,3	6,3	18,2	11,9	-3,2	0	-2,8	3,2	0,4	-2,8
6	05.07.2015	Архангельск	15	12,6	6,6	-0,3	-1,4	-6,3	-7,3	-15,7	-17,2	6	1,1	1	1,5	12,9	18,9	28,3	6	15,4	9,4	4,9	5	4,5	0,1	-0,4	-0,5
7	12.07.2015	Архангельск	18	8	3,8	-0,5	-5,4	-7,1	-11	-16,7	-21	4,2	4,9	3,9	4,3	8,5	15,1	24,7	6,6	16,2	9,6	-0,7	0,3	-0,1	1	0,6	-0,4
8	29.07.2015	Мурманск	15	10,8	2,8	-0,7	-9,7	-9,1	-13	-17,1	-24,1	8	9	3,9	7	11,5	19,9	27,9	8,4	16,4	8	-1	4,1	1	5,1	2	-3,1
9	01.07.2015	Мурманск	15	-0,7	-4	-10,9	-13,7	-19,7	-24,6	-28,1	-38,1	3,3	2,8	4,9	10	10,2	19	27,4	8,8	17,2	8,4	0,5	-1,6	-6,7	-2,1	-7,2	-5,1
10	25.06.2016	Мурманск	15	4,4	0,5	-4,1	-15,1	-11,4	-19,4	-20,9	-29,9	3,9	11	8	9	8,5	15,8	25,3	7,3	16,8	9,5	-7,1	-4,1	-5,1	3	2	-1
11	14.08.2016	Кандалакша	18	7,6	3,8	-3,3	-8,3	-11,9	-18,9	-21,7	-31,7	3,8	5	7	10	10,9	19,5	29,3	8,6	18,4	9,8	-1,2	-3,2	-6,2	-2	-5	-3
12	25.06.2015	Кандалакша	15	5,2	2,9	-2,7	-2,7	-10,5	-11,2	-18,9	-22,3	2,3	0	0,7	3,4	7,9	15,7	24,1	7,8	16,2	8,4	2,3	1,6	-1,1	-0,7	-3,4	-2,7
13	17.07.2015	Кандалакша	15	5,4	-2,6	-5,9	-9	-12,9	-18,9	-23,5	-27,7	8	3,1	6	4,2	11,3	18,3	28,9	7	17,6	10,6	4,9	2	3,8	-2,9	-1,1	1,8
14	08.08.2013	Кемь	15	11,2	4,2	0,3	-4	-6,6	-10,7	-16,5	-20,1	7	4,1	4,1	3,6	11,5	17,8	27,7	6,3	16,2	9,9	2,9	3,4	0	0,5	0,5	9
15	28.07.2014	Кемь	15	13	7	0,8	-3	-5,9	-8,2	-14,5	-17,9	6	3,8	2,3	3,4	12,2	18,9	27,5	6,7	15,3	8,6	2,2	3,7	2,6	1,5	0,4	-1,1
16	17.07.2015	Кемь	15	5	2	-6,7	-8,8	-14,2	-15,8	-23,5	-24,9	3	2,1	1,6	1,4	11,7	19,2	28,5	7,5	16,8	9,3	0,9	1,4	1,6	0,5	0,7	0,2
17	18.07.2015	Кемь	18	5,6	3,1	-4,9	-8,4	-13	-19	-23,1	-26,4	2,5	3,5	6	3,3	10,5	18,6	28,7	8,1	18,2	10,1	-1	-3,5	-0,8	2,5	0,2	2,7
18	26.07.2015	Кемь	15	11	4	0,6	-4,1	-5,7	-10,9	-14,3	-20,3	7	4,7	5,2	6	10,4	16,7	25,3	6,3	14,9	8,6	2,3	1,8	1	-0,5	-1,3	-0,8
19	31.05.2013	Карполюк	18	10,4	2,4	-0,9	-10,9	-11,3	-14,8	-17,9	-22,3	8	8	3,5	4,4	13,3	21,7	28,3	8,4	15	6,6	0	4,5	3,6	-0,9	-4	4
20	10.06.2013	Карполюк	15	7,8	-4,2	-2,3	-3,1	-8,7	-12,3	-17,7	-24,7	12	0,8	3,6	7	10,1	16,5	25,5	6,4	15,4	9	11,2	8,4	5	-2,8	-6,2	-3,4
21	26.06.2013	Карполюк	15	16,4	8,4	2,6	-0,4	-4,4	-5,6	-12,7	-14,4	8	3	1,2	1,7	13,8	20,8	29,1	7	15,3	8,3	5	6,8	6,3	1,8	1,3	-0,5
22	26.06.2013	Карполюк	15	17	7	4,4	-4,6	-3,4	-12,4	-11,9	-15,9	10	9	8	12,6	20,4	28,9	7,8	16,3	8,5	1	2	0	1	0	1	-7
23	05.07.2013	Карполюк	15	12,4	3,4	1,2	-3,2	-4,8	-10,8	-14,7	-20,7	9	4,4	6	6	11,2	18,2	27,1	6	15,9	9,9	4,6	3	3	-1,6	-1,6	0
24	04.06.2014	Карполюк	15	12,2	6,2	2	-1,9	-6,5	-9,5	-14,9	-17,5	6	3,9	3	2,6	10,2	18,7	27,1	8,5	16,9	8,4	2,1	3	3,4	0,9	1,3	0,4
25	08.06.2014	Карполюк	15	11	8,4	0,8	-0,4	-4,4	-6,6	-12,9	-16,4	2,6	1,2	2,2	3,5	10,2	15,4	23,9	5,2	13,7	8,5	1,4	0,4	-0,9	-1	-2,3	-1,3
26	28.07.2014	Карполюк	15	12,8	6,8	2,2	-2,3	-6,1	-8,6	-17,9	-26,9	6	4,5	2,5	9	10,6	18,9	30,7	8,3	20,1	11,8	1,5	3,5	-3	2	-4,5	-6,5
27	10.08.2014	Карполюк	15	13,2	6,2	1,8	-4,2	-6,1	-10,8	-13,9	-17,4	7	6	4,7	3,5	11,4	19,3	27,1	7,9	15,7	7,8	1	2,3	3,5	1,3	2,5	1,2
28	16.08.2014	Карполюк	15	8,6	3,8	-1,9	-5	-8,9	-13	-19,1	-27,1	4,8	3,1	4,1	8	10,5	17,5	27,7	7	17,2	10,2	1,7	0,7	-3,2	-1	-4,9	-3,9
29	20.05.2015	Карполюк	15	7,4	4	-3,9	-4,6	-12,4	-19,2	-20,7	-32,7	3,4	0,7	6,8	12	11,3	19,8	28,1	8,5	16,8	8,3	2,7	-3,4	-8,6	-6,1	-11,3	-5,2
30	10.07.2015	Карполюк	18	9	4,8	-1,5	-8,5	-8,8	-18,6	-18,3	-27,3	4,2	7	9,8	9	10,5	17,8	27,3	7,3	16,8	9,5	-2,8	-5,6	-4,8	-2,8	-2	0,8
31	03.08.2015	Карполюк	15	2,2	-1,2	-5,9	-12,9	-13,1	-23,4	-22,1	-32,1	3,4	7	10,3	10	8,1	15,3	24,3	7,2	16,2	9	-3,6	-6,9	-6,6	-3,3	-3	0,3
32	22.06.2016	Карполюк	18	10,6	4,6	-0,3	-4,5	-7,2	-15,3	-15,9	-21,9	6	4,2	8,1	6	10,9	17,8	26,5	6,9	15,6	8,7	1,8	-2,1	0	-3,9	-1,8	2,1
33	26.07.2016	Карполюк	15	12,8	5,8	2,6	-8,4	-5,6	-11,9	-13,7	-23,7	7	11	6,3	10	10,2	18,4	26,5	8,2	16,3	8,1	4	0,7	-3	4,7	1	-3,7
34	17.08.2016	Карполюк	18	6,8	3,7	-3,3	-6,2	-10	-13,8	-18,1	-22,6	3,1	2,9	3,8	4,5	10,1	16,8	24,9	6,7	14,8	8,1	0,2	-0,7	-1,4	-0,9	-1,6	-0,7
35	27.07.2013	Печора	15	14,8	5,8	0	-3,9	-5	-6,7	-16,7	-19,8	9	3,9	1,7	3,1	14,8	19,8	31,5	5	16,7	11,7	5,9	2,2	0,8	-1,4	14	14
36	17.08.2013	Печора	15	5,8	4,8	-4,1	-5	-10,8	-15,5	-20,5	-27,5	1	0,9	4,7	7	9,9	16,6	26,3	6,7	16,4	9,7	0,1	-3,7	-6	-3,8	-6,1	-2,3
37	02.08.2015	Печора	15	8,6	6,5	-2,7	-6,6	-9,3	-12	-17,9	-20,3	2,1	3,9	2,7	2,3	11,3	17,9	26,5	6,6	15,2	8,6	-1,8	-0,6	-2	1,2	1,6	0,4
38	06.07.2014	Сентар	15	8,4	4,1	-3,3	-7,5	-10,7	-13,1	-19,9	-23,6	4,3	4,2	2,4	3,7	11,7	19,1	28,3	7,4	16,6	9,2	0,1	1,9	0,6	1,6	0,5	-1,3
39	18.08.2014	Сентар	15	7,8	5	-2,3	-4	-8,9	-10,7	-17,7	-19,9	2,8	1,7	1,8	2,2	10,1	16,7	25,5	6,6	15,4	8,8	1,1	1	0,6	-0,1	-0,5	-1,7
40	25.05.2015	Сентар	15	0,4	-4,6	-10,1	-15,1	-18,4	-28	-29,1	-39,1	5	5	9,6	10	10,5	18,8	29,5	8,3	19	10,7	0	-4,6	-5	-4,6	-5	-0,4
41	28.05.2015	Сентар	15	14,2	5,2	0,2	-2,5	-8,2	-10,4	-17,5	-19,8	9	2,7	2,2	2,3	14	22,4	31,7	8,4	17,7	9,3	6,3	6,8	6,7	0,5	0,4	-0,1
42	31.05.2015	Сентар	15	16,8	5,8	2,6	-2,4	-5,7	-14,8	-15,9	-21,9	11	5	9,1	6	14,2	22,5	32,7	8,3	18,5	10,2	6	1,9	5	-4,1	-1	3,1
43	06.06.2015	Сентар	15	2	-2,3	-7,7	-10	-15,7	-20,8	-26,1	-33,1	4,3	2,3	5,1	7	9,7	17,7	28,1	8	18,4	10,4	2	-0,8	-2,7	-2,8	-4,7	-1,9
44	10.06.2015	Сентар	15	-0,5	-6,5	-10,1	-13,6	-17,2	-23,8	-26,5	-36,5	6	3,5	6,6	10	9,6	16,7	26	7,1	16,4	9,3	2,5	-0,6	-4	-3,1	-6,5	-3,4
45	03.08.2015	Сентар	18	6	0	-4,3	-9,3	-12,2	-14,8	-20,9	-24,3	6	5	2,6	3,4	10,3	18,2	26,9	7,9	16,6	8,7	1	3,4	2,6	2,4	1,6	-0,8
46	10.08.2015	Сентар	18	7,4	5,6	-2,1	-4,4	-9,4	-15,7	-18,																	

Таблица 4.2 - Остатки в грам																																																																																																			
№	Дата	Пункт	Срок	1850	1700	16700	16000	15500	15000	14500	14000	13500	13000	12500	12000	11500	11000	10500	10000	9500	9000	8500	8000	7500	7000	6500	6000	5500	5000	4500	4000	3500	3000	2500	2000	1500	1000	500	0																																																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																																												

Таблица А.3 – Критерии успешности для обучающей выборки по методу
Фатеева

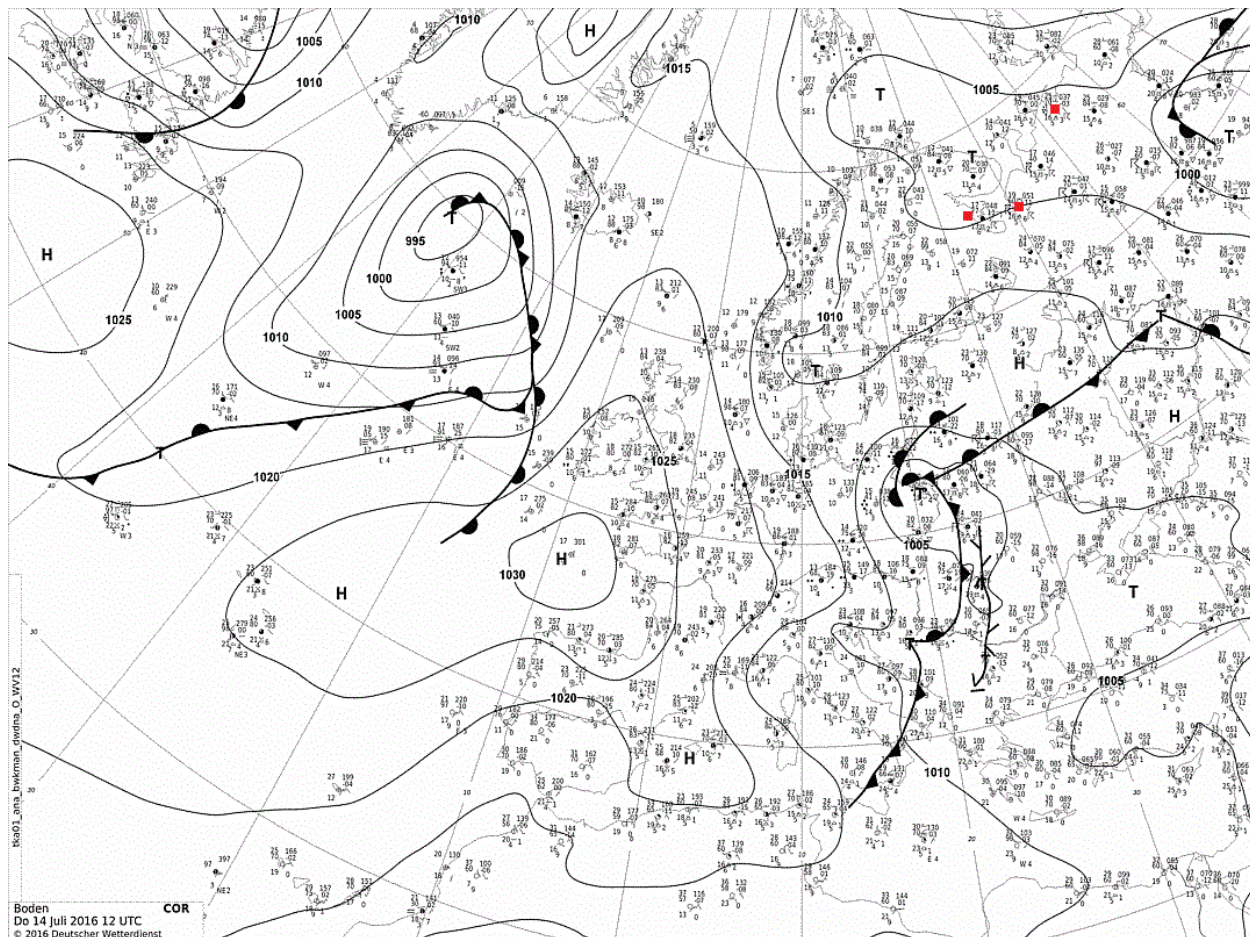
Критерий	Значение критерия
Общая оправдываемость	68%
Оправдываемость наличия гроз	63%
Оправдываемость отсутствия гроз	76%
Предупрежденность наличия гроз	83%
Предупрежденность отсутствия гроз	53%
Критерий точности М. А. Обухова	0,33
Критерий надежности Н. А. Багрова	0,39

Приложение Б.1 и Б.2 – Наличие и отсутствие гроз

48

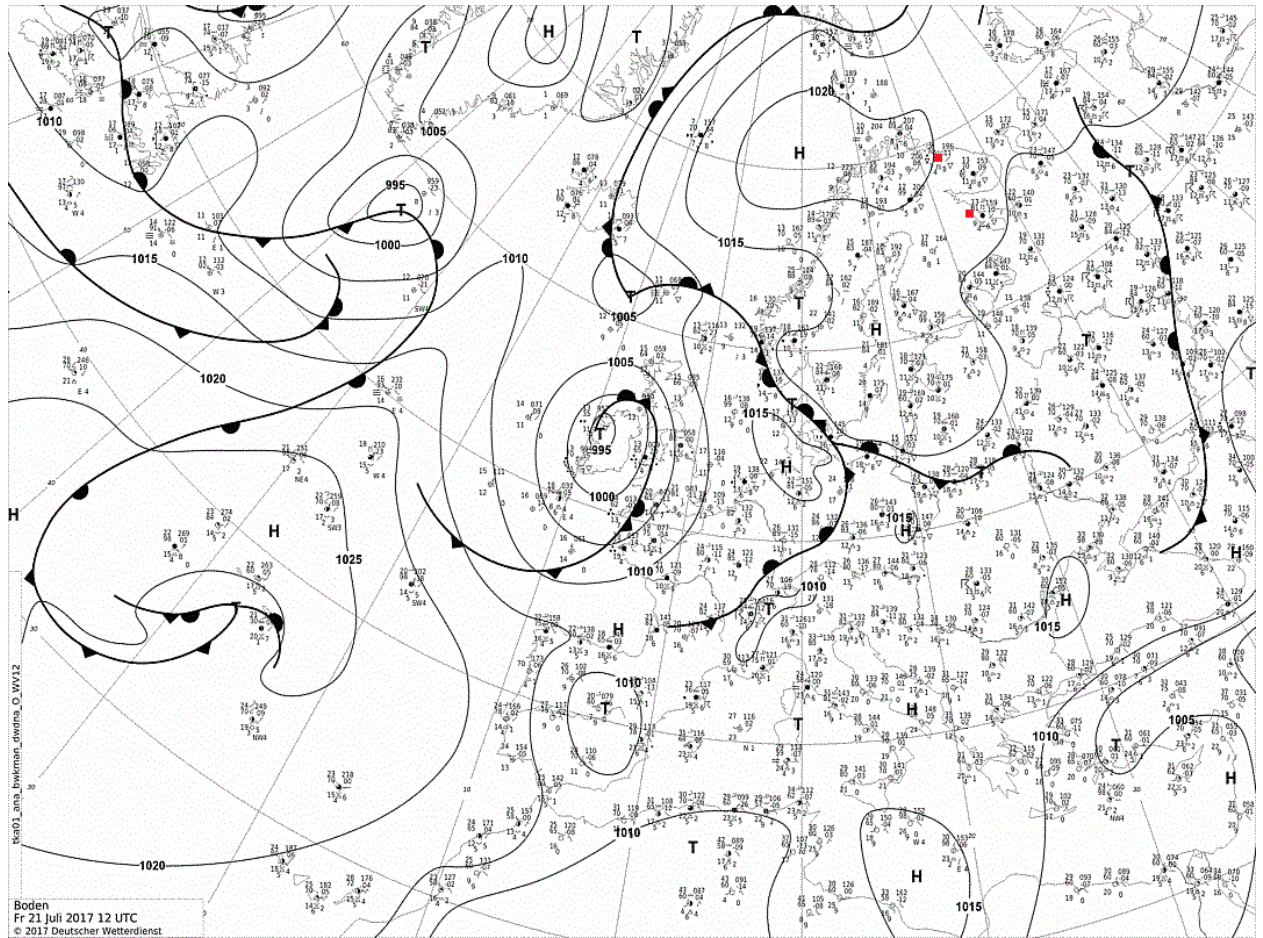
Приложение В – Синоптические карты с ситуациями наличия и отсутствия гроз.

Синоптическая карта от 14.07.2016. Метеостанции, помеченные красными квадратами, отмечают грозы



Синоптическая карта от 21.07.2017. Метеостанции, помеченные красными квадратами, не отмечают

грозы



Приложение Г – Данные температурно-ветрового зондирования при ситуации
наличия и отсутствия гроз

Данные температурно-ветрового зондирования 14.07.2016 в г. Кемь при
ситуации наличия гроз

22522 Kem Observations at 12Z 14 Jul 2016

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DMPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1003.0	8	19.2	16.6	85	11.98	0	0	292.1	326.2	294.2
1000.0	34	19.2	14.4	74	10.41	340	2	292.4	322.2	294.2
989.0	129	17.4	11.4	68	8.63	260	6	291.5	316.2	293.0
985.0	164	18.4	12.4	68	9.26	263	7	292.8	319.5	294.4
978.0	225	17.8	10.8	64	8.38	269	9	292.8	317.0	294.3
965.0	340	16.8	10.8	68	8.49	280	14	292.9	317.4	294.4
947.0	502	17.2	11.2	68	8.89	280	17	294.9	320.8	296.5
925.0	702	14.2	9.3	72	8.01	280	14	293.8	317.1	295.2
918.0	766	13.6	8.7	72	7.74	281	13	293.9	316.4	295.2
900.0	931	13.6	9.8	78	8.52	285	11	295.5	320.4	297.0
883.0	1090	10.8	6.2	73	6.78	288	9	294.2	314.1	295.4
871.0	1203	10.0	6.4	78	6.95	290	8	294.6	314.9	295.8
862.0	1289	9.4	6.5	82	7.09	286	9	294.8	315.6	296.1
850.0	1404	8.6	5.0	78	6.47	280	10	295.1	314.2	296.3
700.0	2987	-1.1	-4.4	78	3.96	265	10	301.2	313.5	302.0
685.0	3159	-1.8	-6.4	71	3.47	260	10	302.3	313.2	303.0
670.0	3335	-2.5	-8.5	63	3.02	265	10	303.5	313.0	304.0
598.0	4211	-8.0	-12.8	68	2.39	290	12	307.1	314.9	307.5
582.0	4420	-9.3	-13.9	69	2.26	270	10	307.9	315.3	308.4
538.0	5026	-13.2	-16.9	73	1.90	270	10	310.4	316.7	310.7
522.0	5258	-14.6	-18.1	75	1.78	285	12	311.3	317.3	311.6
500.0	5590	-16.7	-19.7	78	1.61	275	12	312.6	318.1	312.9
488.0	5773	-17.3	-20.6	75	1.53	271	12	314.1	319.3	314.4
475.0	5975	-19.5	-21.6	83	1.44	267	13	313.8	318.7	314.0
400.0	7230	-28.9	-31.6	77	0.68	240	16	317.4	319.8	317.5
388.0	7447	-31.1	-33.8	77	0.57	241	16	317.2	319.3	317.4
377.0	7651	-31.5	-34.2	77	0.56	242	16	319.3	321.4	319.4
330.0	8576	-40.7	-44.1	70	0.23	247	16	319.1	320.0	319.1
309.0	9022	-43.1	-46.9	66	0.18	249	16	321.8	322.5	321.8
300.0	9220	-45.5	-49.6	63	0.14	250	16	321.1	321.7	321.1
294.0	9354	-46.7	-50.9	62	0.12	250	16	321.2	321.7	321.3
277.0	9749	-50.3	-54.6	60	0.08	237	16	321.6	321.9	321.6
275.0	9796	-50.5	-54.8	60	0.08	235	16	322.0	322.4	322.1
264.0	10063	-51.3	-55.6	60	0.08	250	16	324.6	324.9	324.6
259.0	10188	-51.2	-55.5	60	0.08	255	17	326.5	326.8	326.5
254.0	10316	-51.1	-55.4	60	0.08	255	17	328.5	328.8	328.5
250.0	10420	-48.9	-53.4	59	0.11	255	17	333.2	333.7	333.3
231.0	10943	-43.9	-48.8	58	0.20	248	17	348.4	349.3	348.5
212.0	11519	-42.8	-48.4	54	0.22	240	16	358.8	359.8	358.8
200.0	11910	-42.1	-48.1	52	0.25	240	19	365.9	367.1	366.0
179.0	12659	-41.1	-47.1	52	0.31	254	18	379.4	380.8	379.4
177.0	12735	-41.2	-47.3	52	0.30	255	17	380.4	381.8	380.4
150.0	13850	-43.3	-50.3	46	0.26	250	19	395.2	396.5	395.3
142.0	14218	-43.8	-50.9	45	0.25	250	21	400.7	401.9	400.7
111.0	15870	-45.8	-53.6	41	0.23	235	14	426.0	427.3	426.1
100.0	16570	-46.7	-54.7	40	0.23	250	14	437.2	438.5	437.3
98.0	16704	-46.7	-54.8	39	0.23	255	14	439.7	441.0	439.8
87.0	17491	-46.9	-55.2	38	0.24	235	10	454.6	456.1	454.7
70.0	18930	-47.1	-56.1	35	0.27	245	6	483.3	485.0	483.3
67.0	19220	-47.1	-57.0	31	0.26	240	6	489.3	491.0	489.4
53.0	20774	-47.1	-61.9	17	0.17	170	6	523.2	524.5	523.3
50.0	21160	-47.1	-63.1	14	0.16	145	6	532.0	533.1	532.1
46.0	21713	-47.5	-66.0	10	0.12	95	6	543.9	544.7	543.9
40.9	22493	-48.1	-70.1	6	0.07	111	6	561.0	561.5	561.0
32.0	24122	-47.4	-71.1	5	0.08	145	8	603.5	604.2	603.5
30.4	24462	-47.3	-71.3	5	0.08	133	8	612.8	613.5	612.8
30.0	24550	-46.7	-70.7	5	0.09	130	8	616.7	617.5	616.7
28.0	25008	-46.1	-70.3	5	0.10	110	8	630.6	631.5	630.6
22.0	26608	-44.1	-68.9	5	0.16	95	8	681.6	683.1	681.7
20.0	27240	-43.3	-68.3	5	0.19	115	10	702.9	704.8	702.9

Данные температурно-ветрового зондирования 14.07.2016 в г. Архангельск при
ситуации наличия гроз

22543 Arhangel'sk Observations at 12Z 14 Jul 2016

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1004.0	6	17.8	16.2	90	11.67	270	4	290.6	323.6	292.7
1000.0	41	17.8	15.9	89	11.49	260	6	290.9	323.5	293.0
962.0	372	17.8	14.2	79	10.69	255	6	294.2	325.0	296.1
949.0	489	17.8	13.6	76	10.41	255	7	295.3	325.5	297.2
925.0	707	15.4	11.4	77	9.23	255	10	295.1	321.9	296.7
895.0	987	13.8	9.2	74	8.22	257	10	296.2	320.3	297.7
872.0	1205	10.8	6.6	75	7.06	258	11	295.3	316.0	296.5
850.0	1419	10.6	7.3	80	7.60	260	12	297.2	319.7	298.6
800.0	1919	5.8	2.6	80	5.80	262	11	297.3	314.6	298.4
778.0	2147	5.4	1.7	77	5.59	262	11	299.3	316.1	300.3
733.0	2628	0.8	-2.1	81	4.49	264	10	299.4	313.1	300.2
705.0	2939	-1.3	-3.4	86	4.24	265	10	300.4	313.4	301.2
700.0	2996	-1.5	-3.6	86	4.21	265	10	300.8	313.7	301.6
683.0	3186	-2.6	-4.8	85	3.93	280	8	301.6	313.8	302.3
500.0	5600	-17.3	-20.6	75	1.49	260	12	311.9	317.0	312.2
491.0	5736	-17.5	-20.8	75	1.49	256	12	313.3	318.4	313.6
400.0	7240	-29.1	-34.1	62	0.54	215	21	317.1	319.1	317.2
393.0	7365	-30.1	-35.5	60	0.48	210	21	317.3	319.1	317.4
380.0	7604	-32.1	-38.1	55	0.38	214	21	317.8	319.2	317.9
366.0	7868	-34.3	-39.3	60	0.35	219	21	318.3	319.6	318.4
323.0	8732	-40.1	-46.1	53	0.19	235	20	321.9	322.6	321.9
303.0	9164	-44.9	-50.9	51	0.12	244	20	321.1	321.5	321.1
300.0	9230	-45.3	-51.3	51	0.11	245	19	321.4	321.9	321.4
259.0	10191	-50.5	-57.5	43	0.06	255	19	327.5	327.8	327.5
250.0	10420	-49.3	-56.3	44	0.07	260	19	332.6	333.0	332.6
216.0	11391	-43.1	-52.1	36	0.14	257	18	356.4	357.1	356.5
200.0	11910	-42.7	-53.7	29	0.13	255	17	365.0	365.6	365.0
169.0	13052	-41.1	-54.1	23	0.14	255	17	385.6	386.4	385.7
150.0	13860	-43.3	-56.3	22	0.12	255	17	395.2	395.9	395.3
133.0	14668	-45.9	-58.9	22	0.10	255	17	404.4	405.0	404.4
101.0	16504	-46.5	-60.5	19	0.11	255	16	436.4	437.0	436.4
100.0	16570	-46.3	-60.3	19	0.11	255	16	438.0	438.6	438.0
79.0	18123	-47.6	-61.6	18	0.12	245	10	465.8	466.5	465.8
70.0	18920	-48.3	-62.3	18	0.12	235	10	480.7	481.5	480.7
54.1	20613	-49.5	-63.5	18	0.14	156	4	514.6	515.6	514.7
54.0	20625	-49.5	-63.5	18	0.14	155	4	515.0	515.9	515.0
50.0	21130	-48.7	-62.7	18	0.17	145	6	528.2	529.4	528.3
38.3	22886	-49.3	-63.3	18	0.20	122	7	568.5	570.1	568.6
30.0	24500	-47.5	-61.5	18	0.32	100	8	614.5	617.2	614.6
26.0	25449	-47.0	-61.0	19	0.40	80	10	641.6	645.0	641.7
20.0	27190	-46.1	-60.1	19	0.58	95	16	694.3	699.6	694.5
15.7	28812	-43.9	-58.9	17	0.86	92	16	751.2	759.7	751.6
13.0	30100	-41.4	-56.8	17	1.36	90	16	801.5	815.6	802.2
10.0	31890	-37.9	-53.9	17	2.51	80	21	876.9	905.3	878.2
8.0	33444	-34.1	-50.1	18	4.91	80	23	949.6	1009.4	952.5
7.8	33620	-33.7	-49.7	18	5.29			958.2	1023.2	961.3

Данные температурно-ветрового зондирования 14.07.2016 в г. Нарьян-Мар при
ситуации наличия гроз

23205 Narjan-Mar Observations at 12Z 14 Jul 2016

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1003.0	12	21.2	17.0	77	12.30	135	14	294.1	329.4	296.3
1000.0	35	21.4	16.4	73	11.87	135	10	294.6	328.7	296.6
986.0	158	22.4	11.4	50	8.65	142	10	296.7	322.1	298.3
961.0	380	19.4	11.4	60	8.88	155	12	295.9	321.8	297.5
925.0	708	17.4	11.4	68	9.23	160	12	297.1	324.2	298.8
887.0	1066	15.6	9.6	67	8.53	152	7	298.8	324.1	300.4
878.0	1152	14.8	8.8	67	8.18	150	6	298.9	323.1	300.4
850.0	1426	12.4	6.4	67	7.14	180	12	299.1	320.4	300.4
834.0	1582	11.2	5.5	68	6.82	190	10	299.5	319.9	300.8
708.0	2927	1.1	-2.5	77	4.53	175	16	302.7	316.7	303.5
700.0	3020	0.4	-3.0	78	4.40	175	16	302.9	316.5	303.7
680.0	3252	-1.3	-4.1	81	4.17	176	16	303.5	316.5	304.3
559.0	4789	-9.5	-17.5	52	1.74	182	21	311.3	317.2	311.6
500.0	5640	-15.9	-22.9	55	1.22	185	23	313.6	317.8	313.8
400.0	7280	-28.5	-34.5	56	0.52	190	29	317.9	319.8	318.0
376.0	7712	-32.1	-38.3	54	0.37	195	31	318.8	320.2	318.9
310.0	9059	-43.3	-50.3	46	0.12	186	44	321.2	321.7	321.2
300.0	9280	-44.5	-51.5	45	0.11	185	47	322.5	323.0	322.6
266.0	10076	-49.9	-55.9	49	0.07	185	65	325.9	326.2	325.9
257.0	10300	-50.7	-56.7	49	0.07	185	70	328.0	328.3	328.0
252.0	10428	-50.7	-56.7	49	0.07	185	70	329.8	330.1	329.8
250.0	10480	-50.7	-56.7	49	0.07	190	70	330.6	330.9	330.6
242.0	10690	-51.1	-57.1	49	0.07	192	62	333.1	333.4	333.1
203.0	11833	-46.9	-54.7	40	0.11	200	21	356.9	357.4	356.9
200.0	11930	-46.5	-54.5	40	0.12	195	21	359.0	359.5	359.0
185.0	12450	-45.8	-54.7	36	0.12	180	19	368.2	368.8	368.2
153.0	13717	-44.1	-55.1	28	0.14	194	14	391.6	392.4	391.7
150.0	13850	-44.5	-55.5	28	0.14	195	14	393.2	393.9	393.2
142.0	14215	-45.2	-56.4	27	0.13	210	10	398.1	398.8	398.1
138.0	14405	-45.6	-56.9	27	0.13	200	10	400.7	401.4	400.8
128.0	14905	-46.6	-58.2	26	0.12	240	8	407.6	408.3	407.7
123.0	15170	-47.1	-58.8	25	0.11	195	6	411.4	412.0	411.4
121.0	15279	-47.3	-59.1	25	0.11	195	10	412.9	413.5	412.9
114.0	15675	-48.1	-60.1	24	0.10	235	10	418.5	419.1	418.6
109.0	15971	-48.1	-60.1	24	0.11	225	10	423.9	424.5	424.0
100.0	16540	-48.1	-60.1	24	0.12	335	4	434.5	435.2	434.5
99.0	16606	-48.1	-60.1	24	0.12	20	4	435.7	436.4	435.7
95.0	16878	-48.2	-60.2	24	0.12	120	6	440.7	441.4	440.7
93.0	17018	-48.3	-60.3	24	0.12	150	6	443.3	444.0	443.3
84.0	17689	-48.5	-60.5	24	0.13	170	6	455.9	456.7	455.9
76.0	18348	-48.7	-60.7	23	0.14	230	6	468.7	469.5	468.7
70.0	18890	-48.9	-60.9	23	0.15	0	0	479.4	480.4	479.4
61.7	19717	-49.3	-61.3	23	0.16	5	2	496.1	497.2	496.2
55.0	20473	-48.2	-60.8	22	0.19	10	4	515.2	516.5	515.2
50.0	21100	-47.3	-60.3	21	0.23	85	4	531.5	533.1	531.6
49.0	21234	-47.2	-60.2	21	0.23	135	4	534.7	536.4	534.8
38.0	22916	-46.7	-59.7	21	0.32	55	8	576.5	578.9	576.6
37.0	23093	-46.6	-59.6	21	0.33	65	8	581.0	583.6	581.2
35.1	23441	-46.5	-59.5	21	0.36	96	9	590.2	593.0	590.3
34.0	23652	-46.7	-59.7	21	0.36	115	10	595.0	597.9	595.2
32.0	24053	-47.1	-60.1	21	0.36	115	8	604.4	607.3	604.5
30.0	24480	-47.5	-60.5	21	0.37	70	12	614.5	617.5	614.7
28.0	24936	-47.9	-60.9	21	0.37	95	12	625.5	628.6	625.7
27.3	25103	-48.1	-61.1	21	0.37	92	10	629.6	632.8	629.8
26.0	25427	-47.6	-60.6	21	0.42	85	6	640.0	643.6	640.1
24.0	25959	-46.7	-59.7	21	0.51	45	8	657.3	661.8	657.5
21.0	26846	-45.2	-58.2	22	0.70	95	10	687.3	693.6	687.6
20.0	27170	-44.7	-57.7	22	0.79	95	6	698.6	705.7	698.9

Данные температурно-ветрового зондирования 21.07.2017 в г. Мурманск при
ситуации отсутствия гроз

22113 ULMM Murmansk Observations at 12Z 21 Jul 2017

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1004.0	121	9.2	6.8	85	6.21	20	8	282.0	299.3	283.1
1000.0	158	8.8	6.0	83	5.90	20	8	281.9	298.4	282.9
943.0	640	5.4	2.9	84	5.02	16	12	283.3	297.5	284.1
925.0	797	4.6	2.3	85	4.91	15	14	284.0	298.0	284.9
916.0	877	4.0	1.7	85	4.73	15	14	284.2	297.7	285.0
900.0	1020	3.0	0.5	84	4.43	26	13	284.6	297.3	285.4
850.0	1485	3.6	1.2	84	4.93	60	12	289.9	304.3	290.8
848.0	1504	3.6	1.2	84	4.95	62	12	290.1	304.5	291.0
844.0	1542	3.4	0.9	84	4.86	65	12	290.2	304.4	291.1
780.0	2178	-0.7	-4.2	77	3.61	85	11	292.5	303.3	293.1
751.0	2481	-0.3	-4.0	76	3.80	95	10	296.1	307.6	296.8
737.0	2629	-1.9	-6.2	72	3.27	100	10	296.0	306.0	296.5
700.0	3037	-6.3	-12.3	62	2.14	85	16	295.5	302.1	295.9
699.0	3048	-6.5	-12.5	62	2.10	85	16	295.4	301.9	295.8
680.0	3260	-7.8	-13.8	62	1.95	100	14	296.3	302.4	296.6
645.0	3665	-10.2	-16.2	61	1.68	75	17	298.0	303.4	298.3
592.0	4323	-14.2	-20.2	60	1.31	90	21	300.8	305.1	301.1
568.0	4641	-16.1	-22.1	60	1.15	88	23	302.1	306.0	302.4
500.0	5590	-22.3	-28.3	58	0.75	80	27	305.8	308.4	305.9
455.0	6274	-27.5	-33.5	57	0.50	76	33	307.6	309.4	307.7
416.0	6907	-34.3	-41.3	49	0.25	72	38	306.9	307.8	306.9
400.0	7180	-35.7	-42.7	49	0.22	70	41	308.5	309.3	308.6
391.0	7338	-36.8	-44.1	47	0.20	65	43	309.1	309.8	309.1
366.0	7795	-40.1	-48.1	42	0.13	68	45	310.6	311.1	310.6
347.0	8157	-43.3	-51.3	41	0.10	70	47	311.0	311.4	311.0
337.0	8355	-45.1	-53.1	40	0.08	70	45	311.2	311.5	311.2
309.0	8934	-48.1	-56.1	39	0.06	70	41	314.8	315.0	314.8
300.0	9130	-47.5	-55.5	39	0.07	70	37	318.3	318.6	318.3
272.0	9777	-46.2	-55.1	36	0.08	75	27	329.2	329.6	329.2
270.0	9826	-46.1	-55.1	35	0.08	77	26	330.1	330.4	330.1
255.0	10207	-43.5	-54.4	29	0.09	90	19	339.4	339.8	339.4
254.0	10234	-43.3	-54.3	29	0.09	90	19	340.0	340.4	340.0
250.0	10340	-43.7	-54.7	29	0.09	90	17	341.0	341.4	341.0
224.0	11078	-42.5	-54.8	25	0.10	70	16	353.7	354.2	353.7
213.0	11416	-41.9	-54.9	23	0.10	79	13	359.7	360.2	359.8
200.0	11840	-42.5	-56.5	20	0.09	90	10	365.3	365.7	365.3
150.0	13780	-44.5	-60.5	15	0.07	90	8	393.2	393.6	393.2
142.0	14145	-44.9	-60.7	15	0.08	100	8	398.7	399.1	398.7
111.0	15785	-46.6	-61.8	16	0.08	30	4	424.6	425.1	424.6
100.0	16480	-47.3	-62.3	16	0.09	95	6	436.1	436.6	436.1
98.0	16613	-47.3	-62.3	16	0.09	105	6	438.6	439.1	438.6
77.0	18202	-47.1	-62.1	16	0.12	110	6	470.2	470.9	470.2
70.0	18830	-47.1	-62.1	16	0.13	150	6	483.3	484.1	483.3
68.5	18974	-46.9	-61.9	16	0.13	161	6	486.7	487.6	486.7
68.0	19022	-47.0	-62.0	16	0.13	165	6	487.6	488.5	487.6
50.4	20998	-49.1	-64.1	16	0.14	87	6	526.1	527.1	526.2
50.0	21050	-48.9	-63.9	16	0.14	85	6	527.8	528.8	527.8
47.0	21458	-48.5	-63.5	16	0.16	60	6	538.1	539.2	538.1
36.0	23216	-46.9	-61.9	16	0.26	130	4	584.9	586.9	585.0
32.0	23994	-47.9	-62.9	16	0.25	85	8	602.1	604.2	602.2
30.0	24420	-48.5	-63.5	16	0.25	105	12	611.8	613.9	611.9
28.0	24875	-48.4	-63.7	15	0.26	130	16	624.3	626.5	624.4
23.4	26060	-48.1	-64.1	14	0.29	82	8	658.0	660.6	658.1
22.0	26468	-47.5	-63.9	13	0.32	65	6	671.3	674.2	671.5
20.0	27100	-46.7	-63.7	13	0.36	90	10	692.5	695.9	692.6

Данные температурно-ветрового зондирования 21.07.2017 в г. Кемь при
ситуации отсутствия гроз

22522 Kem Observations at 12Z 21 Jul 2017

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1015.0	8	15.2	7.2	59	6.31	315	12	287.1	305.1	288.2
1000.0	129	14.0	5.0	55	5.50	320	12	287.1	302.9	288.1
972.0	365	11.7	3.8	58	5.21	325	14	287.2	302.2	288.1
925.0	778	7.8	1.8	66	4.73	330	8	287.3	301.0	288.1
919.0	831	7.2	1.5	67	4.66	330	6	287.2	300.7	288.0
897.0	1030	5.1	0.4	72	4.41	310	8	287.0	299.8	287.8
876.0	1224	3.0	-0.7	77	4.17	312	9	286.8	298.9	287.5
855.0	1420	2.8	-0.9	77	4.21	314	10	288.6	300.9	289.3
850.0	1468	2.4	-1.6	75	4.02	315	10	288.6	300.4	289.4
783.0	2127	-0.2	-6.0	65	3.13	330	6	292.7	302.1	293.2
776.0	2199	-0.5	-6.5	64	3.04	325	6	293.1	302.4	293.7
717.0	2824	-4.5	-11.3	59	2.27	280	4	295.4	302.5	295.9
700.0	3014	-5.7	-12.7	58	2.07	290	6	296.1	302.6	296.5
664.0	3422	-8.0	-15.7	54	1.70	315	10	298.1	303.5	298.4
645.0	3647	-9.2	-17.4	52	1.53	290	10	299.1	304.1	299.4
604.0	4155	-12.1	-21.1	47	1.18	286	10	301.5	305.4	301.7
594.0	4280	-13.0	-22.2	46	1.10	285	10	301.9	305.6	302.1
575.0	4523	-14.7	-24.2	44	0.94	265	8	302.7	305.9	302.9
559.0	4735	-16.2	-26.0	43	0.82	275	10	303.4	306.2	303.6
512.0	5392	-20.8	-31.6	38	0.53	245	12	305.5	307.4	305.6
500.0	5570	-22.1	-33.1	36	0.47	260	10	306.0	307.7	306.1
496.0	5628	-22.6	-33.9	35	0.44	265	10	306.2	307.8	306.3
462.0	6145	-26.5	-40.5	26	0.24	245	12	307.5	308.4	307.6
449.0	6352	-28.1	-43.1	22	0.19	244	12	308.0	308.8	308.1
430.0	6661	-30.5	-44.5	24	0.17	243	13	308.8	309.5	308.9
400.0	7170	-35.7	-49.7	22	0.10	240	14	308.5	308.9	308.5
370.0	7707	-40.9	-53.9	23	0.07	236	16	308.6	308.8	308.6
363.0	7837	-40.9	-53.9	23	0.07	236	16	310.2	310.5	310.2
328.0	8517	-48.3	-60.3	24	0.03	231	19	309.2	309.3	309.2
322.0	8637	-49.1	-61.1	23	0.03	230	19	309.7	309.8	309.7
302.0	9057	-52.0	-64.0	22	0.02	235	17	311.4	311.4	311.4
300.0	9100	-52.3	-64.3	22	0.02	235	17	311.5	311.6	311.5
286.0	9407	-53.7	-64.7	25	0.02	220	12	313.8	313.9	313.8
285.0	9429	-53.7	-64.7	25	0.02	219	11	314.1	314.2	314.1
271.0	9756	-46.9	-58.9	24	0.05	198	7	328.6	328.8	328.6
266.0	9879	-46.4	-58.7	24	0.05	190	6	331.0	331.2	331.0
250.0	10290	-44.9	-57.9	22	0.06	185	8	339.2	339.4	339.2
242.0	10509	-42.3	-56.3	20	0.08	188	8	346.2	346.6	346.3
235.0	10708	-42.4	-56.9	19	0.07	190	8	349.0	349.4	349.0
220.0	11155	-42.6	-58.1	17	0.07	145	6	355.3	355.7	355.4
206.0	11600	-42.8	-59.3	15	0.06	180	8	361.8	362.1	361.8
200.0	11800	-42.9	-59.9	14	0.06	175	8	364.7	365.0	364.7
171.0	12851	-43.8	-62.4	11	0.05	145	6	379.9	380.2	379.9
150.0	13730	-44.5	-64.5	9	0.04	175	6	393.2	393.4	393.2
137.0	14336	-44.7	-64.7	9	0.05	75	6	403.1	403.3	403.1
121.0	15166	-45.0	-65.0	9	0.05	140	10	417.1	417.4	417.1
100.0	16440	-45.5	-65.5	9	0.06	130	10	439.5	439.9	439.5
70.0	18810	-47.5	-68.5	7	0.05	115	8	482.4	482.8	482.4
51.0	20899	-47.5	-71.3	5	0.05	140	8	528.1	528.5	528.1
50.0	21030	-47.5	-71.5	5	0.05	140	10	531.1	531.5	531.1
40.0	22506	-47.5	-71.5	5	0.06	125	12	566.0	566.5	566.1
35.0	23390	-47.5	-71.5	5	0.07	160	4	588.0	588.6	588.1
31.0	24193	-47.5	-71.5	5	0.08	80	6	608.8	609.5	608.8
30.0	24410	-47.5	-71.5	5	0.08	80	6	614.5	615.2	614.6
27.0	25105	-47.9	-70.5	6	0.11	80	4	632.1	633.0	632.1
26.0	25353	-48.1	-70.1	6	0.12	104	5	638.5	639.5	638.5
24.0	25882	-47.6	-70.4	6	0.12	155	6	654.7	655.8	654.8
21.5	26608	-46.9	-70.9	5	0.12	110	9	677.7	678.9	677.8
21.0	26765	-45.9	-70.2	5	0.14	100	10	685.2	686.6	685.3
20.0	27090	-43.9	-68.9	5	0.18	95	10	701.0	702.8	701.1

Приложение Д - Оперативный график для прогноза наличия и отсутствия гроз на севере ЕЧР

