



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 «Прогноз высоты нижней границы внутримассовой
неконвективной облачности на ЕЧР»

Исполнитель Ксенофонтова Эвелина, ГМ-Б17-1

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____

(ученая степень, ученое звание)

Новикова Нина Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«23» мая 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

Содержание

Введение.....	4
1. Классификация низкой облачности, характеристика и условия образования, основные методы прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности	6
1.1.Виды облаков нижнего яруса и их характеристика.....	6
1.2.Условия образования облаков.....	9
1.3.Поле неконвективной облачности, его пространственная и временная изменчивость.....	11
1.4.Основные методы прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности.....	17
2. Условия образования низкой внутримассовой облачности на ЕЧР.....	25
2.1.Физико-географические, климатические и синоптические особенности ЕЧР.....	25
2.2.Синоптические ситуации при формировании низкой облачности.....	33
2.3.Повторяемость низкой внутримассовой неконвективной облачности.....	37
3.Прогнозирование низкой внутримассовой неконвективной облачности на ЕЧР.....	39
3.1.Проверка метода Е.И. Гоголевой для прогноза низкой облачности в Петрозаводске	39
3.2.Проверка графика на основе метода Е.И. Гоголевой для прогноза низкой облачности на территории ЕЧР.....	40

3.3.Критерии успешности для оценки эффективности	
использования метода прогноза.....	43
Заключение.....	49
Список использованных источников.....	51
Приложение А. Типовые синоптические ситуации при формировании	
низкой облачности.....	52
Приложение Б. Исходные данные и результаты оценки метода прогноза	
низкой облачности	55

Введение

Облачность - важный фактор погоды и климата. Благодаря экранирующему эффекту она препятствует охлаждению поверхности Земли за счёт собственного теплового излучения и её нагреву излучением Солнца, таким образом, уменьшая сезонные и суточные колебания температуры воздуха.

Облачность и осадки оказывают большое влияние на сельское хозяйство, промышленность, транспорт, строительство, затрудняя работу всех сфер. Однако наибольшее влияние низкая облачность оказывает на авиацию, потому как высота нижней границы этих облаков располагается на высотах до 2 километров. Для безопасности полетов нужно учитывать многие факторы, особенно факторы внешней среды, следовательно, и влияние облачности.

Актуальность данной работы состоит в том, что низкая облачность затрудняет, а в некоторых случаях даже делает невозможным полет воздушного судна, поэтому прогнозирование облачности является очень важным и необходимым условием в первую очередь для авиации.

Цель данной работы:

Проверить оправдываемость прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности по нескольким методам применительно к европейской территории России и выявить успешность использования этих методов.

Поставленные задачи:

- 1) ознакомиться с условиями образования низкой внутримассовой неконвективной облачности;
- 2) подобрать исходные материалы для проверки метода Е.И.Гоголевой и для проверки графика, основанного на методе Гоголевой;

- 3) проанализировать полученные результаты и сделать вывод о возможности использования выбранных методов для успешного прогноза низкой облачности.

Структура работы:

Работа состоит из введения, 3-х разделов, заключения, списка использованных источников и двух приложений.

В первом разделе разбирается классификация низкой облачности, подробно рассказывается про виды облаков нижнего яруса, рассматриваются условия их образования, пространственная и временная изменчивость, а также приводится ряд методов для прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности.

Во втором разделе подробно рассматривается выбранная территория, её климатические и физико-географические особенности, синоптические условия образования облачности и её повторяемость на ЕЧР.

Третий раздел посвящен проверке методов на успешность прогноза низкой облачности и оценке эффективности использования одного из выбранных методов.

В Приложении А приведены типичные синоптические ситуации для образования низкой внутримассовой облачности, а в Приложении Б таблицы с исходными данными.

Исходные данные взяты для Петрозаводска за период с 2016 по 2019 гг. и для 19 станций на ЕЧР с 2016 по 2021 гг.

1. Классификация низкой облачности, характеристика и условия образования, основные методы прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности

1.1. Виды облаков нижнего яруса и их характеристика

Облачность - это система облаков, которые наблюдается в конкретном месте в некоторый момент времени. Облака – это визуально различимая система взвешенных продуктов конденсации водяного пара в атмосфере, которая, увеличиваясь, выпадает в виде осадков. Разнообразие облаков зависит от физических процессов, происходящих в атмосфере. Остановимся подробнее на облаках нижнего уровня.

Облака нижнего яруса расположены в слое атмосферы, простирающимся от земной поверхности до 2,5 км. Толщина слоя большинства облаков составляет 200-800 м. Такие облака практически полностью закрывают небо непросвечивающим покровом. Лишь изредка они могут просвечивать через тонкие края. Рассмотрим основные виды облаков данного яруса.

- Слоисто-дождевые (лат. Nimbostratus, Ns) — слой облаков, почти единообразный, темно-серого цвета, с неопределенным основанием. Под такими облаками часто возникают разорванно-слоистые облака неблагоприятной погоды. Высота нижней границы составляет 0,1—1 км, бывает и ниже, толщина достигает до нескольких километров. Микроструктура в основном капельная, временами водянистая или же кристаллическая. Облакам данного вида соответствует выпадение сильных обложных осадков, таких как дождь и снег, которые в значительной степени могут ухудшать видимость. Во время этого процесса облачный слой кажется однородным, но в интервалах между выпадением осадков может

наблюдаться неоднородность слоя, местами он становится полупрозрачным. Из-за выпадения осадков определить точную высоту данных облаков становится трудной задачей.

- Слоистые (лат. Stratus, St) — облака однородного слоя, имеющие серый цвет, по внешнему виду похожие на туман, приподнятый над земной поверхностью. Нередко такая облачность может и вовсе сливаться с наземным туманом. Нижняя часть обычно разорванная, в виде клочьев, бугристая. В большинстве случаев закрывают всё небо, иногда можно наблюдать как разорванные массы облаков. Обычно такое закрытие придает небу пасмурный вид. Если облака разорваны на неправильные части, то в таком случае они будут называться разорванно-дождевыми облаками (лат. Fractonimbus). Нижняя граница слоистых облаков располагается на высотах от 100 до 700 метров, толщина может быть в пределах 200—800 м. Данные облака образованы из мелких капель, при отрицательных температурах из переохлаждённых капель. Слоистые облака в большинстве случаев капельные, бывают смешанные, и изредка — кристаллические. Осадки, как правило, не выпадают. Летом в отдельных случаях может выпасть морось, а зимой иногда бывает слабый снег или снежные хлопья.

- Слоисто-кучевые (лат. Stratocumulus, Sc) — облака серого цвета с темными частями, состоящие из крупных облачных элементов: гряд, пластинок или хлопьев, разделённых промежутками или сливающихся в сплошной серый волнистый покров. Осредненная высота нижней границы составляет 0,6—1,5 км, а толщина 0,2—0,8 км. Это облака, состоящие в основном из мелких капелек воды, в зимний период из переохлаждённых капель. В основном эти облака капельные, также микроструктура бывает смешанная, и очень редко — кристаллическая. Осадки из облаков данного вида чаще всего не выпадают. Только изредка может выпадать непродолжительный снег в холодное время и слабый дождь, состоящий из

мелких капель, больше похожий на морось, в летний период. Слоисто-кучевые облака чаще встречаются в холодный период года.

Основным признаком различной формы облаков является характер атмосферных процессов, так например, слоисто-дождевые облака – это, как принято, фронтальная облачность, а слоистые и слоисто-кучевые возникают прежде всего внутри однородных воздушных масс, кроме варианта слоистых облаков таких, как разорвано-дождевые, которые сопутствуют облакам фронтального типа [1].

Фронтальная облачность имеет значительную протяженность, как по горизонтали, так и по вертикали. Атмосферные фронты создают подходящие условия для возникновения полей низкой облачности. При фронтогенезе или процессе обострения фронта увеличивается зоны облачности, происходит понижение её нижней границы и увеличивается высота верхней. Фронтотиз или по-другому размывание фронта сокращает толщину облаков, а также приводит к уменьшению их количества. При этом зачастую меняется форма облачности, и эти изменения приводят к более безопасной ситуации по отношению к авиации.

Фронтальная облачность развивается за счет повышения влаги при смещении фронта, в обратной ситуации облачность размывается. Эта облачность характерна для любого времени года и для любой части дня или ночи. В летний период днём более развита облачность холодных фронтов, для зимнего периода вечером и ночью характера облачность теплых фронтов.

Внутримассовая облачность устойчивых воздушных масс относительно неустойчивых имеет в значительной степени меньшую вертикальную протяженность, но при этом располагается на обширной площади. Чаще всего нижняя граница облачности находится в слое от земной поверхности до 300 метров, а верхняя меняется от 500 до 1500 метров, с учетом синоптического положения. Когда эта облачность наблюдается у земли, она

сопровождается весьма высокой влажностью воздуха в пределах 80-100%, а также пониженной видимостью до 4 км и менее из-за тумана или слабых осадков.

У слоистых и слоисто-кучевых облаков плохо выражен суточный ход, впрочем, возможно отметить максимум облачности утром, также в это время наблюдается минимальная высота облаков. В ночное время снижается количество облачности и увеличивается высота верхней границы [2].

1.2. Условия образования облаков

Облака формируются под действием сложных термодинамических процессов, в результате которых водяной пар конденсируется и сублимируется, и считаются визуальным представлением данных процессов.

Для начала конденсации водяного пара необходимым условием считается состояние насыщения, а также важно, чтобы в воздухе находились мелкие ядра конденсации, а именно частицы пыли, продуктов сгорания и т.д. На этих ядрах и происходит возникновение зародышевых капель, которые при столкновении между собой объединяются и увеличиваются.

Вследствие того, что облака находятся на определенной высоте от земной поверхности, насыщение обусловлено охлаждением воздуха. Иногда слабого понижения температуры может быть достаточно для начала конденсации.

Основными причинами, которые способствуют охлаждению воздуха и как результат приводят к образованию облаков, считаются: адиабатическое расширение, волновые движения, турбулентный обмен.

На образование волнистообразных облаков в нижней части тропосферы заметное влияние турбулентное перемешивание. В устойчивой атмосфере вертикальное движение происходит только за счет турбулентного

перемешивания, так как конвективные движения здесь замедляются. Ненасыщенный воздух, поднимаясь от земли, адиабатически охлаждается, тем самым понижая температуру вышележащего слоя. Воздух, который опускается, напротив, начинает нагреваться, вследствие чего температура нижележащего слоя понижается. Вместе с тем в значительной степени увеличивается вертикальный температурный градиент, а над слоем интенсивного турбулентного обмена возникает слой с инверсией температуры.

Турбулентное перемешивание приводит к рекомбинации содержания водяного пара в зависимости от высоты. Пар после поднятия вверх от земли задерживается в подынверсионном слое. В этом же слое скапливаются ядра конденсации. Исходя из этих факторов, происходит конденсация и образуется облако в виде протяженного тонкого слоя.

Благодаря турбулентному перемешиванию образуются облака нижнего яруса — слоисто-кучевые и слоистые. Причиной образования слоистообразных облаков также служит крупномасштабное восходящее скольжение теплого воздуха по клину холодного.

Слоисто-кучевые облака образуются главным образом в ветреную погоду, а слоистые — при маловетренных условиях. Основание образовавшихся облаков находится достаточно низко, так как турбулентное перемешивание обычно не распространяется на большие высоты, а верхняя граница, можно сказать, совпадает с нижней границей инверсионного слоя [3].

1.3. Поле неконвективной облачности, его пространственная и временная изменчивость

Поле облачности является весьма сложным дискретным полем, зависимым от большой временной изменчивости. Оно описывается группой характеристик, которые определяются как инструментально (высота нижней и верхней границ), так и визуально (количество и форма облаков).

Поля неконвективной облачности возникают из таких облачных систем, как закрытые облачные ячейки, волнистые облака, орографические вихри, или могут являться облачными системами синоптического масштаба, например, облачные вихри внетропических циклонов, облачные полосы.

Исходя из анализа карт повторяемости неконвективных облаков, выделяются сезонные и географические особенности распределения данной облачности применительно к северному полушарию.

Характер распределения повторяемости неконвективной облачности летом по В.И. Воробьеву представлен на рисунке 1.1.

Основные максимумы повторяемости неконвективной облачности летом находятся в северных частях океанов, где в этот период достаточно развита циклоническая деятельность и, таким образом, велика повторяемость, как фронтальной облачности, так и слоистых облаков, которые возникают при адвекции теплого континентального воздуха на холодную поверхность океана. Эти максимумы распространяются над океанами далеко к югу вдоль западных побережий Северной Америки и Африки, где над холодными Командорским и Канарским течениями под пассатными инверсиями возникают наиболее благоприятные условия для образования слоистых и слоисто-кучевых облаков.

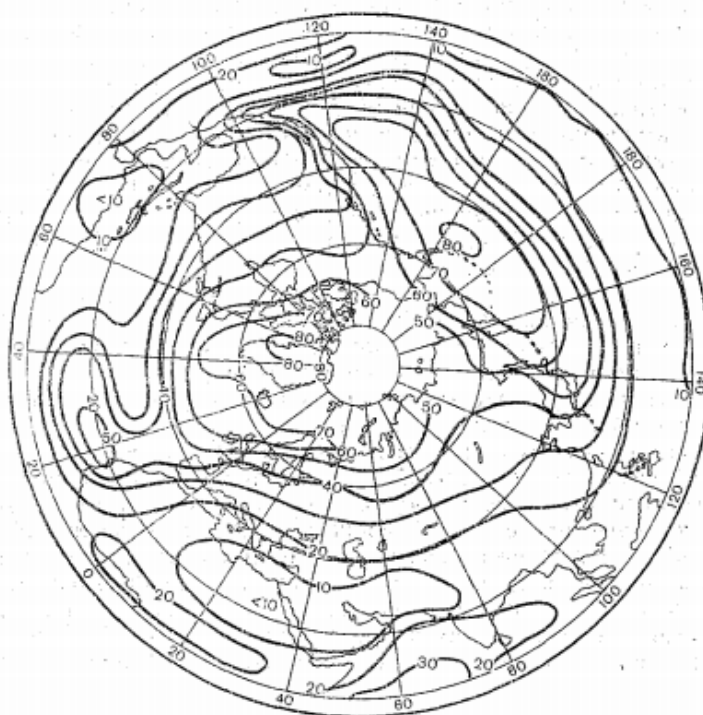


Рисунок 1.1 – Повторяемость неконвективной облачности в летний период[4]

В пределах планетарной зоны в низких широтах, где высока повторяемость конвективных облаков, повторяемость неконвективной облачности наоборот мала. Над севером Африки, Аравией и Иранским нагорьем она опять же невелика (менее 10%), повторяемость ясного неба на этой территории превышает 70—80%.

Средняя по 10-градусным широтным зонам повторяемость неконвективной облачности, как над океанической, так и над континентальной частью северного полушария равномерно убывает с севера на юг, что представлено в таблице 1.1. Над океанами она преобладает в высоких и умеренных широтах (севернее 40° с. ш.), а над континентами преобладающая роль только в высоких широтах (севернее 60° с. ш.) [4].

Таблица 1.1 – Средняя повторяемость (%) неконвективной облачности по широтным зонам.

Зона, ... ° с. ш.	Лето			Зима		
	О	К	П	О	К	П
60—70	75,4	53,6	56,6	59,2	69,9	67,5
50—60	69,2	44,8	51,1	57,9	67,4	64,9
40—50	65,6	33,3	43,6	56,6	64,9	62,3
30—40	43,2	21,0	29,8	48,7	52,4	50,9
20—30	32,0	12,2	22,1	37,0	31,2	34,1
10—20	24,0	11,7	19,6	25,0	23,7	22,9
0—10	16,5	13,1	15,2	18,9	15,9	17,8
0—70	33,7	27,1	30,1	34,0	47,6	41,0

Распределение повторяемости неконвективной облачности зимой по В.И. Воробьеву показано на рисунке 1.2. Оно имеет хорошо выраженный зональный характер. Максимумы повторяемости данной облачности находятся в северной части зоны умеренных широт, минимумы в зоне низких широт.

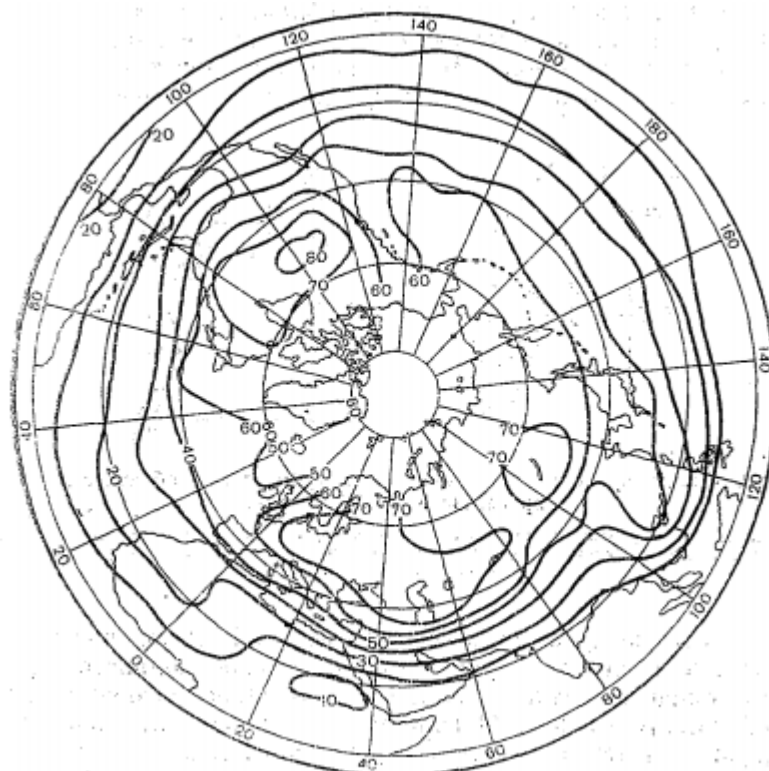


Рисунок 1.2 – Повторяемость неконвективной облачности в зимний период[4]

От лета к зиме в значительной степени возрастает повторяемость неконвективной облачности над континентами, что можно заметить в таблице 1.1. Данное изменение в характере распределения связано с сезонной перестройкой поля давления. Зимой при наличии антициклона над континентами часто возникают мощные инверсии, которые зачастую не успевают исчезнуть днем. Образовавшаяся ночью слоистая или слоисто-кучевая облачность в дневное время не рассеивается и определяется со спутника в течение всех суток.

К тому же, над западными частями континентов в умеренных и высоких широтах формируется активная циклоническая деятельность, приводящая к возрастанию повторяемости фронтальной облачности.

Летом складывается иная ситуация, когда над континентами возникают, прежде всего, ночные радиационные инверсии, исчезающие с восходом Солнца. Слоистые или слоисто-кучевые облака, связанные с этими инверсиями, рассеиваются в дневные часы.

Можно сделать вывод, что над океанами от лета к зиме не происходит значительного изменения повторяемости неконвективной облачности, над континентами же наоборот наблюдается увеличение повторяемости.

Как было отмечено ранее слоистые и слоисто-кучевые облака относятся к облакам нижнего яруса и наблюдаются в большинстве случаев в пределах одной воздушной массы. Иногда облака этих форм наблюдаются во фронтальных облачных системах, как сопутствующие. Внутримассовые слоистые и слоисто-кучевые облака в основном образуются в результате перемещении влажного теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность. Охлаждение воздуха и турбулентный перенос водяного пара от подстилающей поверхности до некоторой высоты приводят к облакообразованию. В это же время происходит перестройка стратификации

температуры в передвигающемся теплом воздухе, которая зачастую приводит к появлению инверсии температуры.

Так как при адвекции теплого воздуха скорость ветра, как правило, довольно большая, то турбулентность в приземном слое рушит нижнюю часть инверсии, вследствие чего она становится приподнятой, т. е. начинается на некоторой высоте над поверхностью земли. Формирование инверсии при достаточной влажности воздуха происходит одновременно с образованием облачности, верхняя граница которой находится в инверсионном слое, что можно увидеть на рисунке 1.3. Наряду с размытием облачности происходит разрушение инверсии при ослаблении адвекции тепла или при смене ее адвекцией холода.

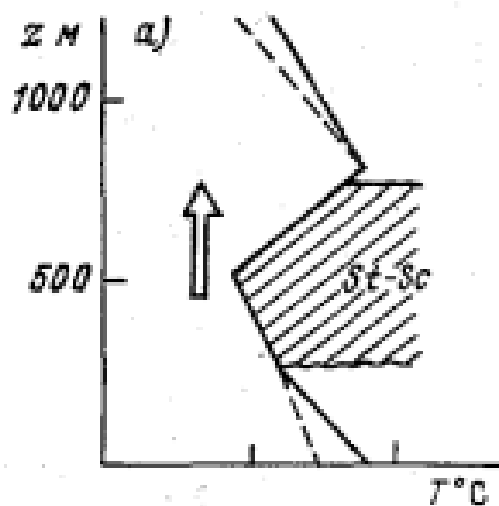


Рисунок 1.3 – Схема (а) процесса образования внутримассовой облачности нижнего яруса по К.Г. Абромович

На рисунке сплошными линиями обозначены кривые стратификации температуры, штриховыми — кривые стратификации массовой доли водяного пара, а стрелки демонстрируют направление упорядоченных вертикальных движений.

Кроме вышесказанного, образование внутримассовой облачности нижнего яруса может быть связано с увеличением влажности в слое облакообразования за счет турбулентного переноса водяного пара вверх при

условии, что этот перенос ограничен в верхней части слоя облакообразования.

Причиной такого ограничения будет являться инверсия температуры, которая возникает в результате не связанных с облакообразованием процессов. В таком случае образуется подынверсионная облачность, представленная на рисунке 1.4.

Ее верхняя граница находится вблизи нижней границы слоя инверсии. В большинстве случаев такая облачность образуется в антициклонах, где в результате нисходящих упорядоченных вертикальных движений и растекания воздуха в слое трения возникают инверсии оседания.



Рисунок 1.4 - Схема (б) процесса образования внутримассовой облачности нижнего яруса по К.Г. Абромович

При продолжающемся опускании инверсии и сближении ее с уровнем конденсации уменьшается толщина облачного слоя за счет понижения его верхней границы. При невозмущенном слое инверсии образуются слоистые облака, при волновых движениях в данном слое — слоисто-кучевые облака. Размеры полей облачности, которые сформированы из слоистых и (или) слоисто-кучевых облаков, варьируются от десятков до тысяч километров и продолжают существование такие поля в районе нескольких суток.

Из-за колебаний нижней границы облачности, даже в близко находящихся пунктах возникают значительные разности высот облаков, что продемонстрировано на рисунке 1.5.

При одновременно производимых измерениях довольно хорошо наблюдается волновая структура нижней границы. В приведенном примере длина волны равна 1,5—1,7 км. Изменчивость высоты облаков над земной поверхностью связана с рельефом. Даже над незначительными возвышенностями высота облаков будет меньше, чем над равниной. Разница в высотах будет равна приблизительно половине высоты возвышенности.

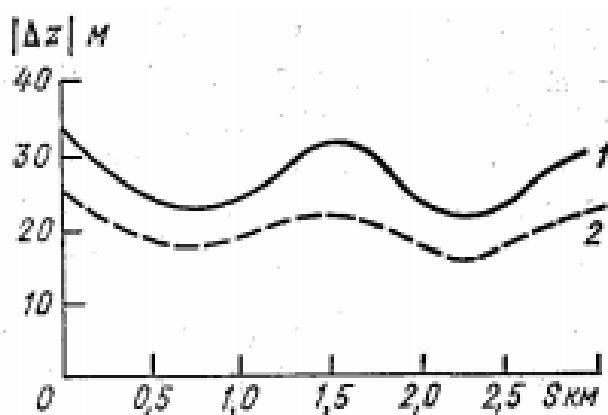


Рисунок 1.5 - Средняя абсолютная изменчивость нижней границы низкой облачности в зависимости от горизонтальной протяженности по М. В.

Рубинштейну

Высота низкой облачности испытывает колебания от нескольких минут до нескольких часов. Ориентировочно, по данным М. В. Рубинштейна, на интервалах времени 15, 30 и 60 мин изменение высоты нижней границы облаков составляет соответственно 12, 18 и 23 м, но в отдельных случаях может быть 100 м и более за несколько минут [4].

1.4. Основные методы прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности

К низкой внутримассовой неконвективной облачности относятся слоистые (St) и низкие слоисто-кучевые (Sc) облака. Высота нижней границы

этих облаков может находиться на высоте до 300 м от поверхности земли, где они часто переходят в туман.

Низкие облака слоистых форм типичны для теплых устойчивых воздушных масс. Они возникают, когда приземный слой воздуха достаточно увлажнен и происходит понижение температуры за счет теплообмена с подстилающей поверхностью.

В формировании низкой облачности большую роль играет хорошо выраженный турбулентный обмен, за счет которого совершается перенос влаги вверх под задерживающие слои.

Для образования такой облачности благоприятны тыловые и центральные части малоподвижных антициклонов, теплые сектора циклонов, размытые барические поля.

Основными исходными материалами при прогнозировании низких облаков считаются данные наземных наблюдений. Методика основывается на оценке развития синоптического процесса и на статистических связях характеристик низкой облачности со значениями ряда параметров. В настоящее время разработано достаточно много методов прогноза высоты нижней границы облаков [5].

Основным показателем образования низкой облачности является разность между фактической температурой T на данной станции (в данном районе) и точкой росы $T'd$ того района, откуда притекает воздух ($T - T'd$). Этот район определяется методом построения траекторий или любым другим способом. Если разность $T - T'd < 0$, то это означает, что в данный район поступает более теплый и влажный воздух, т. е. есть основание ожидать образования облачности [4].

Из-за того, что низкая облачность в большей степени зависит от местных условий, разработано много методов её прогноза, которые

рассчитаны для использования в различных регионах страны. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

1) Прогноз появления или сохранения низкой облачности с суточной заблаговременностью по методу А.К. Лугченко.

Статистически установлена связь между начальной температурой воздуха в пункте прогноза T_0 , ожидаемой температурой через сутки T и вероятностью появления низкой облачности (рисунок 1.6.).

Рисунок 1.6 - График для определения вероятности появления облаков высотой 200 м и ниже на Северо-Западе Европейской части России

Удовлетворительные результаты получаются для таких процессов, когда возникновение и развитие низкой облачности связано с адвекцией тепла.

2) Прогноз высоты низкой облачности по методу К.Г. Абрамович.

Для прогноза высоты нижней границы облаков с заблаговременностью 12ч над ЕЧР эмпирически получены критические значения адвективных изменений температуры воздуха.

Учитывая условие $|\delta T_a| > 6^\circ \text{C}$ за 12ч, при адвекции тепла и восходящих движениях воздуха стоит ожидать возникновение низкой облачности или ее резкое снижение, а при адвекции холода и нисходящих движениях – размывание облачности.

Если условия $|\delta T_a| \geq 4^\circ \text{C}$ за 12ч, то при адвекции тепла будет наблюдаться понижение имеющейся облачности, а при адвекции холода – её повышение.

Если $|\delta T_a| < 4^\circ \text{C}$ за 12ч, то в ближайшие 12ч полагается ожидать сохранение высоты облаков, но в таком случае нужно брать во внимание адвективные изменения дефицита точки росы. В случае если $\delta(T-T_d)_a > 0^\circ \text{C}$, то следует предсказать повышение имеющейся облачности, а при $\delta(T-T_d)_a < 0^\circ \text{C}$ – её понижение.

С большей уверенностью прогноз возникновения либо размывания низких облаков (200м и ниже) может быть дан, когда в начальной точке траектории дефицит точки росы при адвекции тепла (перед появлением облака) не более 2°C , а при адвекции холода (перед размыванием облака) – не менее 1°C . [5]

3) Прогноз высоты нижней границы облачности по методу Е.И. Гоголевой.

Значения температуры T и температуры точки росы T_d использованы Е.И. Гоголевой при построении графика для прогноза низкой облачности, который представлен на рисунке 1.7.

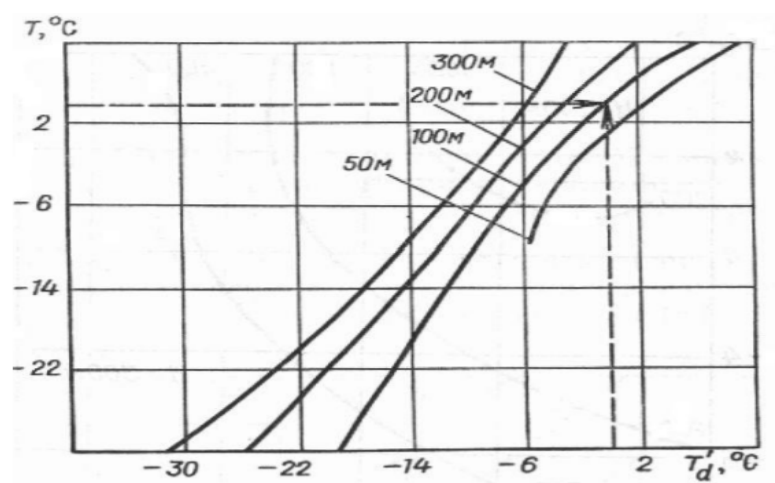


Рисунок 1.7 - График прогноза высоты нижней границы облаков по Е.И. Гоголевой

Здесь T — температура воздуха, $T'd$ — прогностическая температура точки росы.

Области с преобладанием облачности различной высоты разделены наклонными линиями. Метод разумно использовать, если наблюдается слабая изменчивость синоптической обстановки и довольно хорошо выражен перенос воздушных масс. Оптимальный срок прогноза по этому методу 9 ч, но можно разрабатывать прогнозы с заблаговременностью до 12 ч.

Также на основе метода Е.И. Гоголевой существует еще один метод для определения нижней границы облачности.

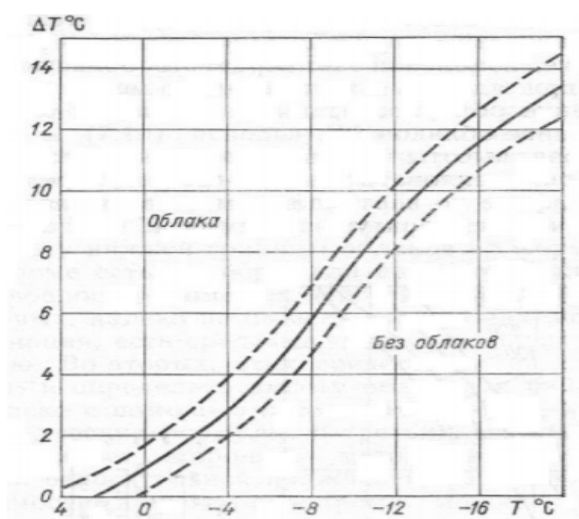


Рисунок 1.8 – График для прогноза нижней границы облаков 300 м и ниже при адвекции тепла в зимний период

График, представленный на данном рисунке, можно использовать для оценки возможного возникновения облачности с высотой нижней границы ≤ 300 метров в зимний период.

Здесь T — фактическая температура воздуха у земли,

ΔT — величина ожидаемого потепления.

Волнистые линии разграничивают две зоны: зону с наличием низких облаков и зону, в которую при попадании точки с исходными значениями T и ΔT следует указывать отсутствие низкой облачности.

4) Прогноз низкой облачности по методу З.А. Спарышкиной.

График для прогноза низкой облачности, предложенный З.А. Спарышкиной позволяет, имея значения температуры T_0' и температуры точки росы Td_0' в начале траектории переноса, определить возможность возникновения облачности высотой до 100 м (рисунок 1.9).

Оптимальным предварительным временем при прогнозировании данным методом будет 6 – 9 часов.

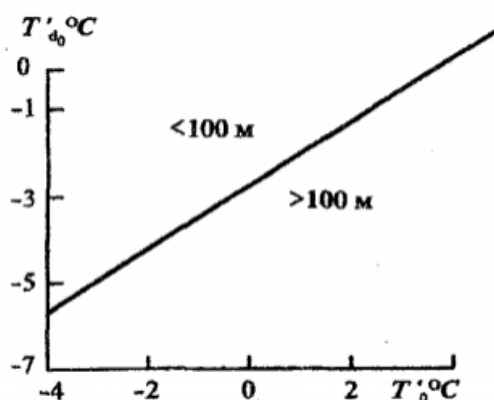


Рисунок 1.9 - График для прогноза облачности высотой до 100 метров по З.А. Спарышкиной

5) Прогноз высоты нижней границы облачности по методу ГАМЦ.

Сотрудниками ГАМЦ были разработаны методы прогноза нижней границы облачности, основывающиеся на адвективных изменениях температуры и точки росы, которые сведены к использованию графиков, представленных на рисунках 1.10 и 1.11.

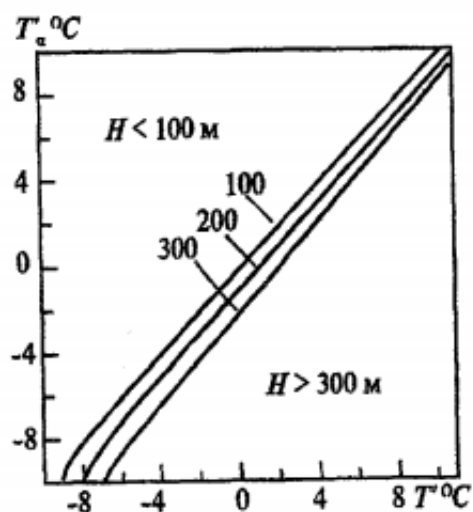


Рисунок 1.10 - График для прогноза высоты нижней границы облаков по прогностическим значениям температуры T' и температуры точки росы $T'd$

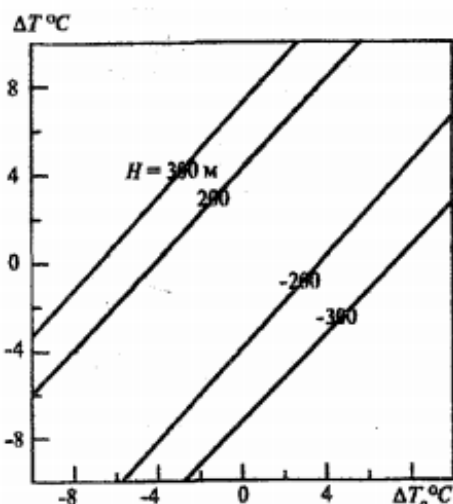


Рисунок 1.11 - График для оценки изменений высоты нижней границы облаков

По графику на рисунке 1.10 мы можем оценить высоту нижней границы облачности, исходя из прогностических значений температуры T' и температуры точки росы $T'd$.

На рисунке 1.11 представлен график, который позволяет оценить изменение высоты облачности, в зависимости от адвективных изменений температуры ΔT и температуры точки росы ΔTd . Данные графики представляют приемлемые результаты при прогнозе облачности на срок от 6 до 12 часов.

Высоту нижней границы облачности можно оценить также по ожидаемому характеру погоды синоптико-статистическим методом. Определено, что для средних широт Европейской части России при явлениях, ухудшающих видимость до 4 км, таких, как осадки и дымка, высота нижней границы облачности обычно не выше 100 - 200 метров. При видимости 1,5 - 4,0 км высота облачности расположена в пределах 60 -100 м, а при видимости менее 1,5 км - 30 - 60 м [6].

2. Условия образования низкой внутримассовой облачности на ЕЧР

2.1. Физико-географические, климатические и синоптические особенности ЕЧР

Европейская часть России занимает восточную часть Европы и составляет 40% всей её площади. В составе ЕЧР находятся Восточно-Европейская равнина, Кавказские и Уральские горы. Большую часть этой территории занимает Восточно-Европейская равнина. Север этой равнины окружают своими холодными водами Белое и Баренцево моря, на юге она омывается теплыми водами Азовского и Черного морей, а на юго-востоке – водами Каспийского моря. На западной границе располагается Балтийское море, на востоке равнина граничит с Уральскими горами, на юге с Кавказскими.

Большая часть территории находится в умеренном и субарктическом поясах, только некоторые части побережья Черного моря, Кавказа и Крыма расположены в субтропической зоне. Климат ЕЧР отличается ярко выраженным влиянием Атлантического океана. В районе Европейской части смена климата с запада на восток происходит быстрее, чем в Азиатской части. Это связано с тем, что морской умеренный воздух преобразуется в сухой континентальный.

Рассмотрим подробнее климатические особенности всех регионов Европейской части России.

- Северо-западная часть (Кольский полуостров, Карелия).

Зимой на арктическом фронте наблюдается активная циклоническая деятельность с преобладанием южных и юго-западных ветров, позволяющих проникать относительно тепловому воздуху. Нередко происходит потепление с повышением температуры до 2°C. В южной части Карелии, а также на западе Мурманского берега температура в январе доходит в среднем от –8 до –

10°C, может понизиться до –30°C в случае проникновения арктического воздуха. Среднее значение выпадающих осадков в месяц составляет 30 мм. Снежный покров сохраняется до 5 месяцев, его слой составляет примерно 60–70 см. Количество дней, в которые наблюдается пасмурная погода, доходит до 70%. Побережьям данного региона присущи штормовые ветры со скоростью до 20 м/с. Повышение температуры до положительных значений происходит во второй половине мая на севере и в первой половине мая на юге. Покрытые снегом регионы в северной части Кольского полуострова оттаивают в начале июня и в Карелии в начале мая. На Мурманском берегу в течение двух месяцев можно наблюдать полярный день, для Карелии характерны белые ночи. Так как деятельность циклонов протекает интенсивно, облачность прогрессирует.

Летом на территории данного региона сравнительно прохладнее, в особенности на побережьях озёр и морей. Температура июля в среднем достигает 14–16°C, на Мурманском берегу около 10°C. Количество осадков увеличивается и составляет уже около 70 мм. Количество дождливых дней в месяц может доходить до 18. Среднесуточная температура опускается до отрицательных значений в середине октября, однако первые заморозки случаются уже в августе. Кольский полуостров устойчиво покрывается снегом в середине октября, в Карелии снежный покров устанавливается в конце октября [7].

- Северо-восточная часть (Архангельская область, Республика Коми).

Отличительной особенностью данного региона является более выраженная континентальность климата, так как здесь более низкие зимние температуры и происходит резкое повышение летних температур при продвижении на юг.

Зима северо-восточной части является самой холодной и одной из наиболее снежных на территории ЕЧР. Средние температуры в январе от –

10 °С на западе до –20 °С на востоке. Количество осадков в среднем 20-25 мм, на севере около 15 мм, в предгорьях Урала порядка 30 мм. Снежный покров доходит до 70 см, в конце зимнего периода может достигать 100 см. В северо-восточной части региона снег может не таять более 7 месяцев. Значения скорости ветра довольно значительны, доходят до 7-10 м/с. Повышение температуры до положительных значений в центре происходит во второй половине апреля, а на севере в конце мая. Таяние снега приходится на июнь.

В конце мая и в начале лета зачастую наблюдаются заморозки, вызванные заходом на территорию арктического воздуха с Карского моря. Продвигающийся холодный воздух нагревается над материком. Температура июля в среднем 13–14 °С, а в южных районах Республики Коми доходит до 16–18 °С. В некоторые годы максимум температуры может достигать 30–35 °С, это обусловлено вторжением континентального воздуха. Осадки в основном длительные, но слабые, их количество составляет примерно 70 мм. Относительная влажность воздуха достаточно высокая, что является характерной чертой региона, днем она достигает 65-70%. Среднесуточная температура опускается до отрицательных значений уже во второй половине сентября. Снег выпадает и устойчиво покрывает поверхность в начале октября.

- Центральные области (Московская, Брянская, Владимирская, Ивановская, Тверская, Калужская, Костромская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тульская, Ярославская)

Характерными погодными условиями данных регионов является относительно холодная зима и сравнительно тёплое лето. По сравнению с северными частями ЕЧР тёплый период здесь сохраняется на 1–2 месяца дольше.

Зимой температура в январе в среднем находится в пределах от –9 до –11 °С. Иногда среднесуточная температура может повышаться до 5°С, такое

потепление связано с проникающими в регион циклонами с Чёрного моря. Из-за интенсивной деятельности циклонов на арктическом и полярном фронтах господствует облачная погода. Арктический воздух, проникая в данный район, обуславливает понижение температуры. Она может опускаться до -40°C при формировании зимних антициклонов. Количество осадков может составлять примерно 40 мм. В Московской области снежный покров достигает 50 см и лежит в течение 4 месяцев. Среднесуточные температуры повышаются во второй половине марта. Снег сходит в начале апреля.

Летом атлантический воздух начинает усиленно прогреваться. В июле средняя температура варьируется от 17 до 19°C , максимальная может достигать до 35°C . В среднем отмечается только примерно 20 дней за сезон со среднесуточной температурой больше 20°C . Относительная влажность воздуха днём составляет 50–60%. Пасмурных дней наблюдается около 50%. Осадки достаточно интенсивны и их количество в пределах от 90 до 100 мм. В некоторые годы возникают устойчивые антициклоны, с которыми связаны продолжительные периоды жары, а также засушливой погоды. Осенний период отмечается наиболее теплой погодой, чем весенний. В Московской области среднесуточная температура понижается до отрицательных температур в конце октября. Снег выпадет во второй половине ноября, но покров остаётся неустойчивым до середины декабря. Облачность увеличивается в октябре и к ноябрю число пасмурных дней 80% [7].

- Восточная часть (Среднее Поволжье, Татарстан, Башкирия, Среднее Предуралье)

От центральных областей данный регион отличается большей континентальностью климата.

Зимний период холоднее, чем в центральных областях, в январе средние температуры в нижнем течении реки Кама -15°C , в верхнем -17°C , минимальная температура доходит до -50°C . Количество осадков в среднем

за месяц 30–40 мм. Снег залегает в Среднем Предуралье длительностью до 6 месяцев, покров составляет порядка 70-90 см. Среднесуточная температура повышается до положительных значений во второй половине мая – начале июня. Снежный покров сходит примерно на полмесяца позднее, чем в центральных областях.

Летний период довольно теплый, в отдельных случаях жаркий. В Татарстане в июле средняя температура 20°C, в южных районах Среднего Поволжья 22 °C, максимум до 40°C. Дней со среднесуточной температурой больше 20 °C около 40, а в регионах южнее примерно 50. В Среднем Поволжье в июле месяце выпадает около 60 мм осадков, в предгорьях Урала до 80 мм. В Среднем Поволжье, Татарстане и Башкирии осадков намного меньше, всего 15-30 мм. Температура понижается до отрицательных значений в начале октября. Снежный покров наиболее устойчив в начале ноября.

- Южная часть (Северный Кавказ, Черноморское побережье Кавказа, Крымский полуостров).

Западная часть данного региона отличается более мягкой зимой, чем восточная. Количество дней, в которые сохраняется отрицательная температура на востоке, равняется 90–95, на западе 60–65, в горах до 130. Климат Северного Кавказа относится к умеренно континентальному.

Из-за преобладания восточноевропейского воздуха зима в регионе холодная, наблюдаются непродолжительные вторжения арктического и атлантического воздуха, с приходом которых температура опускается до -30°C. Частыми являются такие явления, как туманы, изморозь и гололёд. В январе в центре предгорной зоны температура в среднем от -4 до -6 °C. Самые значительные минимальные температуры могут достигать -32 °C в Ессентуках, -35, -36 °C в Нальчике. В Дагестане, расположенном на востоке предгорной зоны январская осредненная температура от -4 до 0 °C, абсолютный минимум -26 °C в Махачкале. Осадков наблюдается малое

количество, из-за ослабления циклонической деятельности, всего 20-30 мм. Высота снежного покрова небольшая, в районе 10-20 см. В определенные годы может не наблюдаться устойчивого снежного покрова. В начале апреля температура поднимается до положительных значений.

Летом сухо и жарко. В Дагестане средняя температура в июле 20–25 °С, максимум 42 °С. Зачастую в данный регион приходит сухой воздух прикаспийских пустынь, из-за чего здесь мало осадков, в районе 15-20 мм, в горах с высотой их количество возрастает до 40–50 мм. Пасмурных дней на равнинной части и в горах наблюдается 25% и 50% соответственно. 6-8 дней в месяце на значительной территории региона отмечаются грозы. Осадки прежде всего носят ливневый характер, нередко сопровождаются шквалистыми ветрами. На востоке региона повышается повторяемость суховеев, которые переходят в пыльные бури. Температура переходит к отрицательным значениям на равнинах во второй половине ноября, а в горах раньше.

На Черноморском побережье Кавказа образуются характерные климатические условия близкие к средиземноморским.

Зимой средняя температура января составляет 2–5 °С, тем не менее в районе Новороссийска она может опускаться до –25 °С вследствие вторжения северных воздушных масс. В зимний период выпадает 50–55% годового количества осадков.

Лето тёплое и сухое, в июле средняя температура достигает 23–24 °С. За счет тёплого незамерзающего Черного моря и горам, которые закрывают побережье с севера, тёплый период в районе Сочи длится около 270 дней. В Новороссийске из-за вторжений холодного воздуха возникает сильный опасный ветер, скорость которого достигает 40-60 м/с. Равнинной части Крымского полуострова присущ умеренно континентальный климат, Южному берегу – субтропический с чертами средиземноморского.

Зима непродолжительная и мягкая, в горах относительно холодная. В январе температура на равнинной части от -2 до 0 °C (минимум $-36,8$ °C в посёлке Нижнегорский), в северных предгорьях $-1,5$ – (-2) °C, на Южном берегу 2 – 4 °C. Снежный покров образовывается на склонах гор высотой около метра и выше. На равнинах и предгорьях снег бывает только в многоснежные зимы и лежит не больше месяца.

Лето долгое и жаркое, в горах относительно жаркое. В июле на равнинах температура доходит до 23 °C (абсолютный максимум $40,7$ °C в селе Клепинино), в северных предгорьях 22 °C, на Южном берегу $23,5$ – 24 °C. Теплый период продолжается на равнинах 170–225 дней, в предгорьях Крымских гор 150–240 дней, на Главной гряде 150–180 дней, на Южном берегу 230–260. Крым в общем является недостаточным увлажненным, количество осадков в среднем за год составляет здесь 350–450 мм, на западе Крымских гор и на Южном берегу – от 500 до 600 мм; на Главной гряде увеличивается до 1000–1500 мм. Максимальное количество осадков приходится на июнь – июль, на Южном берегу и яйлах западной цепи – на январь – февраль.

- Юго-восточная часть (Нижнее Поволжье, Прикаспийская низменность)

Данный регион выделяется наибольшей континентальностью климата на всей ЕЧР. Сюда из Азиатской части приходят воздушные массы, снижающие летом влажность воздуха, а зимой температуру.

В Саратове температура в январе -13 °C, в Астрахани -6 °C. Температура воздуха может снизиться до -40 °C, а у берегов Каспия до -30 °C. На западе Прикаспийской низменности условия зимы более мягкие, за счет ветров, приходящих с центральной части моря. Снежный покров здесь более устойчив, нежели на юге ЕЧР, в северных районах доходит до 50 см. Сходит он в первой половине апреля. Температура воздуха может повышаться до 30 °C в результате проникновения на территорию суховея с

южной части Казахстана. В редких случаях могут происходить похолодания, возможны ночные заморозки на севере низменности.

Летом сухо и жарко. Умеренный воздух изменяется на континентальный субтропический в результате ослабления циклонов. В июле среднемесячная температура в пределах 23–25 °С, максимум может достигать 40 °С. В месяц выпадает порядка 30 мм осадков в северной части и около 15 мм на юге. Для юго-восточных регионов характерны суховеи. В осенний период происходит резкое понижение температуры. На севере появляются первые заморозки в первой половине сентября на севере и в начале октября на юге. В октябре наблюдается несколько дней с температурой ниже 0 °С. В ноябре температура в среднем отрицательная, кроме южной территории. Температура полностью опускается до отрицательных температур и устанавливается во второй половине октября. В середине ноября на севере фиксируется устойчивый снежный покров, на юге же только в середине декабря.

Урал не относят в отдельную климатическую область, в силу того, что данная горная система расположена в нескольких поясах одновременно. Полярный Урал находится в арктическом и субарктическом климатических поясах, Северный Урал, Средний Урал и Южный Урал – в умеренном.

Для зимы Северного Урала характерны проходящие циклоны арктического фронта. К югу возрастает роль циклонов, продвигающихся с Черного и Каспийского морей. В январе на севере региона температура в среднем составляет от –18 до –20 °С, в центре –16, –17 °С, на юге –15 °С. Минимальные значения колеблются от –45 °С на юге до –55 °С на восточных склонах Северного Урала. На Южном Урале может наблюдаться повышение температуры до 8 °С, для севера это редкость. В месяц выпадает порядка 30–40 мм осадков. На Северном и Среднем Урале высота снежного покрова достигает до 90–100 см, а на Южном Урале не выше 40 см. Температура повышается до положительных значений в середине мая на севере и в

середине апреля на юге. Таяние снега происходит в начале мая в северных регионах, в марте в южных частях.

Летом увеличивается облачность, вследствие господствующих циклонов, продвигающихся с запада и северо-запада. В июле температура изменяется от 10 °С на Северном Урале до 20 °С на Южном Урале. Максимум доходит на севере до 35 °С, а на юге составляет 42 °С. Осадков выпадает в среднем от 70 до 100 мм. Осень характеризуется пасмурной, дождливой погодой, особенно в северной части региона. Температура опускается до отрицательных значений в середине августа на севере, в середине сентября в центре и во второй половине сентября на юге. Снежный покров наиболее устойчив с конца октября на Северном Урале и в первой половине декабря в южной части [7].

2.2. Синоптические ситуации при формировании низкой облачности

Вероятность выделения основных и дополнительных физических процессов, способствующих образованию низких облаков, определяется характером синоптического процесса, наличием или отсутствием осадков и свойствами подстилающей поверхности. В зависимости от синоптического положения низкую облачность можно разделить на внутримассовую и фронтальную.

К внутримассовым процессам образования низкой облачности относятся:

- Периферия антициклона при адвекции теплого воздуха, теплый сектор циклона.
- Периферия антициклона при адвекции холода, включая и тыл циклона.
- Ось гребня и центр антициклона.

К фронтальным процессам:

- Теплые фронты и фронты окклюзии по типу теплого фронта.
- Холодные фронты 1-го рода с волнами [8].

На основе прогноза синоптического положения создается прогноз количества и формы облаков. Для различных типов синоптических процессов характерно наличие следующего количества облаков по градациям.

1. Ясно (0 баллов) - характерно для областей высокого давления, зачастую в теплом секторе циклона, обычно летом, и в тылу циклона в ночной период при недостаточно увлажненном воздухе.

2. Небольшая облачность (0-3 или 2-5 баллов) - условия сходны с теми, которые представлены для ясной погоды, только здесь воздух должен быть более влажным. Слоисто-кучевые облака и приподнятый туман характерны для утреннего и вечернего времени суток.

3. Переменная облачность (3-7 или 6-9 баллов) - характерна для неустойчивых хорошо увлажненных воздушных масс в тылу циклонов в холодное время года, в теплом секторе циклона в теплый период, также в антициклонах и малоградиентных барических полях. Слоистые и слоисто-разорванные облака являются характерными для данной градации.

4. Резко меняющаяся облачность (0-10 баллов) - такого рода условия встречаются при неустойчивых холодных воздушных массах в тыловой части циклона, а также при прохождении вторичных холодных фронтов. Основными здесь являются кучево-дождевые облака, между проходящими облаками могут образовываться прояснения. Кучево-дождевая облачность здесь чаще всего сочетается со слоистыми разорванными облаками.

5. Облачная с прояснениями погода (7-10 баллов) - в данном случае условия такие же, как при переменной облачности, отличительной

особенностью является преобладание слоисто-кучевых облаков. Характерны здесь размытые фронты и процессы, уменьшающие неустойчивость воздушных масс.

6. Значительная облачность (8-10 баллов) - градация характерна для тех же условий, что и предыдущая, только в данном случае облачность развивается еще больше.

7. Сплошная облачность (10 баллов) - в любое время года встречается около центра циклонов, перед линией теплого фронта, а также может наблюдаться в районе фронтов окклюзии, в тёплом секторе циклонов и на окраине антициклонов, может также находиться в центре антициклона в холодный период при достаточной увлажненности воздуха. Слоистые и слоисто-кучевые облака являются одними из характерных для данных условий [8].

Облачность слоистых, слоисто-дождевых, слоисто-кучевых форм в холодный период года встречается перед тёплыми фронтами и фронтами окклюзии, в центральных частях и в тёплых секторах циклонов, в тыловой и центральной частях малоподвижных антициклонов, на северной периферии антициклонов. В тёплую половину года такие облака наблюдаются перед тёплыми фронтами и в центральных частях циклонов [9].

На рисунке 2.1., представленном ниже, проиллюстрированы условия погоды в различных частях циклона.

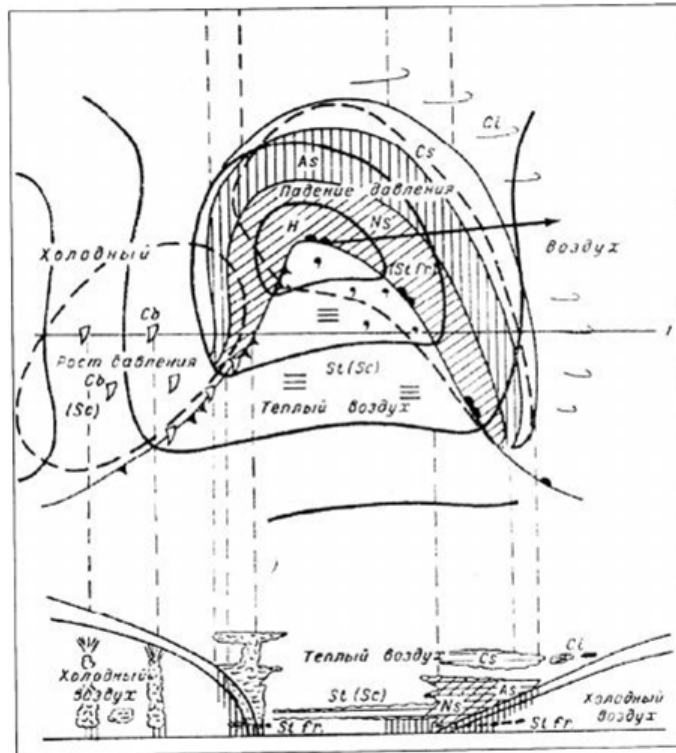


Рисунок 2.1 - Условия погоды в различных частях молодого циклона

Внутримассовая облачность не связана с системой атмосферных фронтов и с восходящим движением воздуха над какой-либо поверхностью раздела. Такие облака возникают при взаимодействии воздушной массы напрямую с подстилающей поверхностью или в результате адвекции облачных систем из таких барических образований, как циклоны и ложбины.

Облачный характер в таких системах обуславливается степенью устойчивости и влажности атмосферного воздуха, наличием или отсутствием слоев инверсий, тепловым состоянием подстилающей поверхности. Также большое значение имеет характер вертикальных движений. В антициклонах, где преобладают нисходящие движения, часто наблюдается ясная погода или тонкие подынверсионные слоистые и слоисто-кучевые облака.

Типичные синоптические ситуации при образовании низкой облачности приведены на рисунках в Приложении А.

2.3. Повторяемость низкой внутримассовой неконвективной облачности

В глобальном масштабе кучево-дождевые облака встречаются чаще, чем слоисто-дождевые. Повторяемость данных типов облачности над континентом примерно на 20–30% ниже, чем над океаном. Также стоит отметить, что в высоких широтах повторяемость кучево-дождевой и слоисто-кучевой облачности выше, чем в низких. В общей сложности слоистые облака наблюдаются реже, чем слоисто-дождевые и особенно слоисто-кучевые. Это связано с тем, что слоисто-кучевая облачность образуется при самых различных ситуациях, например при размывании фронтов, при растекании кучевых облаков, под слоями инверсий.

Если рассматривать данные типы облачности относительно сезонов года, можно отметить, что большую повторяемость они имеют в зимний период и наименьшую в летний. Это происходит вследствие ослабления деятельности циклонов, уменьшения температурных контрастов в летний сезон и развития условий менее благоприятных для образования слоистых и слоисто-кучевых облаков. В числе других форм низкой облачности особенно низкая повторяемость слоистых облаков, а чаще всего наблюдаются слоисто-кучевые как летом, так и в другие сезоны. Повторяемость слоистых облаков в зимний период несколько выше, чем в летний.

Зимой, в холодной и менее подвижной атмосфере, повторяемость слоистой облачности возрастает над европейской территорией России до 19%. Летом при увеличении конвективных или волновых движений в атмосфере образуются не слоистые, а слоисто-кучевые облака. В это время повсюду над территорией России и сопредельных государств повторяемость слоистой облачности равна всего 2,8%. Зимой большая повторяемость слоисто-кучевых облаков наблюдается над Кавказом и составляет 32%.

Повторяемость слоистообразной низкой облачности на европейской территории России сильно варьируется от одного региона к другому в зависимости как от циркуляции атмосферы, так и от местных условий. Влияние местных условий зачастую выражено очень сильно, и не всегда легко объяснимо.

В суточном ходе низкой облачности почти везде выражен ночной максимум, что является характерным следствием присутствия ночных инверсий температуры [10].

3. Прогнозирование низкой внутримассовой неконвективной облачности на ЕЧР

Сложная структура нижней границы облаков, а также зависимость её высоты от характера воздушных масс, рельефа местности и еще многих факторов приводит к тому, что на данный момент существует довольно большое разнообразие методов прогноза высоты нижней границы облаков, использовать которые можно только после основательной проверки.

В своей работе я выбрала для проверки метод Е.И.Гоголевой и график из другого метода, основанного на вышесказанном.

В качестве исходных материалов были взяты метеоданные, приземные синоптические карты и карты барической топографии, записанные на электронном носителе из архива погоды кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ для Петрозаводска за период с 2017 по 2019 гг. и для 19 станций на всей ЕЧР за период 2016 – 2021 гг.

3.1. Проверка метода Е.И. Гоголевой для прогноза низкой облачности в Петрозаводске

Для проверки оправдываемости прогноза низкой облачности сначала я решила посмотреть, как работает метод Е.И. Гоголевой, о котором уже шла речь в первом разделе данной работы. Рассматриваемым пунктом была выбрана метеостанция в г. Петрозаводске.

Прогноз высоты нижней границы облаков базируется на оценке развития синоптического процесса и на связи характеристик низкой облачности со значениями некоторых параметров. Типичные синоптические ситуации приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Типовые синоптические ситуации при наличии низкой внутримассовой неконвективной облачности.

Синоптическая ситуация	Количество случаев	P, %
Антициклон	51	49,5
Перифирия антициклона	18	17,5
Барический гребень	13	12,6
Теплый сектор циклона	6	5,8
Передняя часть циклона	15	14,6

Необходимыми предикторами для данного метода явились температура воздуха и прогностическая температура точки росы. Было отобрано и спрогнозировано 103 случая наличия низкой облачности ≤ 300 м, исходные данные, взятые за период с 2017 по 2019 гг. представлены в Приложении Б.

Затем выбранные данные я нанесла на график, который показан на рисунке 1.7 первого раздела. Далее при сравнении прогнозируемых данных и фактически наблюдавшейся высоты нижней границы облачности было выявлено, что по методу Гоголевой оправдалось 70 случаев, что составило 68% от общего числа, и не оправдалось соответственно 33 случая, а значит 32%.

3.2. Проверка графика на основе метода Е.И. Гоголевой для прогноза низкой облачности на территории ЕЧР

Далее я решила рассмотреть другой метод, основанный на методе Е.И. Гоголевой. На него я сделала больший упор в своей работе. Для проверки был выбран график, представленный на рисунке 1.8 первого раздела, который предназначен для прогноза нижней границы облаков 300 метров и ниже при адвекции тепла в зимний период.

В качестве пунктов прогноза я выбрала 19 станций на европейской территории России: Бологое, Сегежа, Кирши, Новгород, Крестцы, Санкт-Петербург, Тихвин, Архангельск, Онега, Калевала, Кандалакша, Петрозаводск, Валдай, Мезень, Вологда, Коневое, Осташков, Няндомо, Красный Холм.

Данный график построен с учетом таких предикторов, как фактическая температура воздуха у земли и величина ожидаемого потепления. Мною были подобраны исходные данные: температура воздуха и температура точки росы (за 00 часов) и прогностические (за 9 часов), а также рассчитано изменение температуры воздуха за этот период. Всего выбрано 125 случаев, 63 случая наличия низкой облачности (≤ 300 м) и 62 случая отсутствия таковой (выше 300 м) в период с 2016 по 2021 гг. Таблицы Б.2 и Б.3 с исходными данными представлены в Приложении Б.

После проверки графика оказалось, что из 63 случаев наличия явления оправдался 31(49%) и не оправдалось 32 случая (51%).

Из 62 случаев отсутствия явления оправдалось 54(87%) и не оправдалось соответственно 8 случаев (13%). Общая оправдываемость составила 68%. График с нанесенными данными представлен ниже на рисунке 3.1.

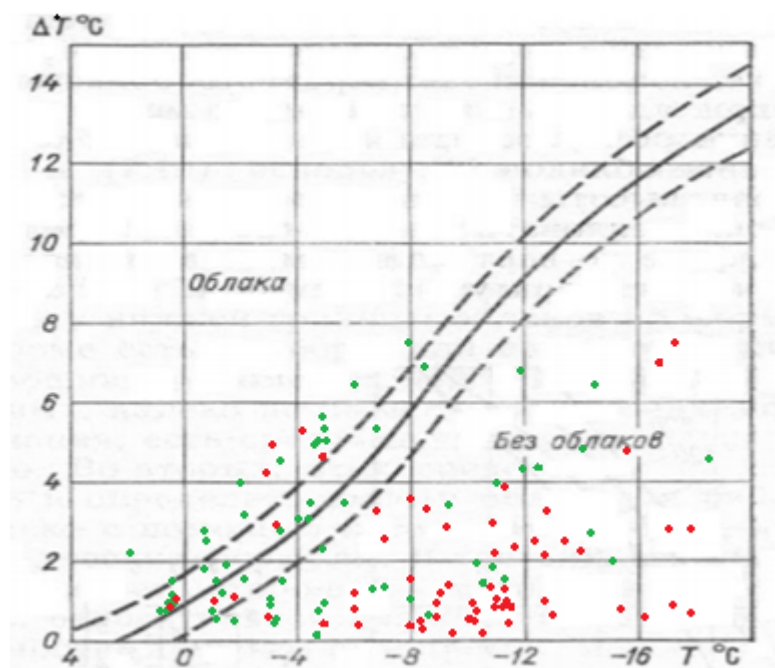


Рисунок 3.1 - График для прогноза нижней границы облаков 300 м и ниже при адвекции тепла в зимний период по выбранным данным

На данном графике зеленым цветом нанесены случаи наличия явления, а красным случаи отсутствия.

Исходя из результатов, можем наблюдать низкий процент оправдываемости наличия явления, который может объясняться тем, что данный график не совсем подходит именно для выбранной территории, вследствие чего я решила уточнить график.

После уточнения оправдываемость наличия явления увеличилась до 55 случаев, что составило 87% от 63 случаев в общем, а оправдываемость отсутствия явления получилась 63%, т.е. 39 случаев из 62 рассмотренных. Уточненный график представлен на рисунке 3.2.

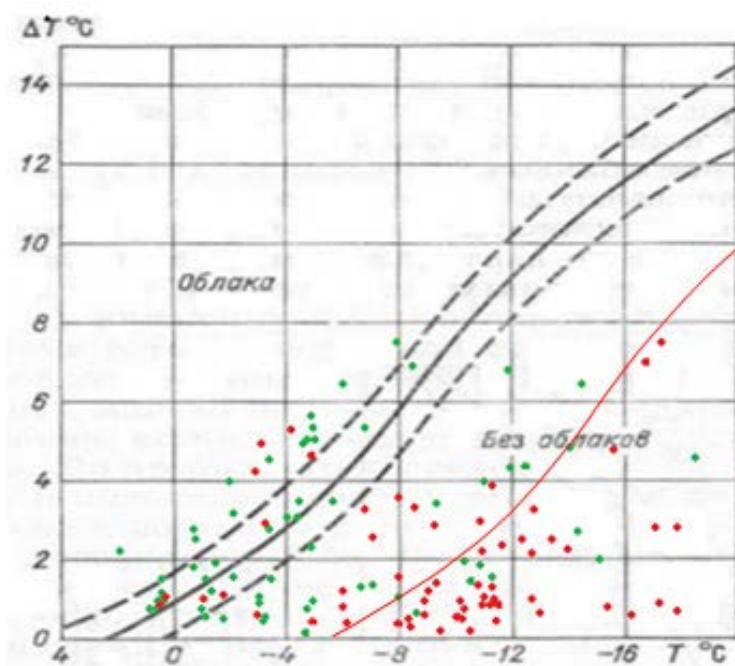


Рисунок 3.2 – Уточненный график для прогноза нижней границы облаков 300 м и ниже при адвекции тепла в зимний период для ЕЧР

Красная кривая - это перенесенная граница между зоной «облака» и «без облаков». Зеленые точки также обозначают случаи наличия явления, а красные – случаи отсутствия.

3.3. Критерии успешности для оценки эффективности использования метода прогноза

Для оценки успешности прогнозов по выбранному мной второму методу я использовала матрицу сопряженности, общий вид которой показан в таблице 3.2, а также посчитала критерии успешности по формулам (3.1) – (3.8), которые также приведены ниже [11].

Таблица 3.2 – Общий вид матрицы сопряженности.

	Явление прогнозировалось	Явление не прогнозировалось	Σ
Явление было	n_{11}	n_{12}	n_{10}
Явления не было	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Σ	n_{01}	n_{02}	N

n_{11} – число случаев оправдавшихся прогнозов наличия явления: явление прогнозировалось и фактически наблюдалось;

n_{21} – число случаев неоправдавшихся прогнозов наличия явления: явление прогнозировалось, но фактически не наблюдалось;

n_{01} – общее число случаев, когда явление прогнозировалось;

n_{12} – число случаев неоправдавшихся прогнозов отсутствия явления: явление не прогнозировалось, но фактически наблюдалось;

n_{22} – число случаев оправдавшихся прогнозов отсутствия явлений: явление не прогнозировалось и фактически не наблюдалось;

n_{02} – общее число случаев, когда явление не прогнозировалось;

n_{10} – общее число случаев, когда явление было;

n_{20} – общее число случаев, когда явления не было;

N – общее число всех случаев.

Формула общей оправдываемости в процентах :

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} * 100, \quad (3.1)$$

Формула оправдываемости прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\% \quad (3.2)$$

Формула предупрежденности факта наличия явления:

$$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\% \quad (3.3)$$

Формула оправдываемости прогноза факта отсутствия явления:

$$U_{оя} = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\% \quad (3.4)$$

Формула предупрежденности факта отсутствия явления:

$$\Pi_{оя} = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\% \quad (3.5)$$

Критерий точности прогнозов по А.М. Обухову рассчитываются по формуле:

$$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right), \quad (3.6)$$

Этот критерий показывает долю точных, успешных прогнозов при известной повторяемости фаз погоды.

Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{P - P_{сл}}{1 - P_{сл}}, \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} P_{сл} &= \frac{n_{11}^{сл} + n_{22}^{сл}}{N} * 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \\ &* 100 = \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} * 100, \end{aligned} \quad (3.8)$$

где $n_{11}^{сл} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{сл} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ – число случайно оправдавшихся прогнозов.

Данный критерий характеризует относительное приращение общей оправдываемости оцениваемых прогнозов к максимально возможному.

По данным за 2016-2021 гг. на территории ЕЧР была построена матрица сопряженности прогноза низкой облачности (таблица 3.3) и рассчитаны критерии успешности (таблица 3.4).

Таблица 3.3 - Матрица сопряженности прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности по данным ЕЧР с 2016 по 2021 гг.

	Низкая облачность прогнозировалась	Низкая облачность не прогнозировалась	Σ
Низкая облачность была	55	23	78
Низкой облачности не было	8	39	47
Σ	63	62	125

Общее число случаев составляет 125, из которых 63 случая с низкой облачностью и 62 случая без низкой облачности. Низкая облачность прогнозировалась и была по факту - 55 случаев. Низкая облачность прогнозировалась, но фактически не наблюдалась - 8 случаев. Низкая облачность не прогнозировалась, но фактически наблюдалась - 23 случая. Низкая облачность не прогнозировалась и не наблюдалась - 39 случаев.

Таблица 3.4 - Критерии успешности прогноза низкой внутримассовой неконвективной облачности.

Критерии успешности прогнозов низкой облачности	Значения критериев успешности
Общая оправдываемость низкой облачности, Р %	75
Оправдываемость случайных прогнозов, Р _{сл} %	50
Оправдываемость прогноза факта наличия низкой облачности, U %	71
Предупрежденность факта наличия низкой облачности, П%	87
Оправдываемость прогноза факта отсутствия низкой облачности, U _{оя} %	83
Предупрежденность факта отсутствия низкой облачности, П _{оя} %	63
Критерий точности прогнозов А.М. Обухова	0,53
Критерий надежности прогнозов Н.А Багрова	0,50

Рассчитанные значения по формулам (3.1) – (3.8):

$$p = \frac{55 + 39}{125} * 100 = 75,2 \approx 75\%$$

$$p_{сл} = \frac{78 * 63 + 47 * 62}{125^2} * 100 = 50\%$$

$$U = \frac{55}{78} * 100\% = 71\%$$

$$\Pi = \frac{55}{63} * 100\% = 87\%$$

$$U_{o.я} = \frac{39}{47} * 100\% = 83\%$$

$$P_{o.я} = \frac{39}{62} * 100\% = 63\%$$

$$Q = 1 - \left(\frac{23}{78} + \frac{8}{47} \right) = 0,53$$

$$H = \frac{75\% - 50\%}{1 - 50\%} = 0,50$$

Результаты расчетов критериев успешности прогноза наличия и отсутствия низкой облачности по методу, основанному на методе Е.И. Гоголевой показали, что оправдываемость прогноза факта наличия низкой облачности составила 71%; предупрежденность факта наличия явления - 87%; оправдываемость прогноза факта отсутствия явления - 83%; предупрежденность факта отсутствия явления - 63%.

Критерии точности А.М. Обухова и надежности Н.А. Багрова оказались равными 0,53 и 0,50 соответственно. Число случайно оправдавшихся прогнозов составило 50%. Общая оправдываемость прогнозов низкой облачности - 75%.

После уточнения графика на рисунке 3.1 оправдавшиеся случаи наличия явления увеличились на 38%, оправдавшиеся случаи отсутствия явления снизились на 24%, общая оправдываемость повысилась на 7%.

Заключение

В данной работе были подробно изучены виды низкой внутримассовой неконвективной облачности, условия их образования, зависимость от ряда факторов, таких как климатические и синоптические особенности, а также пространственная и временная изменчивость. Вместе с тем были изучены методы для прогноза низкой облачности. Подобранны данные и более подробно рассмотрены два метода прогнозирования. Анализируя проделанную работу можно сделать следующие выводы:

- По методу Е.И. Гоголевой оправдалось 68% рассмотренных случаев, это является неплохим показателем, однако из-за того, что были рассмотрены только случаи наличия явления, нельзя однозначно утверждать об успешности данного метода

- Более подробно был рассмотрен другой метод, основанный на методе Е.И. Гоголевой, график которого используется для прогноза нижней границы облаков 300 м и ниже при адвекции тепла в зимний период. Для проверки данного графика были подобраны как случаи наличия явления, так и случаи его отсутствия, также этот график был уточнен для изучаемой территории, что повысило общую оправдываемость на 7 %, исходя из более детальной проверки, можно сказать, что в общем этот метод можно использовать, так как процент общей оправдываемости составил 75. Прогноз данным методом не идеальный, но близок к успешному, о чем говорят рассчитанные критерии: критерий точности М.А. Обухова составил 0,53 (точными считаются прогнозы с критерием 0,6 и выше), критерий надежности Н.А. Багрова оказался равным 0,50 (надежными считаются прогнозы с критерием равным 0,6 и выше).

- Процент не оправдавшихся прогнозов может быть связан с рядом факторов, одними из которых являются большая изменчивость облачности, которая при отсутствии информации о её пространственном распределении

создает дополнительные трудности. Еще к одной из основных проблем прогноза могут служить сложные связи процессов облакообразования с состоянием и изменением полей таких метеорологических величин, как температура, влажность, ветер, вертикальные движения воздуха. Применительно к проделанной работе на недостаточный процент оправдываемости влияют данные, определяемые визуальным методом, так как вероятность их точности очень мала.

Исходя из поставленной цели и задач, в результате проделанной работы я:

- ознакомились с условиями образования низкой внутримассовой неконвективной облачностью и проанализировала их, основными аспектами образования являются адвекция теплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность и турбулентное перемешивание

- подготовила исходные данные для анализа и прогноза данной облачности

- произвела проверку методов:

- а. метод Е.И. Гоголевой, в результате проверки оправдываемость наличия явления оказалась 68%

- б. другого метода, на основании метода Е.И. Гоголевой, в результате получила общую оправдываемость прогнозов 75 %, критерий точности 0,53, критерий надежности 0,5, данные методы оказались не особо успешными, но близкими к надежным.

Данные результаты могут быть использованы для уточнения и более тщательной проверки методов.

Список использованных источников

1. Атлас облаков / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова ; [Д. П. Беспалов и др. ; ред.: Л. К. Сурыгина]. – Санкт-Петербург : Д’АРТ, 2011. – 248 с.
2. О. Г. Богаткин, В. Д. Еникеева. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 270с.
3. Андреев А. О. Дукальская М. В., Головина Е. Г. Облака: происхождение, классификация, распознавание / Под ред. д-ра геогр. наук А. И. Угрюмова. Учебное пособие. СПб, изд. РГГМУ, 2007. - 228с.
4. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
5. Практикум по синоптической метеорологии /Под ред. В.И. Воробьева СПб.: Изд-во РГГМУ, 2006. – 304с.
6. Богаткин О.Г. Информационно - справочная книга авиационного метеоролога. - СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 220 с.
7. Большая российская энциклопедия, Электронный ресурс:
<https://bigenc.ru/physics/text/5556638>
8. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 711 с.
9. Севастьянова Л.М., Ахметшина А.С. Методы краткосрочных прогнозов погоды общего назначения. Учебное пособие. — Томск: Издательский Дом ТГУ, 2014. — 268 с.
10. Рыбакова Ж.В. Облака и их трансформация / науч. ред. И.В. Кужевская. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2020. – 234 с.
11. Дробжева Я.В., Волобуева О.В. Метеорологические прогнозы и их экономическая полезность.:учебное пособие /Дробжева, Волобуева. – СПб.: Адмирал, 2016. – 116 с.

Типовые синоптические ситуации при возникновении низкой облачности на СЗ ЕЧР.

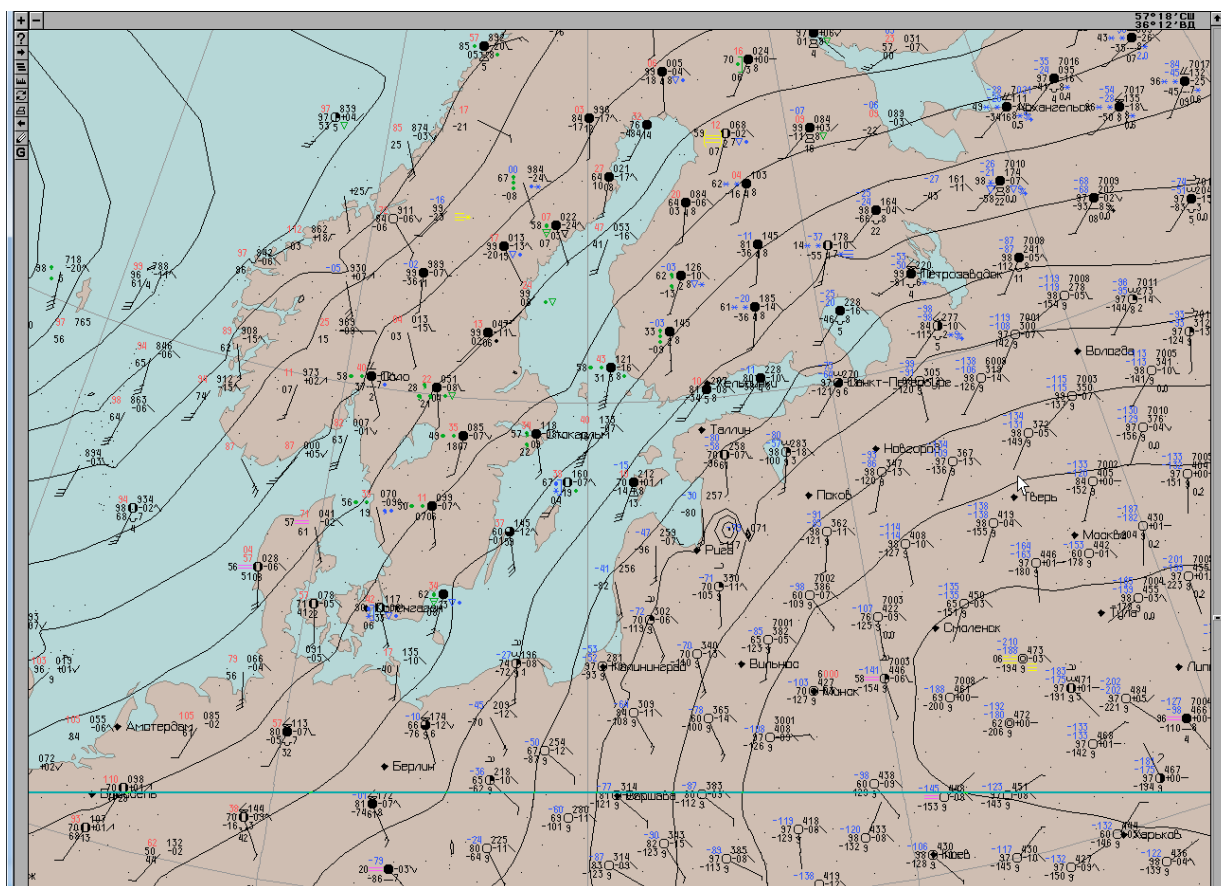


Рисунок А.1 - Синоптическая ситуация над ЕЧР. Северо-Западная периферия антициклона 31.11.2018 г 03ч

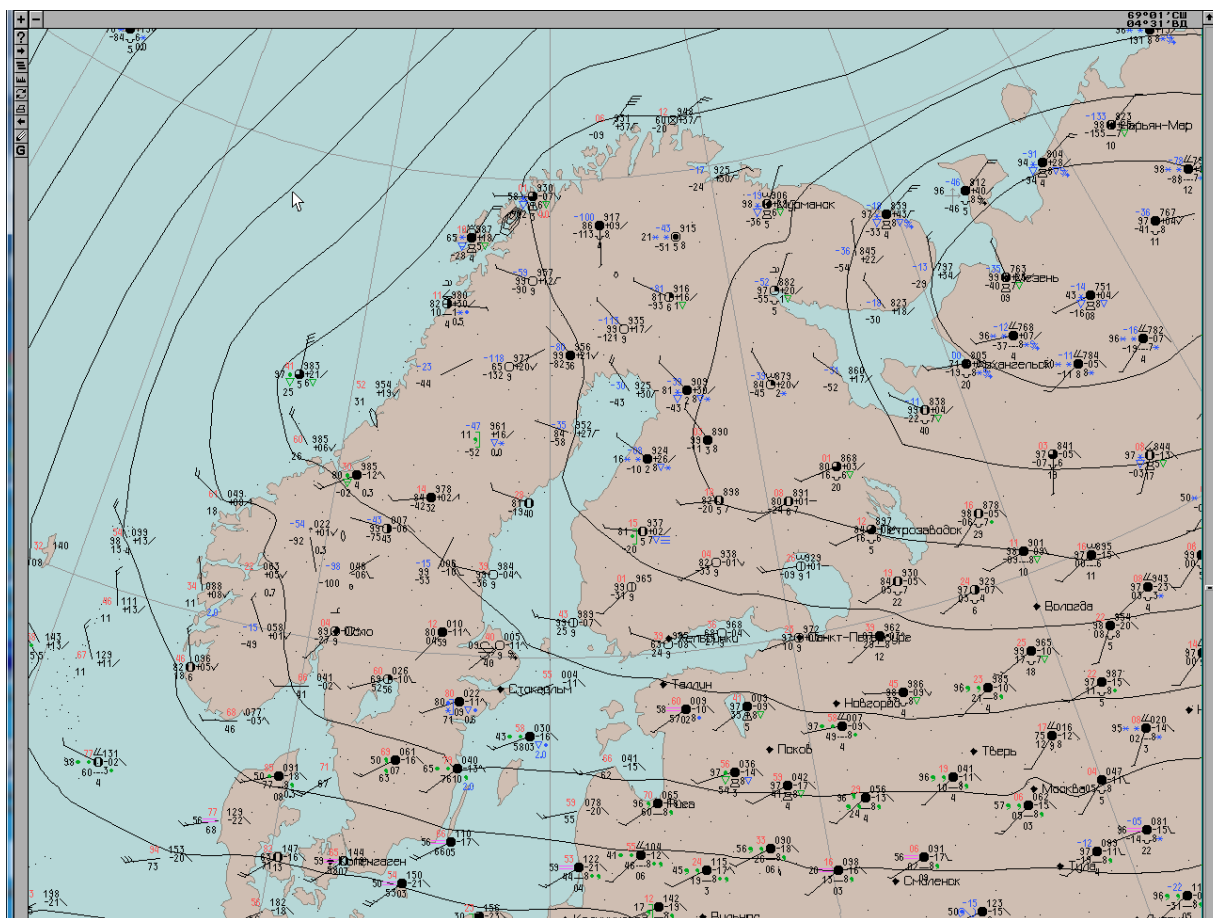


Рисунок А.2 - Синоптическая ситуация над ЕЧР. Теплый сектор циклона
01.01.2017 за 00 ч

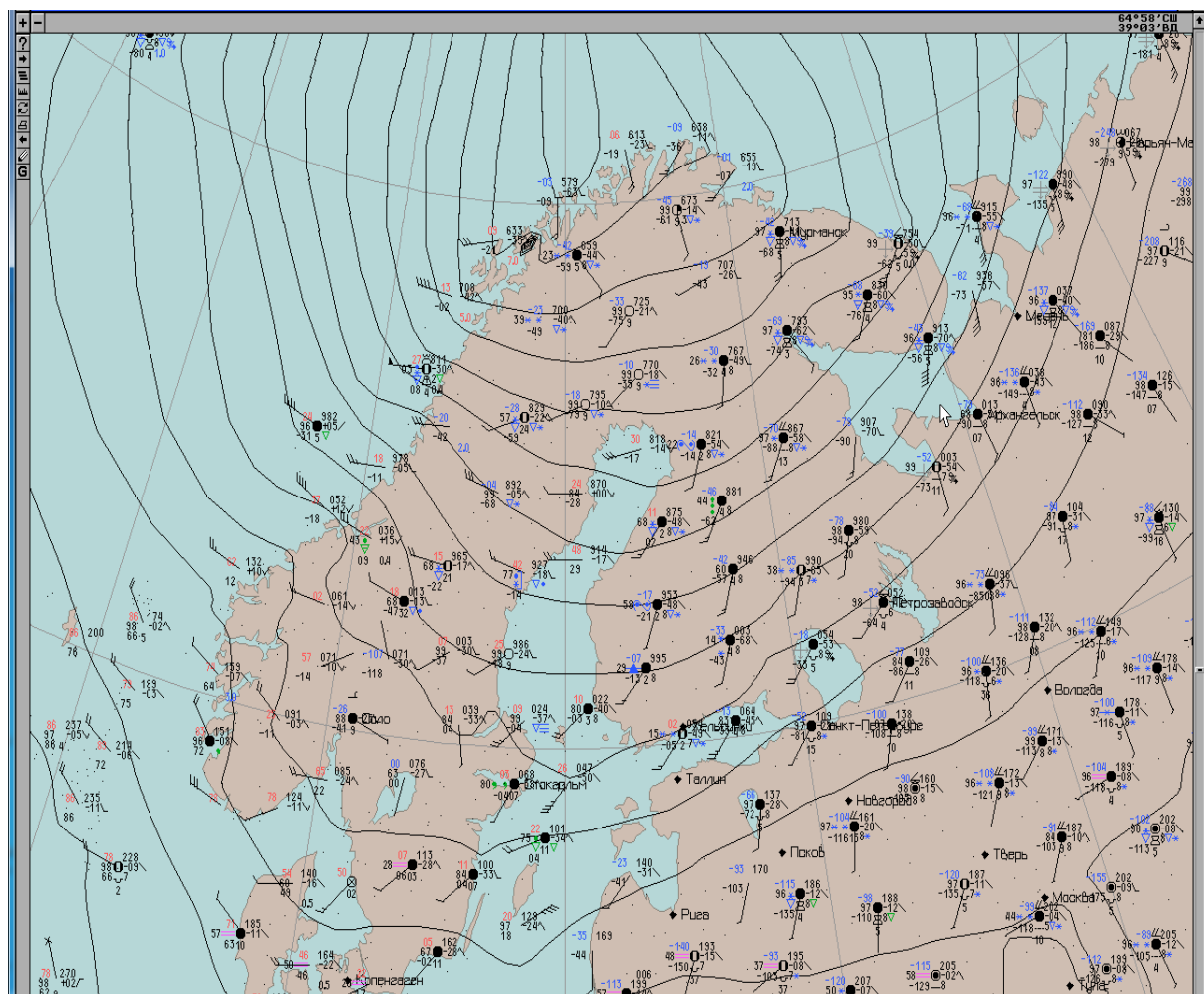


Рисунок А.3 - Синоптическая ситуация над ЕЧР. Передняя часть циклона
11.01.19. за 00 ч

Таблица Б.1 – Исходные данные для прогноза ВНГО ≤ 300 м внутримассовой неконвективной облачности в холодный период в г. Петрозаводске за 2017-2019 гг.

Дата/00ч и 03ч	Tзк	Tdзк	Tзн	Tdзн	Прогноз	Факт.обл.(м)	Оценка	Син.ситуация
02.11.2017(03)	-4	-5,3	-10	-11	<300м	390	-	Теплый сектор Zn
02.11.2017(00)	-3,6	-5,3	-7	-7,1	<300м	400	-	Теплый сектор Zn
03.11.2017(03)	-1,6	-5,4	-4,2	-5,4	<300м	300-600	-	Передняя часть Zn
04.11.2017(00)	0,8	-0,8	6	3,7	<300м	300	+	Передняя часть Zn
05.11.2017(00)	4,8	4	5	4,4	<300м	600-1000	-	Периферия Az
06.11.2017(00)	5	4	5	3,5	<300м	300	+	Периферия Az
08.11.2017(00)	-0,2	-1,3	2	1	<300м	>2500	-	Гребень
09.11.2017(00)	2,2	0	4,4	3,2	<300м	270	+	Az
09.11.2017(03)	1,1	-0,2	2,2	1,5	<300м	180	+	Периферия Az
26.11.2017	0,6	0	-2,2	-3,5	<300м	300	+	Периферия Az
30.11.2017	-1	-2	-4,3	6	<300м	210	+	Az
09.12.2017	-3,5	-5	-4,2	-3,4	<300м	120	+	Az
17.12.2017	-2	-2,2	0	-0,6	<300м	120	+	Az
26.12.2017	-5,4	-6,5	-3,4	-4,3	<300м	120	+	Az
27.12.2017	-5,6	-6,3	-2,9	-4,2	<300м	210	+	Az
29.12.2017	0	-0,4	1,6	-0,4	<300м	240	+	Az
01.01.2017(03)	0,9	-2	1,1	-1,6	<300м	270	+	Az
08.01.2017(03)	-11,9	-13	-8,9	-11,6	<300м	180	+	Периферия Az
15.01.2017(03)	-2	-2,4	-2,8	-3,2	<300м	120	+	Az
16.01.2017	-4,4	-4,9	-6,6	-7,5	<300м	180	+	Теплый сектор Zn
18.01.2017	-3,7	-5	-1,8	-3,2	<300м	270	+	Az
23.01.2017	-8	-9,4	-4	-4,6	<300м	150	+	Az
26.01.2017	-6,8	-10	2,9	2,4	<300м	270	+	Теплый сектор Zn
29.01.2017	-0,7	-1,6	-0,5	-1,1	<300м	240	+	Передняя часть Zn
03.02.2017	-7,3	-8,7	-3,6	-5,2	<300м	200-300	+	Передняя часть Zn
02.11.2018	5,5	4,3	3	2,4	<300м	300-600	-	Гребень
03.11.2018	4,7	4,3	8	7,2	<300м	300-600	-	Az
04.11.2018	3,7	2,5	1,5	1	<300м	300-600	-	Гребень
05.11.2018	3,2	2,9	4,3	3	<300м	300-600	-	Гребень
06.11.2018	3,9	2,7	4,5	3,5	<300м	300-600	-	Гребень
07.11.2018	2	1,6	3,4	2	<300м	300-600	-	Гребень
09.11.2018(03)	1,7	1,7	2	1,8	<300м	100-200	+	Az
10.11.2018(00)	1	0,2	0	-1	<300м	300-600	-	Az

14.11.2018	2	1,1	5,7	4,4	<300м	1000	-	Az
14.11.2018(03)	2	1,3	2,6	2,2	<300м	100-200	+	Az
26.11.2018(03)	-5,5	-7,4	-7,4	-8,5	<300м	300	+	Az
27.11.2018(03)	-8,2	-9	-8	-9,3	<300м	300	+	Az
30.11.2018(03)	-5,3	-8,1	-6	-8,5	<300м	300	+	Периферия Az
04.12.2018(03)	-6	-7,6	-2,8	-3,6	<300м	300	+	Az
05.12.2018	0,1	-0,4	1,3	0,5	<300м	300-600	-	Периферия Az
05.12.2018(03)	0,4	0	0,5	0,3	<300м	300	+	Az
07.12.2018(03)	-1,2	-4,6	-0,8	-1,7	<300м	300	+	Теплый сектор Zn
09.12.2018	-4,1	-8,2	-3,1	-4,5	<300м	600	-	Теплый сектор Zn
09.12.2019(03)	-4,7	-7	-4,2	-6,4	<300м	300	+	Az
11.12.2018	-4	-4,8	-2,7	-3,7	<300м	300-600	-	Гребень
14.12.2018(03)	-6	-6,5	-6,7	-7,5	<300м	100-200	+	Az
15.12.2018	-10,7	-12	-8,2	-8,5	<300м	270	+	Az
16.12.2018	-11,1	-12	-9,5	-11	<300м	100	+	Az
16.12.2018(03)	-10,5	-11	-8,4	-9,5	<300м	100-200	+	Az
19.12.2018	-9,9	-11	-13	-15,1	<300м	270	+	Передняя часть Zn
19.12.2018(03)	-9,8	-11	-15	-15,8	<300м	200-300	+	Передняя часть Zn
21.12.2018	-17,5	-19	-19	-20,1	<300м	300	+	Гребень
25.12.2018(03)	-10,1	-11	-9,5	-10,1	<300м	200-300	+	Az
10.01.2018	-9,7	-10	-13	-14,2	<300м	150	+	Передняя часть Zn
11.01.2018	-7,8	-8,4	-7,5	-8,5	<300м	300	+	Передняя часть Zn
14.01.2018	-4,9	-5,3	-4,3	-4,6	<300м	120	+	Az
14.01.2018(03)	-5	-5,4	-5,6	-5,9	<300м	150	+	Az
21.01.2018	-11,2	-14	-13	-15	<300м	300	+	Периферия Az
21.01.2018	-11,2	-14	-12	-14,2	<300м	300-600	-	Az
23.01.2018(00)	-18,7	-21	-18	-21	<300м	300	+	Az
25.01.2018(03)	-4,5	-6,7	-2	-3,5	<300м	240	+	Az
26.01.2018	2,1	0,8	2,4	0,8	<300м	300	+	Az
27.01.2018	1,3	0,5	1,9	1,1	<300м	300	+	Az
27.01.2018	1,2	-0,2	2	1,8	<300м	300	+	Передняя часть Zn
29.01.2018	-2,7	-3,6	-4	-5,2	<300м	360	-	Периферия Az
30.01.2018	-6,8	-9	-9,5	-10,8	<300м	300	+	Периферия Az
30.01.2018(03)	-7,4	-8,5	-9,2	-10,5	<300м	270	+	Az
31.01.2018	-14,8	-16	-14	-15,2	<300м	300	+	Az
03.02.2018	-11,3	-13	-10	-11,5	<300м	240	+	Передняя часть Zn
09.02.2018(00)	-13,5	-15	-7	-8,2	<300м	510	-	Периферия Az
10.02.2018(00)	-6,6	-7,2	-6	-7,5	<300м	300	+	Az
11.02.2018(00)	-7	-7,5	-6	-6,8	<300м	450	-	Периферия Az
12.02.2018(00)	-4,1	-5,2	-6,1	-8,5	<300м	300-600	-	Az
13.02.2018(00)	-3,2	-4,1	-2,5	-4	<300м	300-600	-	Az

14.02.2018(00)	-9,4	-11	-10	-11,6	<300м	>2500	-	Гребень
15.02.2018(00)	-11,5	-13	-14	-15,5	<300м	>2500	-	Гребень
19.02.2018	-8,3	-9,1	-9,8	-11,2	<300м	240	+	Az
02.01.2019	-1,3	-1,7	0,2	-0,4	<300м	100-200	+	Az
02.01.2019(03)	-1,3	-1,5	-1,6	-2,2	<300м	100-200	+	Передняя часть Zn
07.01.2019(00)	-4,9	-5,4	-2	-4	<300м	>2500	-	Передняя часть Zn
10.01.19(00)	-6,4	-7,1	-11	-12,1	<300м	100-200	+	Az
10.01.2019	-6,6	-7,1	-11	-12,1	<300м	100-200	+	Az
11.01.2019	-5,2	-6,4	1	-0,7	<300м	>2500	-	Периферия Az
12.01.2019	-1,7	-2,3	-2	-3,5	<300м	300-600	-	Az
13.01.2019(00)	-4,4	-5,7	-11	-11,6	<300м	300-600	-	Гребень
14.01.2019(03)	-4	-5,3	-1,5	-3,8	<300м	300	+	Az
15.01.2019(00)	-2,6	-3,6	-1,9	-2,6	<300м	300-600	-	Передняя часть Zn
16.01.2019(00)	-4,8	-5,5	-3,9	-5,6	<300м	300-600	-	Передняя часть Zn
18.01.2019(00)	-14,4	-16	-6,4	-7,7	<300м	>2500	-	Передняя часть Zn
21.01.2019(00)	-20,5	-23	-14	-15,9	<300м	150	+	Гребень
22.01.2019(00)	-17,6	-20	-18	-19,9	<300м	>2500	-	Гребень
23.01.2019(00)	-15,5	-17	-8,4	-9,2	<300м	300	+	Периферия Az
26.01.2019(00)	-17,2	-19	-14	-15,8	<300м	300-600	-	Периферия Az
30.01.2019	-6,3	-7,1	-1,7	-2,6	<300м	200-300	+	Az
30.01.2019(03)	-5,1	-5,8	-2	-2,5	<300м	300	+	Периферия
04.02.2019(03)	-9,3	-10	-4,6	-4,9	<300м	200-300	+	Az
10.02.2019(03)	0,9	-1	1,5	-1	<300м	300	+	Az
14.02.2019(03)	-5,5	-6	-3,8	-4	<300м	100-200	+	Периферия
19.02.2019(03)	-0,7	-2,4	2,5	1,6	<300м	300	+	Периферия
20.02.2019(03)	0	-0,3	1,3	0,9	<300м	100-200	+	Az
24.02.2019	0,7	0,6	-1,3	-1,8	<300м	100-200	+	Az
24.02.2019(03)	0,2	0,2	-1,4	-1,9	<300м	300	+	Az
28.02.2019	0	-0,8	0	-0,6	<300м	200-300	+	Az

T_{зк}, T_{дзк} - температура воздуха и точка росы у земли в пункте прогноза (конечный пункт);

T_{зн}, T_{дзн}, - значения температуры воздуха и точки росы у земли в начальной точке 9 ч траектории.

Приложение Б

Таблица Б.2 – Исходные данные для прогноза ВНГО 300 м и ниже внутримассовой неконвективной облачности при адвекции тепла в зимний период на территории ЕЧР за 2016-2021 гг. (случаи наличия явления)

Дата	Пункт	Т исх за 0:00	Td исх за 0:00	Т пр(+9ч)	Td пр(+9ч)	ВНГО факт.	ΔТ	Оценка
20.01.2016	Бологое	-8	-9,1	-7	-8	200-300	1	-
23.01.2016	Сегежа	-14,2	-15,8	-11,9	-13,1	240	2,3	-
26.01.2016	Кириши	-10,9	-12,1	-6,9	-8	300	4	-
26.01.2016	Новгород	-9,5	-10,5	-6	-6,8	180	3,5	-
26.01.2016	Крестцы	-11,9	-13,4	-7,7	-8,8	300	4,2	-
27.01.2016	Сегежа	-5,1	-5,7	-2,9	-3,3	270	2,2	-
27.01.2016	Кириши	-1,1	-1,7	1,2	0,7	180	2,3	+
27.01.2016	Тихвин	-3,7	-4,2	0,6	0,4	240	4,3	+
30.01.2016	Сегежа	-5,9	-6,4	0,3	0,1	120	6,2	+
30.01.2016	Архангельск	-5,1	-5,3	-4,4	-5,2	270	0,7	-
03.02.2016	Сегежа	-1,9	-2,3	-1,5	-1,7	210	0,4	-
07.02.2016	Архангельск	-11,8	-12,6	-10,3	-11,1	300	1,5	-
07.02.2016	Кириши	-4,5	-6,7	0,2	-0,6	210	4,7	+
07.02.2016	Крестцы	-5,3	-7,5	-0,3	-1	270	5	+
07.02.2016	Тихвин	-6,3	-8,1	-2,1	-2,6	300	4,2	+
07.02.2016	Бологое	-6,8	-9,3	-1,4	-3,2	300	5,4	+
08.02.2016	Архангельск	-5,3	-5,8	-0,3	-0,7	240	5	+
09.02.2016	Онега	-2,1	-2,5	1,9	0,6	270	4	+
10.02.2016	Архангельск	0,5	0,3	2,2	1,1	300	1,7	+
18.02.2016	Тихвин	-6,6	-7,2	-5,5	-6,1	240	1,1	-
04.12.2016	Калевала	-14,9	-16,5	-12,9	-14,5	240	2	-
05.12.2016	Тихвин	-8	-9,2	-0,5	-0,8	240	7,5	+
09.12.2016	Санкт-Петербург	-0,5	-0,7	1,3	1,1	90	1,8	+
13.12.2016	Тихвин	-10,5	-11,5	-9	-9,9	300	1,5	-
16.12.2016	Санкт-Петербург	-1	-2,5	-0,5	-2	210	0,5	-
17.12.2016	Санкт-Петербург	-1,2	-2,8	-0,6	-0,9	60	0,6	-
10.01.2017	Тихвин	-3,1	-3,5	-2,7	-3,2	270	0,4	-
15.01.2017	Сегежа	-4,6	-5,2	-4,4	-5	210	0,2	-
18.01.2017	Санкт-Петербург	-4,2	-6,3	-1,2	-2,5	150	3	+
19.01.2017	Тихвин	-1,7	-2,1	0,2	-0,1	180	1,9	+
22.01.2017	Санкт-Петербург	-4,8	-5,8	1	0,2	150	5,8	+
23.01.2017	Сегежа	-12,5	-14	-8,3	-9,5	240	4,2	-
23.01.2017	Тихвин	-2,5	-2,9	0,5	0,2	240	3	+
24.01.2017	Архангельск	-8,8	-9,4	-8,2	-8,9	300	0,6	-

26.01.2017	Санкт-Петербург	-5,8	-10,8	-2,3	-3,8	210	3,5	+
26.01.2017	Сегежа	-4,8	-9,6	0,7	-0,4	240	5,5	+
27.01.2017	Калевала	-4,3	-5	-1,4	-2	270	2,9	+
29.01.2017	Сегежа	-3,8	-4,3	-1,1	-3,1	270	2,7	+
31.01.2017	Валдай	-5,1	-6,4	-4,2	-5,7	180	0,9	-
02.02.2017	Мезень	-14,5	-15,1	-8,3	-8,5	210	6,2	-
04.02.2017	Тихвин	-3,3	-3,5	-2,5	-2,9	240	0,8	-
08.02.2017	Архангельск	-2,1	-2,3	-0,8	-1,3	210	1,3	-
10.02.2017	Архангельск	0,3	-0,3	1	-0,3	300	0,7	+
12.02.2017	Санкт-Петербург	-7	-8,8	-5,6	-7,3	210	1,4	-
06.12.2020	Мезень	-0,7	-1,9	1,8	0,5	240	2,5	+
07.12.2020	Кандалакша	0,1	0,1	1,2	1,2	300	1,1	+
12.12.2020	Архангельск	-15,4	-17,2	-10,6	-11,8	90	4,8	-
13.12.2020	Калевала	-3,6	-4,3	-2,1	-2,2	60	1,5	-
13.12.2020	Мезень	-8,3	-9,5	-1,7	-2,2	210	6,6	+
15.12.2020	Санкт-Петербург	-1,7	-3,1	-0,3	-1,6	200-300	1,4	-
18.12.2020	Архангельск	-18,4	-20,2	-13,9	-15,3	210	4,5	-
19.12.2020	Санкт-Петербург	1	0,1	1,6	1	120	0,6	+
22.12.2020	Калевала	0,2	0,1	1,2	0,9	120	1	+
01.01.2021	Вологда	-3,1	-4,1	-2,6	-3,6	240	0,5	-
02.01.2021	Тихвин	0,4	0,1	1,1	0,7	300	0,7	+
06.01.2021	Санкт-Петербург	-2,9	-3,9	-2	-3,1	200-300	0,9	-
17.01.2021	Санкт-Петербург	-10,9	-12,4	-9	-8,8	150	1,9	-
18.01.2021	Конево	-10,4	-10,9	-8,4	-8,7	240	2	-
23.01.2021	Осташков	-1,7	-3,2	-0,1	-1,4	200-300	1,6	+
24.01.2021	Архангельск	-12	-13,8	-5,1	-6,1	240	6,9	-
25.01.2021	Санкт-Петербург	2	0,8	4,1	2,9	200-300	2,1	+
25.01.2021	Конево	0,2	0,2	1	1	180	0,8	+
01.02.2021	Няндом	-4,3	-5,1	-1	-1,6	90	3,3	+

ΔT – величина потепления.

Таблица Б.3 - Исходные данные для прогноза ВНГО 300 м и ниже внутримассовой неконвективной облачности при адвекции тепла в зимний период на территории ЕЧР за 2016-2021 гг. (случаи отсутствия явления)

Дата	Пункт	T _{исх} за 0:00	T _d исх 0:00	T _{пр} (+9ч)	T _d пр(+9ч)	ВНГО факт.	ΔT	Оценка
02.01.2016	Крестцы	-18,1	-20,2	-17,5	-20,2	2500 и выше	0,6	+
02.01.2016	Петрозаводск	-18	-20,9	-15,4	-17,5	2500 и выше	2,6	+
04.01.2016	Бологое	-15,8	-18,2	-15,1	-17	2500 и выше	0,7	+
15.01.2016	Крестцы	-17,5	-19,3	-16,6	-18,7	2500 и выше	0,9	+
17.01.2016	Тихвин	-9,4	-10,5	-8,9	-10,4	2500 и выше	0,5	+
19.01.2016	Крестцы	-6,2	-7,3	-5,9	-7,4	2500 и выше	0,3	+
24.01.2016	Петрозаводск	-11,3	-12,5	-10,3	-11,3	2500 и выше	1	+
26.01.2016	Петрозаводск	-11,1	-12,5	-9,9	-11,3	2500 и выше	1,2	+
28.01.2016	Петрозаводск	0,2	-0,3	1,2	0,2	2500 и выше	1	-
30.01.2016	Петрозаводск	-2,8	-3,8	1,3	0,2	2500 и выше	4,1	-
05.02.2016	Бологое	-1,8	-3,4	-0,9	-2,9	300-600	0,9	+
08.02.2016	Бологое	-11,8	-13,4	-11	-12,8	300-600	0,8	+
17.02.2016	Сегежа	-9,8	-11,2	-6,9	-10	выше 300	2,9	+
18.02.2016	Санкт-Петербург	-3,3	-4,7	-0,6	-3,4	выше 300	2,7	-
18.02.2016	Петрозаводск	-10,5	-10,9	-10,3	-10,9	выше 300	0,2	+
19.02.2016	Тихвин	-4,7	-6,4	-0,2	-9	выше 300	4,5	-
19.02.2016	Красный Холм	-11,3	-12,4	-10,4	-11,1	выше 300	0,9	+
01.12.2016	Осташков	-6,8	-7,8	-3,4	-4,4	300-600	3,4	+
02.12.2016	Осташков	-10	-10,5	-9,5	-10,2	300-600	0,5	+
04.12.2016	Няндом	-10,2	-11	-9,5	-10,4	2000-2500	0,7	+
05.12.2016	Онега	-15,9	-17,5	-11,1	-12,4	2500 и выше	4,8	+
07.12.2016	Кандалакша	-10,7	-11	-9,3	-10	300-600	1,4	+
10.12.2016	Петрозаводск	-7	-9,2	-4,5	-6,1	330	2,5	+
11.12.2016	Конево	-10,3	-10,9	-9,2	-10,3	2500 и выше	1,1	+
13.12.2016	Петрозаводск	-16,3	-18,1	-15,7	-17,3	2500 и выше	0,6	+
16.12.2016	Архангельск	-11,4	-12,4	-7,5	-8,1	450	3,9	+
20.12.2016	Архангельск	-17,6	-20,3	-15	-16,8	2500 и выше	2,6	+
14.01.2017	Кандалакша	-11,6	-12,5	-10,4	-11,3	300-600	1,2	+
18.01.2017	Архангельск	-8	-9,1	-4,3	-5	450	3,7	+
18.01.2017	Новгород	-8,4	-9,2	-5,1	-6,1	300-600	3,3	+
19.01.2017	Архангельск	-4,1	-5	1,2	0,4	540	5,3	-
22.01.2017	Сегежа	-9,7	-13,3	-8,2	-11,8	2500 и выше	1,5	+
22.01.2017	Конево	-11,2	-12,7	-9,8	-12,1	2500 и выше	1,4	+
24.01.2017	Конево	-12,6	-13,5	-11,6	-12,6	2500 и выше	1	+
26.01.2017	Калевала	-3	-4,7	1,9	0,4	2500 и выше	4,9	-
26.01.2017	Крестцы	-17,8	-20,5	-10,3	-12,5	2500 и выше	7,5	+
26.01.2017	Новгород	-13,7	-15	-11,4	-13,2	570	2,3	+
30.01.2017	Калевала	-0,4	-1,1	0,8	-2,6	600	1,2	-
30.01.2017	Конево	-1,4	-2	-0,4	-2,4	540	1	+

31.01.2017	Новгород	-8,2	-9,7	-8	-9,4	360	0,2	+
01.02.2017	Конево	-6,1	-6,8	-5,3	-7,1	300-600	0,8	+
01.02.2017	Архангельск	-10,9	-11,7	-8,8	-9,5	1000-1500	2,1	+
01.02.2017	Петрозаводск	-6,1	-7,6	-4,9	-6,4	300-600	1,2	+
02.02.2017	Петрозаводск	-12,9	-14,1	-10,8	-12,1	2500 и выше	2,1	+
02.02.2017	Архангельск	-11,8	-12,8	-9,6	-10,4	2500 и выше	2,2	+
02.02.2017	Калевала	-17	-18,9	-9,9	-11,5	660	7,1	+
06.02.2017	Кандалакша	-8,1	-10	-7,7	-9,5	300-600	0,4	+
10.02.2017	Калевала	-9,7	-10,6	-9,5	-10,5	600	0,2	+
10.02.2017	Новгород	-11,4	-13	-8,4	-9,8	660	3	+
04.12.2020	Тихвин	-3	-5	-2,5	-5	2500 и выше	0,5	+
05.12.2020	Новгород	0,4	-0,8	1,2	0,3	2500 и выше	0,8	-
08.12.2020	Няндама	-10,3	-11	-9,9	-10,8	2500 и выше	0,4	+
09.12.2020	Кандалакша	-8	-9,4	-7,6	-8,2	300-600	0,4	+
10.12.2020	Кандалакша	-14	-15,3	-11,9	-12,6	300-600	2,1	+
12.12.2020	Крестцы	-11,6	-12,4	-11,2	-11,8	2500 и выше	0,4	+
12.12.2020	Петрозаводск	-13,1	-13,8	-12,5	-13,3	2500 и выше	0,6	+
13.12.2020	Санкт-Петербург	-4,7	-6,4	-4,4	-6,3	300-600	0,3	+
01.01.2021	Няндама	-8	-9,7	-6,5	-7,5	2500 и выше	1,5	+
01.01.2021	Новгород	-9,1	-9,8	-7,9	-8,6	2500 и выше	1,2	+
05.01.2021	Кандалакша	-12,7	-14	-9,5	-10,6	300-600	3,2	+
10.01.2021	Осташков	-12,2	-14,1	-9,9	-11,7	300-600	2,3	+
20.01.2021	Бологое	-9,2	-9,9	-8,2	-9,4	2500 и выше	1	+

ΔT – величина потепления.