



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: "Условия возникновения и прогнозирование низкой  
облачности на аэродроме г. Нижний Новгород (Стригино)."

Исполнитель Александрова Екатерина Игоревна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

Иванова Ирина Александровна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 28 » мая 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения.....	4
Введение.....	5
1. Влияние облачности на деятельность авиации.....	9
1.1. Структура и морфология облачности.....	10
1.2. Основные минимумы погоды.....	11
1.3 . Нижняя граница облачности .....	12
2. Методы прогноза высоты нижней границы облачности.....	14
2.1.Синоптические методы.....	14
2.2.Метод Гоголевой Е.И.....	15
2.3.Полуэмпирические формулы для прогноза нижней границы облачности.....	16
3.Прогнозирование высоты нижней границы облачности на аэродроме г. Нижний Новгород (Стригино).....	19
3.1 Физико-географическое описание района аэродрома .....	19
3.2 Климатическая характеристика аэродрома Нижний Новгород.....	22
3.3.Систематизация и анализ исходных данных .....	22
3.4. Характерные синоптические ситуации при низкой облачности.....	32
3.5.Расчёт нижней границы облачности по полуэмпирическим формулам.....	36
3.5.Оценка возможности прогноза основных предикторов по данным глобальных моделей.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
Список использованных источников.....	53
Приложение А: исходные данные.....	55

Приложение Б: архив приземных синоптических карт с фронтальным анализом .....57

## СОКРАЩЕНИЯ

АМСГ	–	Авиационная метеорологическая станция гражданская
ВНГО	–	Высота нижней границы облачности
ВПП	–	Взлётно-посадочная полоса
ВКН	–	Значительная облачность
OVC	–	Сплошная облачность
СР	–	Средняя полоса России
АМЦ	-	Авиационный метеорологический центр
TAF	-	Прогноз по аэродрому
ФГБУ	-	Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
ВС	-	Воздушное судно
ICON	-	Глобальная гидродинамическая модель
GFS	-	Глобальная гидродинамическая модель

## ВВЕДЕНИЕ

Облачность – это одно из интереснейших явлений природы. Она всегда неповторима, случайна и представляет собой важнейшую роль в прогнозировании и описании погоды. В общей циркуляции атмосферы они имеют место как самый мощный фактор изменчивости теплового и радиационного режима атмосферы. Облака оказывают большое влияние на многие стороны деятельности человека, а также на растительный и животный мир нашей планеты.

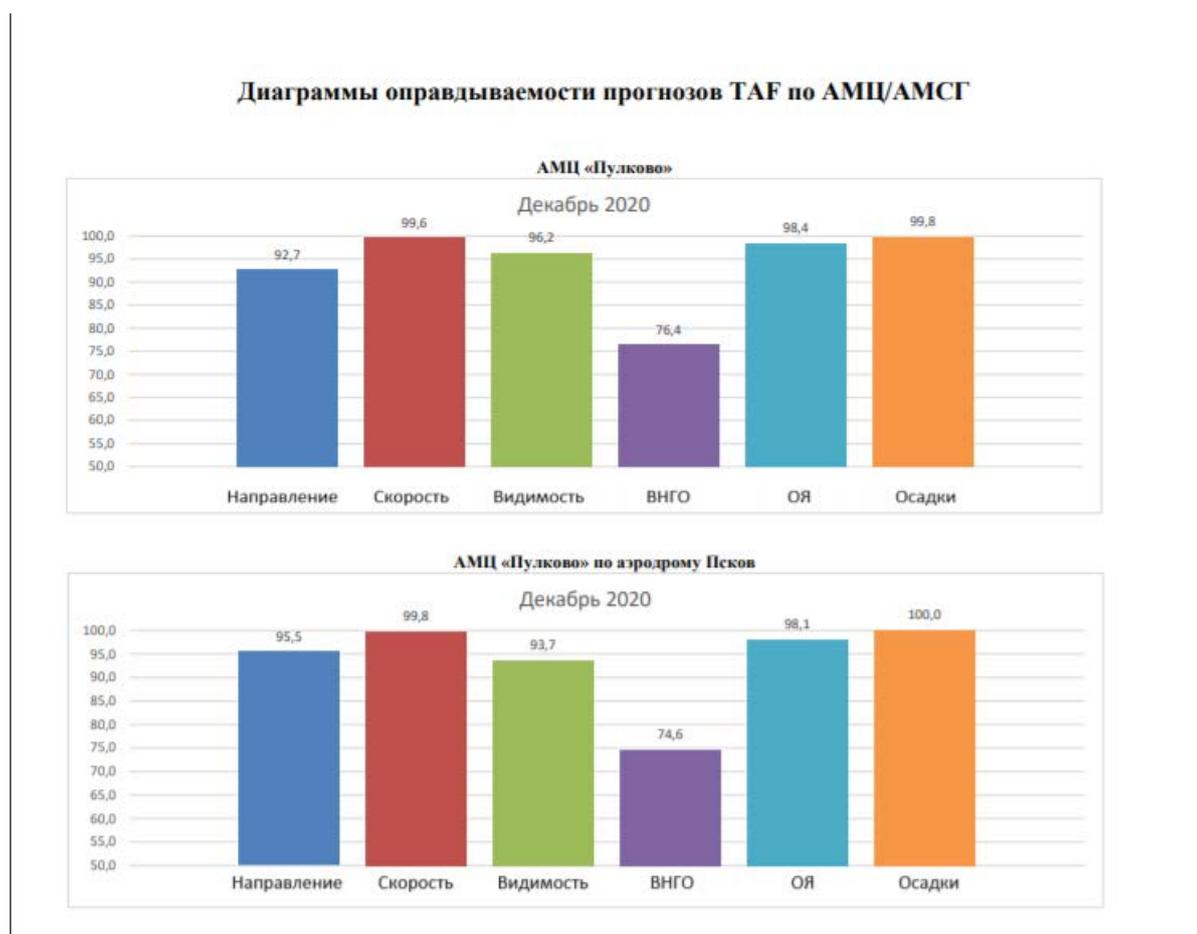
Очень велика зависимость от облаков, туманов и осадков различных видов транспорта, в первую очередь авиации. Информация о ВНГО, а также о её прогнозе в настоящее время является важной составляющей безопасной работы авиации. Заблаговременные и точные данные позволяют обеспечить оперативную работу не только синоптикам на аэродроме, но в первую очередь для обеспечения надежных полётов авиации.

Для авиации опасна низкая облачность, она существенно влияет на взлёт, посадку и полёт самолёта. Проводить полёт в облаках значительно сложнее, вследствие: сильного ухудшения видимости, наличия обледенения при низких температурах, сильного развития турбулентного обмена. Нижняя граница облаков и дальность видимости определяют те погодные условия, при которых возможно будет совершить взлёт или посадку самолёта. С облаками связаны грозы, которые являются наиболее опасным авиационным метеорологическим явлением. Высота нижней границы облачности, наряду с другими метеоэлементами указывается в оперативных прогнозах по аэродрому, в прогнозах по площадям (районам полётов), содержится в штормовой информации.

Точность всего прогноза зависит от точности прогнозирования каждого метеоэлемента. В авиации к точности прогнозирования ВНГО предъявляются следующие требования согласно «ФАП-60» [13]. Для ВНГО

менее 300 м точность прогноза должна быть +/- 30м, для ВНГО более 300 м точность должна составлять +/- 30%.

По данным мониторинга Северо-Западного филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», представленного в виде диаграмм, можно заметить, что прогноз ВНГО является одним из наименее успешных (рисунок1). Этим объясняется актуальность работы.



*Рисунок 1*

*Диаграмма оправдываемости прогнозов TAF по АМЦ/АМСГ*

На основе полученных данных, можно будет дать рекомендации наиболее успешных методов синоптикам АМСГ Нижний Новгород при прогнозировании низкой облачности для авиации.

Цель данной работы состоит в выявлении условий возникновения низкой облачности и определении возможности прогнозирования высоты

нижней границы облачности по полуэмпирическим формулам на аэродроме г. Нижний Новгород (Стригино)

Для достижения цели были поставлены задачи:

1. Изучить синоптические ситуации при понижении ВНГО до 300м и ниже на аэродроме Нижний Новгород;
2. Подготовить исходный материал для систематизации и анализа ВНГО;
3. Произвести расчеты ВНГО по полуэмпирическим формулам;
4. Произвести анализ успешности прогноза предикторов, используемых в формулах прогноза ВНГО.

Данная работа является частью комплексной работы, в которой рассматривается анализ и прогноз ВНГО на аэродромах трёх городов (Архангельск, Нижний Новгород и Бишкек).

В данной работе рассматриваются характерные синоптические ситуации, приводящие к понижению ВНГО до 300м и ниже на аэродроме Нижний Новгород и оценивается возможность использования полуэмпирических формул для её прогноза, а также оценивается точность прогноза предикторов, используемых в формулах по данным двух глобальных моделей.

Для решения поставленных задач использовались различные литературные источники и интернет-ресурсы, данные аэродромных наблюдений с дискретностью 30 минут за один год (с 01 мая 2020г. по 30 апреля 2021г.), а также данные прогноза T и Td по данным глобальных моделей ICON и GFS от 00UTC текущих суток на 12 часов, архив синоптических приземных карт.

Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников, приложений А и Б (исходные данные и архив синоптических ситуаций).

В первом разделе рассматриваются основные характеристики облачности и её влияние на деятельность аэродромов, также рассмотрены допустимые минимумы погоды и структурные особенности облаков.

Второй раздел посвящён рассмотрению основных методов прогноза ВНГО.

Третий раздел состоит из краткого описания физико-географических и климатических особенностей аэродрома Нижний Новгород, а также результатов систематизации и анализа исходных данных, данных расчетов ВНГО по полуэмпирическим формулам и данных по анализу точности прогноза предикторов.

Актуальность данной работы заключается в том, что изучение наиболее успешных методов расчёта ВНГО и сбор данных в разных частях нашей планеты имеют важную роль в более точном прогнозировании, выявлении локальных коэффициентов, позволяющих определять облачность в разные времена года в зависимости от местоположения конкретного аэродрома.

## 1. Влияние облачности на деятельность авиации.

Среди погодных явлений, оказывающих наибольшее влияние на регулярность и безопасность полетов воздушных судов, одно из первых мест занимает низкая облачность и связанная с ней, а также с осадками и туманами, ухудшенная видимость. По оценкам специалистов, правильный своевременный прогноз указанных характеристик погоды позволил бы снизить на 20–35 % число метеорологических обусловленных нарушений графика полетов [1].

В качестве реальных данных о наличии низкой облачности и высоте ее нижней границы использованы данные аэродромных наблюдений, сообщаемые в Гидрометцентр России в виде телеграмм в коде METAR. В Отделе авиационной метеорологии производится их декодирование и формируется база данных, пригодная для компьютерной обработки.

Количество облачности делится на группы по октантам: 1-2 октанта (несколько – FEW), 3-4 октанта (разбросанные – SCT), 5-7 октантов (значительные – BKN) и 8 октантов (сплошные – OVC). В качестве низкой облачности в телеграммах METAR представлена неконвективная облачность с нижней границей не выше 1500 м без указания формы облаков. Известно, что высота нижней границы облачности для авиации прогнозируется при покрытии небосвода низкими облаками больше, чем наполовину. Таким образом, для авиации представляют наиболее интересные случаи при низкой облачности с количеством облаков BKN и OVC. В связи с тем, что в холодную половину года воздух бывает насыщен паром чаще, чем в теплую, повторяемость сплошной нижней облачности (8-10 баллов) зимой и осенью выше, чем летом и весной. Но зимой как пасмурное, так и малооблачное состояние неба более устойчиво во времени, чем летом.

## 1.1. Структура и морфология облачности.

Облако – совокупность взвешенных капель воды и кристаллов льда, находящихся на высоте над земной поверхностью. Оно возникает в результате конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере. Облачные элементы настолько малы, что их вес уравнивается силой трения. Скорость падения капель в воздухе равна нескольким долям сантиметра в секунду, в то время как скорость падения кристаллов намного меньше. Облака переносятся воздушными течениями. Если относительная влажность в воздухе, содержащем облако, убывает, то облака испаряются. При определённых условиях часть облачных элементов увеличивается, и облако становится настолько тяжёлым, что эти элементы выпадают из облака в виде осадков [3].

По фазовому состоянию облачных элементов облака делятся на три класса:

Водяные (капельные) облака, которые состоят только из капель и могут существовать как при положительных, так и при отрицательных температурах. Если температура воздуха находится в диапазоне от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ , то облака называются смешанными, потому что состоят из смеси переохлаждённых капель и кристаллов.

Ледяные (кристаллические) облака, состоящие только из ледяных кристаллов, существуют только при температурах ниже  $-30^{\circ}$ .

Масса капель воды и кристаллов льда в единичном объёме облачного воздуха называют водностью облаков [1].

В современном варианте международной классификации облака делятся на десять основных форм (родов) по внешнему виду. В основных родах различают значительное число видов, разновидностей и особенностей. Форма облаков является одной из составляющих характеристик облачности. Облака различаются в зависимости от температурных условий и высоты тропопаузы границы ярусов в разных широтах. [4].

## 1.2. Основные минимумы погоды.

Под минимумами погоды подразумевается возможность выполнения взлёта или посадки воздушного судна на аэродроме. Они определяются двумя составляющими величинами – высотой нижней границы облачности (высотой принятия решения) и видимостью (видимостью на ВПП). Значения этих величин зависят от таких составляющих факторов, как географическое положение аэродрома и его оборудование системами посадки. Они делятся на минимумы аэродрома, воздушного судна и командира воздушного судна. Ко всем этим минимумам относятся те значения, при которых летно-технические характеристики ВС и его оборудование в сочетании с наземной посадочной системой аэродрома позволяют безопасно производить взлет и посадку. [1][15].

Для категорированных аэродромов установлены следующие минимумы погоды: минимум 1 категории – высота принятия решения менее 100 м, но не менее 60 м, видимость на ВПП – 800 м; минимум 2 категории – высота принятия решения менее 60 м, но не менее 30 м, видимость на ВПП менее 800 м, но не менее 400 м; минимум 3 категории – высота принятия решения менее 30 м, видимость на ВПП менее 400 м. Для исследуемого аэродрома Нижний Новгород было принято решение взять минимум 3 категории [15].

### 1.3. Нижняя граница облачности.

Нижняя граница облачности - уровень в атмосфере, на котором водность облака обращается в нуль. В реальных условиях она представляет собой переходный слой в несколько десятков метров, в котором происходит постепенная потеря видимости. ВНГО определяется процессами переноса влаги и тепла в атмосфере. Она понижается, если уменьшается дефицит точки росы или коэффициент турбулентности и увеличивается вертикальный градиент температуры или вертикальная скорость. ВНГО подвержена сильным изменениям за небольшие промежутки времени [2].

Как известно, граница облаков нижнего яруса располагается на высоте не более 2 км над земной поверхностью. Облака среднего яруса имеют высоту от 2 до 6 км, и как говорилось чуть ранее, они могут присутствовать на нескольких уровнях сразу. Облака верхнего яруса находятся ниже тропопаузы, и нижняя граница облачности достигает 6 – 8 км или 11 – 13 км. Можно отметить, что ВНГО имеет хорошо выраженный суточный ход: летом облака находятся выше, чем зимой. Чем больше облаков, тем меньше высота, но мощность облаков при этом увеличивается.

Температура нижней границы облачности является случайной величиной, и точного значения она как такового не имеет. Как известно, облака нижнего яруса и поверхности земли тесно связаны между собой, а значит их температуры коррелируют между собой, и они имеют чётко и ярко выраженный годовой ход. Максимальная температура границы облаков верхнего яруса находится в интервале от  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $55^{\circ}\text{C}$ . В целом ВНГО и температура в среднем находятся несколько в зависимости от расслоённости облачности, то есть от того, сколько насчитывается облачных слоёв [2].

Трудность измерения (оценки) действительного значения высоты нижней границы облаков осложняется отсутствием определения того, что именно принимается за высоту нижней границы. Если эту задачу рассматривать с точки

зрения метеорологического обеспечения аэронавигации, то необходимо определить, какой уровень принимается за высоту нижней границы облаков: уровень установления видимости естественного горизонта или уровень установления зрительного контакта с наземными ориентирами, в частности (при посадке), маркировкой или огнями ВПП. Установлено, что при выходе воздушного судна из низких слоистых облаков пилот видит естественный горизонт на 120 м ниже по сравнению с высотой установления зрительного контакта с маркировкой и огнями ВПП.

Основной целью измерения высоты нижней границы облаков с земной поверхности при метеорологическом обеспечении аэронавигации является выдача информации о высоте, на которой пилот воздушного судна при посадке установит зрительный контакт с ВПП или потеряет его при взлете

В основном для определения высоты нижней границы облачности используется метод светолокации. В нижней части облака образуется световое пятно от источника света, установленного на земной поверхности, над которой измеряется высота нижней границы облаков [5].

## 2. Методы прогноза высоты нижней границы облачности.

Безусловно, за долгие годы, синоптики, ежедневно составляющие прогнозы погоды (в том числе для авиации), нашли закономерности понижения или повышения высоты нижней границы облачности. Высота нижней границы облачности зависит от наблюдающихся (или прогнозирующихся) синоптических условий и основными предикторами для её прогноза являются характеристики влажности воздуха, а именно дефицит точки росы и относительная влажность.

### 2.2. Синоптические методы.

Эмпирические исследования К. Г. Абрамович для Европейской части России исследования показали, что трансформационные изменения температуры оказывают существенное влияние на положение нижней границы перемещающейся облачности при значениях адвективных изменений температуры по данным у поверхности Земли вдоль 12-часовых траекторий  $|\Delta T| \geq 4^\circ\text{C}$ . В этих случаях при адвекции тепла следует ожидать понижения облаков, при адвекции холода, наоборот, — повышения. Показателями зарождения или полного размывания облачности по пути переноса являются адвективные изменения температуры  $|\Delta T| > 6^\circ\text{C}$ , причем они должны сопровождаться соответственно восходящими или нисходящими упорядоченными движениями. Наиболее уверенно прогноз зарождения или полного размывания низких облаков может быть дан в тех случаях, когда в начальной точке траектории дефицит точки росы при адвекции тепла (перед появлением облаков) оказывается не более  $2^\circ\text{C}$ , при адвекции холода (перед размыванием облаков) – не менее  $1^\circ\text{C}$ . Если адвективные изменения температуры  $|\Delta T| < 4^\circ\text{C}$ , то влиянием трансформации воздуха на положение нижней границы облаков практически можно пренебречь, т. е. считать, что высота НГО при их перемещении меняется мало. Одновременно следует иметь

ввиду, что при указанных адвективных изменениях температуры иногда могут наблюдаться противоположные им по знаку изменения точки росы, что приводит к существенным изменениям дефицита точки росы в пункте прогноза. Поэтому при небольших адвективных изменениях температуры для прогноза эволюции облаков следует пользоваться адвективными изменениями дефицита точки росы  $\Delta(T - T_d)$ . При отрицательных изменениях дефицита (приток воздуха с меньшими значениями дефицита точки росы) нижняя граница облаков имеет тенденцию понижаться, при положительных — повышаться. Вероятность появления низких облаков при оговоренных выше условиях тем больше, чем больше увеличение температуры воздуха между сроками  $(T+12 - T_0)$  и чем выше температура воздуха в срок прогноза  $(T+12)$ . Если, при проведении качественной оценки синоптическим способом, выявлена вероятность появления и эволюции низкой облачности (ниже 300м), для расчета прогностической высоты НГО можно применить график, предложенный Гоголевой Е.И.

## 2.2 Метод Гоголевой

Методика прогноза низкой облачности должна содержать определение:

- района, из которого ожидается поступление воздуха,
- основных погодных характеристик в этом районе,
- трансформационных изменений температуры и влажности воздуха по пути переноса.

Для определения района, из которого ожидается поступление воздуха, на карте АТ-850 с помощью градиентной линейки строим траекторию и переносим полученную точку на приземную карту. В процессе работы учитываются все масштабы. При прогнозе по методу Гоголевой используется эмпирическая связь высоты облачности с фактической температурой у поверхности земли в пункте прогноза  $(T)$  и прогностической температурой точки росы  $(T'd)$ .

При облачности 1-1,5 км наблюдается слой в виде приподнятой инверсии и изотермии или медленного падения температуры с высотой. В зонах фронтов роль задерживающего слоя играет фронтальная поверхность. Облака располагаются под этим слоем и частично проникают в него.

Для образования низкой облачности большое значение имеет хорошо выраженный турбулентный обмен, благодаря которому осуществляется перенос влаги вверх под задерживающие слои.

Также благоприятны тыловые и центральные части малоподвижных антициклонов для образования низкой облачности; тёплые сектора циклонов, размытые барические поля. Наибольшая повторяемость низкой облачности над континентами приходится на холодное время года, над прибрежными районами и морями – на тёплое; над северными морями низкую облачность можно наблюдать и зимой [9]. В районах с пересечённым рельефом наиболее благоприятны условия для образования низкой облачности на наветренных склонах.

### 2.3. Полуэмпирические формулы для прогноза нижней границы облачности.

Для расчётных методов используется большое количество формул, которые имеют повторяющиеся предикторы, но в этой работе рассмотрены наиболее распространённые, а именно формула Ферреля и формула Ипполитова. Так же в работе представлены ещё 3 полуэмпирические формулы.

Рассмотрим формулу Ипполитова (1):

$$H=24 \times (100-R) \quad (1)$$

где, H - высота нижней границы облачности, м;

R - влажность, %.

Рассмотрим формулу Ферреля (2)

$$H=122 \times (T-T_d) \quad (2)$$

где,  $T$  - температура, °С;

$T_d$  - температура точки росы, °С.

Рассмотрим безымянную формулу (3):

$$H=122 \times (T-T_d) \cdot m \quad (3)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий наличие осадков. При мороси  $m = 80$ , при других видах осадков  $m = 50$  и  $m = 0$  при отсутствии осадков.

Наиболее информативным предиктором ВНГО (как и наличия низкой облачности) является относительная влажность. В рамках идеального прогноза это означает, что по наблюдаемой относительной влажности (или дефициту точки росы) можно с достаточной точностью оценить высоту нижней границы низких облаков. Именно малые ВНГО представляют наибольший интерес с точки зрения метеорологического обеспечения авиации.

Действительно, известная формула Е.С.Селезневой (4) выражает именно эту зависимость и является крайне успешной для показателей ВНГО < 300м:

Рассмотрим формулу Селезневой (1.5):

$$H=208 \times (T-T_d) \quad (4)$$

Так же в ходе работы были найдены формулы для прогноза высоты нижней границы облачности с уточнёнными коэффициентами для аэродрома Нижний Новгород. За основу была взята формула (2) и рабочие формулы для исследования получили вид: (5) и (5\*)

$$H=k \times (T-T_d) \quad (5)$$

$$H=k^* \times (T-T_d) \quad (5^*)$$

где,  $k$  и  $k^*$  – коэффициенты подобранные специально для конкретного аэродрома и месяца.  $k$  – для случаев, когда дефицит точки росы больше 0,  $k^*$  - для случаев, когда дефицит точки росы близок к 0.

### 3. Прогнозирование высоты нижней границы облачности на аэродроме г. Нижний Новгород (Стригино).

На всех аэродромах длительные эпизоды низкой облачности наиболее характерны для зимы, затем – для осени. Летом, как правило, эпизоды наличия низкой облачности кратковременны и немногочисленны. Отсюда следует что безопасное прогнозирование для конкретного аэродрома важнее всего в более холодные периоды. Изменчивость ВНГО можно также количественно оценить, рассмотрев характеристики поля влажности в качестве предикторов этой величины для конкретного аэродрома.

#### 3.1 Физико-географическое описание района аэродрома.

Аэропорт Нижний Новгород (Стригино) расположен в заречной части города Нижнего Новгорода, на левом низменном берегу реки Оки, в 15 км к юго-западу от центра города и на 2 километра севернее поселка Стригино. Географические координаты контрольной точки аэродрома (КТА) -  $56^{\circ}13'48''$  с.ш. и  $043^{\circ}47'03''$  в.д. (рисунок 3.1).

С юга к аэропорту подходит Приволжская возвышенность с холмистым рельефом. Поверхность аэродрома ровная с небольшим уклоном от центра аэродрома к югу и северу, где находится лес со смешанными деревьями. На севере от аэродрома протекает река Волга, а на востоке её приток река Цивиль. В районе аэродрома имеются естественные и искусственные препятствия. ВПП с искусственным покрытием. Её длина составляет 2512 метров.

Правый берег Оки высокий, превышение его над аэродромом составляет около 70-80 м. Левобережье Оки представляет собой низменную, местами заболоченную равнину. В период весеннего таяния снега отдельные участки территории аэродрома подтапливаются. На расстоянии около 0,5 км к



распространяется на всю территорию заречной части города, значительно суживаясь в нагорной части.

Нагорная часть города (правобережье Оки и Волги) представляет собой коренное водораздельное плато высотой от 40 до 130 м и абсолютными высотами от 100 до 200 м, изрезанное многочисленными оврагами и долинами малых рек. В районе города при впадении Оки в Волгу возвышенность образует дугу – Дятловые горы. Другая часть города (заречная), расположенная между правым берегом Волги и левым берегом Оки, низменная, имеет высоту 70-80 м над уровнем моря. Границей между возвышенными и низменными районами города является река Ока. Склоны правого берега Оки прорезаны рядом крутых оврагов сравнительно небольшой длины (0,5-1,0 км). Глубина оврагов 70-95 м. По склонам оврагов выходят многочисленные родники, стекающие ручьями в реку Оку. Овраги Волжского склона более пологие, длинные и разветвленные. Высокие правые берега Волги и Оки постоянно угрожают городу возможностью возникновения обвалов и оползней. Заболоченность низинных районов города значительна (около 25% территории заречья). Озера на территории в основном пойменные и обязаны своим происхождением Волге и Оке. Как все реки Восточно-Европейской равнины, для которых основным источником питания является снег, Волга и Ока отличаются ярко выраженным высоким и продолжительным весенним половодьем и дождевыми паводками. Однако, естественный режим Волги и Оки в значительной степени искажен влиянием Горьковского водохранилища, построенного в 1955 году в 56 км выше Нижнего Новгорода. Большое влияние на характеристики водного режима рек оказывает также сам город – крупный энергетический объект с многочисленными подогретыми сбросами использованных вод и интенсивно развитым водным транспортом.

### 3.2 Климатическая характеристика аэродрома Нижний Новгород.

Большое влияние на климат аэродрома Нижний Новгород (Стригино) оказывают антропогенные факторы. Так, на расстоянии около 3 км к северо-западу от аэродрома находится крупная свалка мусора, горение которой, особенно в теплый период года, приводит к резкому увеличению повторяемости такого явления погоды, как дым, и связанного с ним ухудшения видимости.

### 3.3 Систематизация и анализ исходных данных

В качестве исходных данных был использован архив данных сайта «гр5» по аэродрому Нижний Новгород за период май 2020- апрель 2021 гг.

Отбирались данные регулярных наблюдений (по программе аэродромных наблюдений) с дискретностью 30 минут. Всего было отсмотрено и обработано 17 208 сроков. Из них 2652 срока в которые наблюдалась ВНГО менее 300 м.

Далее, для понимания распределения низкой облачности в течение года на аэродроме Стригино, были построены графики хода ВНГО для каждого месяца.

Затем, по исходным данным была определена продолжительность эпизодов с низкой облачностью. За низкую облачность принята облачность с высотой нижней границы 300м и менее. Таким образом, можно было оценить в каком месяце года наблюдается наибольшая повторяемость и продолжительность низкой облачности.

Далее, разберём каждый сезон исследуемого года более детально.

Для более наглядного понимания вопроса приведём следующие рисунки

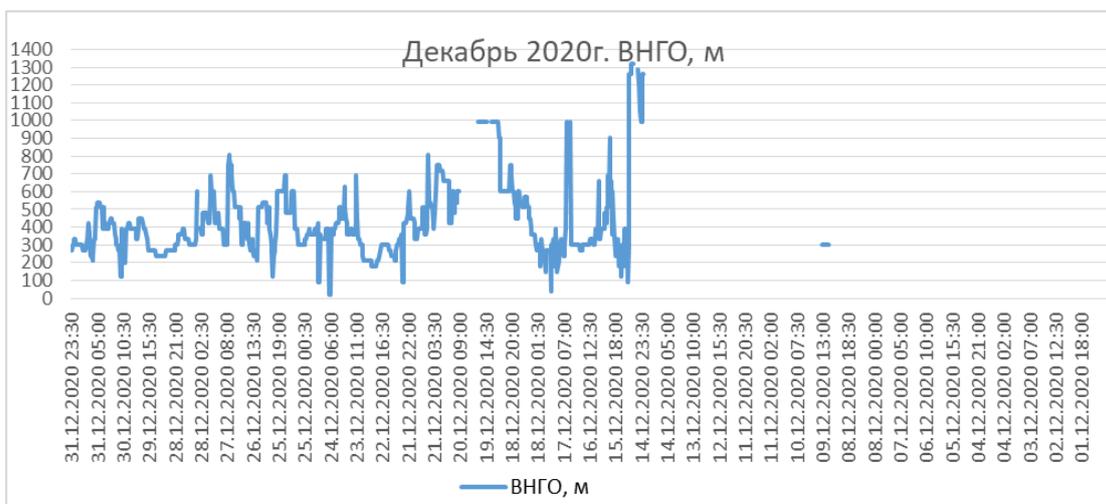


Рисунок 3.

*Ход ВНГО в декабре*

Анализируя выше представленный график можно сделать вывод, что высота нижней границы облачности менее 300 м имеет продолжительность 143 часа из 744 часов в этом месяце. Так же следует обратить внимание, что случаи по наличию облачности представлены в основном после 15.12.2020г. Связь с синоптической ситуацией по данному месяцу представлена ниже.

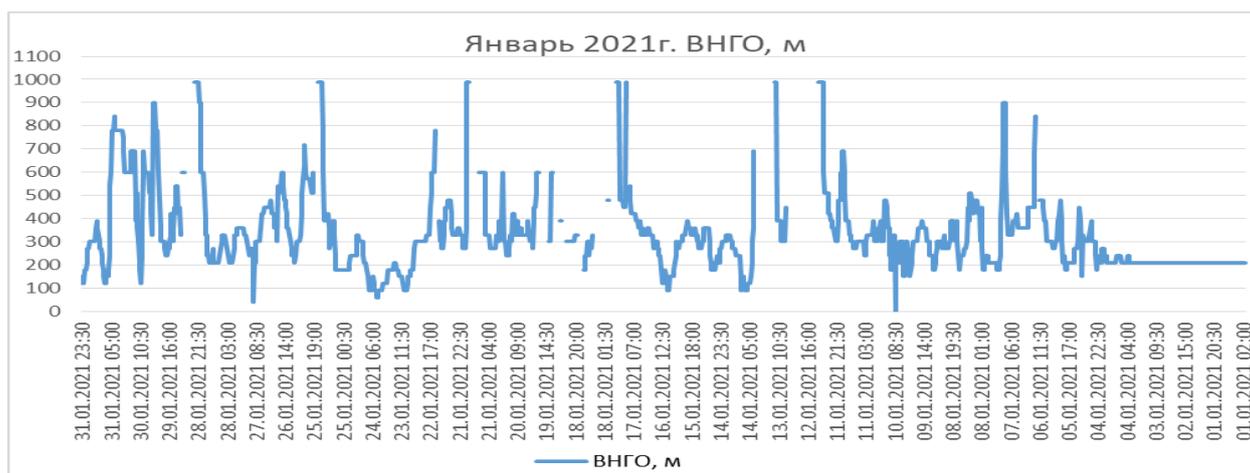


Рисунок 4.

*Ход ВНГО в январе*

Анализируя январь представленный на рисунке 4, который является серединой зимнего периода, а также наиболее облачным месяцем среди всех 3 исследуемых аэродромов (Нижний Новгород, Архангельск, Бишкек) Были выявлены значения ВНГО менее 300 м с общей продолжительностью в 374,5 часа из 744 часов.



Рисунок 5.

Ход ВНГО в феврале

Анализируя график на рисунке 3.5 я делаю вывод, что продолжительность ВНГО менее 300 м в феврале 2021 года составляла 201 час из 672 часов. Низкая облачность наблюдалась на протяжении всего месяца.

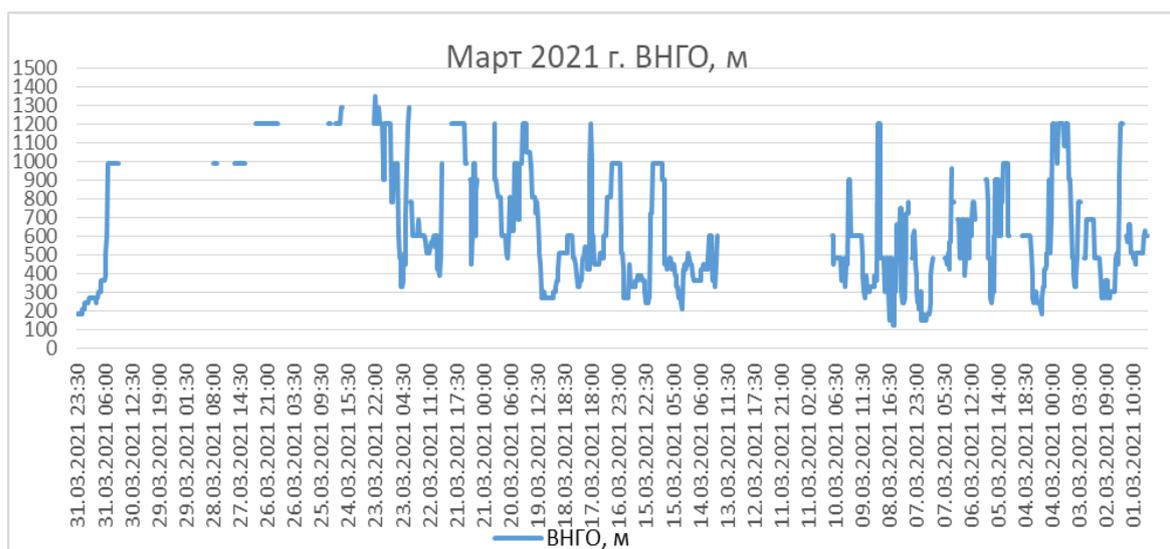


Рисунок 6.

Ход ВНГО в марте

На рисунке 6 мы видим ход изменения облачности в марте 2021 года. Первый месяц весны и связанные с этим периодом преобладающие барические образования дали продолжительность ВНГО менее 300 м всего 68,5 часов из 744 часов. Анализ синоптической ситуации приведён ниже.

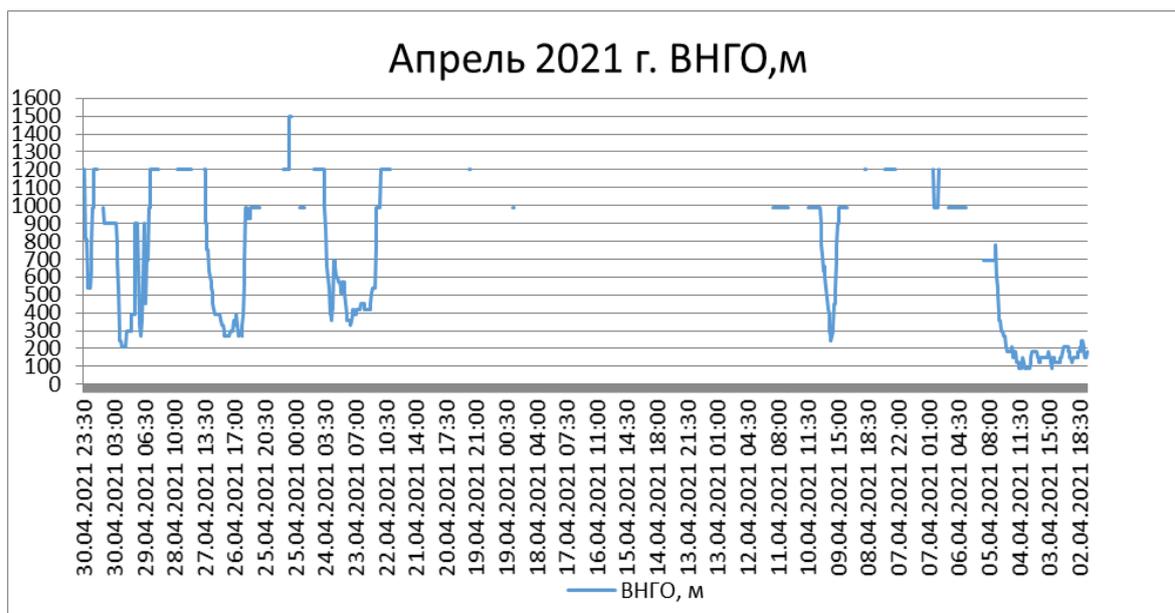


Рисунок 7.

*Ход ВНГО в апреле*

Анализируя рисунок 7 можно сказать, что из 720 часов в месяце 80,5 часов пришлось на градацию ВНГО менее 300 м. Апрель считается серединой весеннего периода и, в связи с активным нагреванием земной поверхности солнцем и преобладанием определённых синоптических ситуаций облачность выражено отсутствует с 11.04.21 по 23.04.21 г.

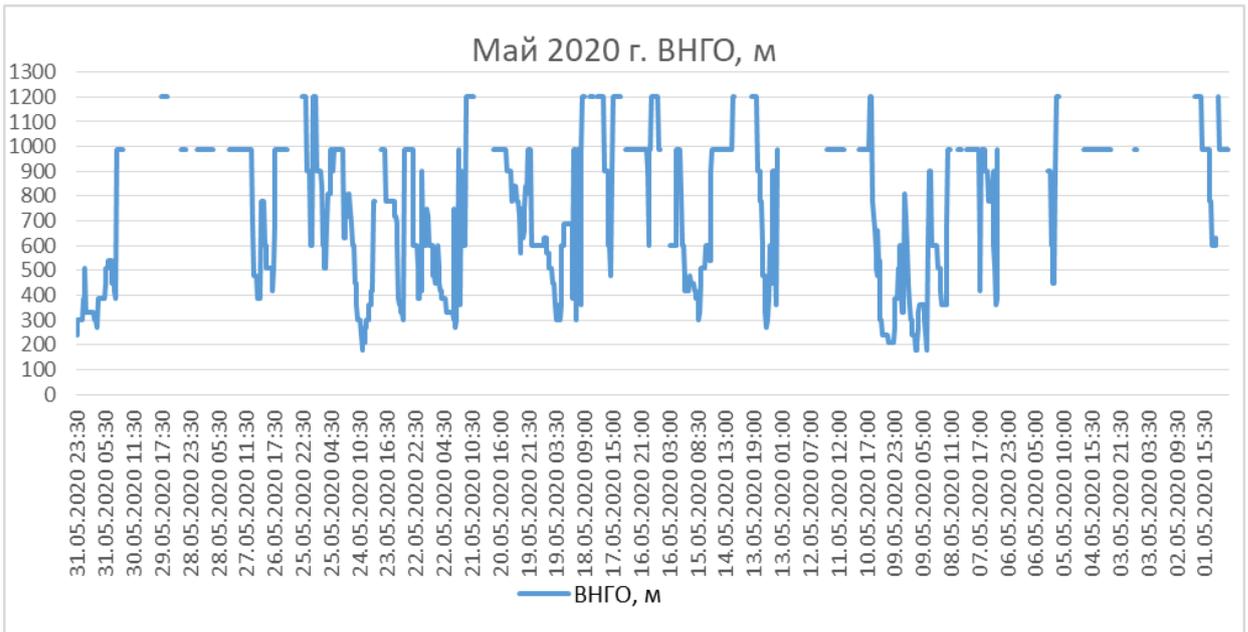


Рисунок 8.

*Ход ВНГО в мае*

Анализируя рисунок 8 можно проследить, что завершающий месяц весны является облачным, но градация менее 300 м представляет собой величину продолжительности всего 38 часов из 744 часов в мае.

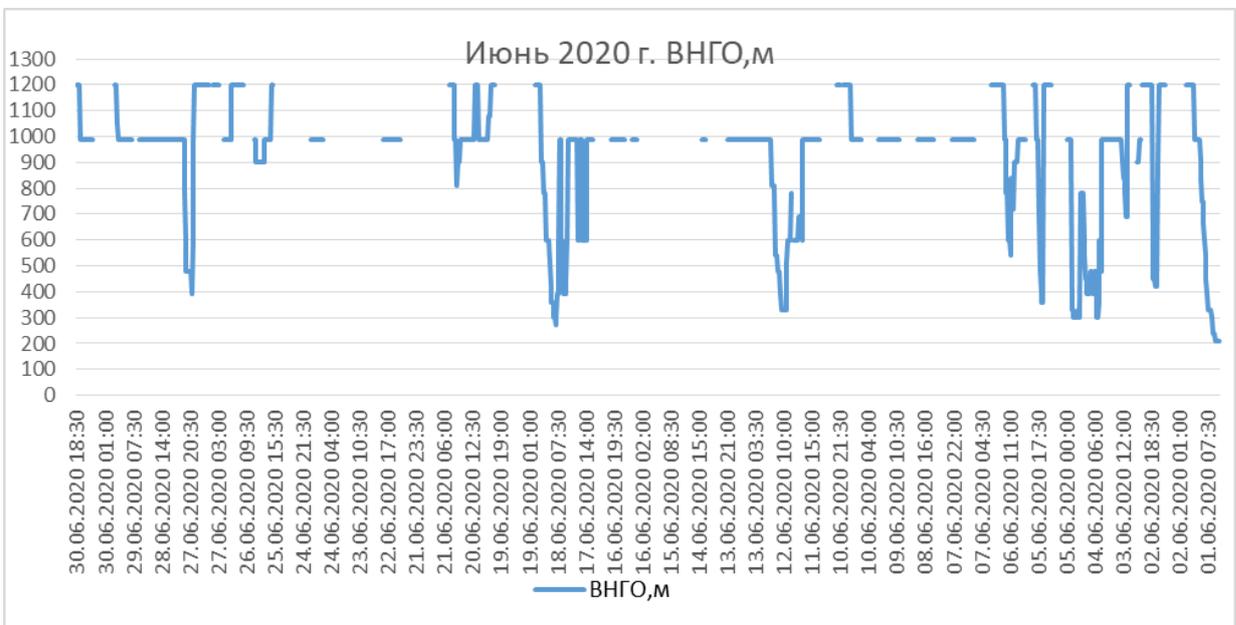


Рисунок 9.

*Ход ВНГО в июне*

Летний период в аэродроме Нижний Новгород сопровождается значительной облачностью, но анализируя график на рисунке 9 можно сделать вывод, что продолжительность ВНГО менее 300 м равна всего лишь 11,5 часам из 720 часов в июне.

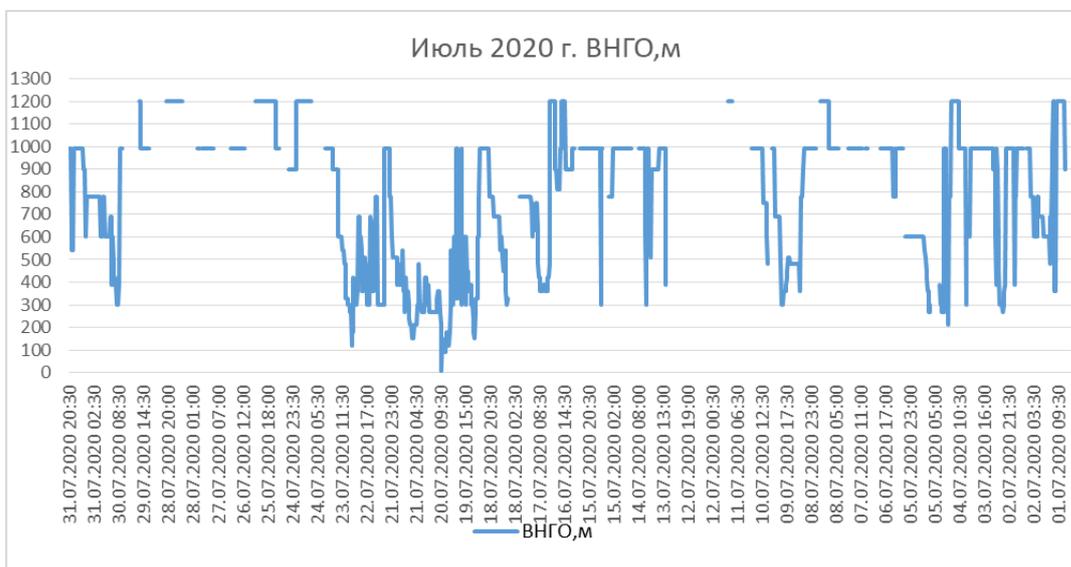


Рисунок 10.

*Ход ВНГО в июле*

Представленный график на рисунке 10 является иллюстрацией хода ВНГО для середины летнего периода. В этом месяце продолжительность периодов с низкой облачностью составила 58,5 часов из 744 часов в июле.

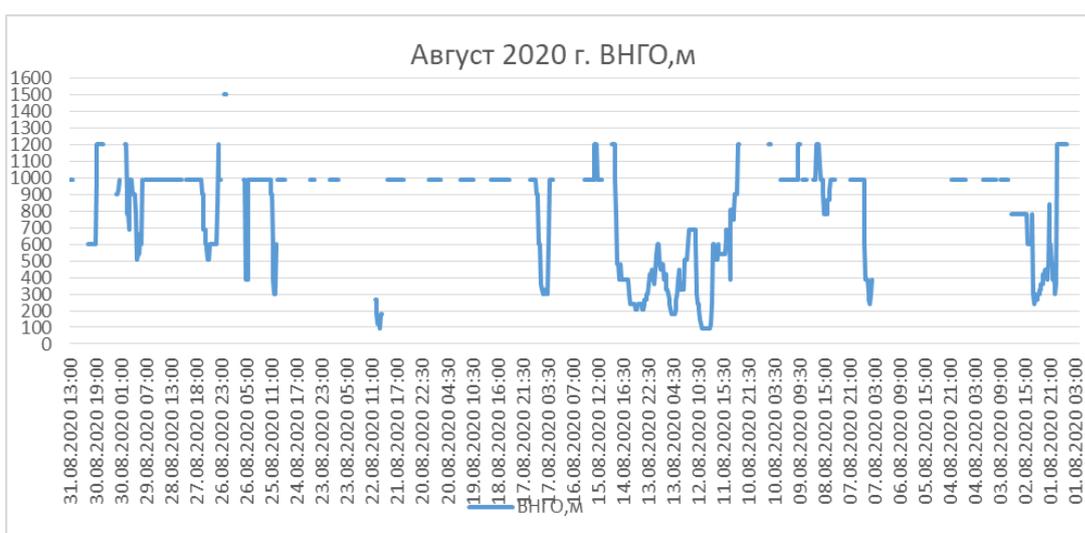


Рисунок 11.

*Ход ВНГО в августе*

На рисунке 11 представлен август 2020 года. Продолжительность эпизодов с ВНГО менее 300 м составила около 49 часов из 744 часов в месяце.

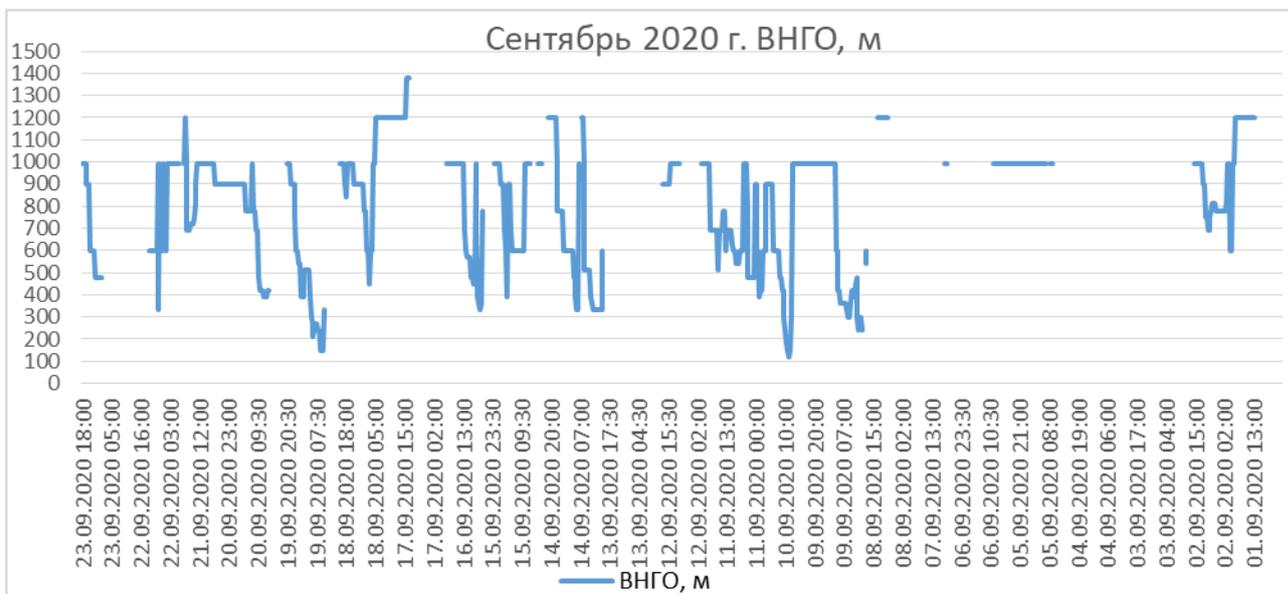


Рисунок 12.

*Ход ВНГО в сентябре*

В сентябре наблюдалось небольшое количество случаев с ВНГО менее 300м, их общая продолжительность составила 13,5 часов из 720 часов в месяце. Это второй по величине минимальной продолжительности месяц исследуемого года после июня.

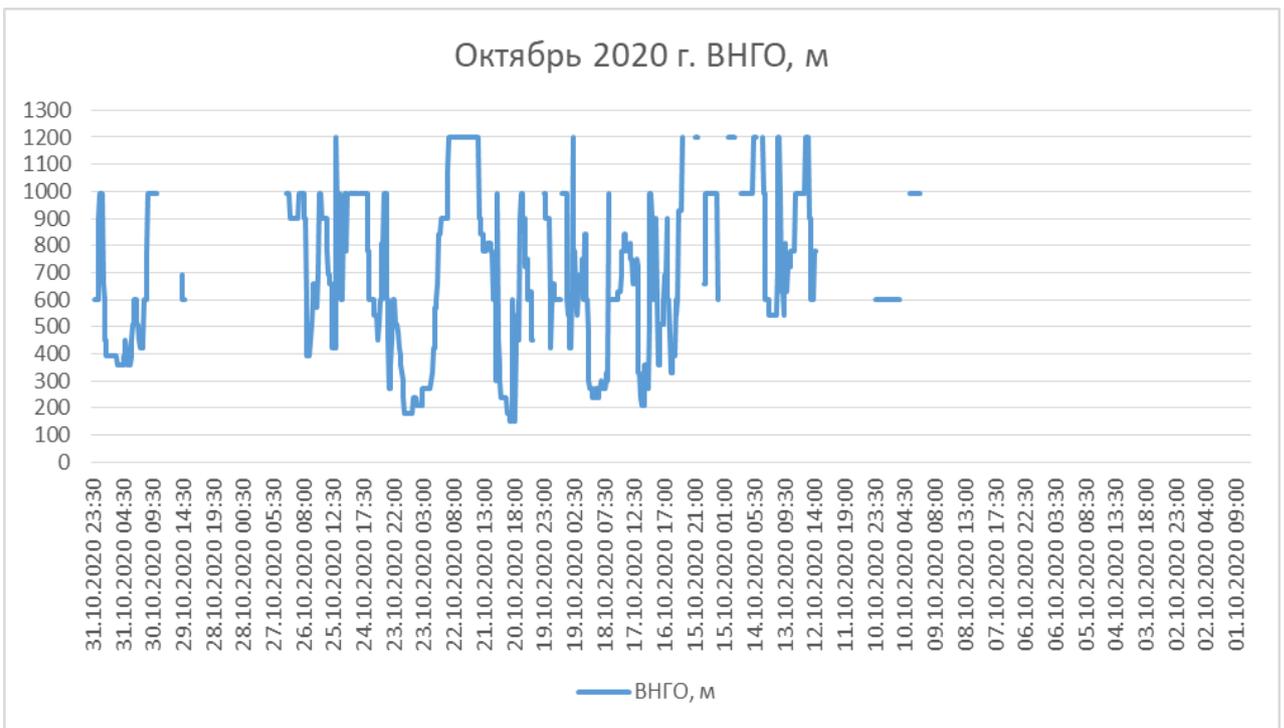


Рисунок 13.

*Ход ВНГО в октябре*

Анализируя высоту нижней границы облачности в октябре, можно сделать вывод, что в середине осеннего периода незначительны эпизоды с низкой облачностью ( ВНГО менее 300 м). Всего в этом месяце зафиксировано 46 часов с ВНГО менее 300 м из 744 часов в октябре.

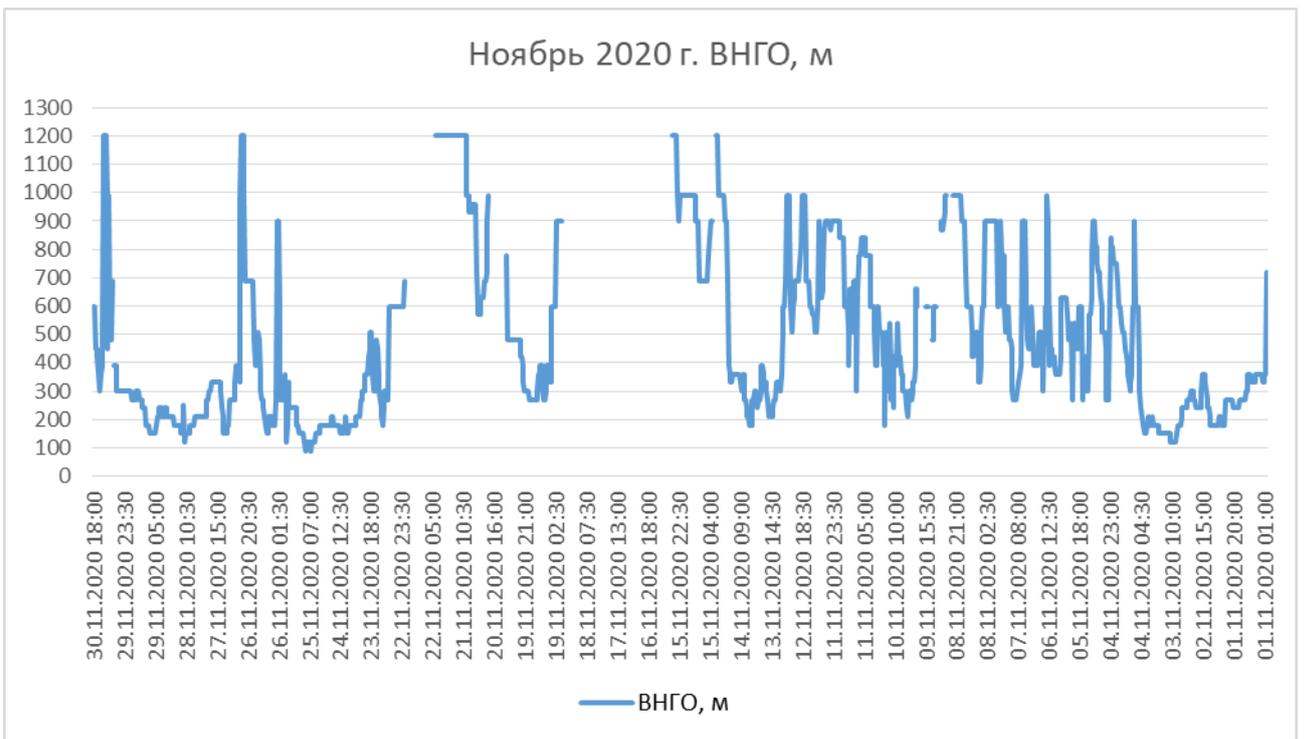


Рисунок 14.

Ход ВНГО в ноябре

Завершает анализ последний осенний месяц представленный на рисунке 14. В ноябре случаи с ВНГО менее 300 м составили по общей продолжительности 242 часа из 720 часов в месяце.

Проследим ход изменения продолжительности эпизодов с низкой облачностью на аэродроме Нижний Новгород за исследуемый год (рисунок 15).



Рисунок 3.2

*Продолжительность эпизодов с низкой облачностью на аэродроме Стригино за исследуемый год.*

По данному рисунку можно сделать вывод, что большинство случаев низкой облачности приходится на конец осени, зимний период и первые месяцы весны. В то время как в конце весны, летом и в начале осени случаев с низкой облачностью мало и эти эпизоды носят кратковременный характер. Также приведём данные по продолжительности эпизодов с низкой облачностью в виде таблицы 1.

Таблица 1.

*Продолжительность ВНГО менее 300 м в часах за 12 месяцев*

Месяц	1 (Янв)	2 (Фев)	3 (Мар)	4 (Апр)	5 (Май)	6 (Июн)	7 (Июл)	8 (Авг)	9 (Сен)	10 (Окт)	11 (Ноя)	12 (Дек)
Прод., ч	374,5	201	68,5	80,5	38	11,5	58,5	49	13,5	46	242	143

Все эти данные помогают выявить определенные месяцы и периоды в году, когда часто наблюдается низкая облачность, которая осложняет работу

авиации и требует повышенного внимания синоптиков при прогнозировании ВНГО.

### 3.4. Характерные синоптические ситуации при низкой облачности.

Далее, рассмотрим синоптические ситуации, при которых наблюдалась низкая облачность на аэродроме Нижний Новгород.

В качестве примера приведём наиболее характерные для каждого сезона.

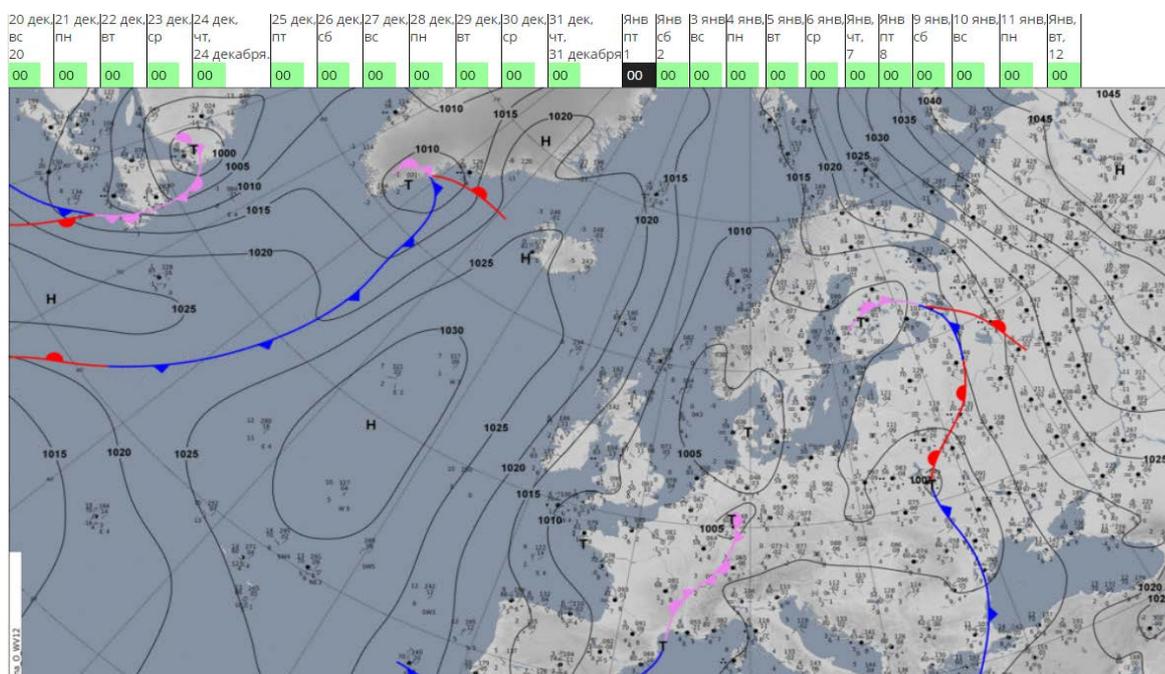


Рисунок 16.

*Синоптическая ситуация 01.01.2021г срок за 00 часов.*

На рисунке 16 представлена наиболее часто встречаемая синоптическая ситуация в зимний период. Это прохождение тёплого фронта и тёплый сектор циклона.

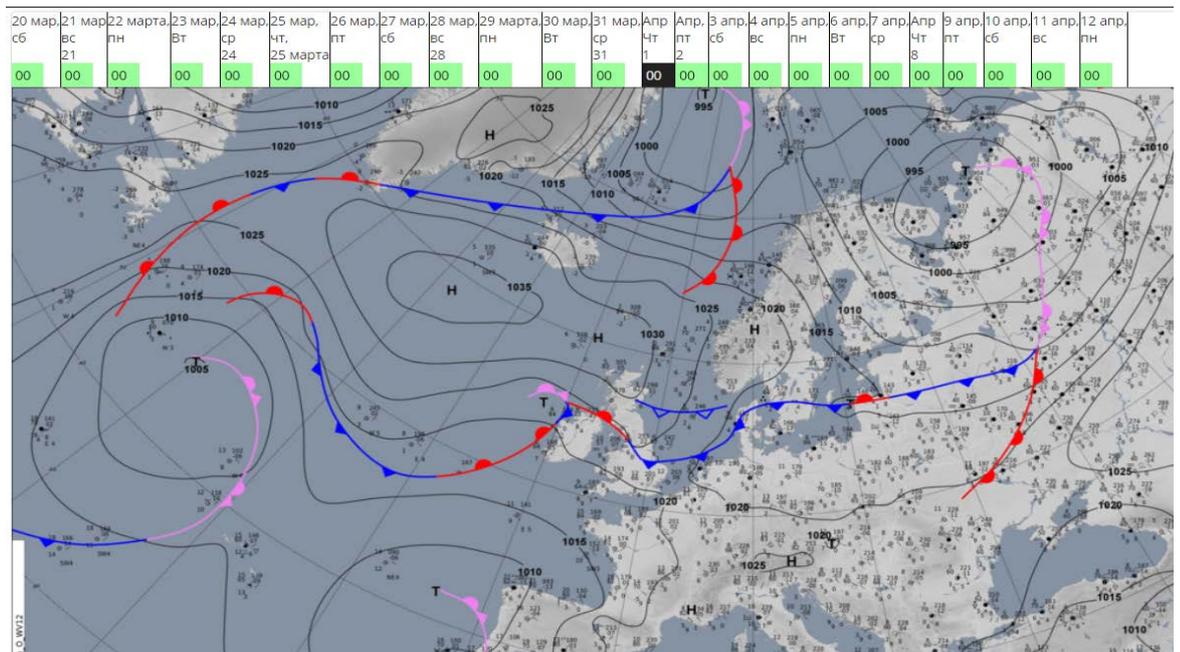


Рисунок 17.

*Синоптическая ситуация 01.04.2021г срок за 00 часов.*

На рисунке 17 представлена характерная синоптическая ситуация, при которой наблюдалась низкая облачность в весенний период. Это ситуация, связанная с прохождением фронтальных систем (тёплого фронта и фронта окклюзии).

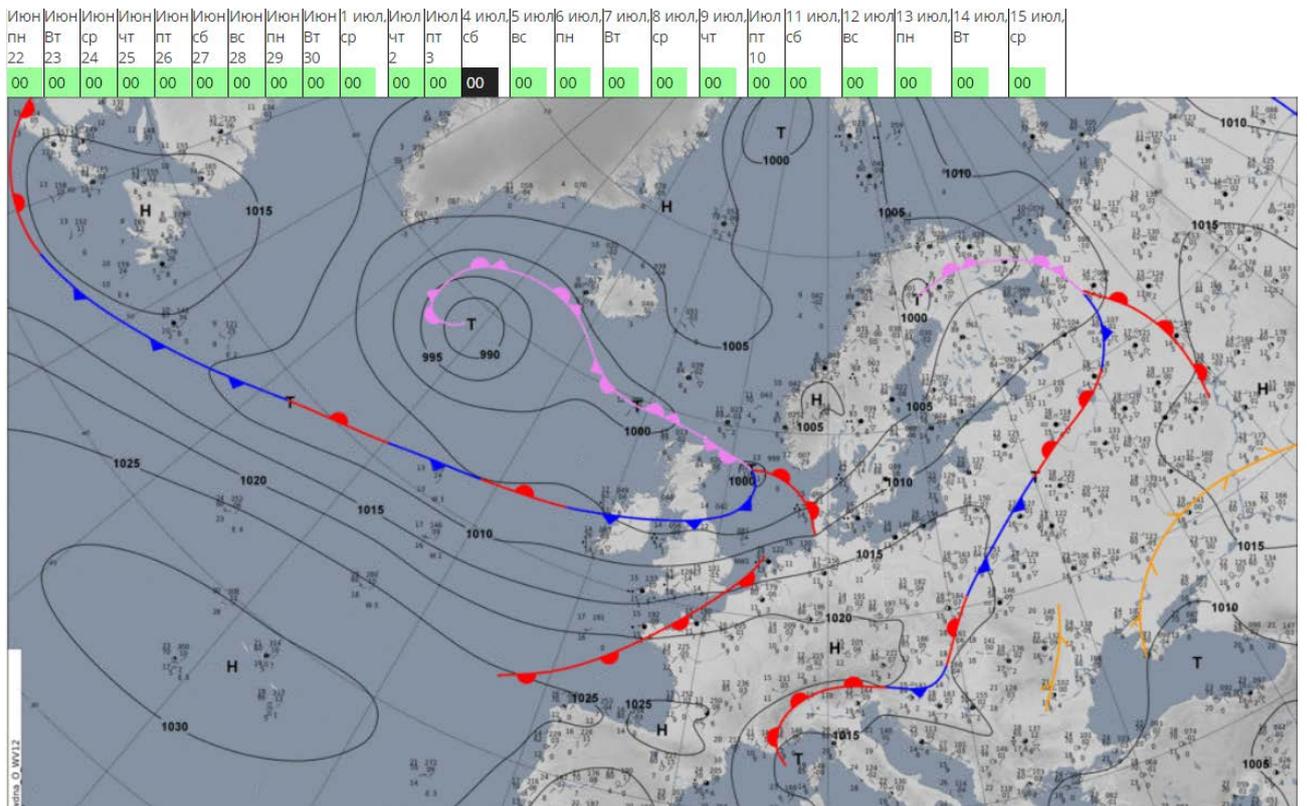


Рисунок 18.

Синоптическая ситуация 04.07.2020г срок за 00 часов.

На рисунке 18 представлена характерная синоптическая ситуация для летнего периода. Здесь, также, как в зимние и весенние месяцы чаще других встречается синоптическая ситуация тёплого сектора циклона.

20 октября	21 октября	22 октября	23 октября	24 октября	25 октября	26 октября	27 октября	28 октября	29 октября	30 октября	31 октября	1 ноября	2 ноября	3 ноября	4 ноября	5 ноября	6 ноября	7 ноября	8 ноября	9 ноября	10 ноября
Вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
11 ноя	12 ноя																				
ср	чт																				
00	00																				

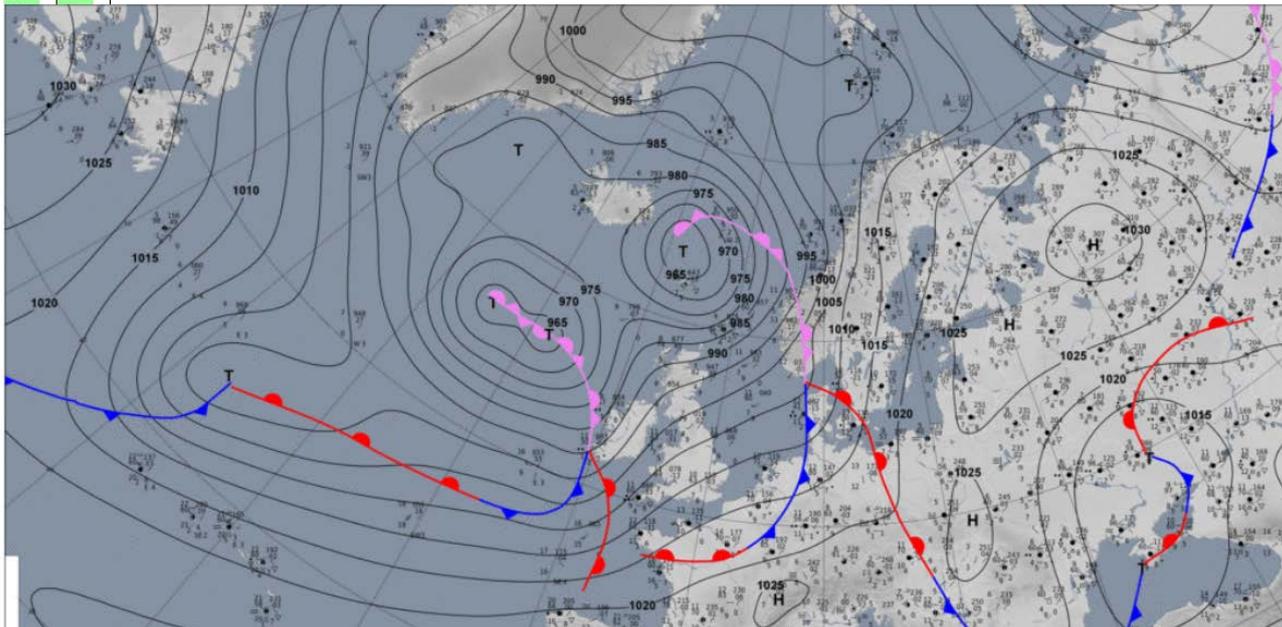


Рисунок 19.

*Синоптическая ситуация 01.11.2020г срок за 00 часов.*

На рисунке 19 представлена синоптическая ситуация, характерная для появления низкой облачности осенью на аэродроме Стригино. Чаще всего низкая облачность связана с наличием на синоптической карте центральной части антициклона.

Понижение высоты нижней границы облачности до значений 300м и ниже в данных характерных синоптических ситуациях можно связать со следующими важными составляющими:

- присутствуют восходящие движения воздуха;
- происходит процесс адвекции теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность;
- происходит увеличение влажности воздуха;
- падение давления;
- приближение атмосферного фронта;
- наличие приземной инверсии.

Физический смысл ограничений по интервалу температур, в котором следует прогнозировать наличие низкой облачности, состоит в том, что как очень низкие температуры зимой, так и очень высокие летом характерны для безоблачной и малооблачной погоды.

### 3.5. Расчёт нижней границы облачности по полуэмпирическим формулам.

В качестве формул, по которым проводился расчёт ВНГО, были использованы формулы, приведённые выше. Расчёт производился по четырём формулам (1, 2, 3 и 4) следующим образом. Для каждого случая ВНГО менее 300 м были определены значения  $T$ ,  $T_d$  и  $R$  (взяты из исходных данных). Далее, по формулам была рассчитана ВНГО. Затем, сравнивая полученные результаты с фактически наблюдавшимися значениями ВНГО были отобраны успешные случаи. В данном случае, успешными считались рассчитанные по формулам значения ВНГО, отличающиеся от фактически наблюдаемой не более, чем на 30 м (точность, предъявляемая к прогнозу ВНГО до 300м в авиации). Затем, результаты были оценены в процентах. Количество(в процентах от общего

числа расчётов) успешных расчётов ВНГО для каждого месяца и по каждой формуле приведены в таблице 2.

Таблица 2

Оправдываемость прогноза ВНГО по формулам

Месяц формула	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	5%	9%	8%	6%	4%	1%	17%	4%	6%	3%	9%	1%
2	7%	0%	0%	0%	4%	0%	13%	13%	9%	11%	7%	1%
3	8%	4%	0%	1%	4%	0%	4%	5%	8%	22%	4%	0%
4	5%	13%	4%	2%	0%	7%	15%	8%	19%	5%	4%	1%

Из анализа результатов таблицы следует сделать вывод, что по наибольшую оправдываемость имеют формула (1) и (4).

Далее, по формулам (5) и (5\*) были рассчитаны и подобраны эмпирические коэффициенты  $k$  и  $k^*$ .

Результаты расчётов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Эмпирические коэффициенты для Нижнего Новгорода

месяц\коэфф	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K	233	227	227	219	241	255	224	194	179	136	200	239
K*	2516	2460	2396	1972	2097	2212	1868	2175	1966	1882	2550	1806

Затем, была пересчитана ВНГО по формулам (5) и (5\*) с новыми коэффициентами. Также, были оценены как оправдавшиеся, значения ВНГО, отличающиеся от фактической не более, чем на 30м. Оправдываемость прогноза по формулам (5) и (5\*) представлена в таблице 4.

Таблица 4

Оправдываемость прогноза ВНГО по формулам 5 и 5\*, %

месяц формула	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
5	13%	13%	3%	7%	11%	38%	16%	10%	4%	19%	4%	2%
5*	13%	13%	6%	8%	7%	15%	17%	2%	12%	1%	30%	30%

Анализируя полученные результаты таблицы 4 можно сказать что для аэродрома Нижний Новгород наиболее корректная и более значимая формула с самой высокой оправдываемостью оказалась формула 5.

Анализируя одновременно таблицу 4 и таблицу 3, можно заметить, что коэффициенты подобранные эмпирическим путём специально для конкретно выбранного аэродрома Нижний Новгород дают в итоге более точные значения ВНГО.

Далее, на рисунках 20-31 в наглядном виде представлены для сравнения графики хода ВНГО рассчитанного по разным формулам и фактическая ВНГО.

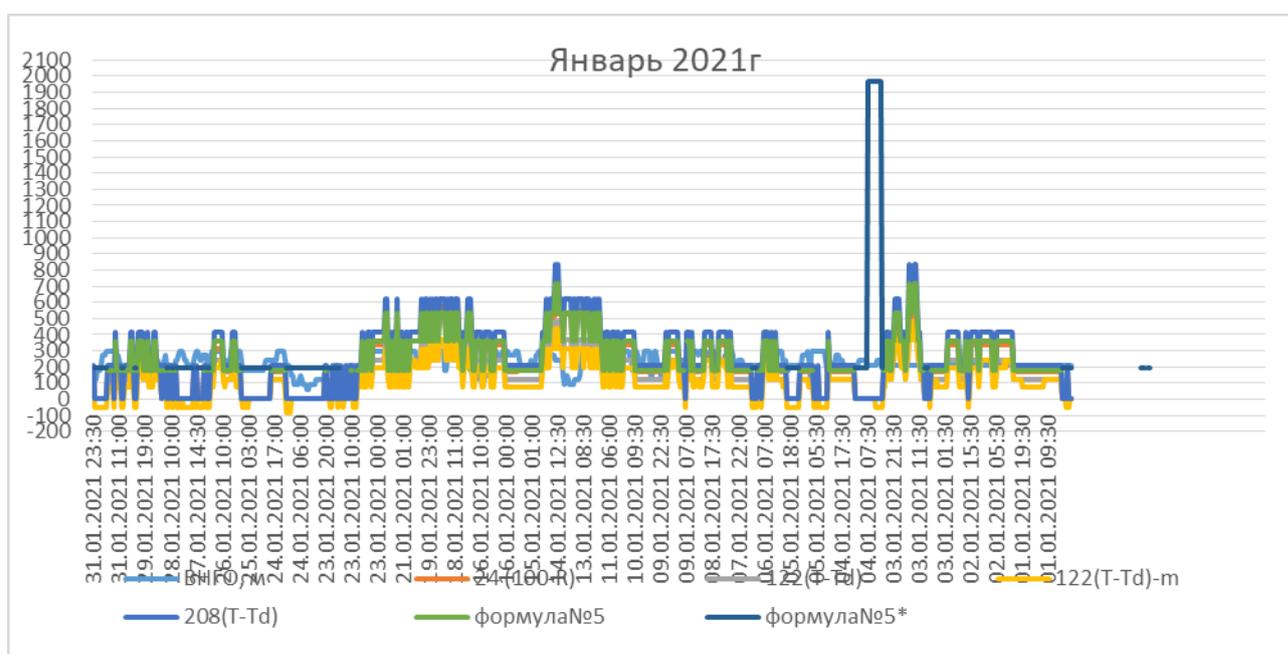


Рисунок 20.

ВНГО, рассчитанная в январе

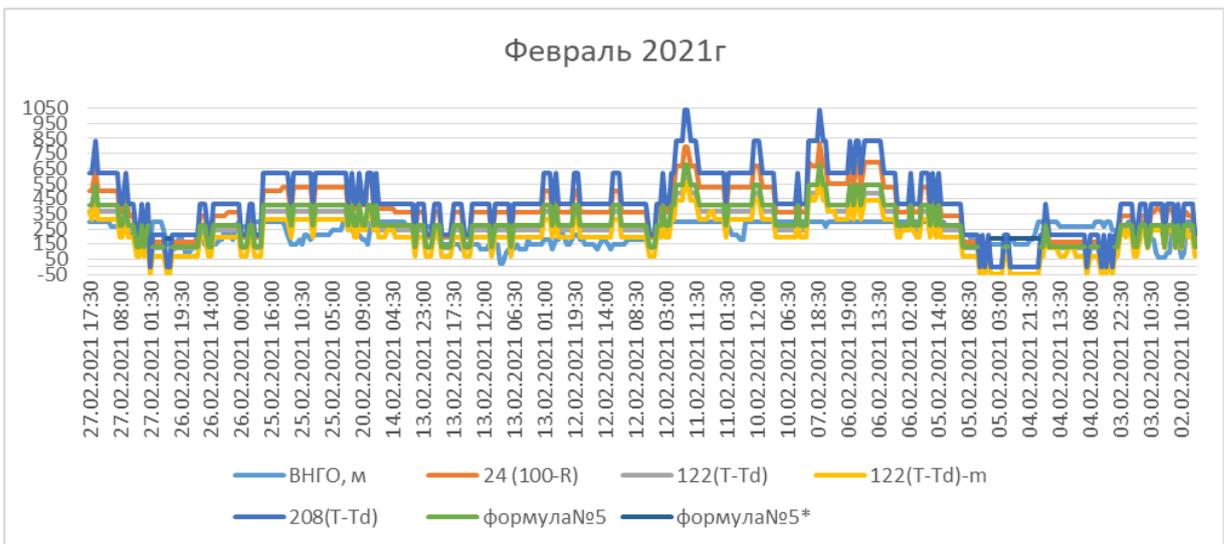


Рисунок 21.

ВНГО рассчитанная в феврале

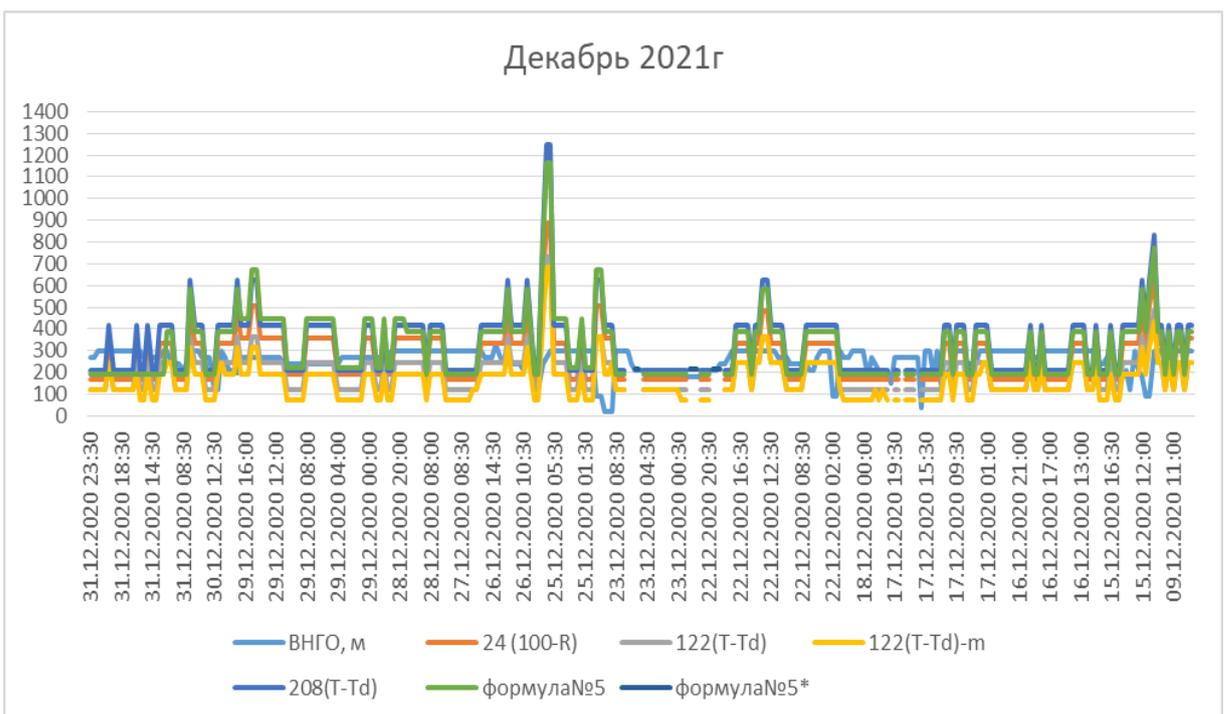


Рисунок 22.

ВНГО рассчитанная в декабре

Анализируя представленные выше рисунки 20-21 за зимний период исследуемого года наблюдаем ход фактической ВНГО и ход ВНГО, рассчитанную по всем формулам. Формула (5) ближе всех находится к

фактическим значениям.

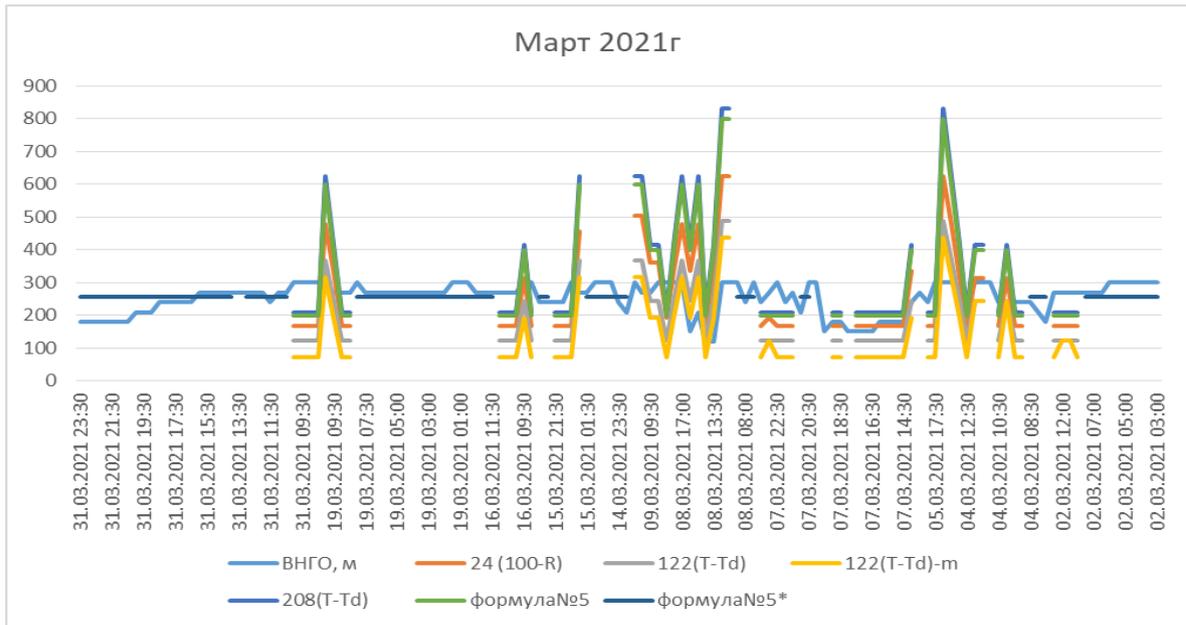


Рисунок 23

ВНГО рассчитанная в марте

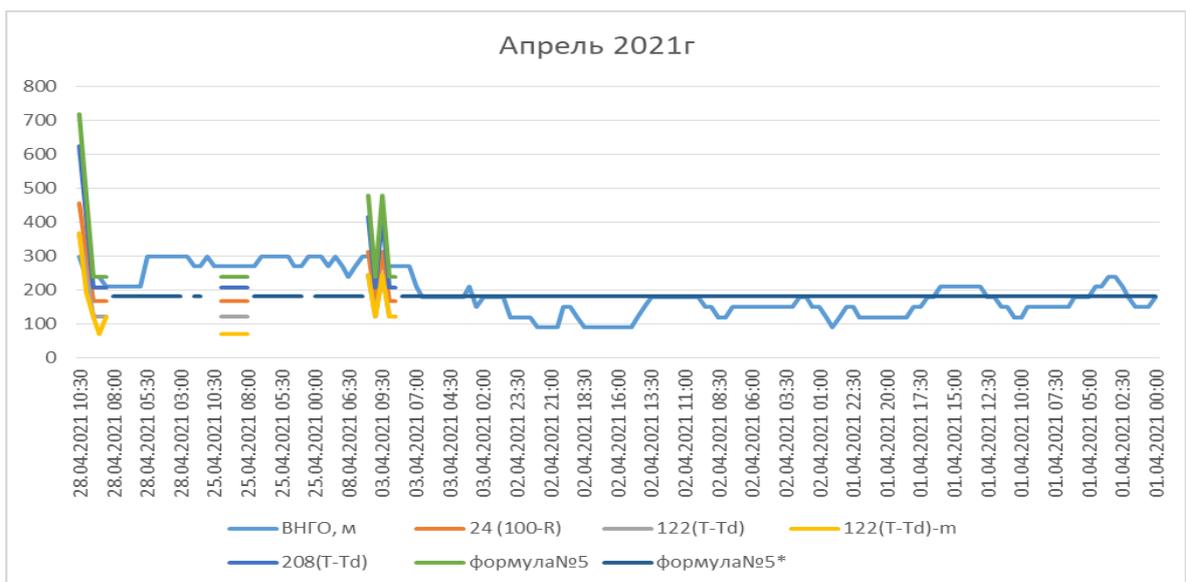


Рисунок 24.

ВНГО рассчитанная в апреле

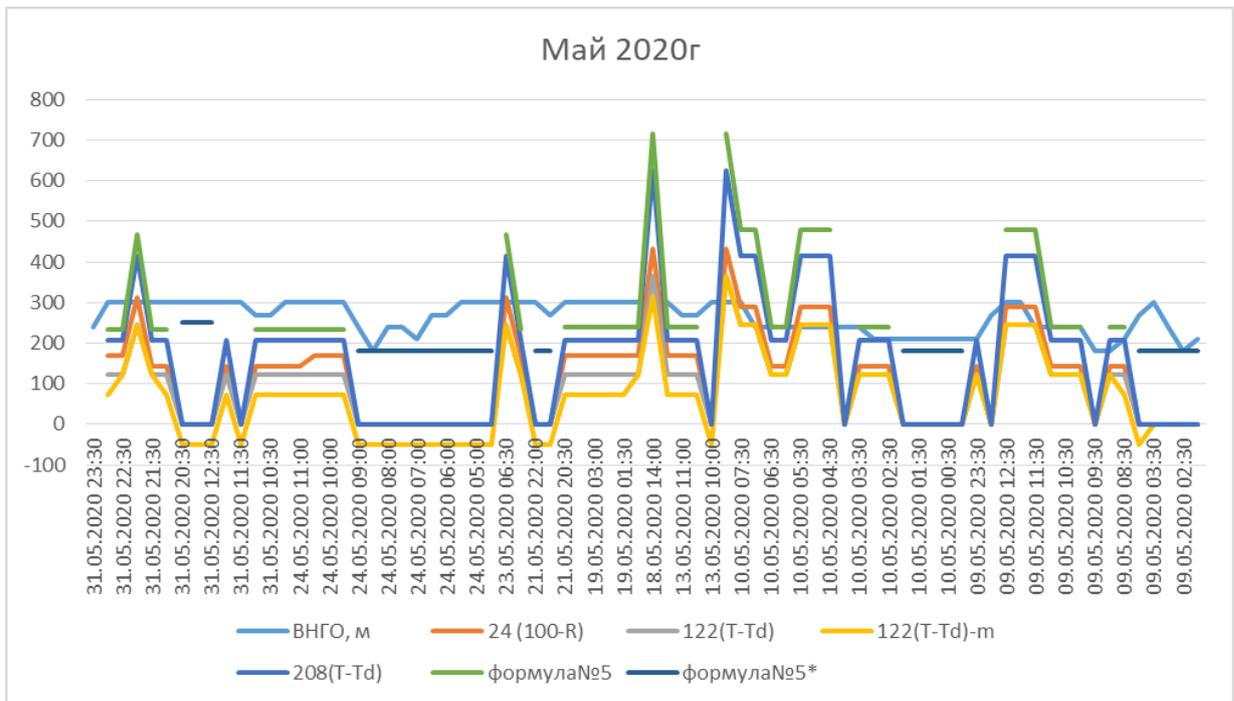


Рисунок 25

*ВНГО рассчитанная в мае*

Анализируя представленные выше рисунки 23-25 за весенний период исследуемого года наблюдаем ход фактической ВНГО и ход ВНГО, рассчитанной по всем формулам. Самая приближенная формула к фактическим значениям является формула (5) для аэродрома Нижний Новгород.

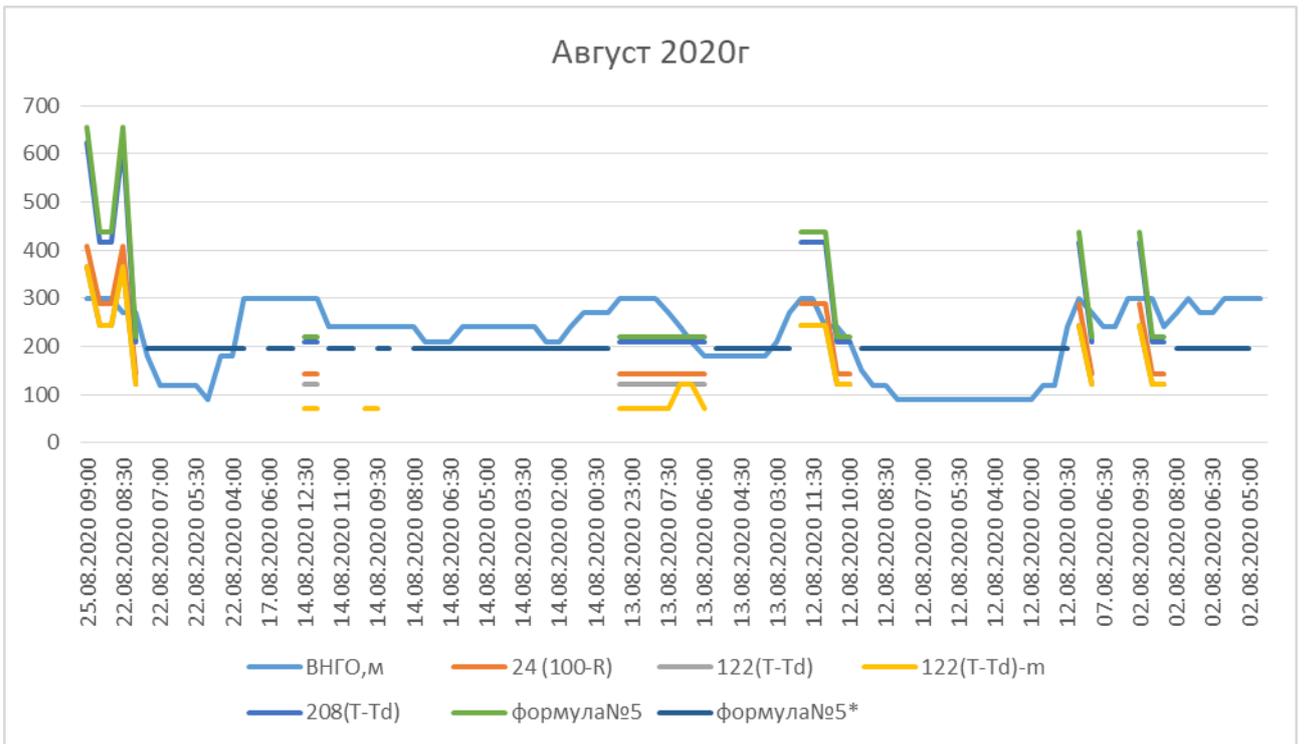


Рисунок 26.

ВНГО рассчитанная в августе

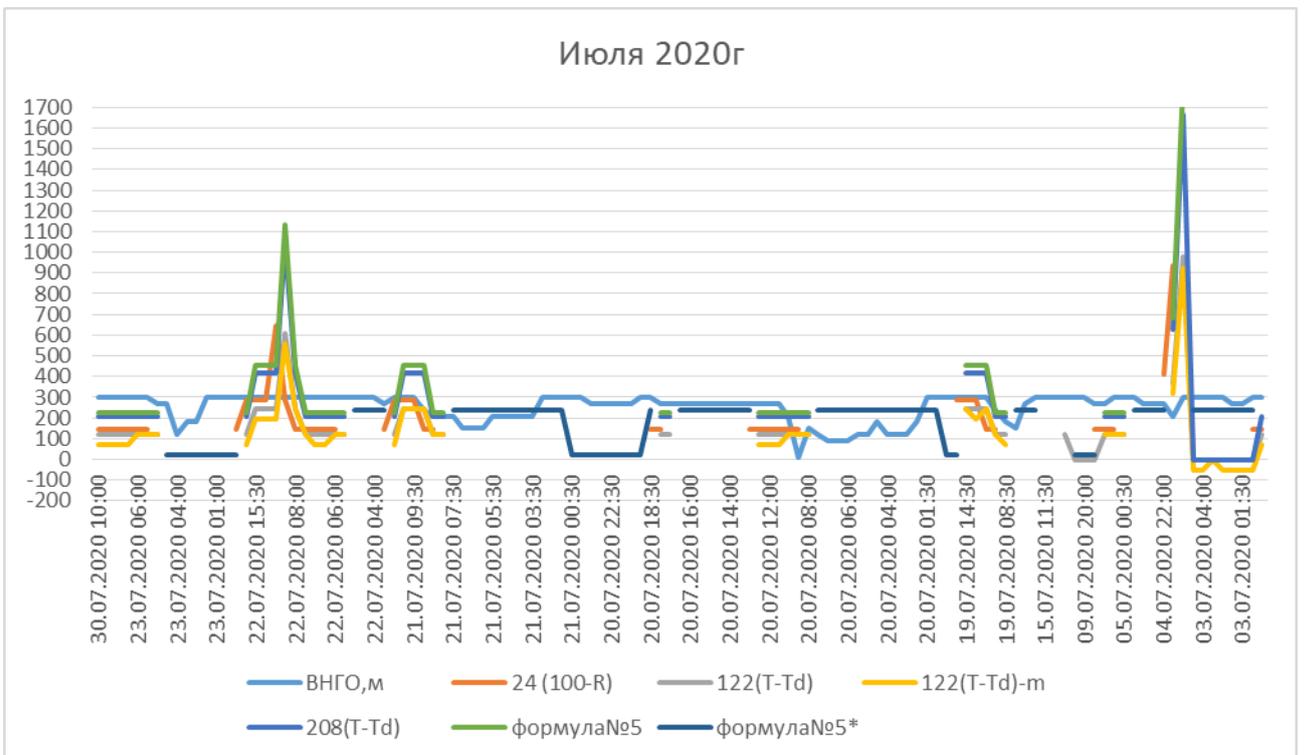


Рисунок 27.

ВНГО рассчитанная в июле

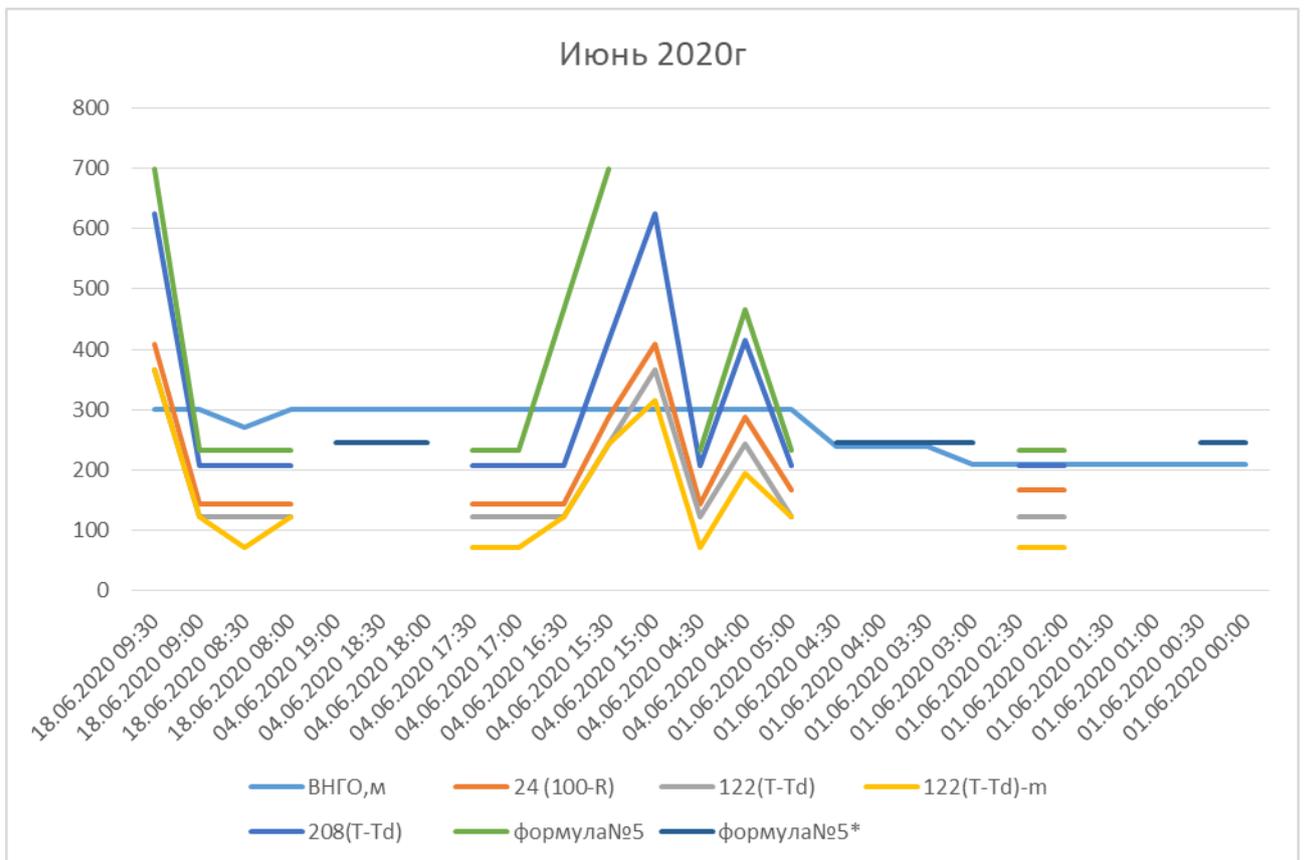


Рисунок 28.

*ВНГО рассчитанная в июне*

Представленные графики на рисунках 26-28 составлены за летний период 2020 года. Анализируя представленные графики можем сделать вывод, что формула (5) и (5\*) подходят для более успешного прогноза для июня, июля, августа. Самая менее успешная формула оказалась формула Ферреля (2).

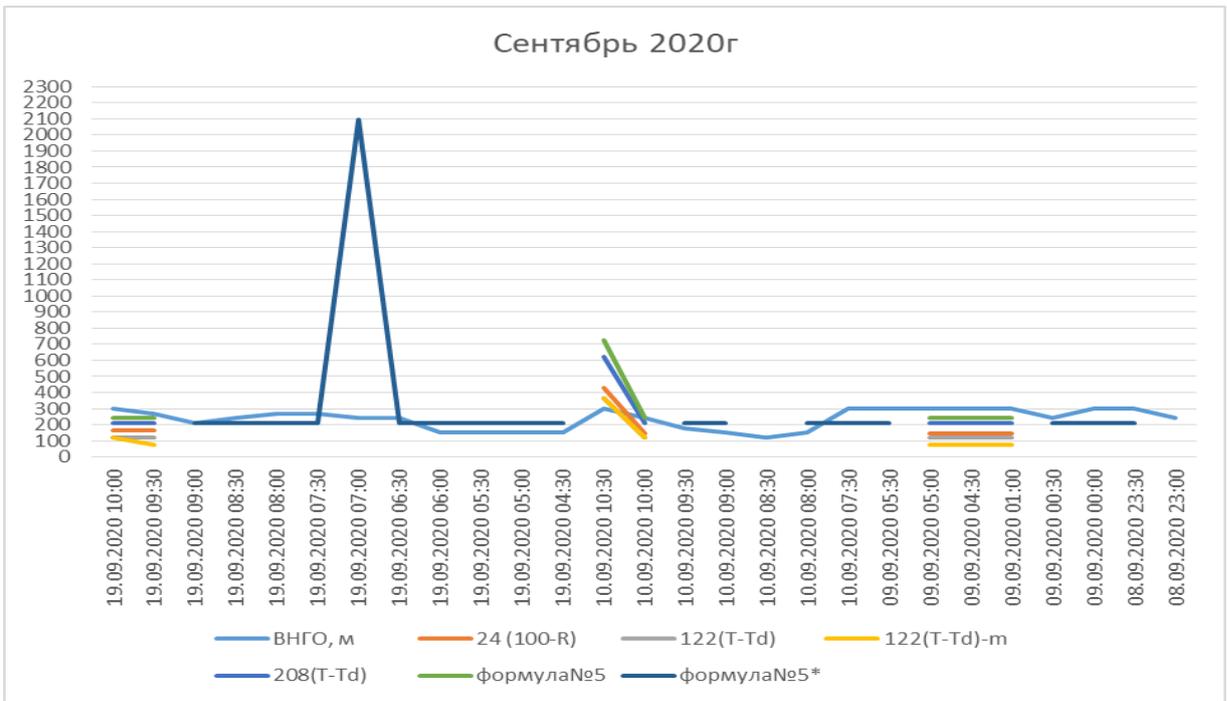


Рисунок 29

ВНГО рассчитанная в сентябре

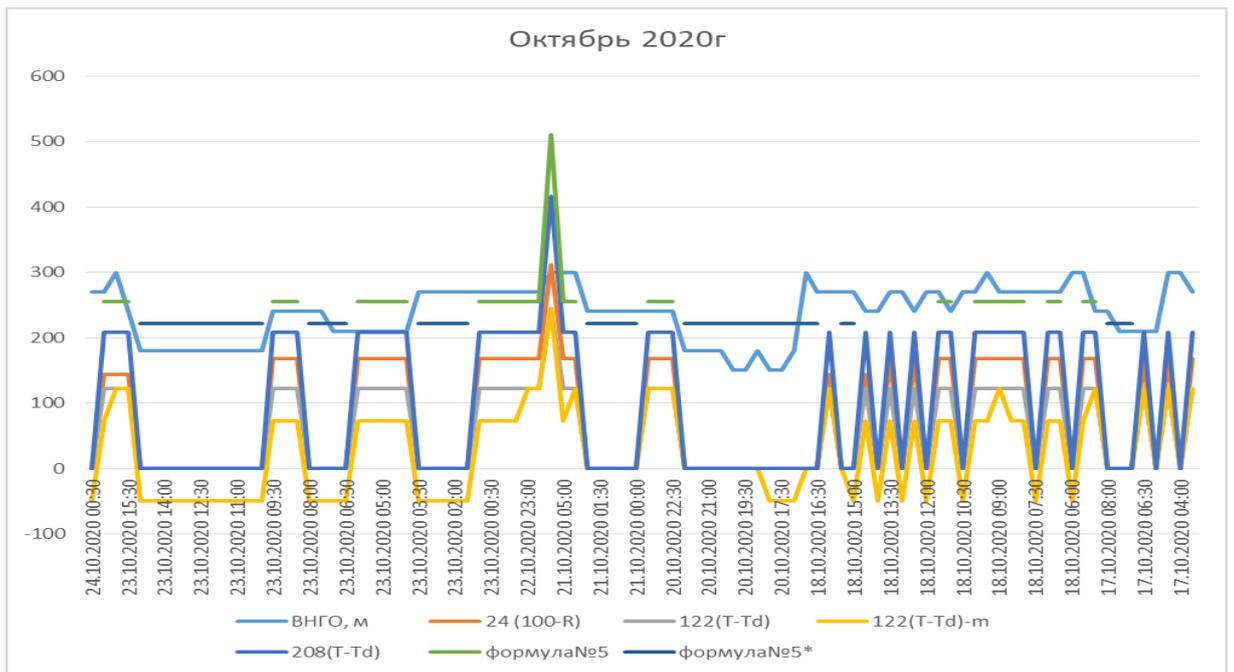


Рисунок 30.

ВНГО рассчитанная в октябре

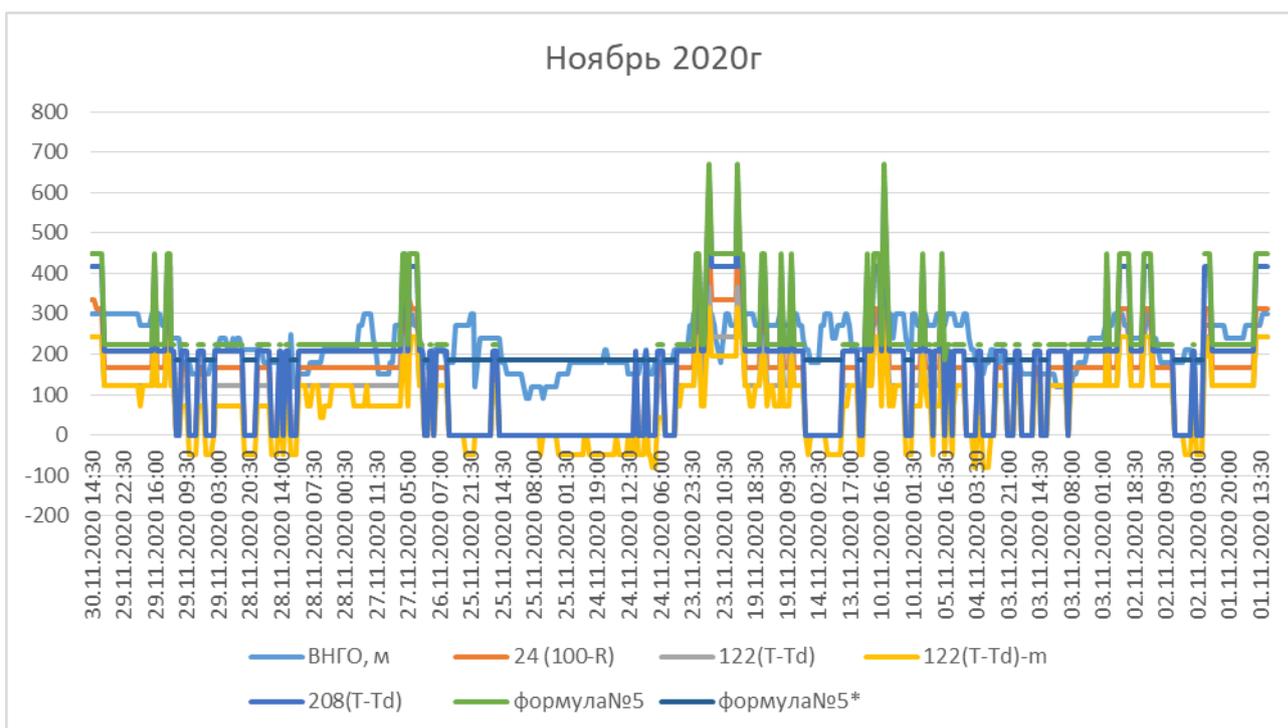


Рисунок 31.

*ВНГО* рассчитанная в ноябре

Анализируя представленные выше рисунки 29-31 за осенний период 2020 года наблюдаем ход фактической ВНГО и ход ВНГО, рассчитанной по всем формулам. Самыми успешными формулами и близкими к фактическим значениям оказались формула (5) и формула (5\*). Менее оправдываемой и допускающей погрешности является формула (3).

3.5. Оценка возможности прогноза высоты нижней границы облачности по данным глобальных моделей.

Для оценки качества прогноза основных предикторов (во всех формулах) были использованы данные двух глобальных гидродинамических моделей ICON и GFS. Ежедневно, в утреннее время, с сайта Ventusky снимались данные о температуре воздуха и температуре точки росы на 12 часов местного времени. Это данные модельных расчётов за исходный срок 00 UTC. С учётом часового пояса, это модельный прогноз на 9 часов.

На рисунках 34-37 приведён пример отбора исходных данных за 30.04.2021г.

Далее, с учётом того, что точность прогноза температуры для авиации не должна превышать +/- 1 градус С, были рассчитаны разности между фактически зафиксированной температурой воздуха и температурой точки росы и прогностическими значениями. По результатам обработки информации были рассчитаны значения оправдываемости прогнозов основных предикторов. Данные приведены в таблице 5.

Таблица 5

Оправдываемость прогноза основных предикторов по двум моделям

Параметр	Ticon	Tdicon	Tgfs	Tdgfs
Оправдываемость, %	63,84	57,26	58,90	56,44

Сравнивая две успешные прогностические модели можем сделать небольшой перевес в сторону ICON модели.

По исходным для этой части работы данным были построены графики.



Рисунок 32

Годовой ход фактической и прогностической температуры точки росы

На рисунке 32 приведены результаты прогноза моделей по Td. Фактическая температура точки росы изменялась в пределах от  $-30 < 0 < +20^{\circ}\text{C}$  в период с 01.06.2020 по 01.04.2021г. Модели ICON и GFS имеют очень высокую оправдываемость и максимально близко подходят к фактическим значениям на протяжении всего года.



Рисунок 33

*Годовой ход фактической и прогностической температуры*

На рисунке 33 представлены результаты прогноза двух моделей по T. Фактическая температура воздуха изменялась в пределах от  $-30 < 0 < +35^{\circ}\text{C}$  в период с 01.06.2020 по 01.04.2021г. Модели ICON и GFS имеют очень высокую оправдываемость и максимально близко подходят к фактическим значениям на протяжении всего года.

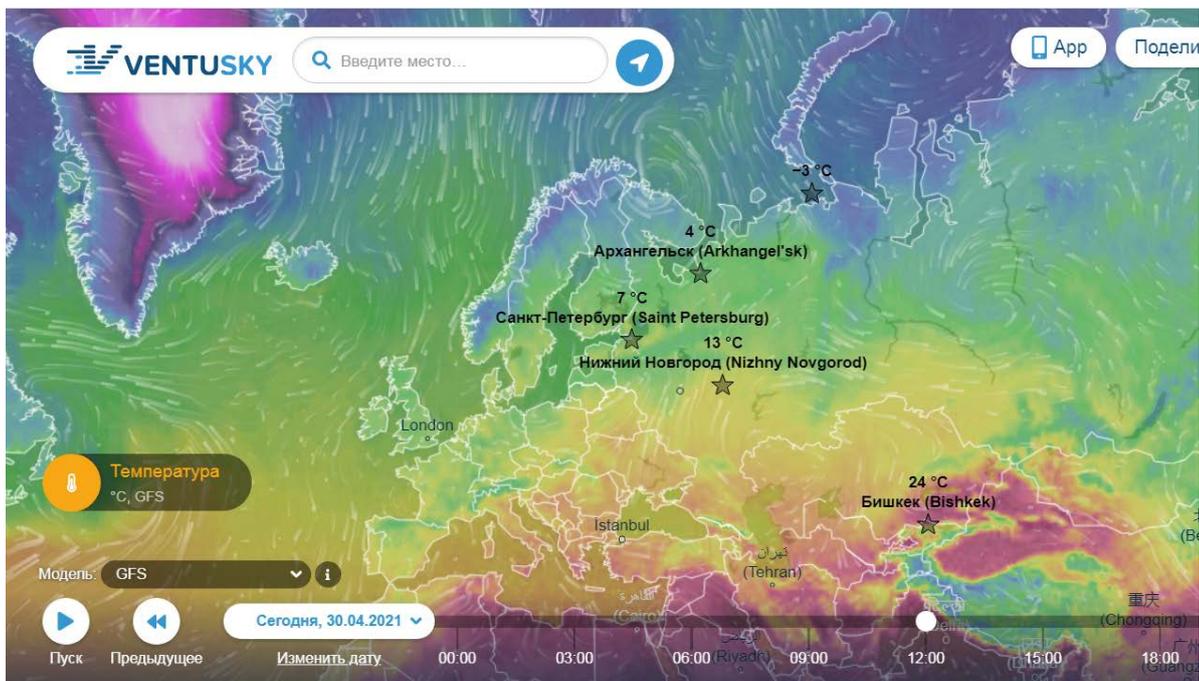


Рисунок 34

Прогноз температуры воздуха по модели GFS

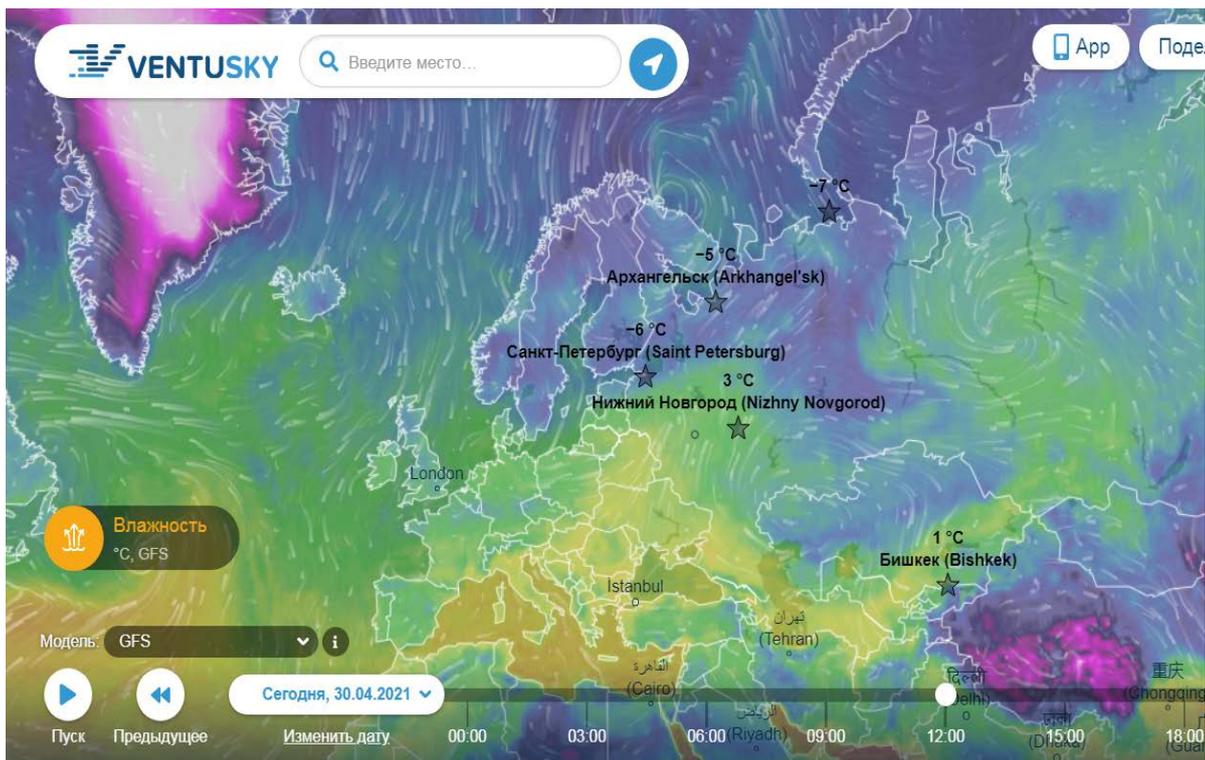


Рисунок 35

прогноз температуры точки росы по модели GFS

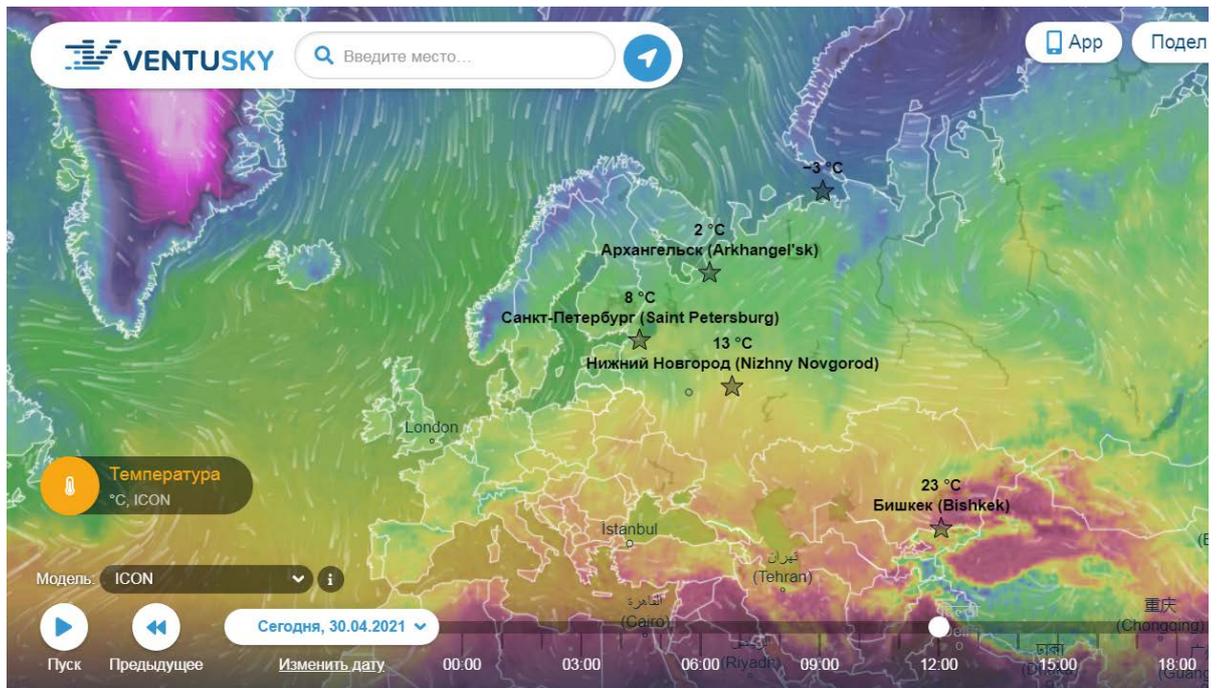


Рисунок 36

прогноз температуры воздуха по модели ICON

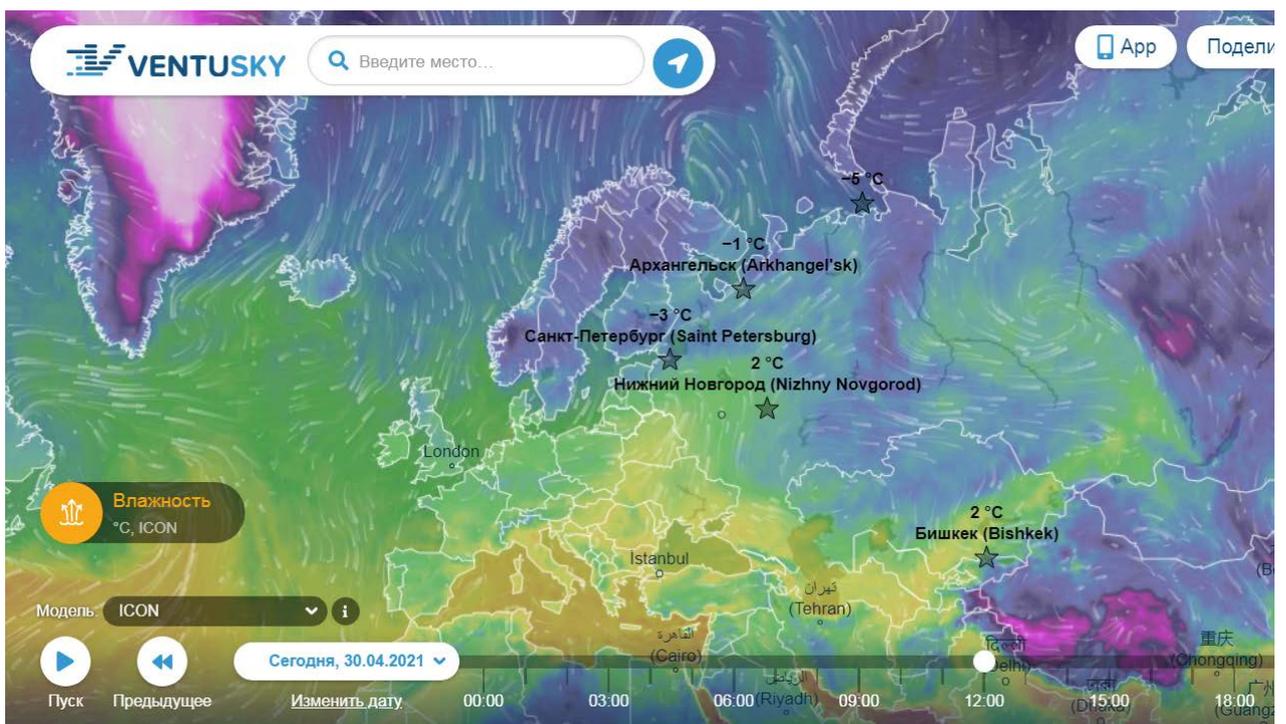


Рисунок 37

прогноз температуры точки росы по модели ICON

Анализируя приведённые выше результаты можно сделать вывод что прогноз основных предикторов по двум выбранным моделям успешен в большинстве случаев и имеет сравнительно небольшую неточность. Это

значит, что совершенствуя методы подбора и уточнения коэффициентов для связи ВНГО и основных предикторов, можно опираться на их успешный прогноз по двум глобальным прогностическим моделям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были выполнены все поставленные задачи и получены следующие выводы.

1. Изучены синоптические ситуации при понижении ВНГО до 300м и ниже на аэродроме Нижний Новгород;

Понижение ВНГО до значений 300м и менее происходит в основном, в теплых секторах циклонов, при прохождении атмосферных фронтов (больше при прохождении тёплых и фронтов окклюзии), а также в осенних антициклонах.

2. Подготовлен исходный материал для систематизации и анализа ВНГО;

В качестве исходных данных был использован архив данных сайта «gr5» по аэродрому Нижний Новгород за период май 2020- апрель 2021 гг. Отбирались данные регулярных наблюдений (по программе аэродромных наблюдений) с дискретностью 30 минут. Всего было отсмотрено и обработано 17 208 сроков. Из них 2652 срока в которые наблюдалась ВНГО менее 300 м.

3. Произведён расчеты ВНГО по полуэмпирическим формулам;

Наибольшую оправдываемость получили формулы (5) и (5\*) , в которых подбирались эмпирические коэффициенты.

4. Произведён анализ успешности прогноза предикторов, используемых в формулах прогноза ВНГО.

Для оценки качества прогноза основных предикторов (во всех формулах) были использованы данные двух глобальных гидродинамических моделей ICON и GFS. Ежедневно, в утреннее время, с сайта Ventusky снимались данные о температуре воздуха и температуре точки росы на 12

часов местного времени. Это данные модельных расчётов за исходный срок 00 UTC. С учётом часового пояса, это модельный прогноз на 9 часов.

Успешность прогноза основных предикторов составляет 56-64 %.

Дальнейшее направление исследований по методам прогноза ВНГО может быть направлено на увеличение ряда для поиска более точных коэффициентов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы [Текст] / Л.Т. Матвеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.
2. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология [Текст] / С.П. Хромов, С.П. Петросянц – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 528 с.
3. Хргиан А.Х., Мазин И.П. (ред.). Облака и облачная атмосфера [Справочник] / А.Х. Хргиан, И.П. Мазин – Гидрометеиздат, 1989. – 647 с.
4. Мазин И. П., Соломон М. Ш. Облака, строение и физика образования [Текст] / И.П. Мазин – Гидрометеиздат, 1983. – 560 с.
5. Толмачева Н.И. Методы и средства гидрометеорологических измерений (для метеорологов) [Текст]/ Н.И. Толмачёв – Пермь: Перм. ун- т, 2011. – 223 с.
6. Институт радарной метеорологии Метеорологическое оборудование аэродромов и его эксплуатация [Текст]/ – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – 591 с.
7. Дивинский Л.И., А.Д. Кузнецов, А.С. Солонин. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция – «КРАМС–4» [Текст]/ Л.И. Дивинский, А.Д.Кузнецов, А.С. Солонин – СПб.: РГГМУ, 2010. – 66 с.
8. Институт радарной метеорологии Метеорологические измерения на аэродромах [Текст]/ – СПб.: Гидрометеиздат, 2008. – 427 с.
9. Воробьев В. И. Практикум по синоптической метеорологии [Текст]/ В.И. Воробьев – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 303 с.
10. Богаткин О. Г. Практикум по авиационной метеорологии [Текст]/ О.Г. Богаткин – СПб. : РГГМУ, 2005. – 130 с.

11. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология [Текст]/ О.Г. Богаткин – СПб. : РГГМУ, 2005. – 328 с.
12. Выписка из климатического описания аэродрома Нижний Новгород
13. ФАП-60 (Федеральные авиационные правила "Правила предоставления метеорологической информации для аэронавигационного обслуживания полетов воздушных судов" (далее– Правила) разработаны в соответствии со статьей 69 Федерального закона от 19 марта 1997 г. № 60-ФЗ "Воздушный кодекс Российской Федерации" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1997, № 12, ст. 1383; 1999, № 28, ст. 3483; 2004, № 35, ст. 3607, № 45, ст. 4377; 2005, № 13, ст. 1078; 2006, № 30, ст. 3290, 3291; 2007, № 1 (часть I), ст. 29, № 27, ст. 3213, № 46, ст. 5554, № 49, ст. 6075, № 50, ст. 6239, ст. 6244, 6245; 2008, № 29 (часть I), ст. 3418, № 30 (часть II), ст. 3616; 2009, № 1, ст. 17, № 29, ст. 3616), Федеральными правилами использования воздушного пространства Российской Федерации, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2010, № , ст. ...), стандартами Международной организации гражданской авиации.
14. [http://szf.aviamettelecom.ru/?page\\_id=1465](http://szf.aviamettelecom.ru/?page_id=1465)
15. Интернет ресурсы: rp5, ventusky, wetterzentrale
16. [https://studopedia.ru/19\\_290479\\_meteorologicheskie-usloviya-poletov.html](https://studopedia.ru/19_290479_meteorologicheskie-usloviya-poletov.html)

# Приложение А: исходные данные.

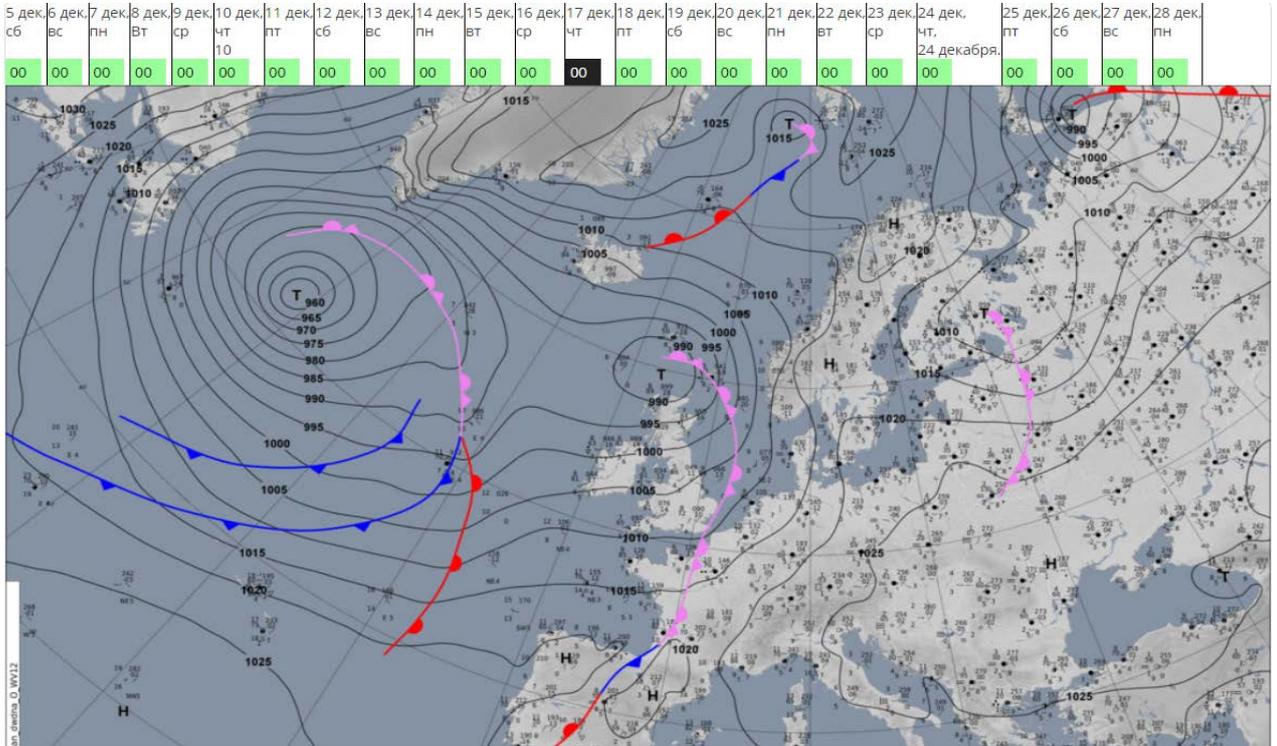
## Приложение А.1. Исходные данные за октябрь 2020г.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG		
1	дата и время	T град.С	открыт/R,%	осады (м)	ВНГО, м	Td град.С	24 (10P-R)	равность 1	22(T-Td)	равность2	122(T-Td)	равность3	208(T-Td)	равность4	T-Td	K	K*	формула#5	формула#6	равность5	равность6	дата и время	ВНГО, м										
2	31.10.2020 23:30	0.0	100	0	1200	0.0	0	-1200.0	0	-1200.0	0	-1200.0	0.0	-1200.0	0.0							31.10.2020 23:30	1200										
3	31.10.2020 23:00	0.0	100	0		0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0							31.10.2020 23:00											
4	31.10.2020 22:30	0.0	100	0		0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0							31.10.2020 22:30											
5	31.10.2020 22:00	0.0	100	0	600	0.0	0	-600.0	0	-600.0	0	-600.0	0.0	-600.0	0.0							31.10.2020 22:00	600										
6	31.10.2020 21:30	1.0	100	0	600	1.0	0	-600.0	0	-600.0	0	-600.0	0.0	-600.0	0.0							31.10.2020 21:30	600										
7	31.10.2020 21:00	1.0	100	0	600	1.0	0	-600.0	0	-600.0	0	-600.0	0.0	-600.0	0.0							31.10.2020 21:00	600										
8	31.10.2020 20:30	3.0	100	0	600	3.0	0	-600.0	0	-600.0	0	-600.0	0.0	-600.0	0.0							31.10.2020 20:30	600										
9	31.10.2020 20:00	3.0	100	0	600	3.0	0	-600.0	0	-600.0	0	-600.0	0.0	-600.0	0.0							31.10.2020 20:00	600										
10	31.10.2020 19:30	3.0	100	0	900	3.0	0	-900.0	0	-900.0	0	-900.0	0.0	-900.0	0.0							31.10.2020 19:30	900										
11	31.10.2020 19:00	2.0	100	0	990	2.0	0	-990.0	0	-990.0	0	-990.0	0.0	-990.0	0.0							31.10.2020 19:00	990										
12	31.10.2020 18:30	2.0	100	0	990	2.0	0	-990.0	0	-990.0	0	-990.0	0.0	-990.0	0.0							31.10.2020 18:30	990										
13	31.10.2020 18:00	3.0	100	0	990	3.0	0	-990.0	0	-990.0	0	-990.0	0.0	-990.0	0.0							31.10.2020 18:00	990										
14	31.10.2020 17:30	4.0	99	0	990	3.0	168	-822.0	122	-888.0	122	-968.0	208.0	-782.0	1.0							31.10.2020 17:30	990										
15	31.10.2020 17:00	5.0	99	0	990	4.0	168	-822.0	122	-888.0	122	-968.0	208.0	-782.0	1.0							31.10.2020 17:00	990										
16	31.10.2020 16:30	6.0	87	0	600	4.0	312	-348.0	244	-416.0	244	-416.0	416.0	-244.0	2.0							31.10.2020 16:30	600										
17	31.10.2020 16:00	7.0	81	0	600	4.0	456	-144.0	368	-234.0	368	-234.0	624.0	24.0	3.0							31.10.2020 16:00	600										
18	31.10.2020 15:30	7.0	81	0	450	4.0	456	6.0	368	-84.0	368	-84.0	624.0	174.0	3.0							31.10.2020 15:30	450										
19	31.10.2020 15:00	7.0	81	0	450	4.0	456	6.0	368	-84.0	368	-84.0	624.0	174.0	3.0							31.10.2020 15:00	450										
20	31.10.2020 14:30	7.0	81	0	390	4.0	456	66.0	368	-24.0	368	-24.0	624.0	234.0	3.0							31.10.2020 14:30	390										
21	31.10.2020 14:00	7.0	81	0	390	4.0	456	66.0	368	-24.0	368	-24.0	624.0	234.0	3.0							31.10.2020 14:00	390										
22	31.10.2020 13:30	7.0	87	0	390	5.0	312	-78.0	244	-146.0	244	-146.0	416.0	26.0	2.0							31.10.2020 13:30	390										
23	31.10.2020 13:00	7.0	81	0	390	4.0	456	66.0	368	-24.0	368	-24.0	624.0	234.0	3.0							31.10.2020 13:00	390										
24	31.10.2020 12:30	7.0	81	0	390	4.0	456	66.0	368	-24.0	368	-24.0	624.0	234.0	3.0							31.10.2020 12:30	390										
25	31.10.2020 12:00	7.0	81	0	390	4.0	456	66.0	368	-24.0	368	-24.0	624.0	234.0	3.0							31.10.2020 12:00	390										
26	31.10.2020 11:30	7.0	81	0	390	4.0	456	66.0	368	-24.0	368	-24.0	624.0	234.0	3.0							31.10.2020 11:30	390										
27	31.10.2020 11:00	6.0	87	0	390	4.0	312	-78.0	244	-146.0	244	-146.0	416.0	26.0	2.0							31.10.2020 11:00	390										
28	31.10.2020 10:30	6.0	99	0	390	5.0	168	-222.0	122	-288.0	122	-288.0	208.0	-182.0	1.0							31.10.2020 10:30	390										
29	31.10.2020 10:00	6.0	99	0	390	5.0	168	-222.0	122	-288.0	122	-288.0	208.0	-182.0	1.0							31.10.2020 10:00	390										
30	31.10.2020 09:30	6.0	99	0	390	5.0	168	-222.0	122	-288.0	122	-288.0	208.0	-182.0	1.0							31.10.2020 09:30	390										
31	31.10.2020 09:00	5.0	100	0	390	5.0	0	-390.0	0	-390.0	0	-390.0	0.0	-390.0	0.0							31.10.2020 09:00	390										
32	31.10.2020 08:30	5.0	99	0	390	4.0	168	-222.0	122	-288.0	122	-288.0	208.0	-182.0	1.0							31.10.2020 08:30	390										
33	31.10.2020 08:00	5.0	99	0	390	4.0	168	-192.0	122	-238.0	122	-238.0	208.0	-152.0	1.0							31.10.2020 08:00	390									ОКТАБРЬ 2020г	
34	31.10.2020 07:30	5.0	99	0	390	4.0	168	-192.0	122	-238.0	122	-238.0	208.0	-152.0	1.0							31.10.2020 07:30	390									ПРОДОЛЖИТЕЛЬ	
35	31.10.2020 07:00	5.0	99	0	390	4.0	168	-192.0	122	-238.0	122	-238.0	208.0	-152.0	1.0							31.10.2020 07:00	390									формула#1 = 1	
36	31.10.2020 06:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 06:30	390									формула#2 = 09	
37	31.10.2020 06:00	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 06:00	390									формула#3 = 09	
38	31.10.2020 05:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 05:30	390									формула#4 = 81	
39	31.10.2020 05:00	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 05:00	390										
40	31.10.2020 04:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 04:30	390										
41	31.10.2020 04:00	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 04:00	390										
42	31.10.2020 03:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-78.0	244	-146.0	244	-146.0	416.0	26.0	2.0							31.10.2020 03:30	390										
43	31.10.2020 03:00	5.0	87	0	390	3.0	312	-78.0	244	-146.0	244	-146.0	416.0	26.0	2.0							31.10.2020 03:00	390										
44	31.10.2020 02:30	5.0	87	0	450	3.0	312	-138.0	244	-206.0	244	-206.0	416.0	-34.0	2.0							31.10.2020 02:30	450										
45	31.10.2020 02:00	5.0	87	0	420	3.0	312	-108.0	244	-176.0	244	-176.0	416.0	-4.0	2.0							31.10.2020 02:00	420										
46	31.10.2020 01:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 01:30	390										
47	31.10.2020 01:00	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 01:00	390										
48	31.10.2020 00:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 00:30	390										
49	31.10.2020 00:00	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							31.10.2020 00:00	390										
50	30.10.2020 23:30	5.0	87	0	390	3.0	312	-48.0	244	-116.0	244	-116.0	416.0	96.0	2.0							30.10.2020 23:30	390										
51	30.10.2020 23:00	5.0	87	0	390																												

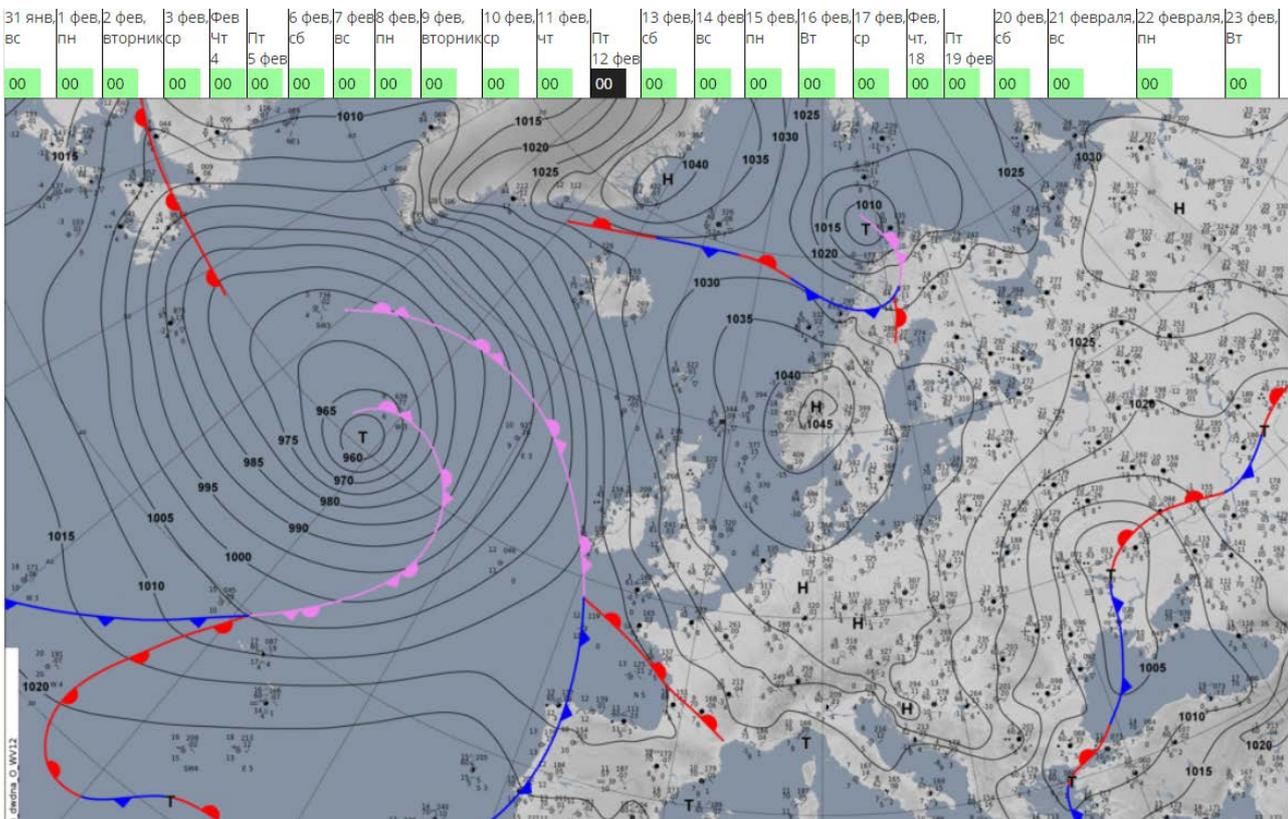
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	S	T	U	V	W	X	Y	
1	21.10.2020 16:30	2,0	66	0,0	900	-4,0	840	-80,0	732	-168,0	732	-168,0	1248,0	348,0	6,0							21.10.2020 16:3	900	
2	21.10.2020 16:00	2,0	66	0,0	900	-4,0	840	-80,0	732	-168,0	732	-168,0	1248,0	348,0	6,0							21.10.2020 16:0	900	
3	21.10.2020 14:30	2,0	66	0,0	840	-4,0	840	0,0	732	-108,0	732	-108,0	1248,0	408,0	6,0							21.10.2020 14:3	840	
4	21.10.2020 14:00	2,0	70	0,0	840	-3,0	720	-120,0	610	-230,0	610	-230,0	1040,0	200,0	5,0							21.10.2020 14:0	840	
5	21.10.2020 13:30	2,0	70	0,0	840	-3,0	720	-120,0	610	-230,0	610	-230,0	1040,0	200,0	5,0							21.10.2020 13:3	840	
6	21.10.2020 13:00	1,0	75	0,0	780	-3,0	800	-180,0	488	-292,0	488	-292,0	832,0	52,0	4,0							21.10.2020 13:0	780	
7	21.10.2020 12:30	1,0	75	0,0	780	-3,0	800	-180,0	488	-292,0	488	-292,0	832,0	52,0	4,0							21.10.2020 12:3	780	
8	21.10.2020 12:00	1,0	75	0,0	780	-3,0	800	-180,0	488	-292,0	488	-292,0	832,0	52,0	4,0							21.10.2020 12:0	780	
9	21.10.2020 11:30	1,0	75	0,0	780	-3,0	800	-180,0	488	-292,0	488	-292,0	832,0	52,0	4,0							21.10.2020 11:3	780	
10	21.10.2020 11:00	1,0	75	0,0	810	-3,0	800	-210,0	488	-322,0	488	-322,0	832,0	22,0	4,0							21.10.2020 11:0	810	
11	21.10.2020 10:30	1,0	81	0,0	810	-2,0	456	-354,0	366	-444,0	366	-444,0	624,0	-186,0	3,0							21.10.2020 10:3	810	
12	21.10.2020 10:00	1,0	81	0,0	810	-2,0	456	-354,0	366	-444,0	366	-444,0	624,0	-186,0	3,0							21.10.2020 10:0	810	
13	21.10.2020 09:30	1,0	81	0,0	810	-2,0	456	-354,0	366	-444,0	366	-444,0	624,0	-186,0	3,0							21.10.2020 09:3	810	
14	21.10.2020 09:00	1,0	81	0,0	810	-2,0	456	-354,0	366	-444,0	366	-444,0	624,0	-186,0	3,0							21.10.2020 09:0	810	
15	21.10.2020 08:30	0,0	87	0,0	810	-2,0	312	-468,0	244	-536,0	244	-536,0	416,0	-364,0	2,0							21.10.2020 08:3	810	
16	21.10.2020 08:00	0,0	87	0,0	780	-2,0	312	-468,0	244	-536,0	244	-536,0	416,0	-364,0	2,0							21.10.2020 08:0	780	
17	21.10.2020 07:30	0,0	87	0,0	780	-2,0	312	-468,0	244	-536,0	244	-536,0	416,0	-364,0	2,0							21.10.2020 07:3	780	
18	21.10.2020 07:00	0,0	87	0,0	800	-2,0	312	-288,0	244	-366,0	244	-366,0	416,0	-184,0	2,0							21.10.2020 07:0	800	
19	21.10.2020 06:30	0,0	80	0,0	800	-3,0	480	-120,0	366	-234,0	366	-234,0	624,0	24,0	3,0							21.10.2020 06:3	800	
20	21.10.2020 06:00	1,0	81	0,0	800	-2,0	456	-144,0	366	-234,0	366	-234,0	624,0	24,0	3,0							21.10.2020 06:0	800	
21	21.10.2020 05:30	1,0	87	0,0	800	-1,0	312	-288,0	244	-366,0	244	-366,0	416,0	-184,0	2,0							21.10.2020 05:3	800	
22	21.10.2020 05:00	1,0	93	50,0	300	0,0	166	-132,0	122	-178,0	72	-228,0	208,0	-92,0	1,0	300		256		45		21.10.2020 05:0	300	
23	21.10.2020 04:30	1,0	93	0,0	800	0,0	166	-432,0	122	-478,0	122	-478,0	208,0	-392,0	1,0							21.10.2020 04:3	800	
24	21.10.2020 04:00	1,0	93	0,0	990	0,0	166	-822,0	122	-868,0	122	-868,0	208,0	-782,0	1,0							21.10.2020 04:0	990	
25	21.10.2020 03:30	1,0	93	0,0	450	0,0	166	-282,0	122	-328,0	122	-328,0	208,0	-242,0	1,0							21.10.2020 03:3	450	
26	21.10.2020 03:00	1,0	93	0,0	360	0,0	166	-192,0	122	-238,0	122	-238,0	208,0	-162,0	1,0							21.10.2020 03:0	360	
27	21.10.2020 02:30	1,0	93	0,0	300	0,0	166	-132,0	122	-178,0	122	-178,0	208,0	-92,0	1,0	300		256		45		21.10.2020 02:3	300	
28	21.10.2020 02:00	1,0	100	0,0	240	1,0	0	-240,0	0	-240,0	0	-240,0	0,0	-240,0	0,1		2400		221,2		18,8	21.10.2020 02:0	240	
29	21.10.2020 01:30	1,0	100	0,0	240	1,0	0	-240,0	0	-240,0	0	-240,0	0,0	-240,0	0,1		2400		221,2		18,8	21.10.2020 01:3	240	
30	21.10.2020 01:00	1,0	100	0,0	240	1,0	0	-240,0	0	-240,0	0	-240,0	0,0	-240,0	0,1		2400		221,2		18,8	21.10.2020 01:0	240	
31	21.10.2020 00:30	1,0	100	0,0	240	1,0	0	-240,0	0	-240,0	0	-240,0	0,0	-240,0	0,1		2400		221,2		18,8	21.10.2020 00:3	240	
32	21.10.2020 00:00	1,0	100	0,0	240	1,0	0	-240,0	0	-240,0	0	-240,0	0,0	-240,0	0,1		2400		221,2		18,8	21.10.2020 00:0	240	
33	20.10.2020 23:30	1,0	93	0,0	240	0,0	166	-72,0	122	-118,0	122	-118,0	208,0	-32,0	1,0	240		256			-15	20.10.2020 23:3	240	
34	20.10.2020 23:00	1,0	93	0,0	240	0,0	166	-72,0	122	-118,0	122	-118,0	208,0	-32,0	1,0	240		256			-15	20.10.2020 23:0	240	
35	20.10.2020 22:30	1,0	93	0,0	240	0,0	166	-72,0	122	-118,0	122	-118,0	208,0	-32,0	1,0	240		256			-15	20.10.2020 22:3	240	
36	20.10.2020 22:00	0,0	100	0,0	180	0,0	0	-180,0	0	-180,0	0	-180,0	0,0	-180,0	0,1		1800		221,2			-41,2	20.10.2020 22:0	180
37	20.10.2020 21:30	0,0	100	0,0	180	0,0	0	-180,0	0	-180,0	0	-180,0	0,0	-180,0	0,1		1800		221,2			-41,2	20.10.2020 21:3	180
38	20.10.2020 21:00	0,0	100	0,0	180	0,0	0	-180,0	0	-180,0	0	-180,0	0,0	-180,0	0,1		1800		221,2			-41,2	20.10.2020 21:0	180
39	20.10.2020 20:30	0,0	100	0,0	180	0,0	0	-180,0	0	-180,0	0	-180,0	0,0	-180,0	0,1		1800		221,2			-41,2	20.10.2020 20:3	180
40	20.10.2020 20:00	0,0	100	0,0	150	0,0	0	-150,0	0	-150,0	0	-150,0	0,0	-150,0	0,1		1500		221,2			-71,2	20.10.2020 20:0	150
41	20.10.2020 19:30	0,0	100	0,0	150	0,0	0	-150,0	0	-150,0	0	-150,0	0,0	-150,0	0,1		1500		221,2			-71,2	20.10.2020 19:3	150
42	20.10.2020 19:00	0,0	100	0,0	180	0,0	0	-180,0	0	-180,0	0	-180,0	0,0	-180,0	0,1		1800		221,2			-41,2	20.10.2020 19:0	180
43	20.10.2020 18:30	0,0	100	0,0	800	0,0	0	-800,0	0	-800,0	0	-800,0	0,0	-800,0	0,0								20.10.2020 18:3	800
44	20.10.2020 18:00	0,0	100	50,0	150	0,0	0	-150,0	0	-150,0	-50	-200,0	0,0	-150,0	0,1		1500		221,2			-71,2	20.10.2020 18:0	150
45	20.10.2020 17:30	0,0	100	50,0	150	0,0	0	-150,0	0	-150,0	-50	-200,0	0,0	-150,0	0,1		1500		221,2			-71,2	20.10.2020 17:3	150
46	20.10.2020 17:00	1,0	100	50,0	180	1,0	0	-180,0	0	-180,0	-50	-230,0	0,0	-180,0	0,1		1800		221,2			-41,2	20.10.2020 17:0	180
47	20.10.2020 16:30	4,0	81	50,0	420	1,0	456	36,0	366	-54,0	316	-104,0	624,0	204,0	3,0							20.10.2020 16:3	420	
48	20.10.2020 16:00	4,0	81	0,0	540	1,0	456	-84,0	366	-174,0	366	-174,0	624,0	84,0	3,0							20.10.2020 16:0	540	
49	20.10.2020 15:30	4,0	81	0,0	450	1,0	456	6,0	366	-84,0	366	-84,0	624,0	174,0	3,0							20.10.2020 15:3	450	
50	20.10.2020 15:00	4,0	81	0,0	800	1,0	456	-144,0	366	-234,0	366	-234,0	624,0	24,0	3,0							20.10.2020 15:0	800	
51	20.10.2020 14:30	5,0	70	50,0	450	0,0	720	270,0	610	160,0	660	110,0	1040,0	590,0	5,0							20.10.2020 14:3	450	
52	20.10.2020 14:00	6,0	81	0,0	900	-1,0	936	36,0	854	-48,0	854	-48,0	1468,0	556,0	7,0							20.10.2020 14:0	900	
53	20.10.2020 13:30	5,0	66	0,0	990	-1,0	816	-174,0	732	-258,0	732	-258,0	1248,0	258,0	6,0							20.10.2020 13:3	990	
54	20.10.2020 13:00	5,0	66	0,0	990	-1,0	816	-174,0	732	-258,0	732	-258,0	1248,0	258,0	6,0							20.10.2020 13:0	990	
55	20.10.2020 12:30	5,0	66	0,0	990	-1,0	816	-174,0	732	-258,0	732	-258,0	1248,0	258,0	6,0							20.10.2020 12:3	990	
56	20.10.2020 12:00	5,0	66	50,0	900	-1,0	816	-84,0	732	-168,0	682	-218,0	1248,0	348,0	6,0							20.10.2020 12:0	900	
57	20.10.2020 11:30	5,0	66	0,0	900	-1,0	816	-84,0	732	-168,0	732	-168,0	1248,0	348,0	6,0							20.10.2020 11:3	900	
58	20.10.2020 11:00	4,0	70	0,0	900	-1,0	720	-180,0	610	-230,0	610	-230,0	1040,0	140,0	5,0							20.10.2020 11:0	900	
59	20.10.2020 10:30																							

Приложение Б: архив приземных синоптических карт с фронтальным анализом. Данные взяты с сайта wetterzentrale.

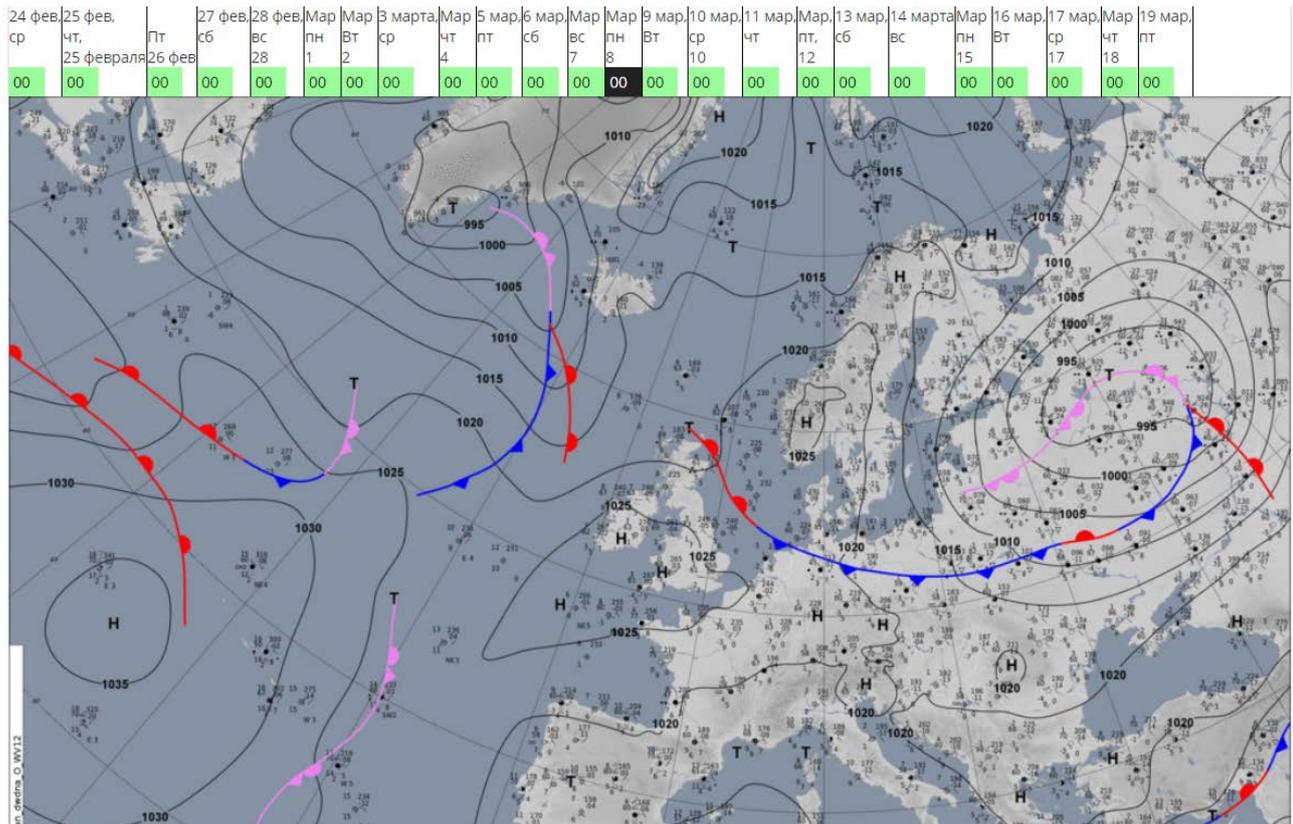
Приложение Б.1. Синоптическая карта за 17.12.2020г 00 часов. Зима.



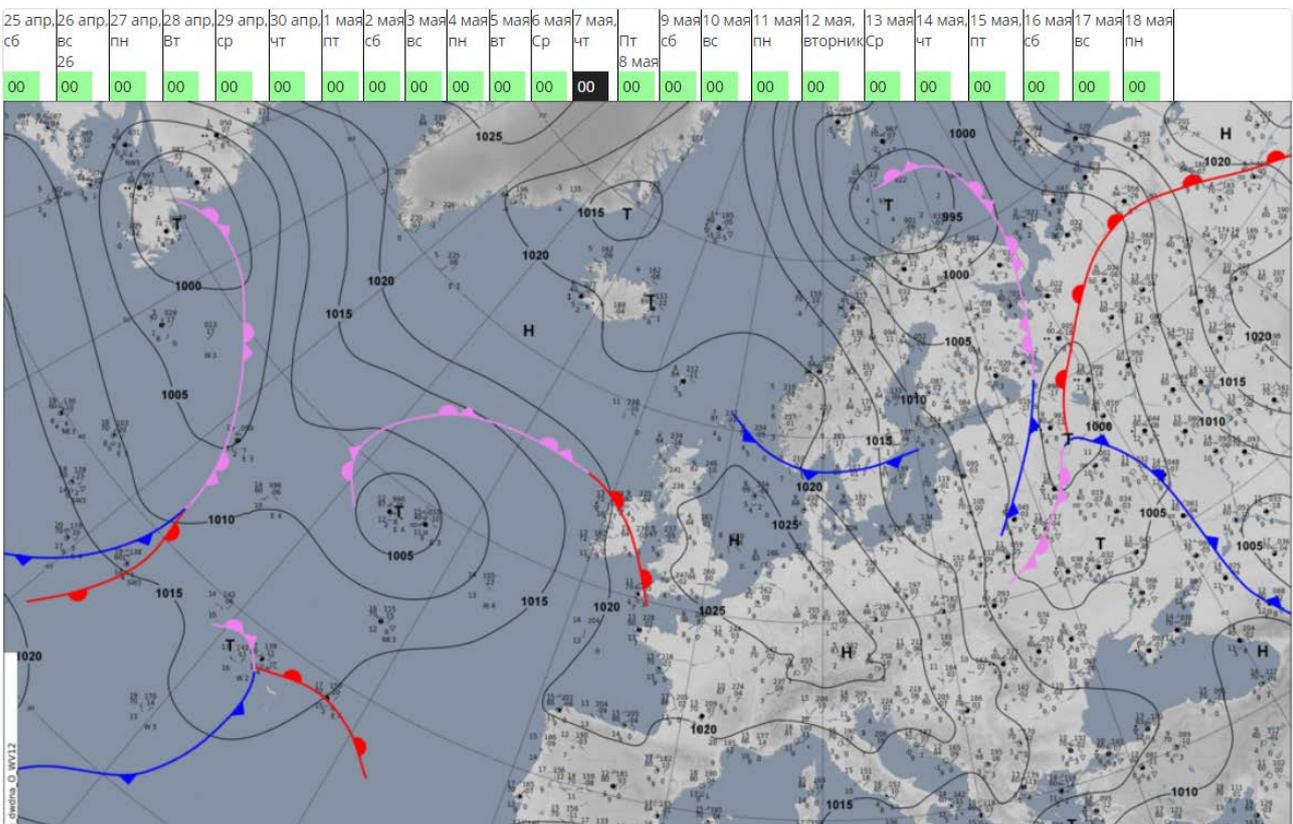
Приложение Б.2. Синоптическая карта за 12.02.2021г 00 часов. Зима.



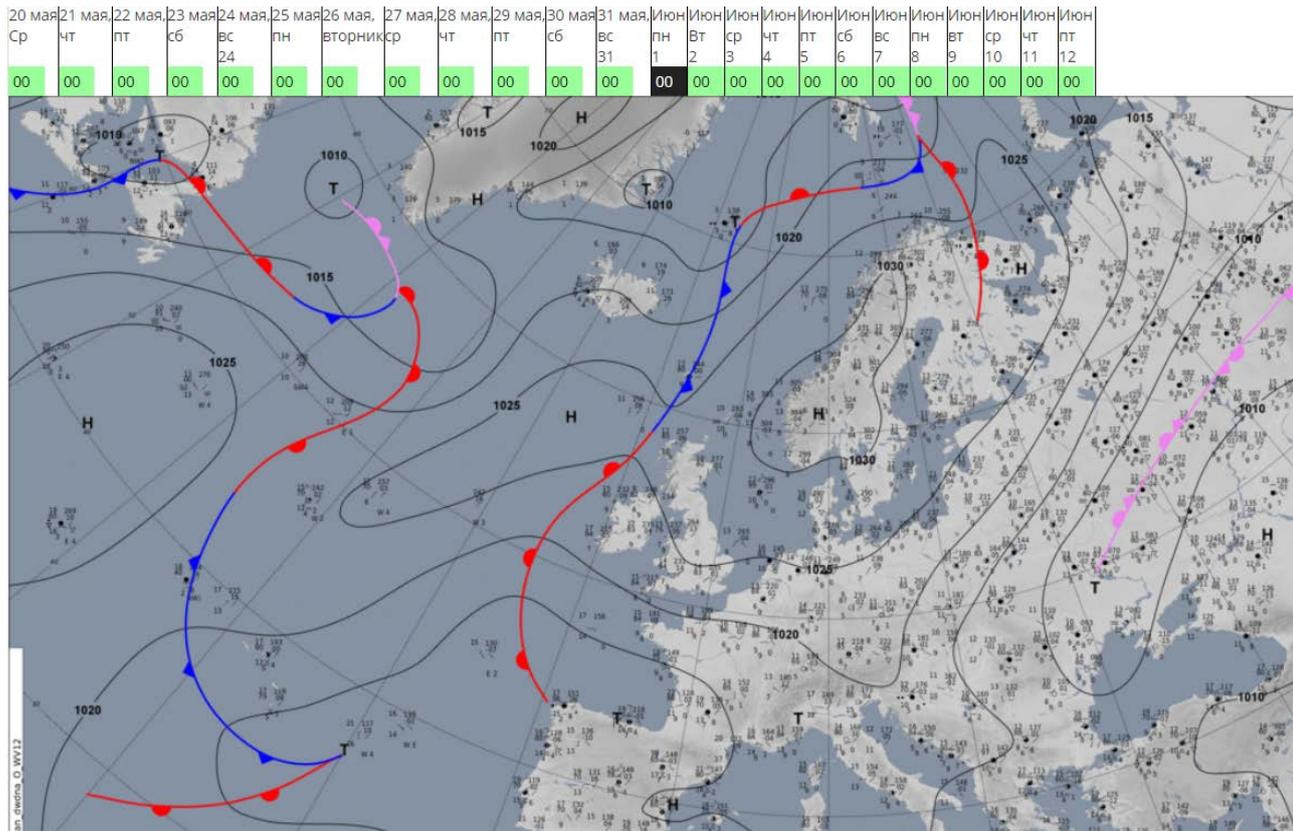
Приложение Б.3. Синоптическая карта за 08.03.2021г 00 часов. Весна.



Приложение Б.4. Синоптическая карта за 07.05.2020г 00 часов. Весна.



### Приложение Б.5. Синоптическая карта за 01.06.2020г. Лето.



### Приложение Б.6. Синоптическая карта за 22.08.2020г 00 часов. Лето.

