



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)

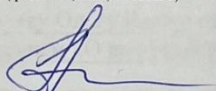
На тему: «Условия образования низкой облачности на аэродроме Талаги  
(г. Архангельск)»

Исполнитель Паромова Мария Сергеевна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Волбуева Ольга Васильевна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

  
(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«1» июня 2024 г.

Санкт-Петербург  
2024

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1.КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ ОБЛАЧНОСТИ .....	4
1.1 Волнистообразная облачность .....	4
1.2 Слоистообразная облачность .....	6
1.3 Облака вертикального развития.....	8
2.УСЛОВИЯ ПОЛЕТА В АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТАХ .....	11
2.1 Теплый фронт .....	11
2.2 Холодный фронт .....	12
2.3 Фронт окклюзии .....	15
3.ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА АЭРОДРОМЕ АРХАНГЕЛЬСКА .....	18
3.1 Анализ нижней границы облачности за 2021 и 2022 гг. ....	18
3.2 Расчет и анализ высоты нижней границы облачности .....	27
3.3 Исправленная формула для прогноза ВНГО на аэродроме Архангельска	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	48
Список литературы .....	49

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими факторами образования облачности являются увеличение влагосодержания и понижение температуры. Адиабатический подъем (восходящее движение) воздуха является наиболее значимым процессом в свободной атмосфере, который способствует понижению температуры и образованию облаков.[4]

Актуальность данной работы заключается в том, что низкая облачность считается опасным явлением для авиации, также этот параметр входит в критерии минимума аэродрома, при определенных значениях которого возможно прекращение полетов или их задержка.

Цель дипломной работы – исследование условий образования низкой облачности на аэродроме Талаги города Архангельск.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Собрать архив данных по случаям с низкой облачностью на аэродроме Талаги города Архангельск
2. Определить типовые синоптические ситуации при образовании низкой облачности
3. Апробировать методы прогноза ВНГО по данным АМЦ Архангельск
4. Усовершенствовать формулы расчета высоты нижней границы облачности.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ ОБЛАЧНОСТИ

Капли воды и кристаллы льда, находящиеся в атмосфере, образуют облака. Они имеют определенную высоту над поверхностью земли. Когда в атмосфере происходит процесс конденсации и сублимации водяного пара, образуются облака.[4]

На сегодняшний день облачность (высота нижней границы, форма и количество) является одним из наиболее значимым фактором, который влияет на взлет, посадку и полет самолетов. Несмотря на то, что авиатехника совершенствуется и оснащается современными приборами и оборудованием, погодные условия все еще остаются значимым фактором для безопасности полетов в метеорологическом отношении.[2]

Говоря об облачности как об опасном явлении для авиации, можно выделить несколько сложностей.

Во-первых, это плохие условия видимости, из чего мы можем прийти ко второй сложности: из-за ухудшения визуального ориентирования полет придется проводить по приборам.

Во-вторых, сильная турбулентность, обледенение воздушных судов и другие явления, которые возникают при полете в облаках.[2]

### 1.1 Волнистообразная облачность

Волнистообразные облака возникают при определенной температуре и хорошей влажности в восходящем движении воздуха. К этим облакам относятся: слоистые и слоисто-кучевые в нижнем ярусе, высококучевые в среднем ярусе и перистые в верхнем ярусе. [3]

#### *Слоистые облака*

Эти облака нередко формируются в подинверсионном слое, если воздух доходит в нем до состояния насыщения. Такой вид облачности может

опускаться до 50 м, а редких случаях даже до земли. Регулярность образования облачности с высотой нижней границы до 100 м в осенне-зимний период составляет 32%, весенне-летний 8% и в среднем за год 21%. В слоистых облаках чаще всего видимость наблюдается в пределах 100-300 м, а турбулентность в основном слабая.[3]

#### *Слоисто-кучевые облака*

Они образуются в результате волнового движения и турбулентного обмена, а также в результате распада мощных кучевых и кучево-дождевых облаков. В теплые сезоны данные облака встречаются реже, чем в холодные сезоны. Имеют слоистую структуру над равнинной местностью за счет адвективного охлаждения воздушной массы, которая находится над более холодной территорией. Кроме того, они могут рождаться в результате испарения с поверхности почвы снега, который тает в условиях турбулентного обмена. Ко всем перечисленным процессам прибавляется еще и волновая деятельность. В любом случае, в формировании слоисто-кучевых облаков большую роль играют температурные инверсии. Во время полета есть вероятность возникновения слабого обледенения, а видимость колеблется от 30 до 300 м.[3]

#### *Высококучевые облака*

Эти облака наблюдаются зимой реже, чем в летний период. Бывают различные высококучевые облака: они могут быть капельными, смешанным, в редких случаях состоят только из кристаллов льда. Во втором случае из высококучевых облаков зимой может выпасть слабый снег и слабый дождь летом.

Во время полета в высококучевых облаках есть риск обледенения различной степени интенсивности. В этих облаках не наблюдается сильной болтанки, так как турбулентность в них слабая или может быть умеренной и сильной только, если облака имеют связь со струйными течениями. Чаще всего, видимость в высококучевых облаках составляет не более 80-100 метров.[3]

### *Перистые облака*

Из всех облаков в тропосфере, перистые облака являются самыми высокими. Высота их нижней границы может достигать: в средних широтах 11 км, а в тропических регионах она может доходить до 17-20 км.

Обычно толщина не больше 800-1000 метров, но может варьироваться от нескольких сотен метров до нескольких километров. Исключением являются облака, которые имеют связь с атмосферными фронтами, тогда они могут достигать толщину в несколько километров. Кристаллическая структура является внутренним строением перистых облаков.

Видимость в этих облаках может быть от сотен метров, до нескольких километров. Также, может наблюдаться очень слабая турбулентность или ее полное отсутствие. Аналогично проявляется и болтанка самолета, но в случаях, когда в зоне струйных течений образуются перистые облака, она бывает умеренной и иногда сильной. Возможно возникновение электризации при длительном полете самолета.[3]

### 1.2 Слоистообразная облачность

Слоисто-дождевые, высокослоистые и перисто-слоистые облака относятся к слоистообразным облакам. Такие облака в большинстве случаев образуются на атмосферных фронтах.

#### *Слоисто-дождевые облака*

Такие облака представляют наибольшую опасность, так как являются самыми низкими облаками. Высота их нижней границы часто достигает значений 200-300 метров, но когда под слоисто-дождевыми облаками появляются разорванно-дождевая или разорванно-слоистая облачность, то высота может быть ниже. Верхняя граница варьируется от 4 до 8 км и зависит от времени года, типа фронта, синоптической обстановки и широты местности. Зимой, близко к приземной линии атмосферного фронта, наблюдается наибольшая толщина слоисто-дождевых облаков.

Слоисто-дождевые облака имеют достаточно сложное внутреннее строение. Обычно это смешанные облака, состоящие из капель, замерзших капель и кристаллов. Из этих облаков выпадают осадки обложного характера. Количество воды в них может варьироваться от 0,6 до 1,3 г/м<sup>3</sup>, что влияет на степень обледенения самолета. В областях переохлажденного дождя, где есть сильное обледенение, происходят самые опасные полеты. В большинстве случаев в слоисто-дождевой облачности турбулентность не бывает сильной, поэтому при полете болтанка самолета в таких условиях встречается очень редко. Еще также как и в перистых облаках при длительном полете может образоваться электризация самолета.[3]

#### *Высокослоистые облака*

Эти облака внешне очень похожи на слоисто-дождевые, но у них имеется важное отличие. Так, из высокослоистых облаков, в отличие от облаков, достигающих самой низкой высоты, редко выпадают осадки, но есть одно исключение зимой - слабый снег. 1000 метров - это толщина, которую обычно эти облака не превышают, а также водность которая, как правило, не больше 1 г/м<sup>3</sup>.

Возможно появление умеренного, редко сильного обледенения, турбулентности и болтанки самолета во время полета в высокослоистых облаках, особенно в зоне не слишком сильных струйных течений. В этих облаках видимость обычно составляет от 50 до 200 метров.[3]

#### *Перисто-слоистые облака*

Они располагаются в верхнем слое атмосферы и имеют нижнюю границу выше 6 км. Следовательно, они состоят из кристаллов, содержат мало воды и имеют толщину до 1 км.

В редких случаях, когда из-за атмосферного фронта формируются перисто-слоистая облачность, во время полета возможно образование небольшого обледенения (при высокой скорости) и небольшой болтанки, в остальных случаях полет в таких облаках происходит в хороших условиях. В перисто-слоистых облаках видимость обычно не больше 1 км. Возможно

появление электризации самолета при условии, если самолет длительное время находится в полете.[3]

### 1.3 Облака вертикального развития

К группе таких облаков относят кучевые, мощные кучевые и кучево-дождевые облака.

#### *Кучевые облака*

Для управления и пилотирования самолета кучевые облака в основном не являются серьезным препятствием. «Облака хорошей погоды» в основном можно увидеть в летнее время года.

На высоте 600-1200 метров обычно находится нижняя граница, а их толщина не превышает несколько сотен метров. Такие облака обычно капельные и имеют размер от 1 до 2 микрометров, а также содержание воды от 0,1 до 0,4 гр/м<sup>3</sup>.

Максимальная видимость в кучевых облаках 100 метров в большинстве случаев, а также в этой облачности отсутствуют осадки и обледенение. В этих облаках единственным опасным явлением является умеренная или сильная турбулентность, вследствие которой появляется умеренная или сильная болтанка. Максимальная скорость, которую могут достичь вертикальные токи в кучевых облаках достигает 5-7 метров в секунду.[3]

#### *Мощные кучевые облака*

Такие облака являются вторым, более опасным этапом развития кучевых облаков. Высота нижней границы мощных кучевых облаков в целом похожа на нижнюю границу кучевых облаков, а вот высота верхней границы может значительно меняться. Так эти облака в умеренных широтах могут достигать от 4 до 5 км и выше, а их горизонтальная протяженность составляет от 10 до 15 км.

Мощные кучевые облака по внутреннему строению состоят из разных размеров капель. Переохлажденные капли в этих облаках формируются при



отрицательных температурах и при полете в таких условиях может появиться сильное или умеренное обледенение. Водность этой облачности меняется от 0,3 до 1,7 гр/м<sup>3</sup>. Как раньше упоминалось, мощные кучевые облака капельные, поэтому из них не выпадают осадки, и для полетов большую угрозу представляют вертикальные восходящие движения, которые достигают скорости 20-30 м/с, и скорость нисходящих движений 5-10 м/с.

Из-за значительной неоднородности электрического поля и вероятности появления разрядов вблизи самолета или на нем, полеты в мощных кучевых облаках усложняются. Поэтому входить в такие облака намеренно запрещено, а обходить их необходимо на определенном безопасном расстоянии.[3]

#### *Кучево-дождевые облака*

Эти облака представляют огромную опасность для полетов всех видов самолетов. Такая облачность обладает очень высокой вертикальной мощностью.

В основном у кучево-дождевой облачности высота нижней границы может понижаться до 200-500 метров, а верхняя граница облачности достигает уровня тропопаузы. Это означает, что вертикальная мощность кучево-дождевых облаков в средних широтах может быть больше 10 км. В зоне облачности и вокруг нее появляются мощные и хаотичные вертикальные движения.

Передняя часть облака является самой опасной для полетов, так как там часто формируется «крутящийся вал» с горизонтальной осью вращения, то есть шкваловый вихрь, который обычно предвещает настоящий шквал.

Вертикальную мощность развитых кучево-дождевых облаков превышает горизонтальная протяженность и составляет несколько десятков километров.

Исключают возможность полета в кучево-дождевых облаках такие причины, как значительная горизонтальная и вертикальная протяженность облаков, мощные неупорядоченные вертикальные движения в облаке и вокруг него, приводящие к сильной болтанке самолета, интенсивное обледенение и

вероятность электризации самолета. Следовательно, полет в этих облаках строго запрещен. Т.е. полет в зоне кучево-дождевого облака представляет опасность не только в непосредственной близости от него, но и на достаточном расстоянии, достигающем значений 10-15 км. [3]

## 2. УСЛОВИЯ ПОЛЕТА В АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТАХ

Известно, что в зонах атмосферных фронтов все облачные системы более развиты, из-за этого условиям полета в этих областях уделяется больше внимания.

### 2.1 Теплый фронт

Облачная система, которая состоит из надфронтальной облачности, образующейся в теплом воздухе благодаря его упорядоченному подъему, находится в зоне влияния теплого фронта, также там имеется подфронтальные облака, которые появляются в холодном воздухе под основным облачным массивом из-за высокой влажности и турбулентности.

Форму клина имеет надфронтальный облачный массив. Толщина облаков увеличивается по мере приближения к земной поверхности, а также уменьшается высота их нижней границы. Высокослоистые и слоисто-дождевые облака занимают большую часть массива. Обложные осадки выпадают из слоисто-дождевых облаков.

Для области шириной 300-400 км от приземной линии фронта характерна низкая облачность и облака, имеющие большую вертикальную мощность. Эта зона является самой трудной для полета. Говоря об осадках, тут могут наблюдаться очень сильные и продолжительные осадки вследствие этого происходит ухудшение видимости. Еще в этой зоне может быть интенсивное обледенение и грозы. Трудность для авиации в том, что в основном грозы наблюдаются ночью. [1]

Облачность хорошо развитого теплого фронта (рисунок 1).

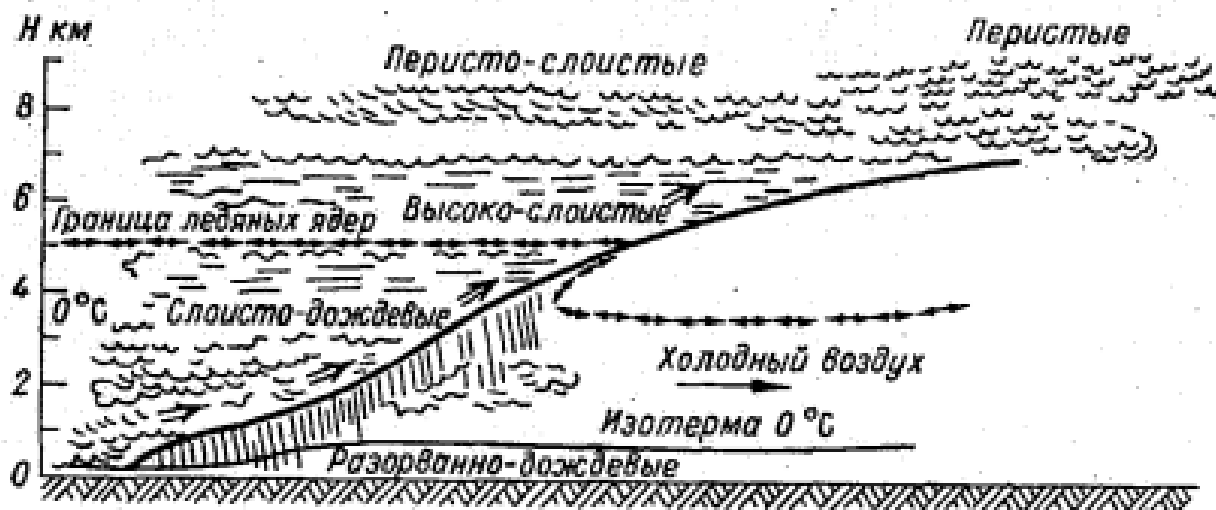


Рисунок 2.1.1 – Облака в зоне теплого фронта

## 2.2 Холодный фронт

Холодный фронт разделяется два типа: холодный фронт I рода и холодный фронт II рода.

### *Холодный фронт I рода*

Такой фронт обычно движется медленно. В этой облачной системе к созданию слоисто-дождевых и высокостроистых облаков приводит то, что восходящие движение теплого воздуха наблюдаются вдоль всей поверхности фронта.

Облака, во время холодного периода, напоминают облачную систему теплого фронта только в обратном порядке (рисунок 2).

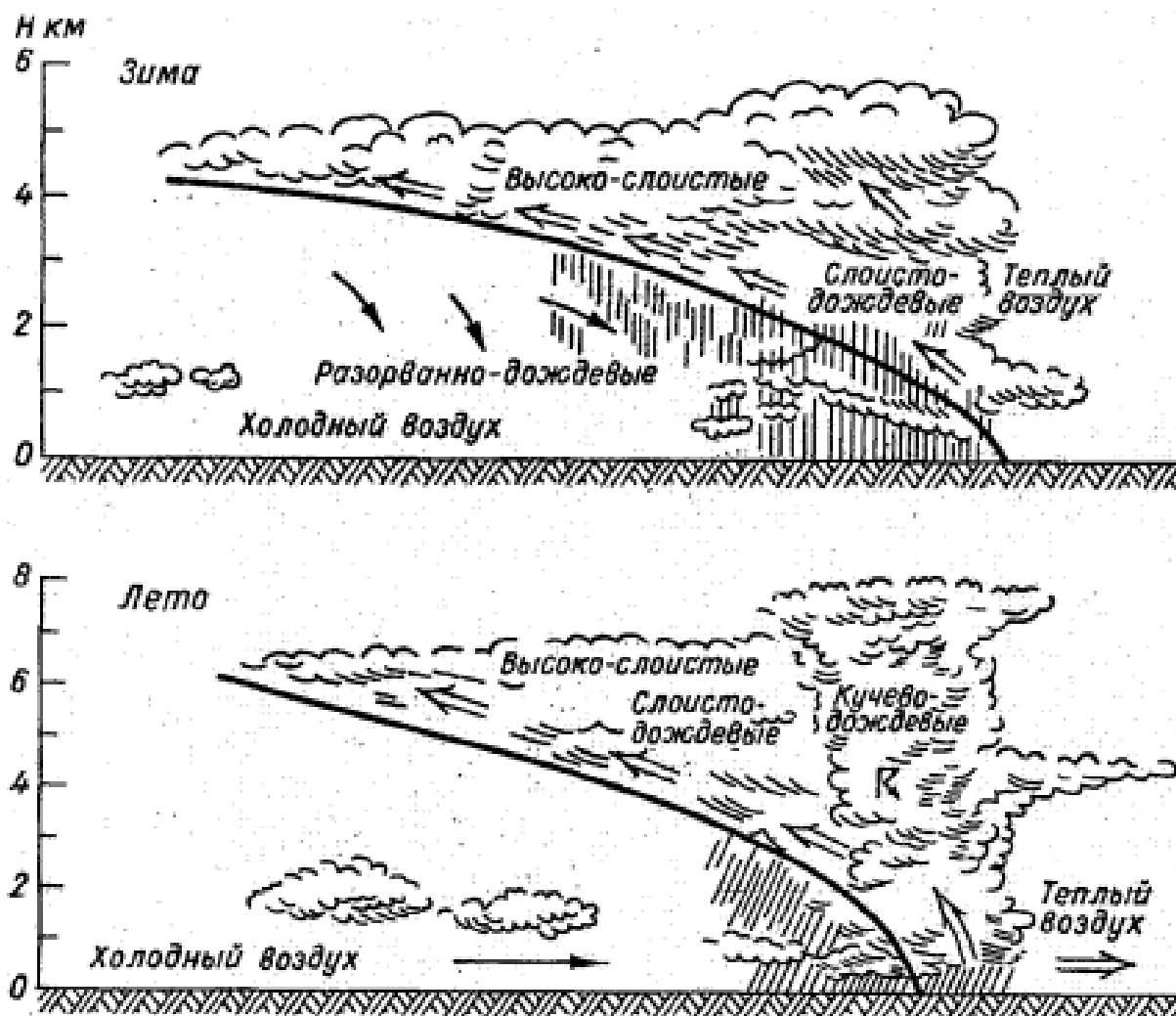


Рисунок 2.2.1 – Схема системы холодного фронта I рода

Так, в данном случае условия полета, наблюдающиеся в холодном фронте I рода и теплом фронте аналогичны, но есть несколько исключений. Например, температуры в облачности холодного фронта меньше, чем в облачности теплого фронта, также по причине того, что влажность в этих облаках меньше, обледенение менее интенсивно и в теплом фронте область осадков намного шире.

Летом же все формируется по-другому. Там, где восходящие движения достаточно большие, то есть в передней части фронта, формируются кучево-дождевые облака. Исследуя структуру облачности, можно заметить, что она представляется в виде гряд облаков и зависит от движения воздушных масс в области фронта.

Развитие кучево-дождевой облачности до тропопаузы возможно в передней части фронта. Есть достаточно много причин, почему полеты на этом фронте представляют опасность для полетов воздушных судов - это сильная турбулентность, возможность столкновения с грозой, сильное обледенение и интенсивная болтанка.[1]

### *Холодный фронт II рода*

Этот тип фронта по скорости противоположен теплому фронту, если теплый фронт медленно движущийся, то этот как раз наоборот, быстро движущийся фронт (рисунок 3).

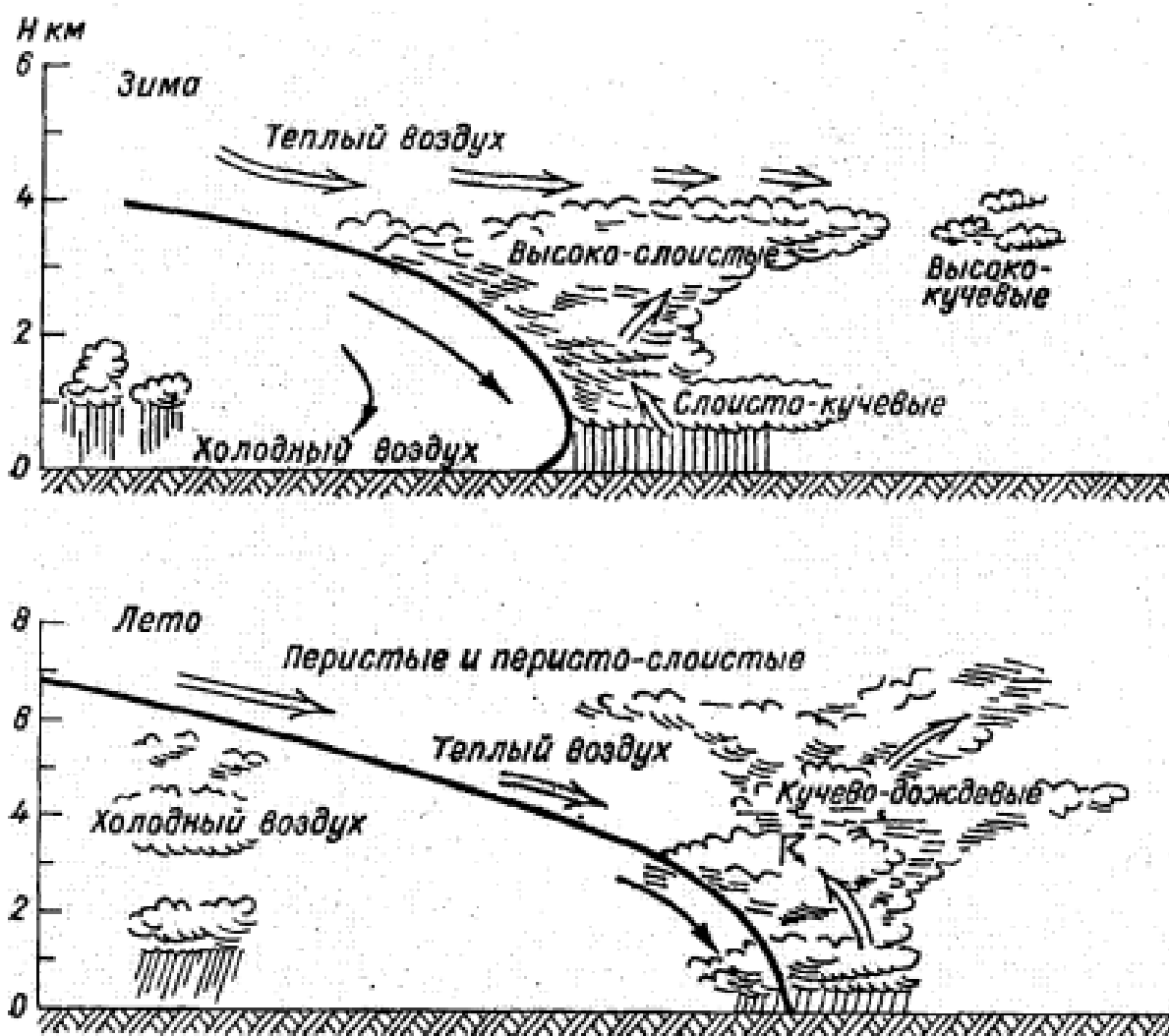


Рисунок 2.2.2 – Схема облачности холодного фронта II рода

Из-за того, что теплый воздух отступает медленнее, чем приходит холодный, появляются нисходящие движения воздуха во всей верхней части фронтальной поверхности. В этой системе теплый воздух сильно и достаточно быстро вытесняется холодным воздухом, потому что передняя часть фронтальной поверхности сильно наклонена.

По причине этого процесса облака образуются преимущественно в передней части фронта. Облака отсутствуют над фронтальной поверхностью позади линии, а ясная погода наступает после того, как произойдет прохождение приземной линии фронта.

*Зимой:* облака, из которых могут выпасть осадки, то есть высококучевые и высокостроистые, наблюдаются перед линией фронта. Ширина области, в которой выпадают эти осадки может быть равна нескольким десяткам километрам. В средних широтах ширина облачности, расположенная перпендикулярно к линии фронта на уровне земли, обычно не превышает 150-200 км, а облака вдоль фронта могут иметь горизонтальную протяженность равную 1500-2000 км.

*Летом:* облака совершенно отличаются от зимнего периода. Мощные кучево-дождевые облака с грозами формируются, так как в атмосфере присутствует неустойчивость и соответственно в передней части фронта возникает интенсивная конвекция. Шквалы могут образовываться, когда разность температур теплого и холодного воздуха большая, также есть вероятность возникновения смерча.

Важно! Если имеются фронтальные грозы, то в кучево-дождевой облачности полеты запрещены.[1]

### 2.3 Фронт окклюзии

Тип этого фронта зависит от воздуха, который находится за ним – более теплый или более холодный. Фронт окклюзии по типу теплого фронта образуется, если более теплый воздух наблюдается в тыловой части циклона

(рисунок 4). Фронт разрушается, а облачность растекается, потому что поверхность теплого фронта связана с поверхностью земли в данном случае, а поверхность холодного фронта сначала отрывается от земли и движется вверх, вследствие чего вытесняет теплый воздух.

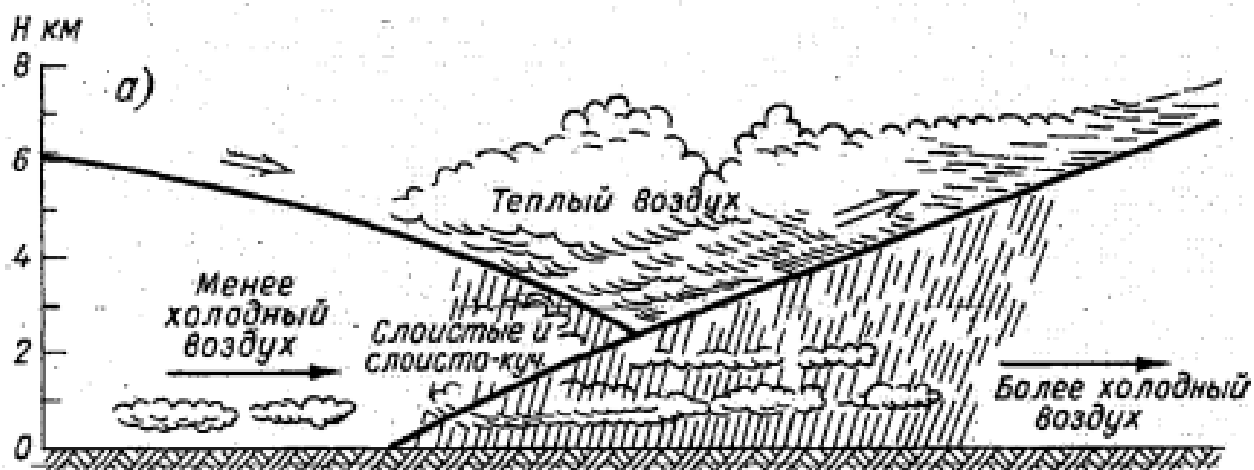


Рисунок 2.3.1 – Облачная система фронта окклюзии по типу теплого

При формировании фронта окклюзии по типу холодного фронта происходит совершенно другая картина (рисунок 5). Более холодный воздух проникает в тыловую часть циклона. Поверхность холодного фронта связана с земной поверхностью, в это время в свободной атмосфере движется поверхность теплого фронта.

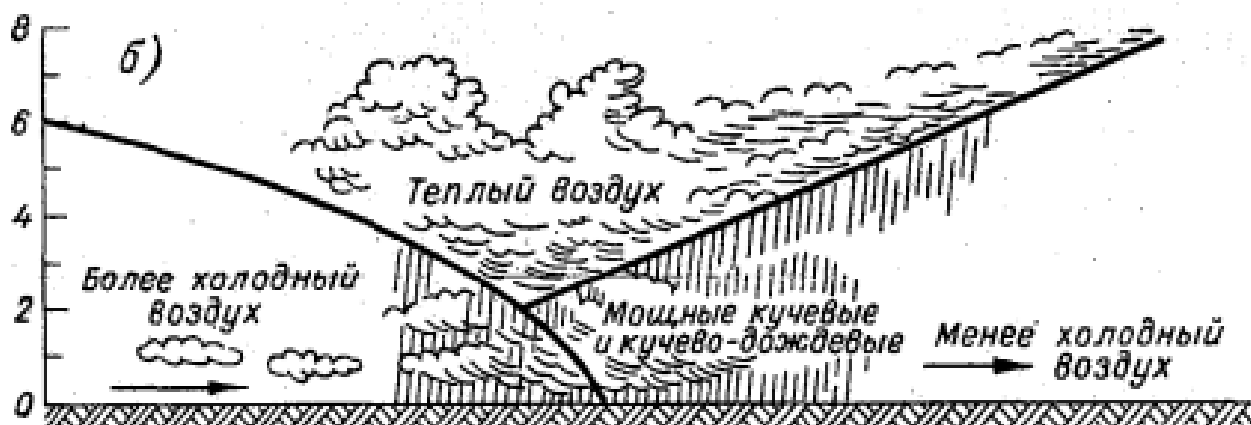


Рисунок 2.3.2 - Облачная система фронта окклюзии по типу холодного



В облаках на фронтах окклюзии условия полетов могут различаться, благодаря типу облачности. Низкая облачность, осадки и плохая видимость представляют большую опасность для полетов в зонах фронта окклюзии по типу теплого. В области фронта окклюзии по типу холодного опасность представляют облака вертикального развития, то есть кучево-дождевые с сильными ливнями, грозами и градом.[1]

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА АЭРОДРОМЕ АРХАНГЕЛЬСКА

#### 3.1 Анализ нижней границы облачности за 2021 и 2022 гг.

По данные журнала фактической погоды АВ-6 АМЦ Архангельск за 2021 и 2022 г., были использованы значения температуры воздуха, температуры точки росы, вид облачности и ее нижняя граница и сформирован архив данных случаев низкой облачности в формате таблицы Excel, фрагмент который представлен в Таблице 1 [5].

Опасная для авиации нижняя граница облачности считается ниже 300 метров. Для исследования были отобраны случаи с высотой нижней границы ниже 200 м, в связи с тем, что на данном аэродроме полеты производят только воздушные суда большой авиации. Минимум же аэродрома по высоте нижней границы облачности составляет 60 метров.

Таблица 3.1.1. Фрагмент таблицы обработанных метеорологических данных

Дата	Время	t	td	N	C	H	V	dd	R
01.01.2021	00:00:00	-5.8	-7.2	8/8	CB	120	06	110	90
	00:07:00	-5.8	-7.2	8/8	CB	120	05	100	90
	00:09:00	-5.8	-7.2	8/8	CB	120	06	100	90
	00:15:00	-5.7	-7.0	8/8	CB	120	06	100	90
	00:18:45	-5.7	-7.0	8/8	CB	120	06	110	90
	00:30:00	-5.7	-7.1	8/8	CB	120	06	110	90
	00:45:00	-5.7	-7.1	8/8	CB	120	07	110	89
	01:00:00	-5.8	-7.2	8/8	CB	120	06	110	89
	01:15:00	-5.8	-7.2	8/8	CB	140	05	110	89
	01:30:00	-5.9	-7.3	8/8	CB	140	05	110	90
	02:00:00	-5.8	-7.1	8/8	CB	140	05	110	90
	02:03:00	-5.8	-7.1	8/8	CB	140	06	110	90
	02:06:00	-5.9	-7.3	8/8	CB	120	06	110	90

На следующем этапе работы было посчитано количество случаев, когда нижняя граница была меньше 200 м и меньше 60 м, и вычислена повторяемость в каждом месяце за 2 года (таблицы 3.1.2, 3.1.3) и составлены соответствующие графики (рисунок 3.1.1, 3.1.2 и 3.1.3) по градациям: меньше 200 м, меньше 60 м и в пределах от 60 до 200 м.

Таблица 3.1.2. Повторяемость высоты нижней границы облачности за 2021 год

	Количество случаев			Повторяемость, %		
	<200	<60	60-200	<200	<60	60-200
январь	28	3	25	16	11	17
февраль	22	1	21	13	4	14
март	17	3	14	10	11	10
апрель	7	1	6	4	4	4
май	8	1	7	5	4	5
июнь	2	1	1	1	4	1
июль	6	1	5	3	4	3
август	7	3	4	4	11	3
сентябрь	8	6	2	5	21	1
октябрь	17	5	12	10	18	8
ноябрь	30	2	28	17	7	19
декабрь	21	1	20	12	4	14
всего	173	28	145			

Таблица 3.1.3. Повторяемость высоты нижней границы облачности за 2022 год

	Количество случаев			Повторяемость, %		
	<200	<60	60-200	<200	<60	60-200
январь	27	3	24	22.69	15.00	24.24
февраль	17		17	14.29	0.00	17.17
март	6	1	5	5.04	5.00	5.05
апрель	5	1	4	4.20	5.00	4.04
май	4	1	3	3.36	5.00	3.03
июнь	3		3	2.52	0.00	3.03
июль				0.00	0.00	0.00
август	3	2	1	2.52	10.00	1.01
сентябрь				0.00	0.00	0.00
октябрь	21	7	14	17.65	35.00	14.14
ноябрь	18	1	17	15.13	5.00	17.17
декабрь	15	4	11	12.61	20.00	11.11
всего	119	20	99			

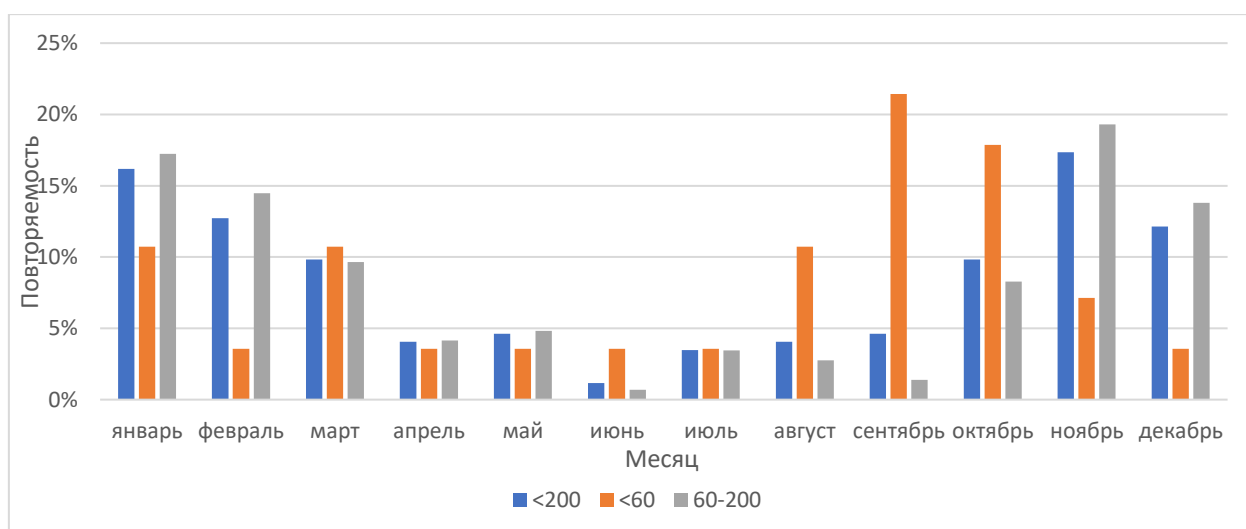


Рисунок 3.1.1 - Повторяемость высоты нижней границы облачности 2021 г.

На графике (рис. 3.1.1) за 2021 год мы можем увидеть повторяемость высот 0-60м, 60-200м и все высоты от 0-200м. Повторяемость данных 0-200м

и 60-200м похожи в каждом месяце, январь – 16% и 17%, февраль – 13% и 14%, март – 10% и 10%, апрель – 4% и 4%, май – 5% и 5%, июнь – 1% и 1%, июль – 3% и 3%, август – 4% и 3%, сентябрь – 5% и 1%, октябрь – 10% и 8%, ноябрь – 17% и 19%, декабрь – 12% и 14%. Еще одна особенность в том, что в марте, апреле и июле данные всех значений одинаковы, март – 10%, 11%, 10%, апрель – 4%, 4%, 4% и июль – 3%, 4%, 3%. С августа по октябрь преимущественно облачность ниже 60м, август – 11%, сентябрь – 21%, октябрь – 18%. Самое большое количество значений, достигающих опасной зоны, в сентябре – 21% и октябре – 18%. В апреле, мае, июне и июле меньше количество облачности, чем в остальных месяцах, поэтому можно сделать вывод, что это более безопасное время для полетов (апрель – 4%, 4%, 4%, май – 5%, 4%, 5%, июнь – 1%, 4%, 1%, июль – 3%, 4%, 3%)

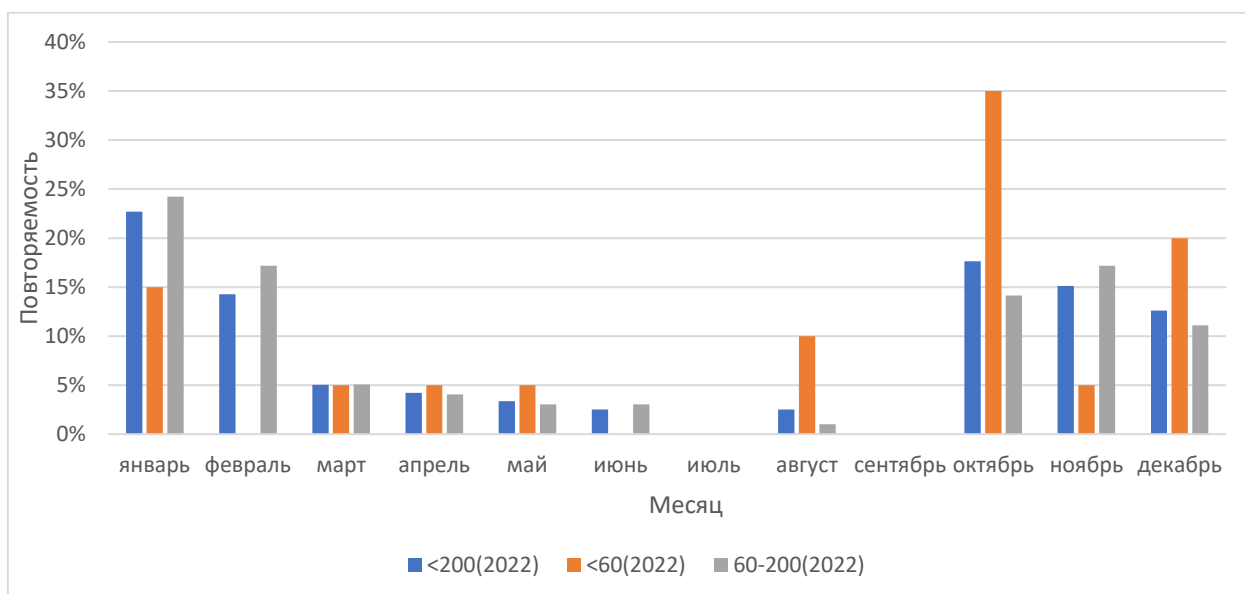


Рисунок 3.1.2 - Повторяемость высоты нижней границы облачности 2022г.

В 2022 году мы анализируем такие же данные. В этом графике (рис.3.1.2) выделяется октябрь, так как самое большое количество облачности меньше 60м наблюдалось в нем – 35%. Еще отмечаем, что в июле и сентябре облачность меньше 200м не наблюдалась. В марте, апреле и мае значения всех

высот одинаково, март – 5.04%, 5%, 5.05%, апрель – 4.20%, 5%, 4.04%, май – 3.36%, 5%, 3.03%. Облачность ниже 60м не наблюдалась в феврале и июне.

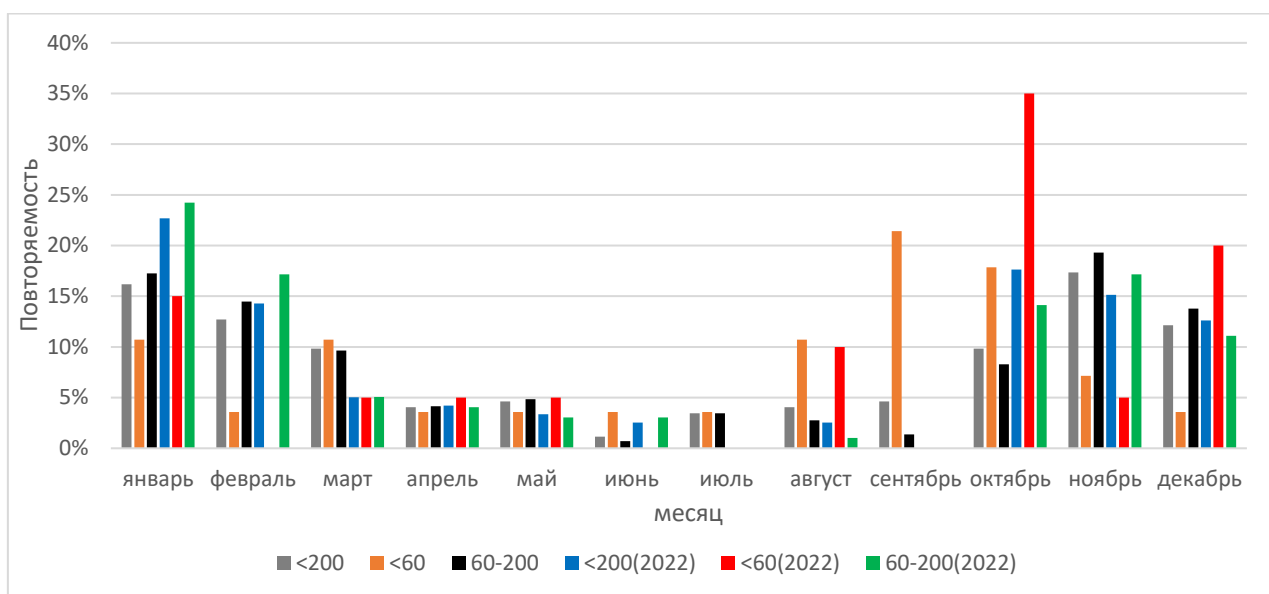


Рисунок 3.1.3 - Повторяемость высоты нижней границы облачности 2021 и 2022г.

Сравнивая 2 года надо отметить, что в апреле и мае повторяемость случаев низкой облачности схожи (апрель – 4% и 5%, май – 4% и 5%) также в апреле, мае, июне и июле в обоих годах наблюдалось небольшое количество облачности (2021: апрель – 4%, 4%, 4%, май – 5%, 4%, 5%, июнь – 1%, 4%, 1%, июль – 3%, 4%, 3%; 2022: апрель – 4.20%, 5%, 4.04%, май – 3.36%, 5%, 3.03%, июнь – 2.52%, 0%, 3.03%, июль – 0%, 0%, 0%) с высотой нижней границы меньше 200м. В октябре в 2021 и 2022 году большое количество облачности ниже 60м – 18% и 35%, из-за этого можно сделать вывод, что в октябре точно стоит ожидать низкую облачность, что не скажешь про сентябрь, так как в 2021 году было много облачности ниже 60м – 21%, а в 2022 году мы вообще не наблюдали облачности ниже 200м. Смотря на график, можно заметить, что в зимний период значения повторяемости высокие (2021: декабрь – 12%, 4%, 14%, январь – 16%, 11%, 17%, февраль – 13%, 4%, 14%; 2022: декабрь – 12.61%, 20%, 11.11%, январь – 22.69%, 15%, 24.24%, февраль – 14.29%, 0%,

17.17%), затем на весенне-летний период они опускаются (2021: март – 10%, 11%, 10%, апрель – 4%, 4%, 4%, май – 5%, 4%, 5%, июнь – 1%, 4%, 1%, июль – 3%, 4%, 3%, август – 4%, 11%, 3%; 2022: март – 5.04%, 5%, 5.05%, апрель – 4.20%, 5%, 4.04%, май – 3.36%, 5%, 3.03%, июнь – 2.52%, 0%, 3.03%, июль – 0%, 0%, 0%, август – 2.52%, 10%, 1.01%) и осенью снова повышаются (2021: сентябрь – 5%, 21%, 1%, октябрь – 10%, 18%, 8%, ноябрь – 17%, 7%, 19%; 2022: сентябрь – 0%, 0%, 0%, октябрь – 17.65%, 35%, 14.14%, ноябрь – 15.13%, 5%, 17.17%).

Изучая нижнюю границу облачности и ее возникновение за 2 года, можно выделить типовые синоптические ситуации, при которых низкая облачность формировалась (таблица 3.1.4, 3.1.5, рисунок 3.1.4 и 3.1.5).[7]

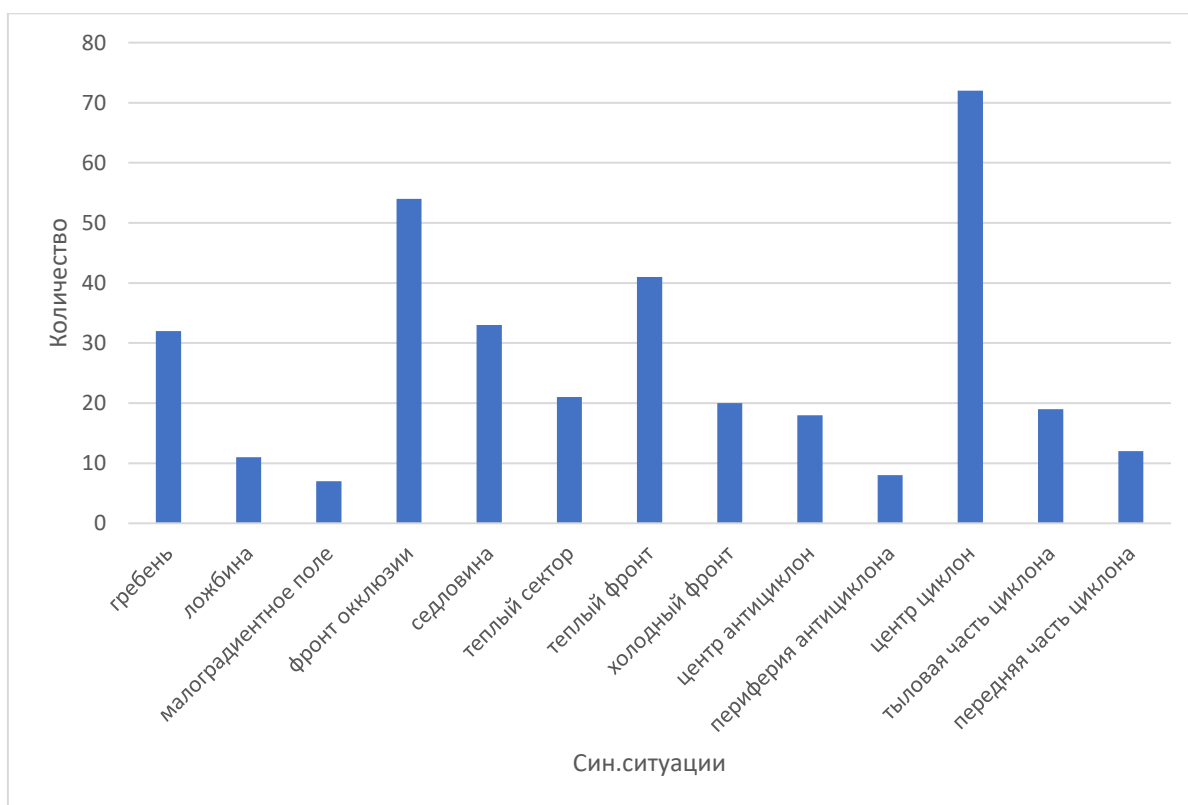


Рисунок 3.1.4 - Типовые синоптические ситуации в случае низкой облачности на аэродроме Талаги за 2021 и 2022 год



Таблица 3.1.4 – Годовой ход типовых синоптических ситуаций в случае низкой облачности на аэродроме Талаги за 2021 и 2022 год

Син. ситуация	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
гребень	6	2	2	1						9	11	1
ложбина	1	6	1		1					1	1	
малоград. поле	1	2				1	1				2	
<b>фронт окклюзии</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>		<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
седловина	5	5	2	1	3				2	4	2	9
теплый сектор	2	1	3			1	2	2		3	3	4
<b>теплый фронт</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>			<b>1</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
холодный фронт			2	5			2	1	3	2	5	
центр антициклона	1		1					2	1	2	3	
периферия антициклона	2	1						2			1	2
<b>центр циклона</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>1</b>	<b>1</b>				<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
тыловая часть циклона	3	2	3	1	1				2	2	3	2
передняя часть циклона	2	3	2							5		

Таблица 3.1.5 - Повторяемость типовых синоптических ситуаций в случае низкой облачности на аэродроме Талаги за 2021 и 2022 гг.

Синоптическая ситуация	количество	повторяемость, %
гребень	32	9
ложбина	11	3
малоградиентное поле	7	2
фронт окклюзии	54	<b>16</b>
седловина	33	10
теплый сектор	21	6
теплый фронт	41	<b>12</b>
холодный фронт	20	6
центр антициклон	18	5
периферия антициклона	8	2
центр циклон	72	<b>21</b>
тыловая часть циклона	19	5
передняя часть циклона	12	3
всего	348	100

За 2 года было рассмотрено 348 синоптических ситуаций в случае низкой облачности на аэродроме Архангельск. Чаще всего причиной низкой облачности становились центр циклона (21%), фронт окклюзии (16%) и теплый фронт (12%).

Центр циклона (28 случаев при низкой облачности за 2 года): Ознакомившись с таблицей 3.1.4 можем определить, что чаще всего эта синоптическая ситуация появлялась в январе (5 случаев).

Фронт окклюзии: 54 ситуации, в январе и феврале чаще всего (по 10 раз в каждом месяце).

Теплый фронт: Проанализировав таблицы 3.1.4 и 3.1.5, определили, что такая синоптическая ситуация за 2 года наблюдалась 41 раз, из которых 14 раз в январе.

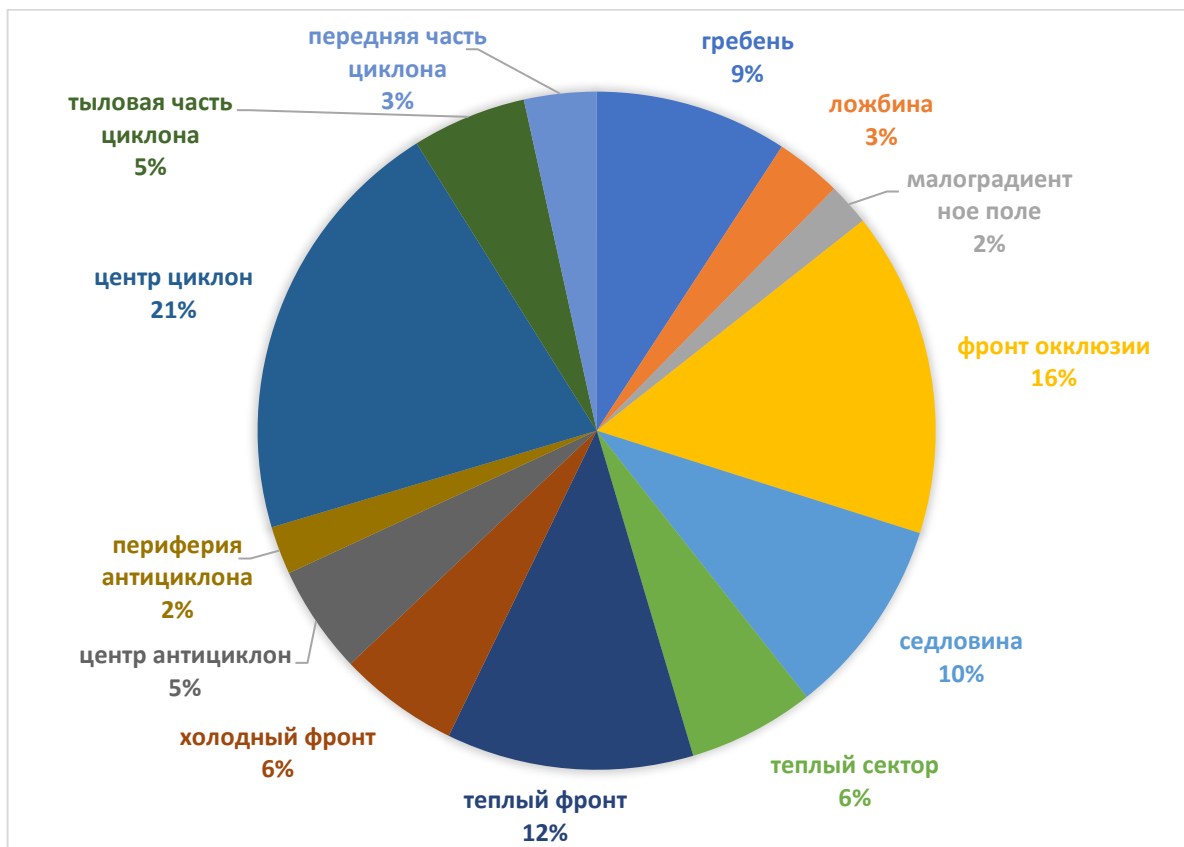


Рисунок 3.1.5 - Повторяемость типовых синоптических ситуаций в случае низкой облачности на аэродроме Талаги за 2021 и 2022 гг.

Надо обратить внимание, что на рисунке 3.1.5 кроме центра циклона (21%), фронта окклюзии (16%) и теплого фронта (12%) выделяются седловина (10%) и гребень (9%). Периферия антициклона (2%) и малоградиентное поле (2%) - это самые редко встречающиеся синоптические ситуации.

### 3.2 Расчет и анализ высоты нижней границы облачности

Высота нижней границы облачности, как было сказано выше, достаточно важное явление и на практике используются различные методы для ее определения. Поэтому следующим этапом моей работы было рассчитать высоту нижней границы облачности по 3 формулам для аэродрома Талаги (1.1-

1.3). В настоящее время наиболее распространенными являются следующие формулы для определения высоты нижней границы облачности

$$\text{Формула Ферреля} \quad H=122*(T-Td) \quad (1.1)$$

$$\text{Безымянная формула} \quad H=5400*(2-\lg R) \quad (1.2)$$

$$\text{Формула Ипполитова} \quad H=22*(107-R) \quad (1.3)$$

H - высота нижней границы облаков, м; T - температура воздуха у земли, °C; Td - температура точки росы у земли, °C; R - относительная влажность, %.[6]

Во-первых, были посчитаны значения по каждой формуле. Во-вторых, у каждой ситуации были взяты минимальные значения высоты нижней границы облачности (таблица 3.2.1).

Таблица 3.2.1 - Фрагмент таблицы результатов прогноза ВНГО по формулам

Дата	Время	Мин. факт	Мин. 1 формула	Мин. 2 формула	Мин. 3 формула
01.01.2021	00:00:00	100	159	244	371
	09:48:00	150	97.6	170	308
	18:11:11	150	109.8	170	308
04.01.2021	05:13:00	180	183	300	418
05.01.2021	00:22:01	150	134.2	221	352
	09:15:00	80	109.8	170	308
	16:06:00	80	109.8	170	308
	03:30:00	130	12.2	24	176
	17:50:00	150	146.4	221	352
17.01.2021	00:00:00	90	171	273	396
18.01.2021	09:38:05	180	183	300	418
	17:30:00	140	98	145	286
	15:35:12	100	122	196	330

Анализируя и изменяя формулы и их характеристики было сделано несколько выводов.

Во-первых, в случаях, когда погодные условия (температура и влажность) быстро меняются, прогноз по этим формулам невозможен, так как разброс значений будет велик. Также результаты расчетов по формулам зависят от их коэффициентов.

Во-вторых, при низкой влажности и температуре значения всех формул повышаются. Кроме того, увеличивает результат вычислений формул большая разница между температурой воздуха и температурой точки росы, если эта разница от 0 до 1, то значения формулы  $122*(T-Td)$  ниже фактической нижней границы облачности.

В-третьих, чтобы прогноз по формулам имел лучшие результаты, влажность должна быть в пределах 90-95% для 2 формулы и 100% для 3 формулы. Но есть несколько исключений: температура должна быть в пределах от 0 до -10 и чем ниже температура воздуха, тем больше разница. Особенно важно подчеркнуть, что 2 формула для вычисления нижней границы облачности показывает результат больше всего похожий на фактическое значение высоты нижней границы облачности.

В-четвертых, формула Ипполитова, то есть  $22*(107-R)$ , наименее точная, так как из-за малейшего изменения влажности высота нижней границы облачности повышается. К тому же, чтобы формула хорошо работала, значения влажности должны быть от 95% до 100%.

Следующим шагом работы был расчет данных, чтобы узнать на сколько фактическая высота нижней границы отличается от результата вычислений каждой из формул (таблица 3.2.2).

Таблица 3.2.2 - Разность фактической высоты нижней границы облачности и прогностических значений по результатам расчетов по формулам

2021 год	Фактическая ВНГО	$H=122(T-T_d)$	$H=5400(2-\lg R)$	$H=22(107-R)$	ф-1	ф-2	ф-3
01.01.2021	100	159	244	371	-58.60	-144	-271
04.01.2021	150	97.6	170	308	52.40	-20	-158
05.01.2021	150	109.8	170	308	40.20	-20	-158
17.01.2021	180	183	300	418	-3.00	-120	-238
18.01.2021	150	134.2	221	352	15.80	-71	-202
24.01.2021	80	109.8	170	308	-29.80	-90	-228
26.01.2021	80	109.8	170	308	-29.80	-90	-228
29.01.2021	130	12.2	24	176	117.80	106	-46
30.01.2021	150	146.4	221	352	3.60	-71	-202

Разность фактической высоты нижней границы облачности и прогностических значений по результатам расчетов по формулам представлены в столбцах ф-1, ф-2, ф-3. Отрицательное значение указывает на то, что нижняя граница, рассчитанная формулой, выше, чем она была на самом деле. Положительное же значение помогает понять нам, что данные формулы ниже, чем фактическая высота нижней границы облачности.

Были составлены графики для каждой формулы (рисунок 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3).

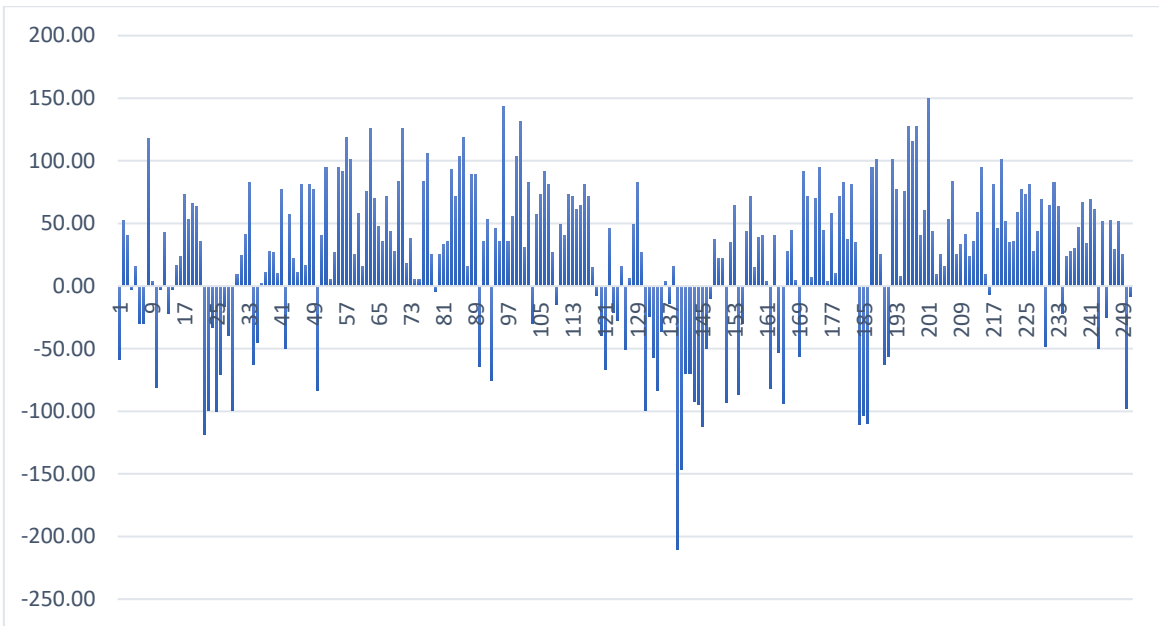


Рисунок 3.2.1 - Разница фактической высоты и результатов по первой формуле

По графику (рис.3.2.1) можно сделать вывод, что если бы мы давали прогноз опираясь на 1 формулу, то высота нижней границе облачности в большинстве случаев была бы занижена, так как на графике большинство положительных значений, а это указывает на то, что реальная высота была выше.

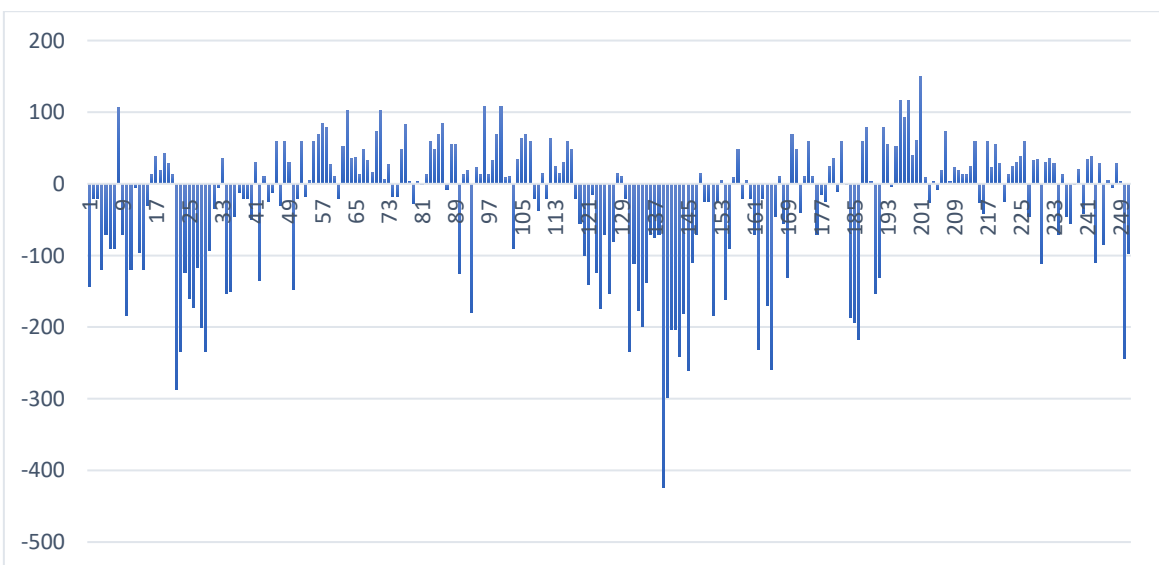


Рисунок 3.2.2 - Разница фактической высоты и результатов по второй формуле

Проанализировав график (рис.3.2.2), можно сделать вывод, что 2 формула с большей вероятностью покажет нам высоту нижней границы облаков выше, чем она была на самом деле.

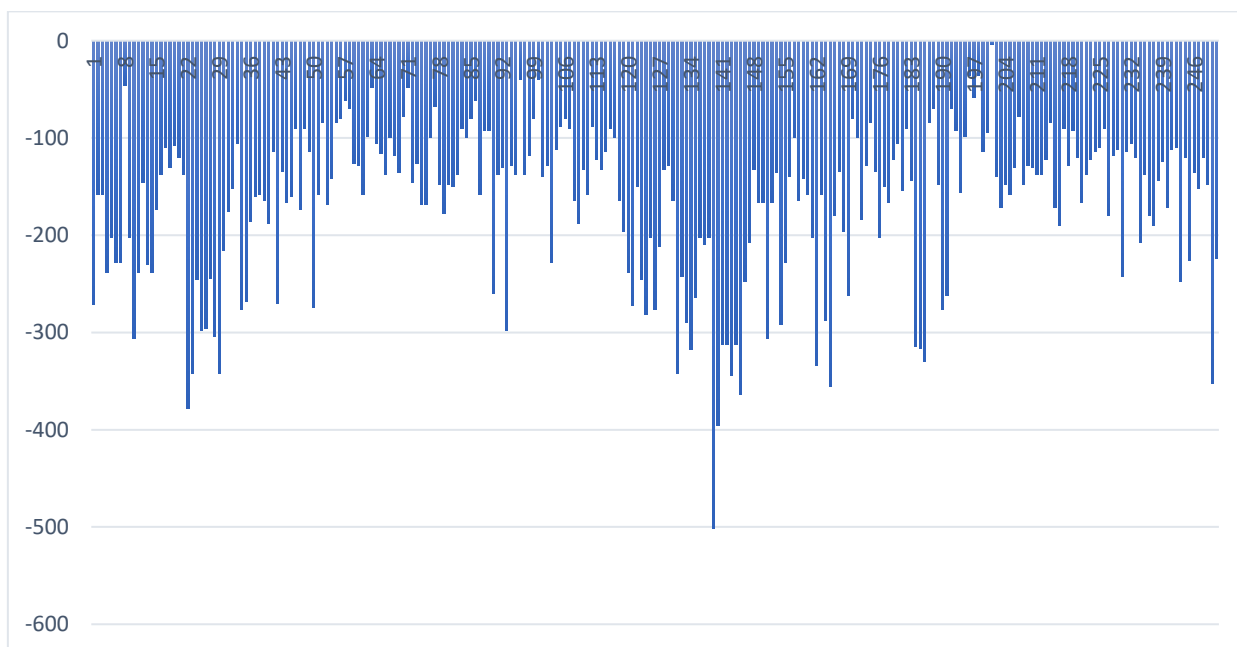


Рисунок 3.2.3 - Разница фактической высоты и результатов по третьей формуле

Совершенно определенно график (рис.3.2.3) указывает на то, что 3 формула всегда завышает данные по нижней границе облачности.

Для того, чтобы узнать подходят ли расчетные данные под диапазон точности прогноза, я разделила все нижние границы высот фактической погоды на две группы 60 - 200 и 0 - 60 и для каждого случая посчитала диапазон, результаты отражены в таблице 8.

Затем было выполнено сравнение выводов каждой формулы с диапазоном (таблица 3.2.3) и составлены графики для каждой формулы (рисунок 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6). Значение «100%» означает, что данные попадают в диапазон точного (хорошего) прогноза, а «-50%» дает нам понять, что высота нижней границы рассчитанной по формуле не соответствует этому диапазону.



Таблица 3.2.3 - Диапазон точности прогноза

Прогнозируемый элемент	Диапазон точности прогнозов
Направление ветра	+/- 30° при скорости ветра более 4 м/с
Скорость ветра	+/- 4 м/с до 15 м/с +/- 20% свыше 15 м/с
Видимость	+/- 200 м до 700 м +/- 30% м от 700 м до 10 км
Высота облаков	+/- 30 м до 60 м +/- 30% м от 60 м до 3000м
Опасные явления погоды (ОЯП): гроза, град, смерч, переохлажденный дождь (гололед), сильная турбулентность, умеренное и сильное обледенение	Наличие или отсутствие

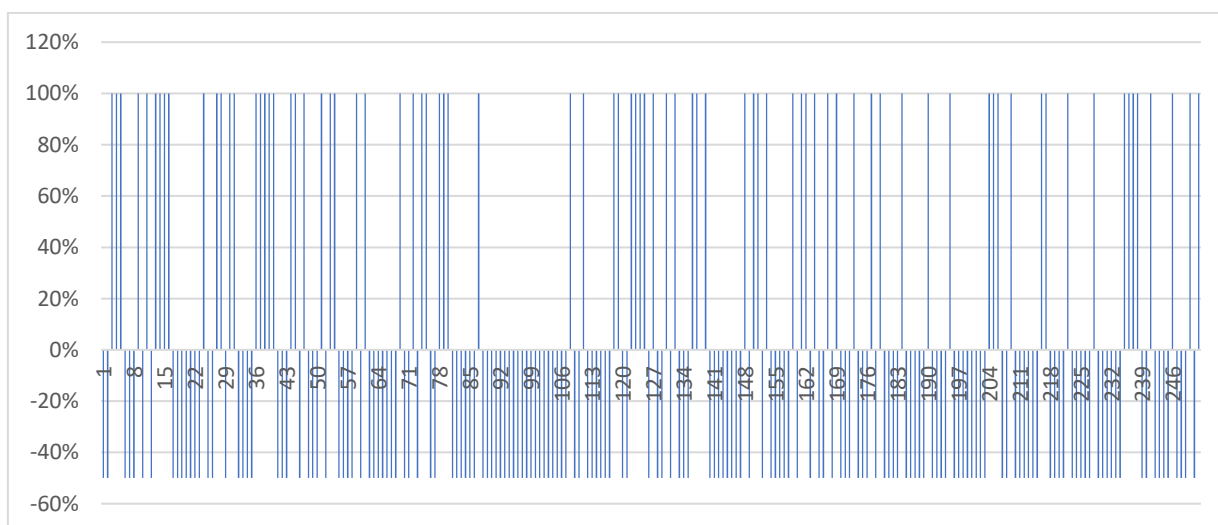


Рисунок 3.2.4 – Результат расчета диапазона точности прогноза по 1 формуле

Благодаря графику (рис. 3.2.4), можно увидеть, что меньше половины данных оправдываются, а остальная часть данных нет, то есть используя первую формулу велик риск того, что прогноз ВНГО не оправдается.

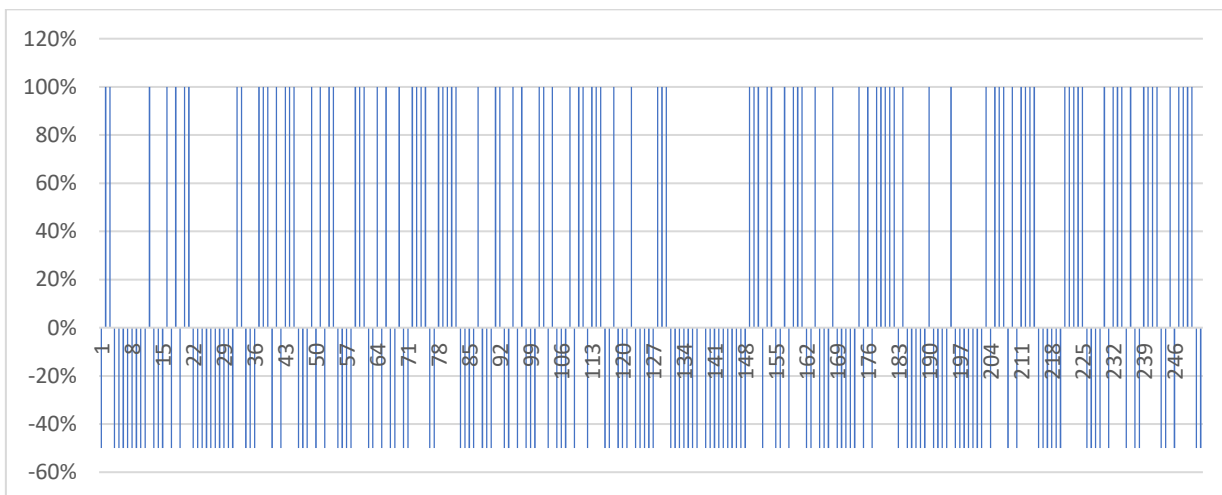


Рисунок 3.2.5 - Результат расчета диапазона точности прогноза по 2 формуле

На рисунке 3.2.5 аналогичная ситуация, немного больше половины результатов расчетов по 2-й формуле не попадают в диапазон точности прогнозов, из этого можно сделать вывод, что, рассчитывая на прогноз по этой формуле, есть риск также составить неточный прогноз.

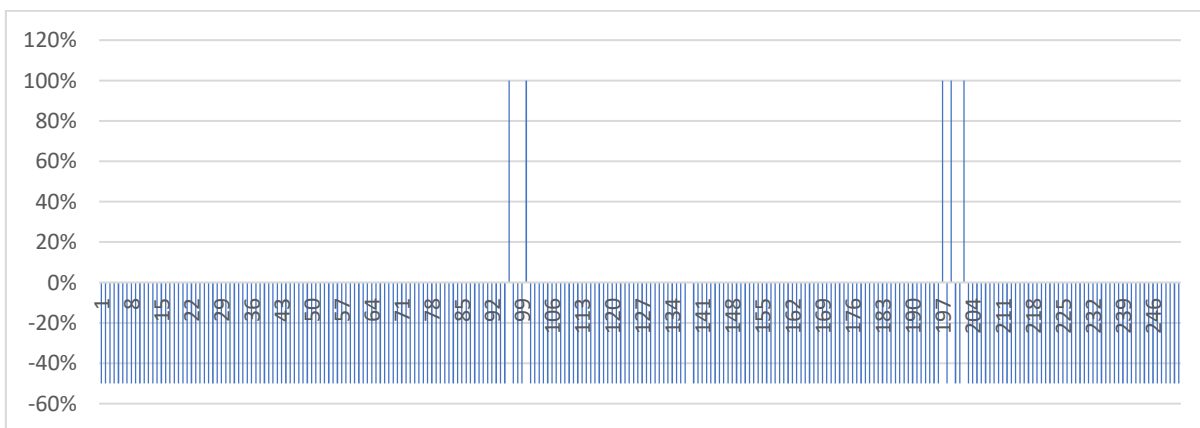


Рисунок 3.2.6 - Результат расчета диапазона точности прогноза по 3 формуле

3 формулу совершенно точно нельзя использовать для прогноза, потому что, как следует из графика (рис. 3.2.6), все данные, полученные с помощью данной формулы, за исключением пары значений, не подходят под диапазон точности прогнозов.

Была создана таблица оправдываемости всех формул за каждый год (таблицы 3.2.4, 3.2.5).

Таблица 3.2.4 - Оправдываемость формул для прогнозирования ВНГО, 2021 год

формула	Кол-во случаев	Случаи		Оправдываемость прогнозов, %	
		Оправдались	Не оправдались	При успешных прогнозах	При не успешных прогнозах
122*(T-Td)	137	48	89	35%	65%
5400*(2-lgR)	137	54	83	39%	61%
22*(107-R)	137	2	135	1%	99%

В 2021 году оправдываемость 2 формулы лучше, чем у остальных формул. Справедливости ради надо заметить, что оправдываемость 1 и 2 формулы отличается всего на несколько процентов, но если считать случаи, то у формулы 5400\*(2-lgR) результаты на 6 случаев лучше. Делать прогноз с помощью 3 формулы очень рискованно, так как у нее всего 1% оправдываемости, что составляет всего 2 случая.

Таблица 3.2.5. Оправдываемость по результатам формул для прогнозирования ВНГО за 2022 год

Формула	Кол-во случаев	Случаи		Оправдываемость прогноза, %	
		Оправдались	Не оправдались	При успешных прогнозах	При не успешных прогнозах
$122*(T-Td)$	114	33	81	29	71
$5400*(2-lgR)$	114	49	65	43	57
$22*(107-R)$	114	3	111	3	97

Далее были составлены графики сравнения результатов расчета по каждой формуле с верхними и нижними границами фактического значения ВНГО. После составления графиков можно оценить степень разброса результатов вычислений и их соответствие реальной высоте нижней границы облачности (рисунок 3.2.7, 3.2.8, 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11, 3.2.12).



Рисунок 3.2.7 – Сравнение результатов расчета формулы 1 с фактической ВНГО за 2021 год

На выше показанном графике (рис.3.2.7) можно увидеть, как распределяется высота нижней границы облачности. Верхнюю и нижнюю границы интервала взяли, отталкиваясь от фактических данных, так как важно увидеть насколько данные формул отличаются от реальных значений ВНГО. На большой разброс данных нам указывает маленькое значение коэффициента корреляции  $R = 0.0123$ . Всего несколько случаев которые выходят за границы интервалов. За верхний интервал выходят всего 5 случаев, один из которых на 150 метров выше интервала, а за нижний интервал 16 случаев, но все они только на пару значений ниже.

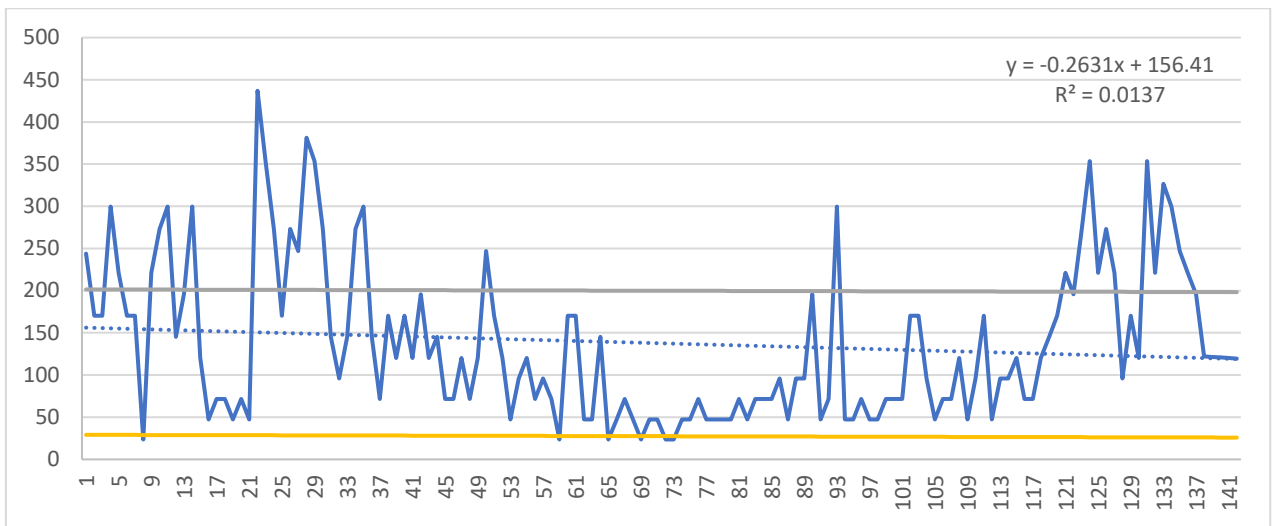


Рисунок 3.2.8 - Сравнение результатов расчета формулы 2 с фактической ВНГО за 2021 год

Теперь проанализируем график (рис.3.2.8) второй формулы за 2021 год. Тут мы можем подчеркнуть, что данные формулы еще сильнее разбросаны и хорошо бросается в глаза, что достаточно большое количество нижней границы облачности выходит за пределы верхней границы интервала. В 23 случаях прогноз второй формулы в два раза больше верхнего интервала, в свою очередь в 28-м, 124-м и 133-м случаях превышение происходит на 100-150 метров, а в остальных 7 случаях на 50-100 метров.

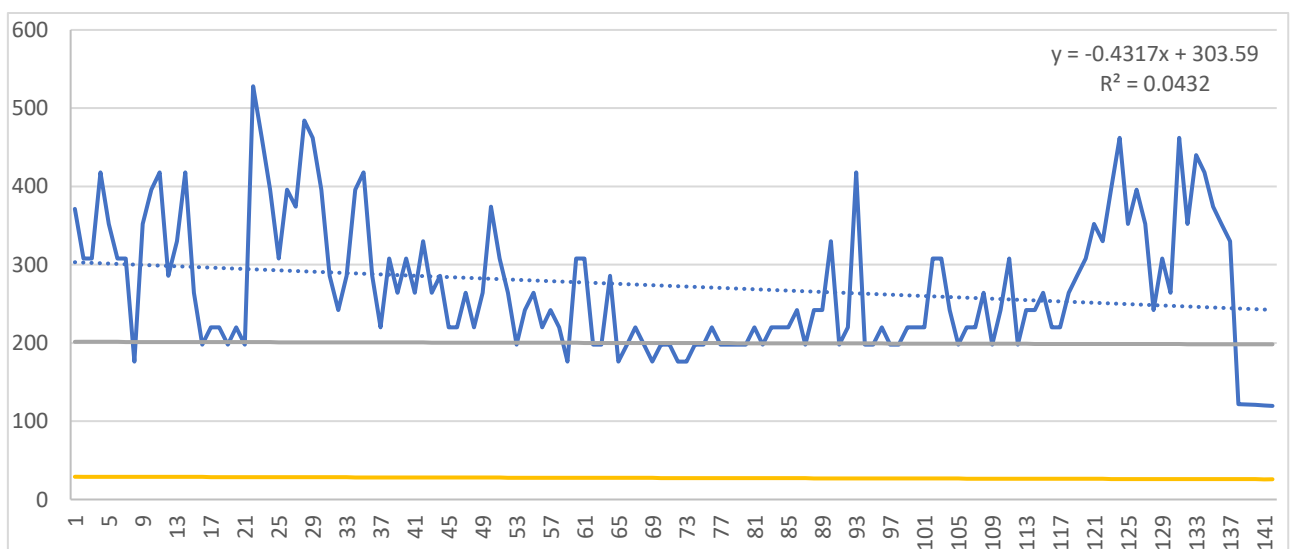


Рисунок 3.2.9 - Сравнение результатов расчета формулы 3 с фактической ВНГО за 2021 год

На графике (рис. 3.2.9) для 3 формулы за 2021 год четко показано, что все вычисленные данные значительно превосходят верхнюю границу интервала. К тому же коэффициент корреляции R невелик (0.0432), что указывает на большой разброс значений.

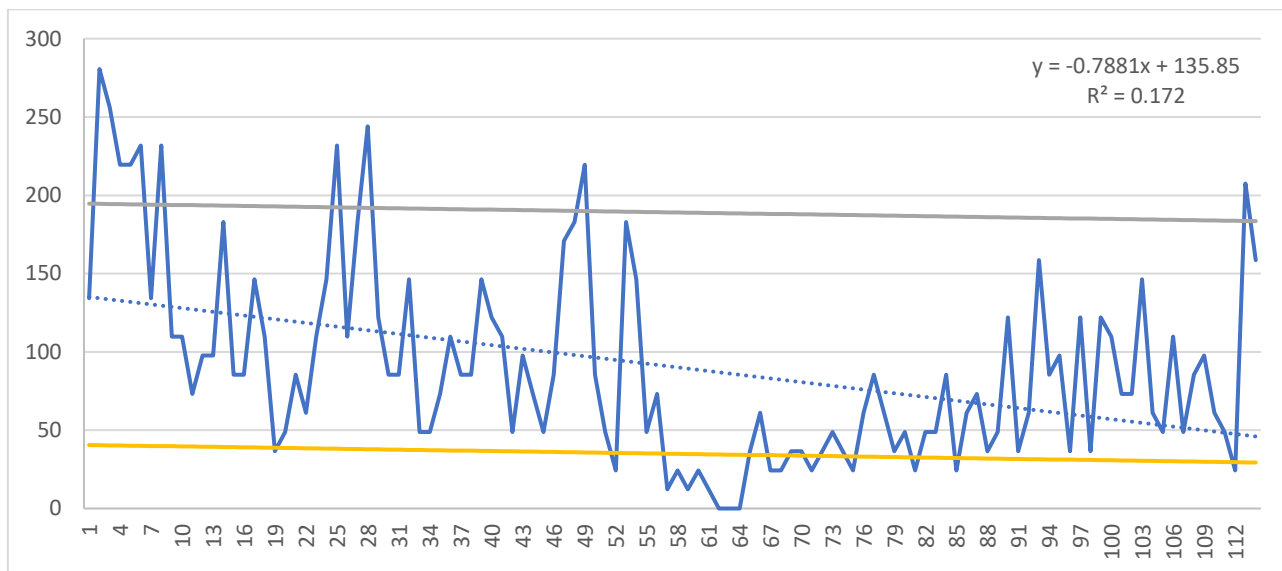


Рисунок 3.2.10 - Сравнение результатов расчета формулы 1 с фактической ВНГО за 2022 год

Для вычислений за 2022 год сделали такие же графики и сравнили с реальной ВНГО. Сравнивая 1 формулу за 2021 и 2022 годы отметим, что коэффициент корреляции R в 2021 году ниже ( $R = 0.0123$ ), чем в 2022 ( $R = 0.172$ ), но показатели все равно далеки от идеального значения. При этом в этот год случаев, не попадающих в промежуток между нижним и верхним интервалом больше. 7 случаев за пределами верхнего интервала, где 2 случая на 150 метров выше и 13 случаев ниже нижней границы, у нескольких из них разница 50 метров с нижним интервалом.

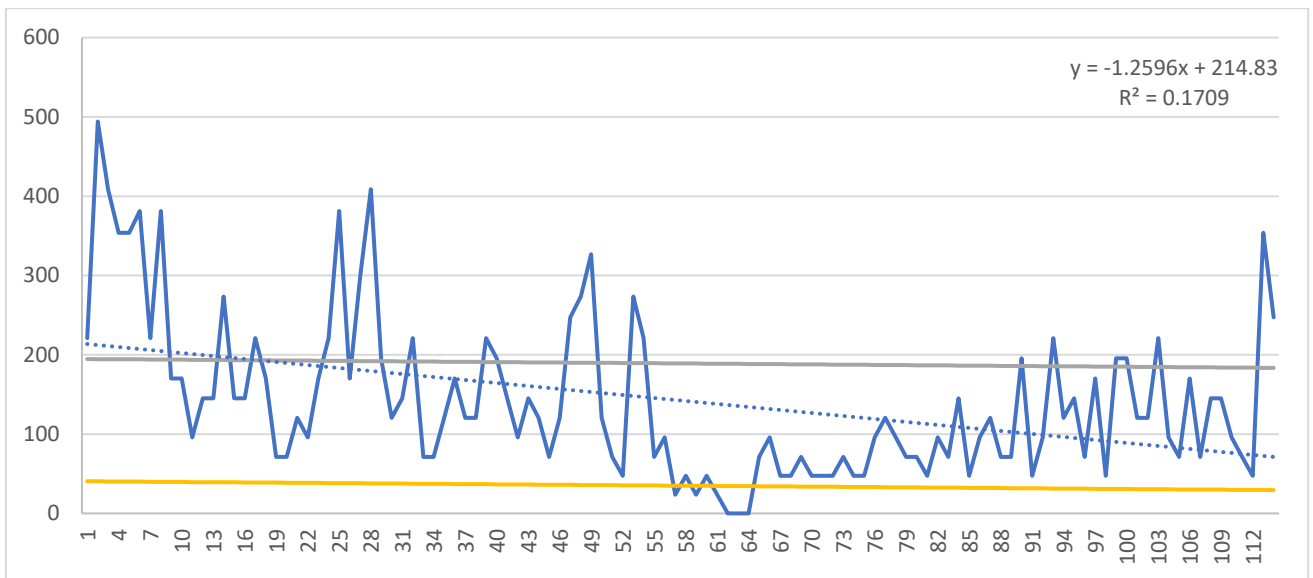


Рисунок 3.2.11 - Сравнение результатов расчета формулы 2 с фактической ВНГО за 2022 год

Следующий график (рис.3.2.11) говорит о 2-й формуле. Сравнивая 2 года отметим, что в 2022 году разброс меньше ( $R = 0.1709$ ), но если говорить на сколько вычисления больше верхней границы, то тут ситуация похуже, так как есть случай, где результаты по формуле на 300 метров превышают верхнюю границу, а это больше, чем в 2 формуле за 2021 год.

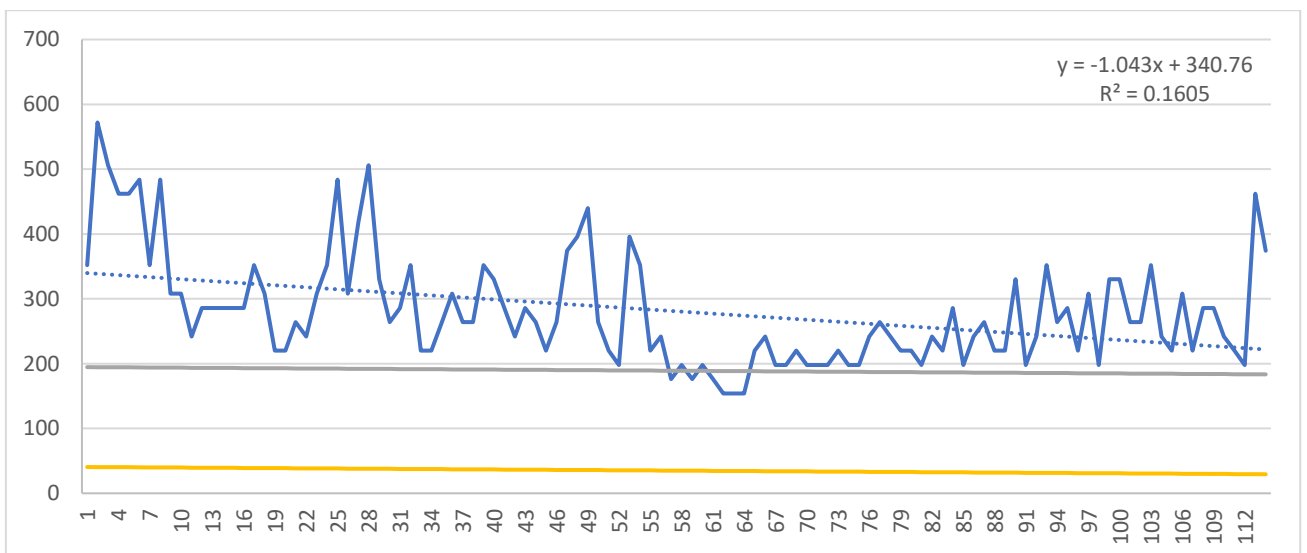


Рисунок 3.2.12 - Сравнение результатов расчета формулы 3 с фактической ВНГО за 2022 год



Из других графиков понятно, что 3 формула дает плохую оправдываемость и график на рис. 3.2.12, который показывает распределение вычислений высоты нижней границы облачности за 2022 год, не стал исключением. Тут сразу бросается в глаза, что все данные выходят за пределы границ интервалов, а точнее они прогнозируют высоту облачности намного выше, чем она есть на самом деле. Помимо этого, коэффициент корреляции R равен 0.1605, это лучше, чем в 2021 году, но также далек от идеала.

### 3.3 Исправленная формула для прогноза ВНГО на аэродроме Архангельска

Проведенный анализ показывает, что при высоте нижней границы облачности 200 и меньше лучше работает безымянная формула (формула 1.2), но для метеорологического обеспечения авиации на аэродроме Архангельск именно ВНГО ниже 60 представляет большой интерес из-за существующего минимума аэродрома.

Поэтому для того, чтобы улучшить работу формулы и повысить оправдываемость прогноза ВНГО для аэропорта Архангельска, было решено подобрать условия для улучшения работы формул.

Безымянная формула, которая была использована изначально выглядит так:  $H=5400*(2-\lg R)$ .

Значения предиктора данной формулы - влажности в течении года сильно различается, из-за этого невозможно использовать одни и те же коэффициенты весь год.

В результате проведенных исследований, методом подбора выявлено, что коэффициент формулы будет меняться при следующей влажности:

$$\text{от } 74 \text{ до } 83 = 1650*(2-\lg R)$$

$$\text{от } 84 \text{ до } 85 = 1200*(2-\lg R)$$

$$\text{от } 86 \text{ до } 88 = 2350*(2-\lg R)$$

$$\text{от } 89 \text{ до } 90 = 2500*(2-\lg R)$$

$$\text{от } 91 \text{ до } 93 = 4000*(2-\lg R)$$

$$\text{от } 94 \text{ до } 95 = 5640 \cdot (2 - \lg R)$$

$$\text{от } 96 \text{ до } 97 = 6840 \cdot (2 - \lg R)$$

$$\text{от } 98 \text{ до } 99 = 8650 \cdot (2 - \lg R)$$

$$100 = 8650 \cdot (2.01 - \lg R)$$

Исключение составляет последняя формула при влажности равной 100, в которой меняются сразу 2 коэффициента ( $8650 \cdot (2.01 - \lg R)$ ).

В таблицах (3.3.1-3.3.3) показаны и проанализированы итоговые результаты исследования по исправленной безымянной формуле. На рисунках (3.3.1-3.3.6) линией «факт» обозначена фактическая высота, которая наблюдалась на аэродроме, линией «безымянная формула» - обозначены результаты прогноза по исходную формуле, результаты расчетов по исправленной формуле выделены красным цветом.

Как видно по графикам, у исправленной формулы меньшие погрешности в течении года, чем у изначальной (безымянной) формулы.

Использование исправленных коэффициентов для формулы (1.2) способствует более точному определению высоты нижней границы облачности на аэродроме Архангельск в течение всего года, а также получению наибольшей оправдываемости данного расчетного метода. Особенность безымянной формулы, как и исправленной формулы в том, что высота нижней границы облачности зависит от синоптической ситуации, то есть ВНГО может меняться даже при одинаковой влажности.

Таблица 3.3.1 - Итоговые результаты исправленной формулы за 2021 год

формула	случаи	Оправдался	Не оправдался	Процент оправдываемости	
		Случаи		При оправдавшихся прогнозах	При не оправдавшихся прогнозах
$5400 \cdot (2 - \lg R)$	137	114	23	83%	17%

Таблица 3.3.2 - Итоговые результаты исправленной формулы за 2022 год

формула	случаи	Оправдался	Не оправдался	Процент оправдываемости	
		Случаи		При оправдавшихся прогнозах	При не оправдавшихся прогнозах
5400*(2-1gR)	114	89	25	78 %	22 %

Таблица 3.3.3 - Итоговые результаты исправленной формулы за 2021 и 2022 гг.

формула	случаи	Оправдался	Не оправдался	Процент оправдываемости	
		Случаи		При оправдавшихся прогнозах	При не оправдавшихся прогнозах
5400*(2-1gR)	251	203	48	81%	19%

2021 год:

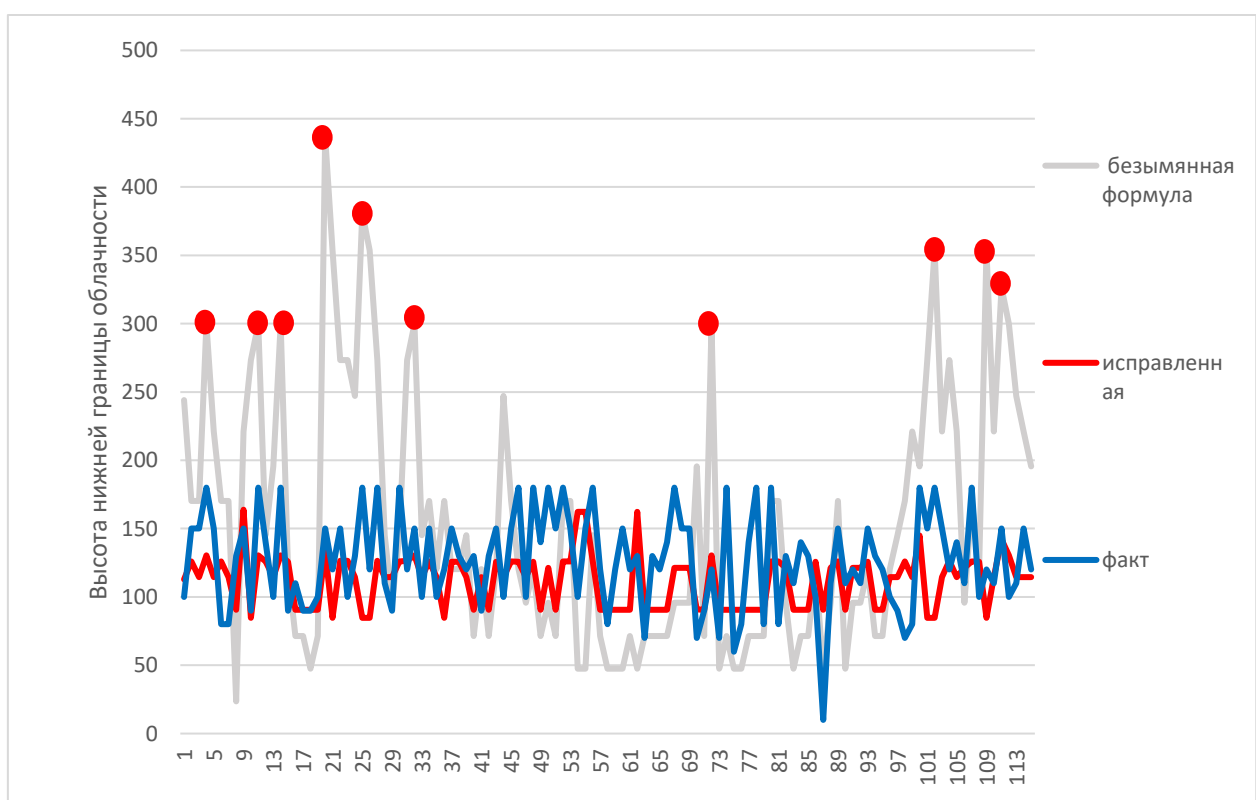


Рисунок 3.3.1 – Результаты расчетов по исправленной формуле для высоты нижней границы облачности от 60 до 200 метров за 2021 год

На этом графике хорошо видно, что исправленная формула намного лучше работает, чем изначальная формула 1.2 (рисунок 3.3.1).

Это доказывается тем, что прогноз по исправленной формуле больше совпадает со значениями фактической высоты нижней границы облачности. Случаи, отмеченные красным кружком, показывают насколько данные высоты нижней границы облачности были улучшены, например, случай с самым высоким изначальным показателем – 440 метров, после вычисления с помощью исправленной формулы, значение составило 140 метров.

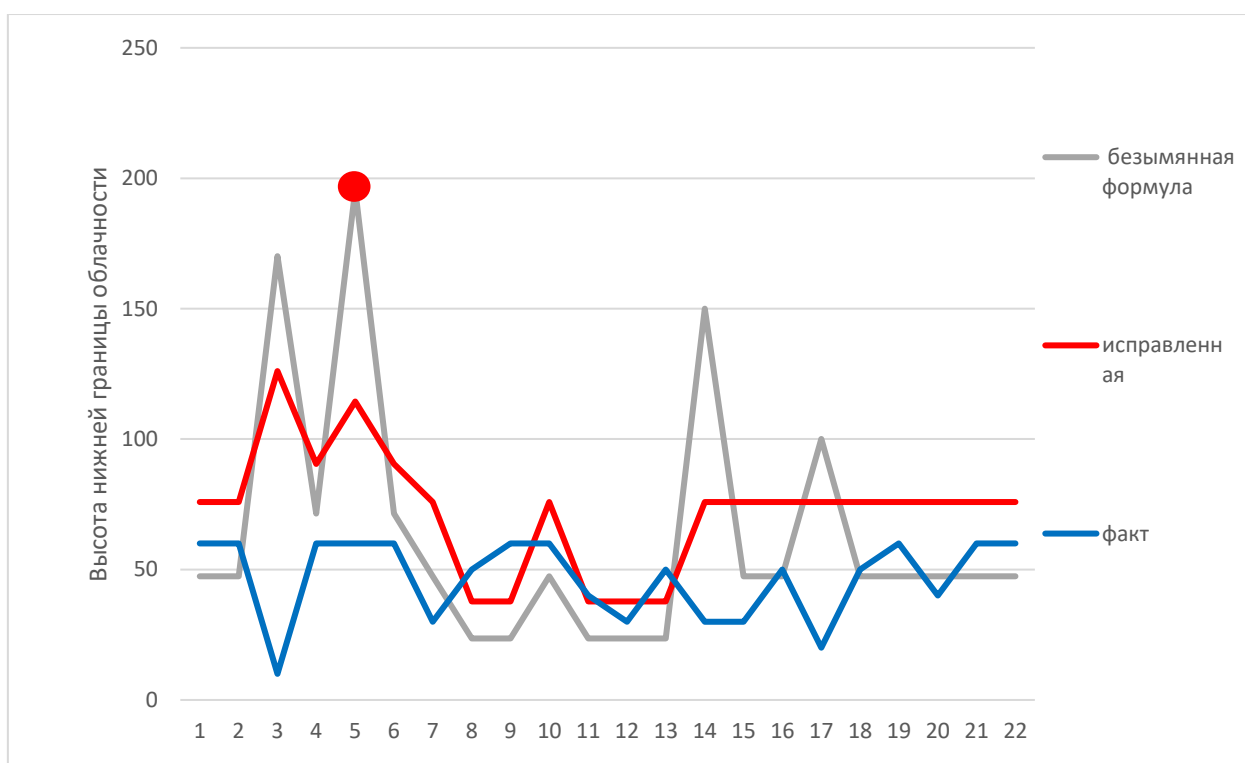


Рисунок 3.3.2 – Результаты расчетов по исправленной формуле для высоты нижней границы облачности от 60 метров и ниже за 2021 год

В связи с тем, что минимум аэродрома Архангельска 60 метров, был сделан отдельный график с высотой 0 – 60 метров (рис.3.3.2). На нем можно увидеть, насколько исправленная формула улучшила вычисления высоты нижней границы облаков. Например, у случая, отмеченного красным кружком, результат расчета по формуле 1.2 составил 190 метров, а у исправленной формулы результат составил 110 метров.

2022 год:

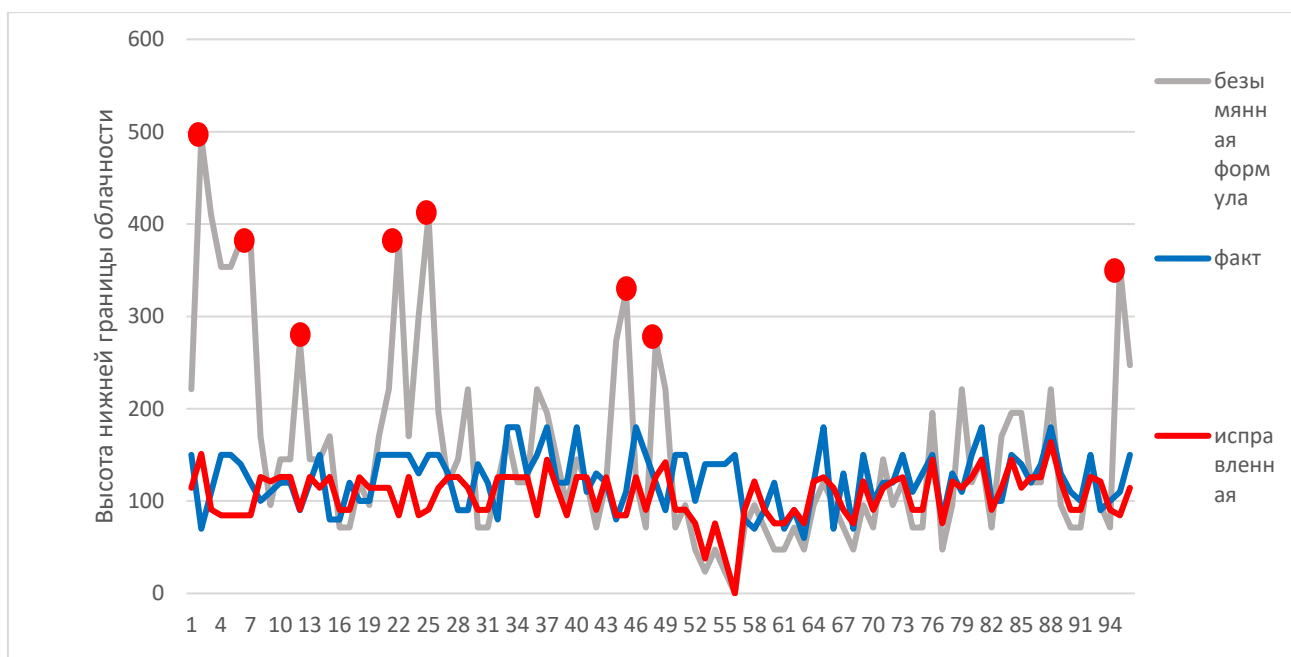


Рисунок 3.3.3 – Результат расчетов по исправленной формуле для высоты нижней границы облачности от 60 до 200 метров за 2022 год

Во-первых, результаты формулы 1.2 были далеки от значений реальной ВНГО, что доказывают нам случаи выделенные красным кружком, во-вторых, благодаря этим случаям, можно увидеть насколько исправленная формула лучше. Например, самый первый случай, значение по изначальной формуле составило 500 метров, значение по исправленной формуле составило 150 метрово.

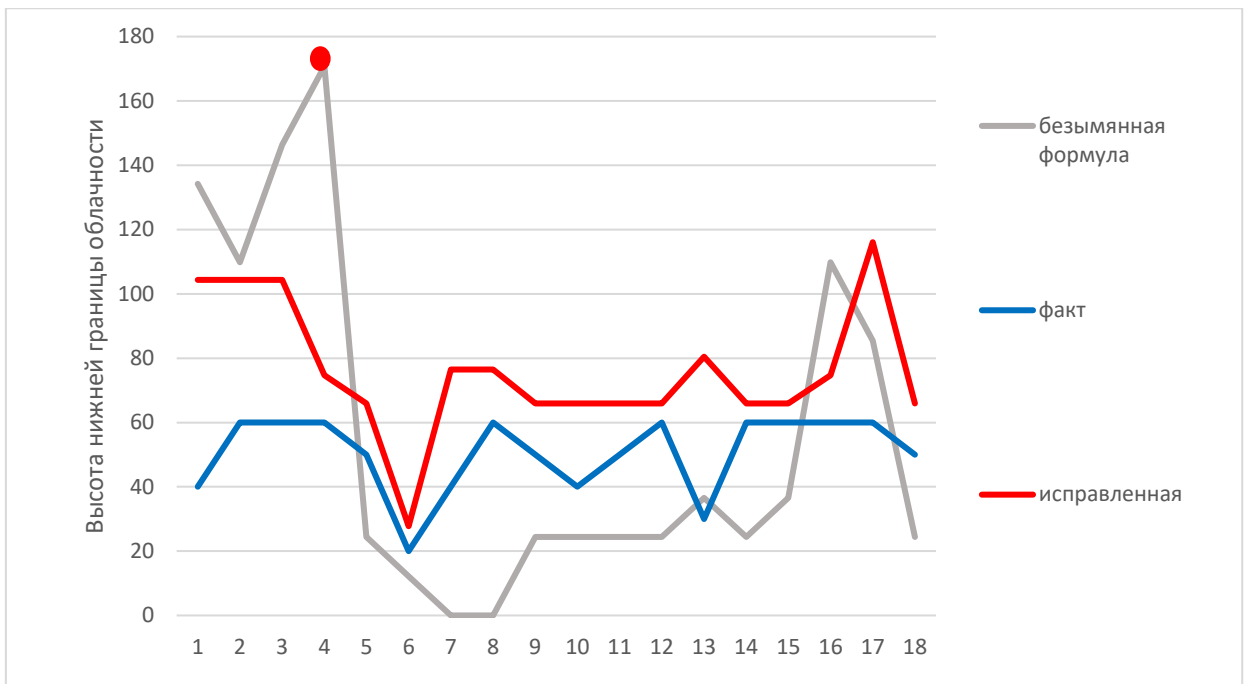


Рисунок 3.3.4 – Результат расчетов по исправленной формуле для высоты нижней границы облачности от 60 метров и ниже за 2022 год

На графике (рис. 3.3.4) представлены улучшенные данные для высоты нижней границы облачности ниже 60 метров. Особенно хорошо это видно в 4 случае (красный кружок), где формула 1.2 показывала высоту 170 метров, которая в разы выше фактической, а исправленная формула показала высоту 70 метров, то есть улучшила результат на 100 метров.

2021 и 2022 гг.:

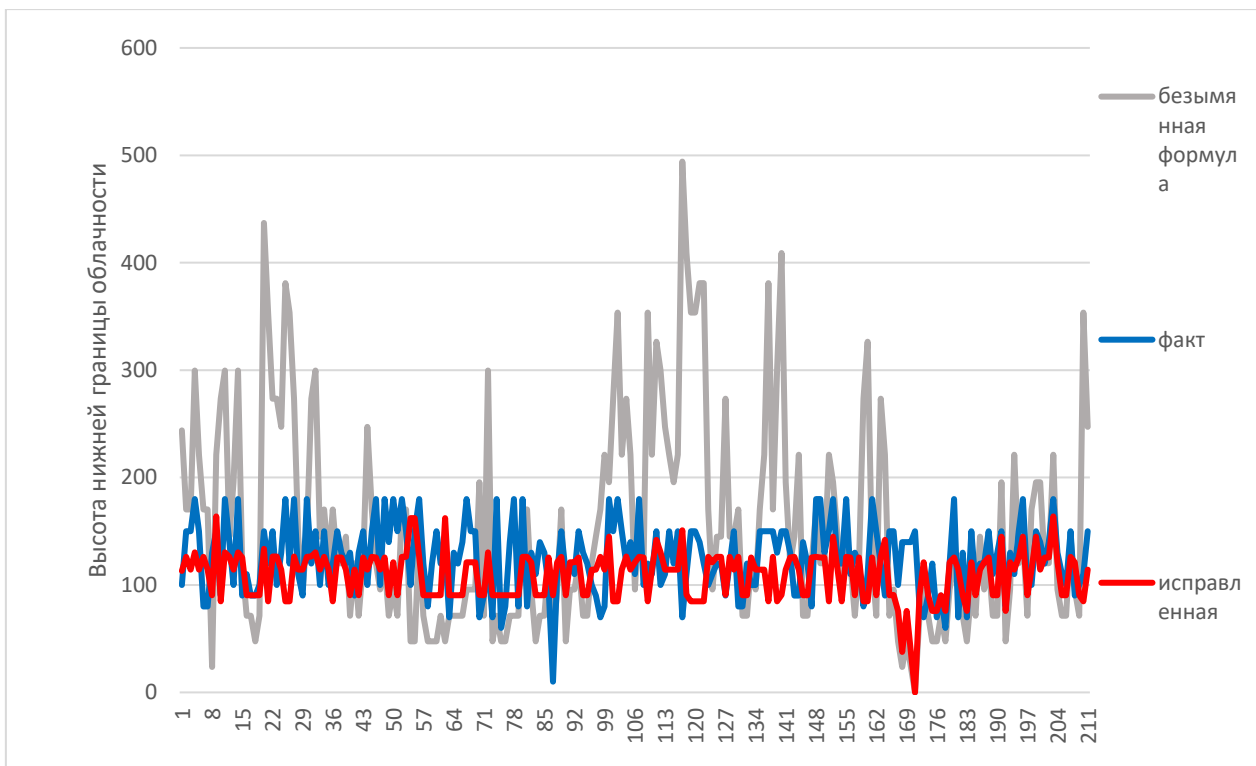


Рисунок 3.3.5 – Результат расчетов по исправленной формуле для высоты нижней границы облачности от 60 до 200 метров за 2021 и 2022 гг.

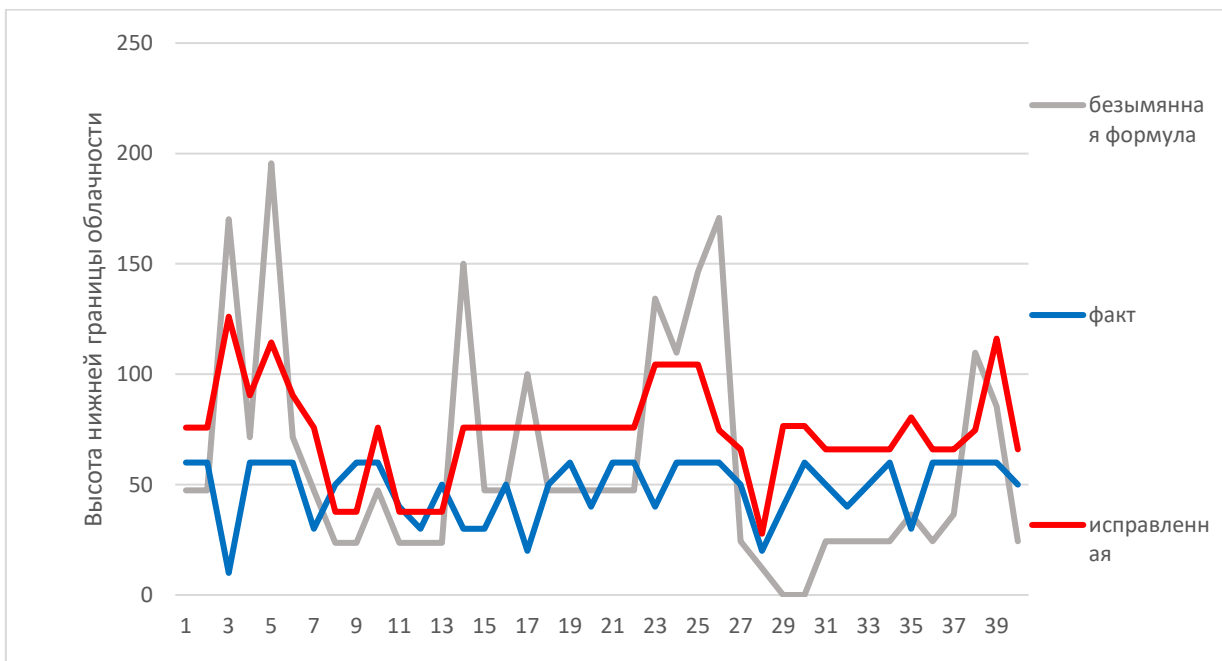


Рисунок 3.3.6 – Результат расчетов по исправленной формуле для высоты нижней границы облачности от 60 метров и ниже за 2021 и 2022 года

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены условия образования низкой облачности на аэродроме Талаги (г. Архангельск), произведен расчет высоты нижней границы облачности по 3 формулам.

1. В осенне-зимней период было зафиксировано большое количество повторяемости высоты 0 – 60 метров (2021 год: сентябрь – 21%, октябрь – 18%; 2022 год: октябрь – 35%, декабрь – 20%).

2. Центр циклона - 21%, теплый фронт – 12% и фронт окклюзии – 16% – наиболее частые синоптические ситуации, которые возникали при низкой облачности.

3. Результаты расчета высоты нижней границы облачности по каждой формуле показали плохую оправдываемость: 1 формула – 32%, 2 формула – 41%, 3 формула – 2%.

4. Использование измененных коэффициентов для 2 формулы способствует улучшению оправдываемости прогноза погоды (81%).



## Список литературы

1. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. -2-е изд., стереотипное.- СПб.:БВХ – Петербург, 2010. – 288 с.: ил. – (Учебное пособие)
2. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339с.
3. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы : учебное пособие / Л. Т. Матвеев. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1965. - 875 [1] с.
4. Атлас облаков / Д.П.Беспалов, А.М.Девяткин, Ю.А.Довгалюк и др. – СПб.:Гидрометеиздат,2006.–248с.
5. Данные журнала АВ–6 АМЦ Архангельск
6. Богаткин О.Г., Топтунова О.Н., Волобуева О.В., Иванова И.А. Практикум по авиационной метеорологии: Учебное пособие. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022.-154 с.
7. Сайт Wetter3 (электронный ресурс) <https://www.wetter3.de/>